



# Питание растений

Вестник Международного института питания растений

Восточная Европа и Центральная Азия

№4, 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

Роль органического вещества почвы в получении высоких урожаев и повышении эффективности использования азота и фосфора растениями.....	2
Новый подход к оценке эффективности использования фосфора из удобрений в сельском хозяйстве.....	5
Как способ внесения может повысить эффективность калийных удобрений.....	9
Программирование урожайности озимой пшеницы в зависимости от почвенно-климатических условий и системы применения удобрений.....	13
Итоги конкурса научных работ студентов и аспирантов - 2013.....	16
Студенческая премия-2014.....	17
Обзор научных публикаций.....	18

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

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

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

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

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



Уважаемый читатель, в этом выпуске вестника мы публикуем статьи о способах оценки эффективности использования элементов питания из минеральных удобрений, а также приемов, направленных на ее повышение. Особый интерес представляют обобщенные данные, полученные в многолетних опытах. Надо честно признать, что число этих опытов резко сократилось за последние двадцать лет во всем мире. Один из мировых научных центров, который до сих пор проводит многолетние опыты – Ротамстедская опытная станция в Великобритании. Данные, полученные в Ротамстеде - источник ценной информации, которая еще будет осмыслена и непременно практически использована не только сейчас, но и в будущем.

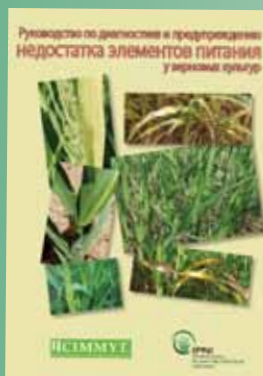
Этот выпуск выходит в начале 2014 года, и я хотела бы поделиться нашими планами на предстоящий год. В 2014 году мы планируем сделать специальный выпуск вестника с подборкой статей об эффективности минеральных удобрений, полученной в многолетних опытах в Восточной Европе и Центральной Азии. Если у Вас есть интересный материал по этой тематике, мы будем рады рассмотреть его в качестве потенциальных публикаций. В этом году мы запускаем в России новый международный научно-исследовательский проект, направленный на совершенствование минерального питания сои.

Кроме того, мы подготовили к изданию первые научно-практические книги на русском языке, которые выйдут первой половине 2014 года – Практическое руководство по применению удобрений и оптимизации питания растений «4R Стратегия», «Руководство по диагностике и предупреждению недостатка элементов питания у зерновых культур», а также «Питание зерновых колосовых культур на каштановых почвах Ставрополья». Эти книги можно будет приобрести в нашем филиале. Следите за новостями на нашем сайте!

С уважением,  
Светлана Иванова.

## Новые книги

## Международного института питания растений на русском языке



125466 Москва ул.Ландышева, д.12, пом.17а

<http://www.ipni.net>

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

# Роль органического вещества почвы в получении высоких урожаев и повышении эффективности использования азота и фосфора растениями

Дж.Джонстон

Органическое вещество почвы имеет основополагающее значение в обеспечении растений элементами питания, особенно в условиях постоянного повышения потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур. В этой статье обсуждаются данные о взаимодействии азота и фосфора с органическим веществом почвы, а также роль органического вещества в получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур, полученные в многолетних полевых опытах на Ротамстедской опытной станции.

Первый пример вклада органического вещества (ОВ) почвы в повышение урожайности сельскохозяйственных культур, приведенный в настоящей статье, - это результаты опыта с бессменным ячменем на Ротамстедской опытной станции в Хусфилде. Опыт в Хусфилде был заложен в 1852 г. на тяжелосуглинистой почве, в которую ежегодно вносились минеральные удобрения (NPK) или навоз в дозе 35 т/га. В результате в настоящее время содержание ОВ в варианте с внесением NPK и в варианте с внесением навоза составляет 1.74 и 6.16% соответственно. Начиная с 1968 г., в обоих вариантах опыта ежегодно вносились четыре дозы азотного удобрения (0, 48, 96 и 144 кг N/га). Изменения в урожайности зерна, начиная с середины 70-х годов 20-го века, для трех последовательно выращиваемых сортов ярового ячменя с возрастающей потенциальной урожайностью, показаны на рис. 1. На почве с более низким содержанием ОВ наблюдалась отзывчивость ячменя на азотные удобрения, при этом различия в максимальной урожайности между тремя сортами были невелики в течении трех периодов исследований. На почве с более высоким содержанием ОВ ячмень слабо отзывался на азотные удобрения, но поскольку потенциальная урожайность от сорта к сорту повышалась, их максимальная урожайность также увеличивалась вследствие более высокого содержания ОВ в почве. В настоящее время разница между максимальной урожайностью зерна в двух вариантах опыта превышает 2.5 т/га.

Похожие результаты были получены в длительном

опыте с озимой пшеницей в Брудбалке. В этом опыте начиная с 1843 г. ежегодно вносились минеральные удобрения или навоз в дозе 35 т/га. В результате в настоящее время содержание ОВ в варианте с внесением NPK и в варианте с внесением навоза составляет 1.93 и 4.87% соответственно. В этом опыте сравнивали урожайность зерна при разных дозах азотных удобрений на фоне РК с урожайностью, полученной после внесения одного навоза. До 1967 г. урожайность зерна после внесения навоза часто была немного выше, чем после внесения минеральных удобрений (Garner and Dyke, 1969), но повышение урожайности озимой пшеницы после внесения навоза было меньше, чем для ярового ячменя, возможно потому, что озимая пшеница формирует корневую систему в течение более длительного вегетационного периода. После того как с 1968 года стали выращивать короткостебельные сорта с улучшенным соотношением зерно/солома и более высокой потенциальной урожайностью, большая урожайность была получена после внесения навоза только при дополнительном использовании азотного удобрения в дозе 96 кг N/га. Интересно, что когда сорт Hereward начали выращивать в Брудбалке в 1996 г., внесение дополнительно к навозу азотного удобрения в дозе 96 кг N/га не привело к дальнейшему увеличению урожайности по сравнению с внесением оптимальной дозы минеральных удобрений (Johnston et al., 2009). Начиная с 2005 года было необходимо вносить дополнительно к навозу 144 кг N/га для получения более высокой урожайности, чем при внесении только минеральных удобрений. По-видимому, суммарное количество доступного для растений азота, содержащегося в навозе (35 т/га), и минерализованного азота из накопленного ОВ было недостаточно для получения максимальной урожайности сорта озимой пшеницы с высокой потенциальной урожайностью. Интересно обсудить возможные причины этого.

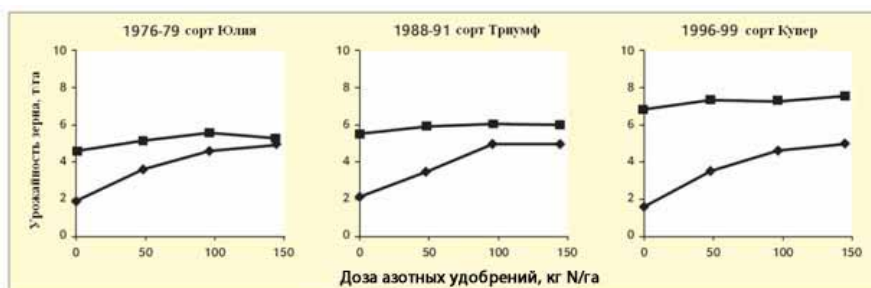
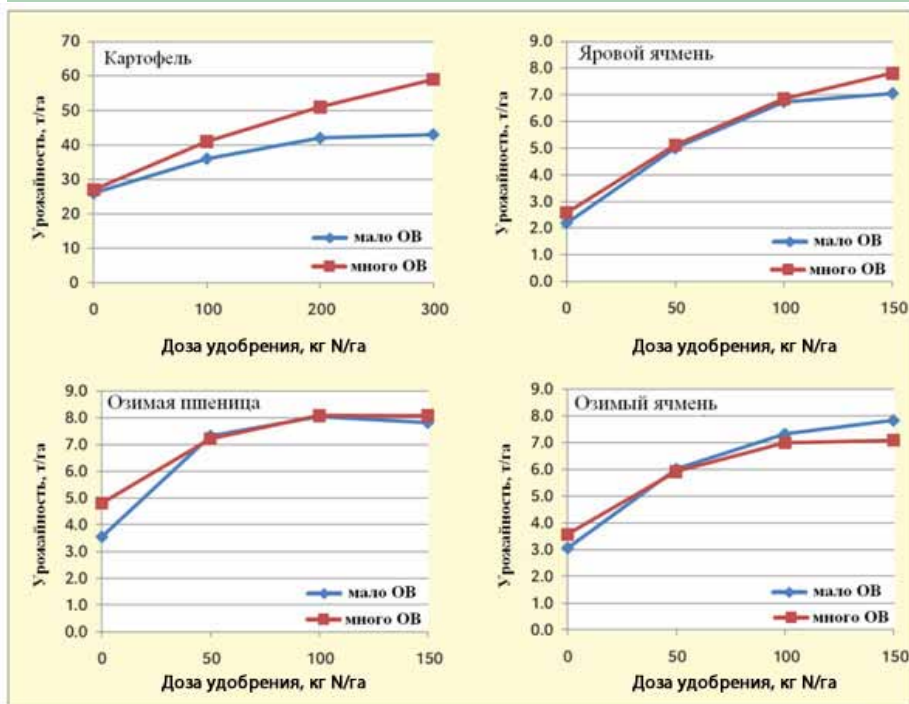


Рис. 1. Отзывчивость трех сортов ярового ячменя с возрастающей потенциальной урожайностью (слева направо) на внесение азотных удобрений в опыте с бессменным ячменем в Хусфилде, Ротамстед. Ячмень выращивали на почвах с двумя уровнями содержания органического вещества -1.74% (ромбы) и 6.16% (квадраты)

Взаимодействие органического вещества почвы и азота



**Рис 2.** Отзывчивость яровых и озимых культур на азотные удобрения. Культуры выращивались на легкосуглинистой почве с двумя уровнями содержания органического вещества (1.3 и 3.4%).

В настоящее время к проблеме эффективного использования азота в сельском хозяйстве проявляется значительный интерес. Это связано не только с тем, что потери различных форм азота из почвы могут иметь неблагоприятные экологические последствия, но также и с тем, что они приводят к финансовым потерям фермеров. Многочисленные данные подтверждают более эффективное использование азота на почвах, содержащих больше органического вещества и лучшей оструктуренности, что позволяет корням растений охватывать больший объем почвы и более эффективно извлекать элементы питания.

На легкосуглинистой почве с двумя уровнями содержания ОВ в разные годы выращивали картофель, яровой ячмень, озимую пшеницу и озимый ячмень с внесением четырех возрастающих доз азотных удобрений (рис. 2).

Урожайность картофеля и ярового ячменя всегда была выше на почве, содержащей больше ОВ, независимо от дозы азота, и эффективность использования азота из удобрений повышалась с ростом урожайности. Лучшая оструктуренность почвы, содержащей больше ОВ, позволяла корням быстрее развиваться и лучше поглощать элементы питания в большем объеме почвы. Урожайность озимых культур, вегетационный период которых длиннее, чем у яровых, почти не зависела от содержания ОВ при любой дозе азотных удобрений. Возможно, это происходило потому, что озимые культуры, посеянные осенью, имели больше времени для того, чтобы развить хорошую корневую систему и в почве с низким содержанием ОВ.

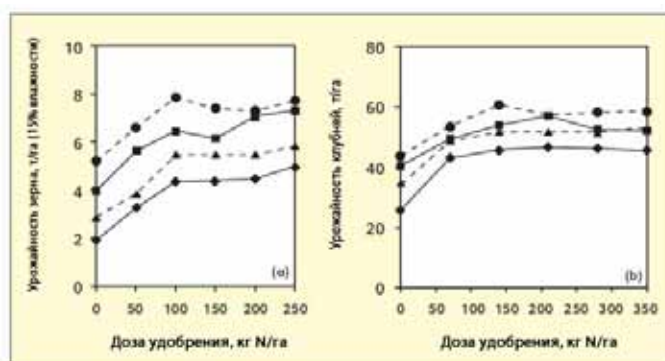
В другом опыте, начиная с 1964 г., на легкосуглинистой почве изучалось влияние различных органических удобрений на содержание ОВ в почве и урожайность возделываемых культур. Схема опыта включала два периода внесения органических удобрений (пери-

оды «применения») и два периода выращивания «контрольных» культур (Johnston et al., 2009). Ежегодное внесение органических удобрений в соответствующие периоды включало заделку соломы (7.5 т/га на абсолютно сухой вес), внесение навоза (50 т/га на сырой вес), а также выращивание злаково-клеверного травостоя (временное пастбище) и его заделку в качестве «зеленого удобрения» перед посевом «контрольных» культур для оценки влияния дополнительного ОВ, накопленного в течение двух периодов «применения».

В 1986 г. содержание органического углерода в верхнем слое почвы 0-23 см в варианте без внесения органических удобрений было 0.65%, что примерно соответствовало равновесному уровню для данной почвы. Органические удобрения повысили содержание углерода в почве до

0.85% при внесении соломы, до 1.06% при внесении навоза и до 0.9% после заделки 8-летнего злаково-клеверного травостоя. Урожайность картофеля (в 1988 и 1989 годах) и озимой пшеницы (в 1987 и 1988 годах) была получена в вариантах с внесением шести доз азота и сравнивалась с величинами, полученными в варианте без внесения органических удобрений. (рис. 3). Минимальную урожайность всегда получали на почве с более низким содержанием ОВ, а максимальную – в основном на почвах, распашанных после злаково-клеверного травостоя. Во всех случаях более низкие дозы азотных удобрений требовались для достижения оптимальной урожайности на почве с более высоким содержанием ОВ.

Полученные данные позволяют сделать два интересных вывода. Во-первых, максимальная отзывчивость озимой пшеницы на высокие дозы азотных удо-



**Рис 3.** Отзывчивость озимой пшеницы в 1987–88 годах (а) и картофеля в 1988–89 годах (б) на внесение азотных удобрений на разных фонах органических удобрений (см. текст). Варианты опыта/содержание органического вещества, %: Ромбы – без внесения органических удобрений/0.65%; Треугольники – заделка соломы/0.85%; Квадраты – внесение навоза/1.06%; Круги – заделка злаково-клеверного травостоя/0.9%.

брений наблюдалась в варианте с внесением навоза (рис. 3а)—эффект, аналогичный тому, что наблюдался в вышеописанном опыте в Брудбалке, и, возможно, объясняемый той же причиной. Во-вторых, после распашки злаково-клеверного пастбища максимальная урожайность была достигнута в варианте с внесением 100 кг N/га. Возможно, это произошло в результате дополнительного поступления азота в почву в конце вегетационного периода вследствие минерализации азота из остатков травосмеси, заделанных предыдущей осенью. Если этот минерализованный азот находится ниже по профилю почвы, в зоне, где корни активно поглощают элементы питания, то его благоприятное воздействие будет трудно спутать с влиянием азотного удобрения, внесенного на поверхность почвы.

Кроме того, следует отметить еще два момента. Во-первых, хотя максимальная урожайность была получена после распашки злаково-клеверного травостоя, содержать луг в течение трех лет должно быть экономически целесообразно в рамках общего бюджета хозяйства. Во-вторых, постоянный благоприятный эффект давала заделка соломы – один из немногих способов, доступный для большинства фермеров и позволяющий немного увеличить или, по крайней мере, поддержать уровень содержания ОВ в почве, а также, возможно, предотвратить его потери.

### Взаимодействие органического вещества почвы и фосфора

Кроме важной зависимости между содержанием ОВ и отзывчивостью растений на азотные удобрения, существуют не менее важные взаимодействия между ОВ и содержанием доступного для растений фосфора. В опыте на тяжелосуглинистой почве, которая, как известно, трудно поддается обработке, особенно весной, были заложены опытные делянки с двумя уровнями содержания ОВ - 1.5% (пашня) и 2.4% (луг), и 24 уровнями содержания фосфора, определяемого в вытяжке гидрокарбоната натрия по методу Олсена. После 12-летнего подготовительного периода на участках выращивали картофель, сахарную свеклу и яровой

ячмень в двух ротациях трехлетнего севооборота. По полученным данным для каждой культуры строили график для средних за два года значений урожайности в зависимости от содержания доступного фосфора в почве, определенного по методу Олсена. Кривую отзывчивости статистически обрабатывали для определения максимальной урожайности и уровня содержания фосфора в почве, соответствующего 95% от максимальной урожайности (табл. 1).

Урожайность ярового ячменя, соответствующая 95% от максимальной урожайности, была существенно ниже на почве с низким содержанием ОВ, чем на почве с более высоким содержанием ОВ. Урожайность картофеля и сахарной свеклы была одинаковой на обеих почвах, потому что эти культуры высеваются позже и почву для них можно подготовить лучше, чем для ярового ячменя. Однако содержание доступного фосфора (по Олсену), соответствующее 95% от максимальной урожайности, в почве с большим содержанием ОВ было гораздо ниже. Положительное влияние ОВ на урожайность было связано с улучшением почвенной структуры, что позволяло корням растений свободнее расти и распространяться в почве, и, таким образом, более эффективно находить и поглощать доступный фосфор.

Затем образцы почвы, отобранные со всех 48 делянок (2 уровня содержания ОВ × 24 уровня содержания фосфора по Олсену), были использованы для выращивания райграсса в вегетационном павильоне при одинаковых условиях. По результатам были построены кривые отзывчивости - зависимость между суммарной урожайностью, полученной с четырех укосов, и содержанием доступного фосфора, определенного по методу Олсена. Полученные кривые отзывчивости для двух почв с разными уровнями содержания ОВ визуально не различались. Для обеих почв и полученные значения урожайности (95% от максимальной урожайности), и соответствующие уровни содержания доступного фосфора по Олсену (табл. 1), были одинаковыми. Этот факт подтверждает предположение о том, что в полевых опытах именно из-за различной структуры почвы в вариантах с высоким и низким содержанием ОВ, были получены разные зна-

**Таблица 1.** Урожайность и содержание доступного фосфора (по методу Олсена), соответствующее 95% от максимальной урожайности, определенной из графика зависимости средней урожайности для двух лет от содержания доступного фосфора в почве.

Урожайность	Содержание органического вещества в почве, %	Урожайность, соответствующая 95% от максимальной урожайности, т/га	Содержание доступного фосфора, соответствующее 95% максимальной урожайности	R <sup>2</sup>
<b>Полевой опыт</b>				
Зерно ярового ячменя, т/га	2.4	5.00	16	8.83
	1.5	4.45	45	0.46
Клубни картофеля, т/га	2.4	44.7	17	0.89
	1.5	44.1	61	0.72
Сахарная свекла – сбор сахара, т/га	2.4	6.58	18	0.87
	1.5	6.56	32	0.61
<b>Вегетационный опыт</b>				
Абсолютно сухое вещество травы, г/сосуд	2.4	6.46	23	0.96
	1.5	6.51	25	0.82

чения содержания доступного фосфора в почве, соответствующие 95% от максимальной урожайности.

## Выводы

Во многих системах земледелия трудно увеличить содержание ОВ в почве без внесения значительных количеств органических удобрений. Однако необходимо делать все возможное для сохранения и увеличения содержания ОВ в почве, потому что оно улучшает структуру почвы и, следовательно, повышает способность корней растений распространяться в почве в поисках элементов питания, необходимых для нормального роста и развития растений и достижения высокой урожайности. Это особенно важно для поглощения азота и фосфора растениями и, соответственно, более эффективного использования азотных и фосфорных удобрений в сельском хозяйстве.

Дж. Джонстон – старший научный сотрудник фонда Лоуса, Ротамстедская опытная станция, Велико-

британия (Lawes Trust, Rothamsted Research, Harpenden, UK. AL5 2JQ). E-mail: johnny.johnston@rothamsted.ac.uk

Настоящая статья основана на публикации: Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. A.E. Johnston, P.R. Poulton, and K. Coleman. 2009. *Advances in Agronomy* 101:1-57.

## Литература

Garner, H.V. and G.V. Dyke. 1969. *Rothamsted Experimental Station Report for 1968, Part 2*, 26-49.

Johnston, A.E., P.R. Poulton, and K. Coleman. 2009. *Advances in Agronomy* 101, 1-57.

Перевод статьи и адаптация – к.б.н. Иванова С.Е. – вице-президент МИПР по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку.

Переводчик выражает благодарность Носову В.В. за ценные советы.

# Новый подход к оценке эффективности использования фосфора из удобрений в сельском хозяйстве

А.Е. Джонстон, Дж. К. Сайерс

Часто утверждают, что фосфор неэффективно применяется в сельском хозяйстве, и коэффициент использования фосфора из удобрений обычно составляет от 10 до 20%. Мы утверждаем, что такая низкая эффективность является в значительной степени артефактом, связанным с методом расчета. При расчете показателя эффективности балансовым методом с учетом выноса фосфора с урожаем, выраженного в процентах от внесенного фосфора, а также при условии, что содержание доступного фосфора в почве поддерживается около критического уровня, эффективность использования фосфорных удобрений часто превышает 90%.

В недавно опубликованном обзоре мировой литературы по эффективности применения фосфорных удобрений в различных системах земледелия, климатических условиях и на разных типах почв Сайерс с соавт. (Syers et al., 2008) показали, что эффективность использования фосфора из минеральных удобрений с учетом последствий часто составляет от 50 до 90% при расчете балансовым методом с учетом времени последствия удобрений. В настоящей статье показано, как подходы, описанные в обзоре, могут быть развиты в дальнейшем.

Эффективный коэффициент использования элемента питания из удобрения  $K_{эф}$  (%) часто определяется разностным методом – отношением разности в выносе данного элемента с урожаем в вариантах опыта с удобрением и контрольным (без удобрений) к количеству элемента питания, вносимого в почву с удобрением:

$$*K_{эф} = \frac{(B_y - B_0)}{Y_d} * 100\%$$

\* название показателя дано переводчиком Ивановой С.Е. Данный коэффициент соответствует коэффициенту использования питательных веществ из удобрений (КИУ), определенного разностным методом с учетом фактического выноса.

$K_{эф}$  – эффективный коэффициент использования элемента питания из удобрения, %

$B_y$  – вынос элемента питания с урожаем с учетом побочной продукции в варианте с внесением удобрений, кг/га

$B_0$  – вынос элемента питания с урожаем с учетом побочной продукции в варианте без внесения удобрения, кг/га

$Y_d$  – количество элемента питания, внесенное с удобрениями (доза удобрения), кг д.в./га

Хотя этот метод обычно хорошо применим для азотных удобрений, для фосфора и калия он имеет некоторые ограничения. Почему? Азот, внесенный в форме минеральных удобрений, содержащих карбамид, аммоний или нитрат, и не использованный растениями, редко остается в почве в исходном виде. Нитраты, оставшиеся в почве после уборки урожая, вымываются из почвенного профиля. При денитрификации происходит восстановление нитратного азота до молекулярного азота или оксидов азота, и их улетучивание. Газообразные потери азота происходят также в виде аммиака. Таким образом, рассчитывать коэффициент использования азота

из внесенного удобрения лучше всего разностным методом, который учитывает весь азот, поглощенный растением без внесения удобрения. Однако при внесении фосфорных и калийных удобрений потери питательных элементов из неиспользованных удобрений если и происходят, то незначительны. Остаточные количества фосфора и калия из удобрений формируют запасы этих элементов в почве.

Для оценки эффективности использования фосфора из минеральных удобрений может быть применен прямой метод исследования с использованием изотопа  $^{32}\text{P}$ . Однако, значения коэффициента использования фосфора из минеральных удобрений, определенные этим методом, редко превышают 25%. Давайте остановимся и подумаем. Если только 25% фосфора поглощено растениями из недавно внесенного удобрения, то остальные 75% должны поступать из запасов фосфора в почве. А если содержание фосфора в почве должно поддерживаться на постоянном уровне, любая потеря из запасов элемента должна быть восполнена. Так, логично предположить, что общий фосфор в растении, поглощенный частично из удобрения и частично из почвенного запаса, который поддерживается внесением фосфорного удобрения, представляет собой элемент, поступавший из фосфорного удобрения в течение длительного времени. Этот подход для измерения эффективности использования фосфора был предложен Джонстоном и Пултоном (Johnston and Poulton, 1977) и развит впоследствии Сайерсом с соотр. (Syers et al., 2008), назвавшими его «балансовым методом». В этом методе в качестве показателя эффективности использования питательного вещества из удобрения рассчитывают коэффициент выноса элемента питания:

$$*K_B = \frac{V_y}{U_d} * 100\%$$

$K_B$  – коэффициент выноса элемента питания, %

$V_y$  – вынос элемента питания с основной и побочной продукцией, кг/га

$U_d$  – доза удобрения, кг д.в./га.

Преимущество данного метода в том, что он учитывает поступление фосфора и из почвенного запаса, а также не требует закладки контрольных делянок в опытах.

Другой аспект оценки эффективности использования фосфорных удобрений связан с развитием представлений о поведении фосфора в почве. Джонстон (Johnston, 2001) предположил существование четырех пулов фосфора в почве, различающихся по степени доступности для растений. Эта концепция была позднее развита Сайерсом с соотр. (Syers et al., 2008). Наряду с характеристикой четырех пулов фосфора по степени доступности элемента для растений, они связали пулы фосфора со степенью его экстрагируемости химическими реагентами. Таким образом, данные о содержании доступного фосфора в почвенных образцах, получен-



**Рис. 1.** Пулы фосфора в почве по степени экстрагируемости рутинными методами определения и доступности растениям

ные в лаборатории, могут быть использованы для оценки его доступности для растущего в поле растения. Общая концепция показана на диаграмме (рис. 1).

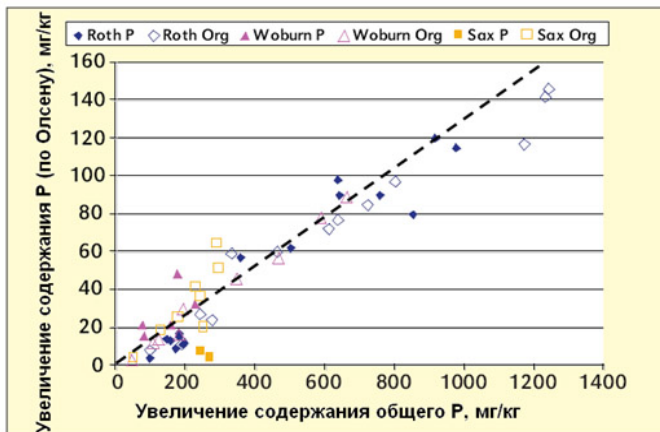
Количество фосфора в каждом из четырех пулов зависит от энергии связи фосфора с адсорбционными центрами как на поверхности, так и внутри частиц твердой фазы почвы, способных удерживать фосфор, и от количества таких центров в почвенной матрице. Для наименее доступного пула предполагается, что фосфор может вступать в другие реакции с компонентами почвы (Syers et al., 2008). Фосфор поглощается корнями растений в виде ортофосфат-ионов, главным образом, ионов  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , и в меньшей степени ионов  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Согласно прежним представлениям о трансформации фосфора, внесенного с удобрением, если этот элемент не был использован растением, то он закрепляется в почве в виде труднорастворимых соединений и становится недоступным для корней растений. Однако к 50-м годам 20-го века были получены данные полевых опытов, показывающие, что если благодаря внесению минеральных удобрений и навоза в прошлом был создан большой запас фосфора в почве, то этот резерв мог обеспечить растения достаточным количеством фосфора для повышения урожайности.

Наиболее важный момент, показанный на рис. 1 – это обратимость перехода фосфора из почвенного раствора, в пул легкодоступного фосфора и пул менее доступного фосфора. Примеры, подтверждающие данные полевых опытов, описаны Сайерсом с соотр. (Syers et al., 2008). При определении содержания доступного фосфора в лаборатории в вытяжку переходит фосфор почвенного раствора и фосфор из легкодоступного для растений пула. Поскольку эта фракция почвенного фосфора выделена исходя именно из метода химического анализа почвы, используемый экстрагент не имеет значения. Главное, чтобы полученные данные точно характеризовали обеспеченность почвы фосфором и отзывчивость растений на внесение фосфорных удобрений.

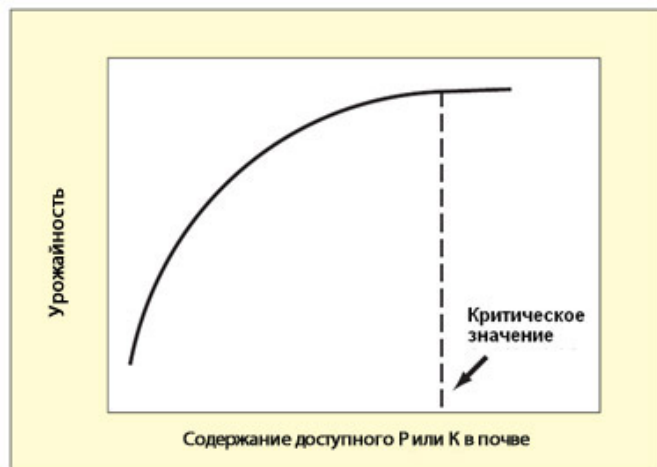
Обратимый переход фосфора между тремя первыми пулами подразумевает установление равновесия между ними. В длительных опытах на тяжелосуглинистой почве в Ротамстеде, легкосуглинистой почве в Уберне и опесчаненной тяжелосуглинистой почве в Саксмундхаме были получены данные, показывающие увеличение содержания как доступного для растений фосфора (определенного по методу Олсена), так и общего фосфора в верхнем слое почвы 0-23 см. Для всех трех типов почв наблюдалась линейная зависимость между содержанием доступного и общего фосфора. (рис. 2).

Аналогичным образом, в опыте, проведенном в Се-

\* название показателя дано переводчиком Ивановой С.Е. В русскоязычной литературе аналогичный коэффициент иногда называют «балансовым коэффициентом использования».



**Рис. 2.** Зависимость между содержанием общего и доступного фосфора по Олсену (Пунктирная линия соответствует содержанию остаточного фосфора, равному 13% от добавленного фосфора)



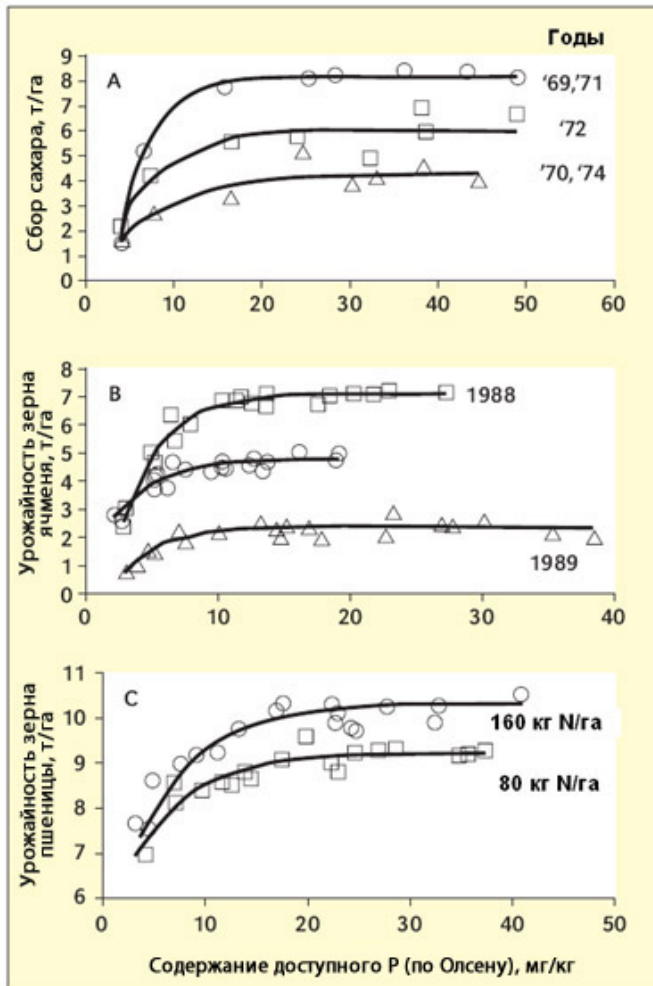
**Рис. 3.** Сколько фосфора должно содержаться в легкодоступном пуле?

верной Каролине, Макколлум (McCullum, 1991) показал, что после внесения фосфорного удобрения в течение 9 лет в суммарной дозе до 1128 кг P/га лишь около 20% фосфора экстрагировалось методом Мелиха-1.

Данная концепция, описывающая поведение фосфора в почве и трансформацию фосфора удобрений, вызывает ряд практических вопросов.

**Первый вопрос: Какое содержание легкодоступного фосфора в почве может обеспечить оптимальную урожайность?**

На графиках зависимости урожайности культуры от содержания доступного фосфора в почве, определенном адекватным аналитическим методом, сначала урожайность растет быстро, а потом медленнее до тех пор, пока не достигнет плато – асимптотического уровня (рис. 3). Содержание доступного фосфора в почве, при котором достигается асимптотический уровень урожайности, может считаться критическим уровнем для данной культуры. Содержание доступного фосфора ниже этого критического уровня приводит к недобору урожая. Внесение фосфорных удобрений в почву с содержанием доступного фосфора выше этого критического значения необходимо только для того, чтобы поддерживать содержание доступного фосфора в почве на уровне, не ограничивающем урожайность. При этом от-



**Рис. 4.** Примеры кривых отзывчивости для определения критических значений содержания доступного фосфора в почве для некоторых сельскохозяйственных культур.

звучивость на внесение удобрений не ожидается. Примеры кривых отзывчивости - зависимости урожайности от содержания доступного фосфора, полученных по данным Ротамстедского опыта, показаны на рис. 4. Для трех культур - сахарной свеклы (сбор сахара с гектара), ярового ячменя и озимой ржи, критические уровни различались незначительно, хотя максимальная урожайность различалась по годам в зависимости от погодных условий или доз азота. Для достижения более высокого уровня урожайности не требовалось более высокого содержания доступного фосфора в верхнем слое 0-23 см, чем критический уровень.

**Второй вопрос: Сколько фосфора должно быть внесено с удобрениями для повышения содержания доступного фосфора в почве до критического уровня?**

Ответ на этот вопрос во многом зависит от конкретных почвенно-климатических условий. Поэтому необходимо проведение больших дополнительных исследований с учетом типа почвы, ее объемной плотности, способа внесения фосфорных удобрений и глубины отбора проб. Два следующих примера показывают, что можно сделать. Первый пример - опыт, заложенный в 1856 г. на тяжелосуглинистой почве Ротамстед-

**Таблица 1.** Суммарная доза фосфора, баланс фосфора за 1986–1991 гг. и содержание доступного фосфора (по методу Олсена), в 1986 и 1991 г.

Суммарная доза P, кг/га	Баланс P <sup>1</sup> , кг/га	Доступный фосфор, мг/кг	
		1986 г.	1991 г.
786	700	7	48
522	437	8	38
264	182	7	18

<sup>1</sup>Превышение внесенного фосфора над его выносом с урожаем.

ской опытной станции. Схема опыта, была изменена для определения количества фосфорных удобрений, необходимых для повышения содержания доступного фосфора (Пултон и Джонстон, частное сообщение). В период с 1865 г. до 1901 г. в пяти вариантах опыта содержание доступного фосфора изменялось в узком диапазоне. С 1986 г. по 1991 г. этот диапазон был расширен за счет внесения удобрений в суммарных дозах от 264 до 786 кг P/га. Суммарные дозы внесенных фосфорных удобрений, баланс фосфора, а также содержание доступного фосфора в начале и конце опыта приведены в **табл. 1**. Благодаря положительному балансу фосфора (182 кг P/га) исходное содержание доступного фосфора повысилось с 7 до 18 мг P/кг почвы. Яровой ячмень выращивали ежегодно с 1986 г. до 1991 г. На кривой отзывчивости асимптотическая урожайность зерна, равная 98% от максимальной, составила 5.21 т/га, а соответствующее содержание доступного фосфора было равно 14 мг P/кг почвы. Таким образом положительного баланса фосфора (182 кг P/га) при внесении суммарной дозы фосфорных удобрений 264 кг P/га в верхний слой почвы (0–23 см) в течение 6 лет было достаточно для повышения содержания доступного фосфора выше критического уровня. Вторым примером - опыт, описанный Макколлумом (McCollum, 1991). В этом опыте в опесчаненной легкосуглинистой почве содержание фосфора по методу Мелиха-1 определялось в слое почвы 0–15 см в течение начального 9-летнего периода, когда вносились фосфорные удобрения. В начале опыта содержание доступного фосфора в почве было уже близко к критическому уровню для кукурузы (18–22 г/м<sup>3</sup>) и превышало данный уровень для сои. Однако внесение фосфорных удобрений в дозах от 0 до 1120 кг P/га за 9-летний период приводило к линейному росту содержания доступного фосфора (метод Мелиха-1), при этом каждое внесение 10 кг P/га повышало содержание доступного фосфора на 1 г/м<sup>3</sup>.

### Третий вопрос: Сколько фосфора необходимо для поддержания содержания доступного фосфора на критическом уровне?

Ротамстедский опыт продолжался, но в период с 1993 г. по 1999 г. фосфорные удобрения не вносились. К 1999 г. содержание доступного фосфора в почве находилось в диапазоне от 2 до 31 мг P/кг, что позволило оценить отзывчивость на фосфорные удобрения в зависимости от содержания доступного фосфора в почве. С 2002 г. по 2006 г. под озимую пшеницу, ежегодно вносили 20 кг P/га для возмещения максимального выноса элемента зерном и соломой на тех участках, где фосфорные удобрения ежегодно вносили с 1986 г. по 1991 г. Эта доза фосфорных удобрений позволила поддерживать содер-

**Таблица 2.** Содержание доступного фосфора (по Олсену), максимальная урожайность зерна озимой пшеницы, вынос фосфора зерном и соломой, ежегодная доза фосфорных удобрений и коэффициент выноса фосфора

Содержание доступного фосфора, мг/кг почвы, в 2004 г.	9	14	23	31
Урожайность зерна озимой пшеницы, т/га	7.1	7.8	7.9	7.9
Вынос фосфора зерном и соломой, кг/га	14	27	19	19
Ежегодная доза фосфорного удобрения, кг P/га	20	20	20	20
Коэффициент выноса фосфора, %	70	85	95	95

жание подвижного фосфора на уровне 1999 г.

Результаты этого опыта показывают, что максимальная урожайность зерна была получена при содержании доступного фосфора в почве на критическом уровне и его поддержании путем возмещения выноса элемента урожаем. В этом случае эффективность использования фосфора из удобрений, применяемых ежегодно, превышала 90% (**табл. 2**).

В **табл. 2** показано, что максимальная урожайность была на уровне 7.9 т/га, при этом соответствующее содержание доступного фосфора было 23 мг P/кг почвы. При повышении содержания доступного фосфора до 31 мг P/кг урожайность не возрастала. На почве, содержащей доступного фосфора менее, чем 14 мг P/кг, урожайность снизилась, что могло привести к финансовым потерям фермера. Поддержание содержания доступного фосфора в почве на критическом уровне путем возмещения элемента, вынесенного надземной биомассой, привело к более чем 95%-ной эффективности использования фосфора из ежегодно вносимых удобрений. Аналогичные результаты были получены, в опыте, описанном Макколлумом (McCollum, 1991), в котором возмещение фосфора, вынесенного с урожаем, поддерживало критический уровень содержания доступного фосфора, определяемого по методу Мелиха-1.

### Выводы

В данном обзоре о состоянии фосфора в почве и эффективности использования фосфора из минеральных удобрений предполагается, что почвенный фосфор распределен между четырьмя пулами в зависимости от его доступности для поглощения корнями растений и степени экстрагируемости реагентами, используемыми в почвенных анализах. Предполагается также, что эти два показателя тесно коррелируют.

Эта концепция имеет практическое значение для эффективного использования фосфорных удобрений. В большинстве почв содержание фосфора в пуле, легкодоступном для растений, должно быть увеличено до критического уровня, при котором урожайность не лимитируется недостатком фосфора и таким образом способствует наиболее эффективному использованию других элементов питания, необходимых для достижения оптимальной урожайности, особенно азота. Для большинства почв, в которых содержание доступного фосфора поддерживается около критического уровня, возмещение фосфора, ежегодно выносимого с урожаем, обычно приводит к высокой эффективности использо-



вания фосфора, превышающей 90% при оценке «балансовым методом». В настоящее время разрабатывается схема опыта и идет поиск спонсоров для дальнейшей разработки концепции о критическом уровне содержания доступного фосфора для разных систем земледелия, типов почв и климатических условий.

Дж. Джонстон – старший научный сотрудник фонда Лоуса, Ротамстедская опытная станция, Великобритания (Lawes Trust, Rothamsted Research, Harpenden, UK. AL5 2JQ). E-mail: johnny.johnston@rothamsted.ac.uk

Д-р Сайер – сотрудник президента Наресуанского университета, Пхитсанулок, Тайланд. E-mail: keiths@nu.ac.th

## Литература

Johnston, A.E. and P.R. Poulton. 1977. Rothamsted Experimental Station Report for 1976, Part 2: 53-85.

Johnston, A.E. 2001. Principles of crop nutrition for sustainable food production. Proceedings 459. York, UK, International Fertilizer Society. 39 pp.

McCullum, R.E. 1991. Agron. J. 83, 77-85.

Syers, J.K., A.E. Johnston, and D. Curtin. 2008. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 18. Rome, Italy.

Перевод статьи и адаптация – к.б.н. Иванова С.Е.

Переводчик выражает благодарность д.б.н. Романенкову В.А. и к.б.н. Носову В.В. за ценные советы.

# Как способ внесения может повысить эффективность калийных удобрений

Т.С. Мюррелл

Агрономическая эффективность калийных удобрений – это прибавка урожая на единицу действующего вещества внесенного удобрения. Эффективность внесения однократной высокой дозы калийных удобрений может быть сравнима с эффективностью ежегодного внесения относительно невысоких доз, что позволяет фермерам гибко планировать внесение удобрений в оптимальное время и наиболее подходящим способом. При внесении невысоких доз ленточный способ обычно более эффективен, чем разбросной. При минимальной обработке почвы глубокое ленточное внесение калийных удобрений может быть более эффективным для адекватного питания растений в засушливых условиях.

Фермеры применяют два основных способа внесения удобрений: разбросное и ленточное. При разбросном внесении калийные удобрения равномерно распределяются на поверхности почвы. Удобрение может быть оставлено на поверхности почвы при беспашотной обработке почвы или запахано на глубину нескольких сантиметров. При ленточном внесении удобрение размещается узкими полосами (лентами). Ленты могут располагаться на поверхности почвы или на определенной глубине.

Эффективность каждого метода зависит главным образом от системы земледелия, используемых агротехнических приемов и возделываемых сортов, а также условий окружающей среды. В настоящей статье мы более подробно рассмотрим эффективность калийных удобрений при выращивании кукурузы в севообороте с соей в кукурузном поясе умеренной зоны США. Обработка посевов механизирована, расстояние между рядами растений – 76 см. Кукурузный гибрид обычно высевают в апреле или мае, а убирают урожай в октябре. Обычно наиболее интенсивное поглощение калия растениями из почвы происходит в июне. Средняя норма высева составляет от 74 до 86 тыс. семян/га. Калийное удобрение, как правило, вносят разбросным способом осенью, после уборки сои. Весной следующего года сеют кукурузу. Пахотные земли находятся в различных формах собственности. При этом фермеры часто обрабатывают и собственные участки, находящиеся в частной собственности, и арендуемые.

## Эффективность калийных удобрений

Использование термина «эффективность» часто подразумевает «получение большего при минимальных вложениях». Эффективность можно рассчитать различными способами, однако мы определяем, какую прибавку урожая дает применение калийных удобрений – это называют агрономической эффективностью (АЭ). Ее рассчитывают как отношение прибавки урожая в результате применения калийного удобрения к количеству внесенного удобрения и выражают в кг зерна/кг  $K_2O$ .

Чаще всего эффективность рассчитывают для одного вегетационного сезона, однако это неприменимо в случае разового внесения высокой дозы в запас на несколько лет. Периодическое однократное внесение высоких доз может оказаться таким же эффективным приемом, как и ежегодное применение невысоких доз. Например, в исследованиях Малларино с сотр. (Mallarino et al., 1991), проведенных в штате Айова (США), в севообороте кукуруза-соя сравнивали эффективность однократного внесения высокой дозы калийных удобрений, внесенных разбросным способом, в результате которого к началу исследований в почву было внесено 675 кг  $K_2O$ /га, с ежегодным внесением 54–81 кг  $K_2O$ /га вразброс (табл. 1). Через 10 лет общее количество внесенного калийного удобрения составило 675 кг  $K_2O$ /га в обоих вариантах опыта. Полученные величины АЭ были почти одинаковы: 10.6 и 10.0 кг зерна/кг  $K_2O$  для ежегодного внесения и

**Табл. 1.** Сравнение агрономической эффективности (АЭ) калийного удобрения через 10 лет после начала опыта. Варианты опыта: однократное внесение 675 кг  $K_2O$ /га в начале опыта и ежегодное внесение в дозе 54–81 кг  $K_2O$ /га (Mallarino et al., 1991).

Доза удобрений	Всего внесено К за 10 лет (кг $K_2O$ /га)	Суммарная отзывчивость кукурузы (прибавка урожая)	Суммарная отзывчивость сои (прибавка урожая)	Общая отзывчивость (прибавка урожая)	АЭ (кг зерна / кг $K_2O$ )
54–81 кг $K_2O$ /га в год	675	5207	1922	7129	10.6
675 кг $K_2O$ /га	675	5584	1183	6767	10.0

Примечание: Суммарная прибавка урожая кукурузы и сои была рассчитана за 5 лет возделывания для каждой культуры. Урожайность зерна кукурузы приведена к влажности 15.5%, а урожайность зерна сои – нет.

однократного внесения высокой дозы удобрений соответственно.

Обычно высокую дозу удобрений в запас на несколько лет вносят, если земля находится в частной собственности фермера, цена калийного удобрения сравнительно невысока, и имеются финансовые возможности для одновременной покупки большого количества удобрения. Ежегодное внесение более низких доз удобрений часто используют, если земля арендована, а финансовые возможности ограничены. Однако в этом случае затраты на удобрения в большей степени зависят от колебания цен на удобрения.

### Основные принципы ленточного внесения удобрений

Ленточное внесение калийных удобрений часто используют для получения высокой прибавки урожая при низкой дозе удобрений. Оно имеет два ключевых преимущества перед разбросным внесением: 1) удобрение можно вносить в поверхностный слой почвы рядом с рядами растений, где оно становится доступным для развивающихся корневых систем, и 2) удобрение накапливается в полосе, создавая со временем зоны, обогащенные доступным для растений калием. Зоны с высоким содержанием калия имеют критическое значение в начальный период вегетации, когда корни кукурузы наиболее активно поглощают калий.

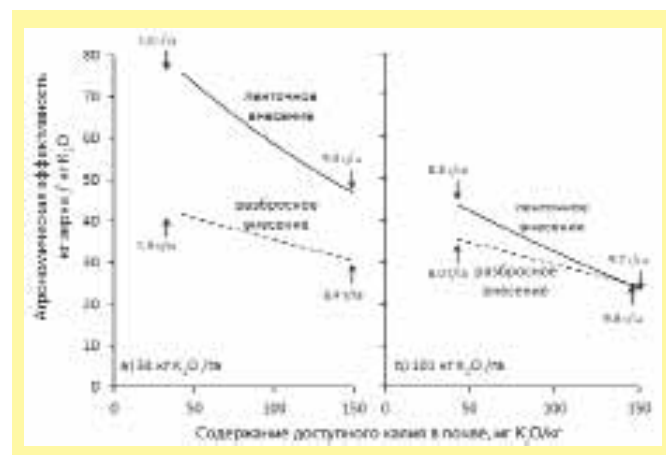
В классическом исследовании по сравнению ленточного и разбросного способов внесения удобрений (Parks and Walker, 1969) более высокие значения АЭ были получены при ленточном внесении удобрений (рис. 1). При более низкой дозе калийного удобрения (34 кг  $K_2O$ /га) были получены более высокие значения АЭ, чем при высокой дозе (101 кг  $K_2O$ /га) (рис. 1а и 1б). Это связано с быстрым ростом урожайности кукурузы при внесении низкой дозы калийного удобрения. При высокой дозе (рис. 1б) значение АЭ было меньше, но общий уровень урожайности был выше. Это важный момент при рассмотрении вопроса об эффективности. Наша цель – добиться оптимальной, а не максимальной эффективности. Поэтому необходимо учитывать достигнутый уровень урожайности, а также некоторые другие параметры функционирования экосистемы.

На рис. 1 можно увидеть и другую важную закономерность. При высоком уровне содержания калия

в почве различия между эффективностью ленточного и разбросного способов внесения удобрений уменьшаются, особенно при внесении высоких доз калийного удобрения. В действительности при внесении высоких доз калийного удобрения эффективность разбросного внесения удобрений должна превышать эффективность ленточного внесения. Почему? Это связано с объемом удобренной почвы.

Недостаток ленточного внесения удобрений - неравномерное распределение элементов питания в почве. Ранее в опытах с молодыми (17-дневными) растениями кукурузы было показано, что для максимального роста необходима доступность калийного удобрения для 50% корней (рис. 2) (Claassen and Barber, 1977). Эти результаты показывают, что при ленточном внесении калийных удобрений расположение лент в почве должно меняться, чтобы со временем увеличить объем удобренной почвы. Многие фермеры сочетают однократное разбросное внесение больших доз калийного удобрения с ленточным внесением. При разбросном внесении удобряется больший объем почвы, тогда как ленточное внесение обеспечивает образование зон с высоким содержанием калия, доступного для корневых систем молодых растений.

При ленточном внесении калийного удобре-



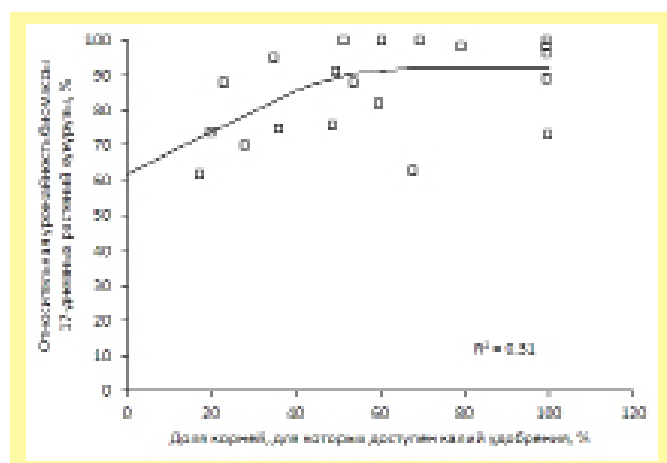
**Рис. 1.** Агрономическая эффективность применения калийного удобрения под кукурузу при ленточном и разбросном внесении в дозах: а) 34 кг  $K_2O$ /га и б) 101 кг  $K_2O$ /га. Отзывчивость кукурузы рассчитывали при помощи модели множественной регрессии. Для каждого способа внесения приведена расчетная урожайность при низком и высоком содержании калия в почве. (Parks and Walker, 1969).

ния следует одновременно вносить фосфорное или азотное удобрение, или оба. Почему? Ответ связан с особенностями роста корней. Когда корни кукурузы растут в зоне с высоким содержанием азота или фосфора, механизмы гормональной обратной связи растения дают команду об активном ветвлении корней. Корни в таких зонах образуют вторичные, третичные и др. ответвления, что приводит к скоплению корней в обогащенной зоне. Не обязательно происходит образование новых корней, скорее большая часть корней располагается в пределах ленты внесения удобрений. Однако внесение только калийных удобрений не приводит к этому результату. Без азотных или фосфорных удобрений корни растений прорастают через ленту внесения калийных удобрений. Из двух элементов питания, вносимых совместно с калием, фосфор не мигрирует далеко и его время нахождения в почве превышает длительность одного сезона, также как и для калия, а ленты азотных удобрений обычно существуют в почве в течение относительно коротких промежутков времени. Таким образом, при совместном ленточном внесении фосфора и калия создается зона обогащения, которую корни растений могут использовать в течение нескольких лет.

### Ленточное внесение удобрений при минимальной обработке почвы для предупреждения возможного негативного влияния засушливых условий

При минимальной или нулевой обработке почвы происходит стратификация доступных для растений форм калия в почве. Поверхностный слой почвы содержит больше доступных форм калия, чем более глубокие слои. Это превышение может быть 2-3-кратным (Karathanasis and Wells, 1990).

Переход с глубокой обработки почвы при вспашке к поверхностному при минимальной обработке влияет не только на распределение доступных форм калия в почве. Способ обработки также определяет, из каких слоев почвы кукуруза берет калий. В 80-х



**Рис. 2.** Биомасса 17-дневных растений кукурузы, % от максимальной биомассы при различных долях объема корней, расположенных в зоне с высоким содержанием калия (Claassen and Barber, 1977).

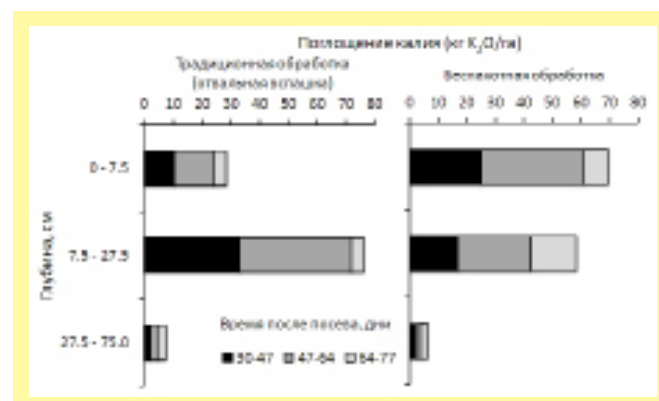
годах 20-го века группа исследователей Университета Пердью сравнила традиционную (отвальную) вспашку с нулевой обработкой почвы (Mackay et al., 1987). Исследователи объединили проведение полевых опытов с использованием механистической модели и получили интересные результаты. Эти результаты, приведенные на **рис. 3**, показывают, что кукуруза, выращиваемая на почве при нулевой обработке, поглощает больше калия из самого верхнего слоя почвы, чем при традиционной обработке. Авторы пришли к следующему заключению:

«Системы с минимальной обработкой почвы могут быть менее устойчивыми к неблагоприятным условиям выращивания в периоды активного поглощения питательных веществ (в кукурузном поясе США - в конце июня и начале июля) из-за увеличения зависимости от содержания калия... в поверхностном слое почвы. Поэтому можно рекомендовать глубокое внесение... калийного удобрения после нескольких лет беспашотной обработки почвы для снабжения... калием корней, растущих в более глубоких слоях почвы, и снижения зависимости растений от содержания питательных элементов в поверхностном слое почвы.»

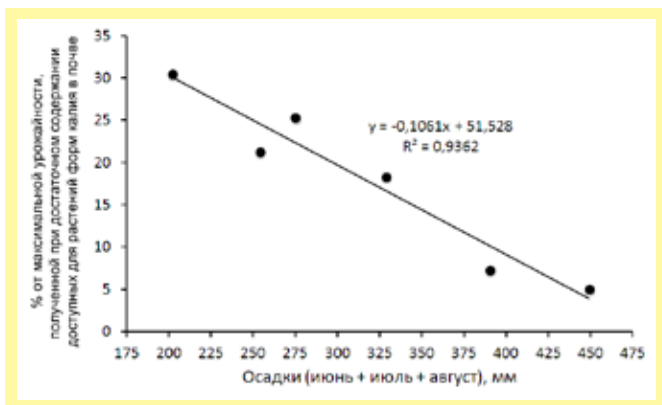
Несколькими годами раньше один из этих исследователей обнаружил, что отзывчивость кукурузы на применение калийного удобрения была выше в засушливые годы (Barber, 1959). На **рис. 4** показано, что урожайность кукурузы в засушливые годы повышалась на 30%, а в более влажные годы отзывчивость кукурузы на калийные удобрения была гораздо ниже.

Все эти данные указывают на возможность более глубокого внесения калийного удобрения в почву для увеличения объема удобренной почвы и обеспечения его доступности растениям и при минимальных обработках почвы, особенно в засушливых условиях. Аналогичные результаты были получены в исследованиях, проведенных почти десять лет спустя.

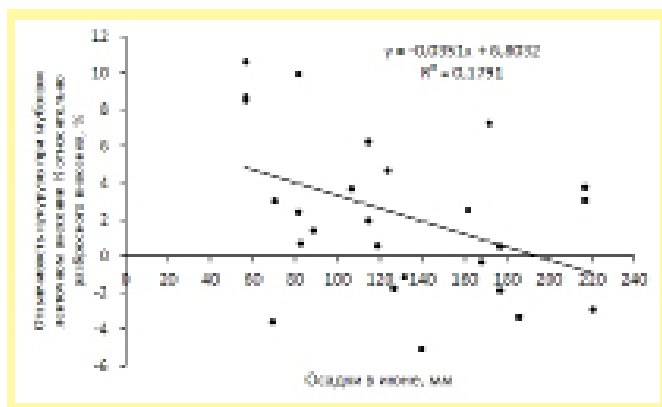
В штате Айова (США) исследователи вносили калийное удобрение лентами на глубину 15–20 см от поверхности почвы (Bordoli and Mallarino, 1998). Ширина лент была около 2.5 см. Кукурузу высевали над этими лентами, так что ряды растений оказывались



**Рис. 3.** Поглощение калия из почвы на глубине 0–7.5, 7.5–27.5 и 27.5–75 см при разных методах обработки почвы (традиционная и беспашотная), измеренное в течении вегетационного сезона в периоды 30–47, 47–64 и 64–77 дней после посева (Mackay et al., 1987).



**Рис. 4.** Отзывчивость кукурузы на зерно на калий при различных уровнях суммы осадков в июне, июле и августе, % от максимальной урожайности, полученной при достаточном содержании доступных для растений форм калия в почве (Barber, 1959).



**Рис. 5.** Отзывчивость кукурузы на зерно при глубоком ленточном внесении калийного удобрения при различных уровнях суммы осадков в июне, % от урожайности кукурузы, полученной при разбросном внесении калийного удобрения. Положительные величины соответствуют большей урожайности при ленточном внесении удобрения (Bordoli and Mallarino, 1998).

точно над лентами. Опыты проводили как в опытных хозяйствах, так и на полях фермеров. На одних участках наблюдали отзывчивость кукурузы, на других – нет. Объединение результатов, полученных на всех исследуемых участках, показало, что глубокое ленточное внесение калийного удобрения увеличивало урожайность кукурузы примерно на 0.2 т/га в опытных хозяйствах и примерно на 0.6 т/га на фермерских полях. Повышение урожайности наблюдалось, даже если пробы почвы, отобранные с глубины 15 см, показывали достаточное или повышенное содержание доступных для растений форм калия.

Авторы отмечали, что обнаруживается корреляция между отзывчивостью кукурузы на калий и погодными условиями, как и предполагали исследователи из Университета Пердью:

«Вероятно, отзывчивость на глубокое ленточное внесение калийного удобрения была связана с погодными условиями, особенно с влажностью почвы... Полученные корреляции дают основание предположить, что прибавка урожая при глубоком ленточном внесении калийного удобрения была выше в годы, когда в июне было мало осадков»

Эти результаты, которые не были графически представлены в исходной публикации, приведены на

**рис. 5.** На рисунке видно, что существует тенденция, хотя и не очень сильная, к повышению урожайности при снижении количества осадков в июне – в период, когда в растениях происходит активное накопление элементов питания.

## Резюме

Для получения максимальной прибавки урожая от внесения калийных удобрений необходимо учитывать систему земледелия, используемые агротехнические приемы и особенности возделываемых сортов, а также условия окружающей среды. Фермеры, выращивающие кукурузу в кукурузном поясе США, используют различные способы для достижения максимальной эффективности от внесения калийных удобрений. Периодическое однократное внесение высоких доз удобрения в запас на несколько лет, по-видимому, так же эффективно, как и ежегодное применение относительно невысоких доз. При низком содержании доступных для растений форм калия в почве внесение невысоких доз лентами более эффективно. Однако при внесении повышенных доз ленточное и разбросное внесение калийных удобрений может быть одинаково эффективно. При минимальной обработке почвы глубоко расположенные ленты калийных удобрений под рядами растений могут способствовать решению проблем питания растений в период активного поглощения элементов питания в засушливых условиях.

*Д-р Мюррелл – директор МИПР по северу Центрального района США, e-mail: smurrell@ipni.net.*

## Литература

- Barber, S.A. 1959. Relation of fertilizer placement to nutrient uptake and crop yield: II. Effects of row potassium, potassium soil level, and precipitation. *Agron. J.* 51:97-99.
- Bordoli, J.M. and A.P. Mallarino. 1998. Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agron. J.* 90:27-33.
- Claassen, N. and S.A. Barber. 1977. Potassium influx characteristics of corn roots and interaction with N, P, Ca, and Mg influx. *Agron. J.* 69:860-864.
- Karathanasis, A.D. and K.L. Wells. Conservation tillage effects on the potassium status of some Kentucky soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:800-806.
- Mackay, A.D., E.J. Klavivko, S.A. Barber, and D.R. Griffith. 1987. Phosphorus and potassium uptake by corn in conservation tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:970-974.
- Mallarino, A.P., J.R. Webb, and A.M. Blackmer. 1991. Soil test values and grain yields during 14 years of potassium fertilization of corn and soybean. *J. Prod. Agric.* 4:562-566.
- Parks, W.L. and W.M. Walker. 1969. Effect of soil potassium, potassium fertilizer and method of fertilizer placement upon corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 33:427-429.

*Перевод статьи и адаптация – к.б.н. Иванова С.Е. – вице-президент МИПР по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку.*

# Программирование урожайности озимой пшеницы в зависимости от почвенно-климатических условий и системы применения удобрений

Устименко Е.А., Есаулко А.Н.

*Показано, что оптимизация питания растений азотом, фосфором и калием – это мощный фактор повышения урожайности и качества зерна при возделывании озимой пшеницы на черноземах выщелоченных Ставропольского края. Так, внесение минеральных удобрений в максимальной дозе (N126P80K72) способствовало росту урожайности зерна на 87-93%. Изученные методы расчета доз удобрений обеспечили получение планируемого уровня урожайности 4 т/га. Исходя из средней урожайности за 3 года, планируемые уровни урожайности 5.0 и 6.0 т/га не были достигнуты, но наибольшая точность программирования урожайности получена при расчете доз удобрений по методике В.В. Агеева.*

**П**рограммирование урожайности сельскохозяйственных культур – это комплекс взаимосвязанных мероприятий, своевременное и качественное выполнение которых обеспечивает получение рассчитанного уровня урожайности заданного качества при одновременном повышении плодородия почвы и удовлетворении требований в области охраны окружающей среды (Есаулко и др., 2013). Задача программирования урожайности состоит в том, чтобы определить потенциальные возможности определенной культуры или сорта применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям (Есаулко и Устименко, 2012). Такие данные можно получить при непосредственном проведении полевого эксперимента, но можно также использовать сортовые особенности, выявленные по результатам сортоиспытаний (Есаулко и др., 2012; Устименко, 2013).

Для апробации разработанных подходов к программированию урожайности озимой пшеницы в Учебно-опытном хозяйстве Ставропольского государственного аграрного университета в 2010-2012 гг. были проведены полевые опыты. Возделывался сорт озимой пшеницы Зустрич – среднеспелый (273-282 дня), среднерослый и устойчивый к полеганию. Это сорт степного экотипа, обладающий высокой экологической пластичностью, засухоустойчивостью и морозостойкостью. По качеству он относится к сильным пшеницам (содержание белка – 12.0-13.5%, клейковины – 27-28%).

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный мощный тяжелосуглинистый. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной. Величина  $pH_{KCl}$  в среднем составила 6.70. Почва характеризуется средней обеспеченностью гумусом (5.1-5.6%), а также подвижными формами фосфора (в среднем 22 мг  $P_2O_5$ /кг почвы) и калия (240-260 мг  $K_2O$ /кг почвы) по методу Мачигина. Предшественник – горох. Делянки размещались по методу рандомизированных повторений, повторность опыта – 3-х кратная. Общая площадь делянки составила 40 м<sup>2</sup> (10 м × 4 м), а учетная – 22 м<sup>2</sup>.

Расчет доз минеральных удобрений на планируемую урожайность озимой пшеницы 4.0, 5.0 и 6.0 т/га проводился по двум методикам. В соответствии с первым подходом, разработанным В.В. Агеевым (Агеев и Подколзин, 2006), дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитывались следующим образом:

$$D = \frac{(B - BK_n)}{K_y} 100, \text{ где:}$$

D – доза  $P_2O_5$  и  $K_2O$ , кг/га;

B – вынос  $P_2O_5$  и  $K_2O$  с планируемым урожаем зерна с учетом побочной продукции, кг/га;

$K_n$  – коэффициент использования фосфора и калия из почвы от выноса с планируемым урожаем зерна с учетом побочной продукции (0.47-0.66 для фосфора и 0.58-0.70 для калия с учетом содержания в почвах подвижных форм фосфора и калия и планируемой урожайности);

$K_y$  – коэффициент использования фосфора и калия из удобрений (40 и 70% соответственно).

Дозы азотных удобрений рассчитывались по преобразованной формуле:

$$D = \frac{B_{(N)} - B_{(P_2O_5)} K_{n(P_2O_5)} K}{K_y} 100, \text{ где:}$$

K – отношение выноса N с планируемым урожаем зерна к выносу  $P_2O_5$  с планируемым урожаем зерна (с учетом побочной продукции);

$K_y$  – коэффициент использования азота из удобрений (70%).

Согласно второй методике, разработанной специалистами Ставропольского НИИСХ и ГЦАС «Ставропольский» (Петрова и др., 1987), дозы удобрений были рассчитаны по формуле:

$$D = UVK_k, \text{ где:}$$

U – планируемая урожайность зерна, ц/га;

B – вынос N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  с 1 ц планируемого урожая зерна с учетом побочной продукции, кг;

$K_k$  – коэффициент компенсации выноса элементов питания основной и побочной продукцией за счет удобрений (0.49-0.52 для азота, 1.10-1.36 для фосфора и 0.30-0.43 для калия в зависимости от планируемого уровня урожайности).

Кроме того, был включен контрольный вариант (без удобрений) и вариант со средне-рекомендованными дозами удобрений для данной почвенно-климатической зоны. Хлористый калий вносили под вспашку, аммофос – при посеве, аммиачную селитру – в ранневесеннюю подкормку.

Погодные условия в годы проведения исследований

Годы	Сумма осадков, мм												за год
	по месяцам												
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	
2009-2010	85	70	13	68	21	53	36	68	25	94	22	70	625
2010-2011	5	67	83	19	24	19	17	46	52	87	107	54	580
2011-2012	75	11	10	20	20	37	17	37	13	38	96	83	457
Средне-многолетнее	54	43	46	41	32	27	34	53	70	90	80	53	623

Вариант опыта	Методика расчета**	Планируемая урожайность, т/га	Количество продуктивных стеблей на 1 м, шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Контроль	-	-	373	23	0.98	34.0
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub> *	-	-	394	25	0.97	35.2
N <sub>60</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub>	1	4.0	402	27	1.04	36.4
N <sub>68</sub> P <sub>44</sub> K <sub>24</sub>	2		404	25	1.00	36.1
N <sub>105</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1	5.0	403	26	1.04	36.7
N <sub>90</sub> P <sub>67</sub> K <sub>40</sub>	2		425	28	1.03	37.1
N <sub>126</sub> P <sub>80</sub> K <sub>72</sub>	1	6.0	432	28	0.99	37.2
N <sub>110</sub> P <sub>82</sub> K <sub>51</sub>	2		431	30	1.07	37.5

\* Усредненная рекомендация для почвенно-климатической зоны.  
 \*\* 1 – по В.В. Агееву, 2 – согласно разработкам СНИИСХ и ГЦАС «Ставропольский».

Вариант опыта	Методика расчета	Планируемая урожайность, т/га	Урожайность, т/га				Клейковина, %	ИДК, ед.	Белок, %
			2009-2010	2010-2011	2011-2012	Среднее			
Контроль	-	-	3.06	3.12	2.63	2.94	17.1	80	10.5
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub>	-	-	4.59	4.30	3.60	4.16	22.3	73	11.3
N <sub>60</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub>	1	4.0	3.82	4.15	3.72	3.90	23.7	75	11.0
N <sub>68</sub> P <sub>44</sub> K <sub>24</sub>	2		4.18	4.39	3.93	4.17	24.3	72	11.3
N <sub>105</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1	5.0	5.22	4.63	4.34	4.73	25.5	72	11.5
N <sub>90</sub> P <sub>67</sub> K <sub>40</sub>	2		4.63	5.17	4.21	4.67	24.9	73	11.1
N <sub>126</sub> P <sub>80</sub> K <sub>72</sub>	1	6.0	5.86	6.02	4.91	5.60	27.0	75	12.5
N <sub>110</sub> P <sub>82</sub> K <sub>51</sub>	2		5.68	5.80	4.61	5.36	26.3	73	12.7
НСР <sub>0.05</sub>	-	-	0.37	0.27	0.32				

\* Усредненная рекомендация для почвенно-климатической зоны.  
 \*\* 1 – по В.В. Агееву, 2 – согласно разработкам СНИИСХ и ГЦАС «Ставропольский».  
 Для качественных показателей зерна даны средние значения за 3 года.

характеризовались неравномерным выпадением осадков (табл. 1). Годовая сумма осадков была ниже средне-многолетней величины за исключением 2009-2010 гг. В годы исследований наблюдался повышенный температурный режим – среднегодовая температура воздуха была на 1.1-1.4°C выше среднемноголетнего показателя. Наиболее благоприятные агрометеорологические условия для формирования урожая культуры сложились в 2010-2011 гг. При этом сумма осадков за август-июль была ниже среднемноголетних значений (на 7%), однако их более равномерное распределение способствовало оптимальной влагообеспеченности посевов и формированию наибольшей урожайности озимой пшеницы. Среднегодовая температура воздуха в 2010-2011 гг. оказалась на 1.4°C выше среднемноголетнего значения, достигнув 10.6°C. Крайне неблагоприятные погодные условия складывались в 2011-2012 гг. Не-

равномерное распределение осадков в весенне-летний период оказало негативное влияние на формирование урожая озимой пшеницы в данном сезоне.

В табл. 2 представлены данные по влиянию изученных доз минеральных удобрений на структуру урожая озимой пшеницы – плотность продуктивного стеблестоя, массу зерна с колоса, число зерен в колосе и массу 1000 зерен в среднем за 3 года. Согласно полученным результатам, густота продуктивного стеблестоя изменялась в наибольшей степени (диапазон: 373-432 шт./м<sup>2</sup>) в зависимости от уровня минерального питания растений по сравнению с остальными показателями продуктивности озимой пшеницы. При внесении изученных доз минеральных удобрений отмечалось увеличение густоты продуктивных стеблей на 21-59 шт./м<sup>2</sup> по сравнению с естественным агрохимическим фоном. Наибольшая густота продуктивных сте-

блей (431-432 шт./м<sup>2</sup>) получена в вариантах опыта, где дозы удобрений рассчитывались на максимальную планируемую урожайность 6.0 т/га (варианты с внесением N126P80K72 и N110P82K51).

Применение минеральных удобрений способствовало увеличению числа зерен в колосе – разница с контролем составила 2-7 шт. Наибольшее число зерен в колосе (30 шт.) было сформировано в варианте с внесением N110P82K51. Применение всех изученных доз удобрений, за исключением среднерекомендованных для зоны (N60P60K30), также улучшало массу зерна с колоса. Разница по сравнению с контролем при этом составила от 1 до 9% в зависимости от расчетных доз удобрений. Аналогично озерненности колоса, наибольшая масса зерна с колоса (1.07 г) была получена в варианте с внесением N110P82K51. Применение всех изученных доз удобрений повышало и массу 1000 зе-

рен. Однако в меньшей степени этому способствовала усредненная для зоны система применения удобрений (N60P60K30) – масса 1000 зерен в данном варианте возросла лишь на 4%, тогда как в остальных вариантах данный показатель вырос на 6-10% по сравнению с контролем. Наиболее полновесное зерно было сформировано при внесении N110P82K51. Масса 1000 зерен в данном варианте была максимальной (37.5 г).

Изученные системы применения удобрений достоверно повышали урожайность озимой пшеницы во все годы исследований (табл. 3). Так, прибавка урожайности относительно контроля в 2009-2010 гг. составила 0.76-2.80 т/га (25-92%), в 2010-2011 гг. – 1.03-2.90 т/га (33-93%), а в 2011-2012 гг. – 0.97-2.28 т/га (37-87%). Таким образом, следует отметить, что минеральное питание растений азотом, фосфором и калием имеет огромное значение для формирования урожайности озимой пшеницы.

При оптимизации минерального питания озимой пшеницы, исходя из планируемого уровня урожайности 4.0 т/га, нами установлено, что все изученные методы расчета доз минеральных удобрений показывают довольно высокую точность программирования урожайности. Отмечается более высокий уровень продуктивности культуры (4.17 т/га в среднем за 3 года) при внесении N68P44K24, то есть при использовании 2-ой методики. Аналогичная урожайность (в среднем 4.16 т/га) была достигнута и при внесении среднерекомендованных для зоны доз удобрений (N60P60K30). При расчете доз удобрений по 1-ой методике (N60P34K34) урожайность была ниже на 6% (в среднем 3.90 т/га).

При планировании более высокого уровня урожайности (5.0 т/га) оба метода расчета доз удобрений также достаточно хорошо себя зарекомендовали, так как наблюдалось незначительное отклонение от программируемой урожайности в сторону уменьшения. Несколько лучшая точность программирования урожайности получена при расчете доз удобрений по методике В.В. Агеева.

Однако при планируемой урожайности 6.0 т/га были выявлены достаточно существенные различия в достигнутом уровне урожайности при использовании разных методов расчета доз удобрений. Использование методики В.В. Агеева (N126P80K72) позволило получить 5.60 т/га зерна в среднем за 3 года. При 2-ом подходе к расчету доз удобрений (N110P82K51) урожайность была несколько ниже и составила в среднем 5.36 т/га, то есть разница с планируемым уровнем урожайности достигла 11%. В тоже время статистически значимых различий в урожайности по годам между данными двумя вариантами опытов не наблюдалось. Следует отметить,



Рис. 1. Состояние посевов озимой пшеницы в 2009 г. (4 декабря).



Рис. 2. Снопы растений с 4-х опытных делянок в 2010 г. (пробная площадка для определения биологического урожая – 0.25м<sup>2</sup>). Варианты опыта (слева направо): контроль, усредненная рекомендация для зоны, N126P80K72 и N110P82K51

что в наиболее благоприятном по агрометеорологическим условиям 2010-2011 гг. при использовании обоих методов расчета доз удобрений урожайность озимой пшеницы была наиболее близка к уровню 6.0 т/га.

Повышение качества зерна озимой пшеницы имеет исключительно важное значение. Представленные в табл. 3 результаты свидетельствуют о том, что применение всех изученных доз удобрений способствовало увеличению содержания клейковины в зерне – на 5.2-9.9% в среднем за 3 года исследований по сравнению с контрольным вариантом. При этом наибольшее содержание клейковины (27.0 и 26.3%) было получено в вариантах с внесением максимальных доз удобрений (соответственно N126P80K72 и N110P82K51). Применение всех изученных доз минеральных удобрений также способствовало получению клейковины хорошего качества – показания прибора ИДК составили 72-75 ед. Достоверное повышение содержания белка (на 2.0-2.2%) было получено только при внесении удобрений в максимальных дозах (N126P80K72 и N110P82K51).

Рекомендуемые производству системы удобрений с внесением N110P82K51 и N126P80K72, то есть при расчете на планируемую урожай-

Таблица 4. Экономическая эффективность производства озимой пшеницы (в среднем за 3 года).

Показатель	Вариант опыта		
	Контроль	N <sub>126</sub> P <sub>80</sub> K <sub>72</sub>	N <sub>110</sub> P <sub>82</sub> K <sub>51</sub>
1. Цена 1 т зерна, руб.	8200	9000	9000
2. Денежная выручка с 1 га, руб.	24108	50400	48240
5. Производственные затраты на 1 га, руб.	13250	22410	20880
6. Себестоимость 1 т зерна, руб.	4506	4001	3895
7. Прибыль с 1 га, руб.	10858	27990	27360
8. Уровень рентабельности, %	82	125	131

ность 6 т/га, экономически наиболее выгодны (табл. 4). Уровень рентабельности в указанных вариантах опытов составил соответственно 125 и 131% в среднем за 3 года.

Таким образом, оптимизация минерального питания растений азотом, фосфором и калием – это мощный фактор повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы при возделывании на черноземах выщелоченных Ставропольского края. Изученные методы расчета доз удобрений обеспечили получение программируемого уровня урожайности озимой пшеницы 4 т/га. Исходя из средней урожайности за 3 года, планируемые уровни урожайности 5.0 и 6.0 т/га не были достигнуты, но наибольшая точность программирования урожайности получена при расчете доз удобрений по методике В.В. Агеева.

Есаулко А.Н. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Устименко Е.А. – аспирантка 3-го года обучения. e-mail: ustimenko\_elena\_26@mail.ru.

Кафедра агрохимии и физиологии растений ФГБОУ ВПО Ставропольского государственного аграрного университета (г. Ставрополь).

Авторы признательны региональному директору Международного института питания растений по Югу

и Востоку России В.В. Носову за помощь в подготовке статьи.

## Литература

- Есаулко А.Н., Голосной Е.В., Фурсова А.Ю., Устименко Е.А., Айсанов Т.С. и Донцов А.Ф. 2013. Влияние азотных подкормок различными формами удобрений на урожайность озимой пшеницы на черноземе выщелоченном. В кн.: Применение современных ресурсосберегающих инновационных технологий в АПК. С. 5-8.
- Есаулко А.Н. и Устименко Е.А. 2012. Инновации в науке, 15: 103-107.
- Есаулко А.Н., Устименко Е.А. и Гуруева А.Ю. 2012. Эффективность программирования урожайности озимой пшеницы на черноземе выщелоченном Ставропольской возвышенности. В кн.: Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. Т. 46. № 4. С. 95-98.
- Устименко Е.А. 2013. Оптимизация применения доз и способов внесения азотных удобрений под озимые культуры в Ставропольском крае. В кн.: Молодые ученые СКФО для АПК региона и России. С. 41-43.
- Агеев В.В. и Подколзин А.И. 2006. Агрохимия (Южно-Российский аспект): Учебник для студентов вузов. Т. 2 (Под ред. В.В. Агеева). Ставрополь: Ставропольский ГАУ. 480 с.
- Петрова Л.Н., Чернов А.Я., Шустикова Е.П., Подколзин А.И., Карандашов Л.Г. и Булавинов А.В. 1987. Методические указания для расчета потребности и распределения фондов минеральных удобрений в колхозах и совхозах Ставропольского края. Ставрополь. 20 С.

## Итоги конкурса научных работ студентов и аспирантов — 2013

Подведены итоги очередного ежегодного конкурса научных работ студентов и аспирантов Scholar Award-2013. Победителем от региона Восточная Европа и Центральная Азия стала Устименко Елена Александровна, аспирант Ставропольского государственного аграрного университета.

В 2006 г. Елена поступила на агрономический факультет Ставропольского государственного аграрного университета, который окончила с отличием в 2011 г. В том же году поступила в аспирантуру на кафедру агрохимии и физиологии растений агрономического факультета и одновременно стала ассистентом кафедры. Тема ее диссертационной работы: «Программирование урожайности озимой пшеницы в зоне умеренного увлажнения на основе оптимизации применения минеральных удобрений». Научный руководитель – проф. кафедры агрохимии и физиологии растений Есаулко А.Н. В работе сравниваются региональные научные подходы к расчету доз минеральных удобрений под озимую пшеницу.

Елена – автор и соавтор 27 научных публикаций, в том числе книги «Физиология и биохимия растений: рабочая тетрадь» (2013 г.). Имеет два акта внедрения результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ. Прошла курсы повышения квалификации в Кубанском и Саратовском государственном аграрном университете, стажировалась в ГЦАС «Ставропольский» и ВНИИ агрохимии.

Елена – участник многих международных научно-практических конференций среди студентов, аспирантов и молодых ученых, включая электронные конференции, всероссийских и международных конкурсов среди молодых специалистов. Имеет несколько грантов на проведение научно-исследовательских работ.



В рамках общественной работы Елена отвечает за патриотическое воспитание студентов агрономического факультета и участвует в волонтерском движении университета.

Главная ее цель на ближайшую перспективу – защита кандидатской диссертации, а затем – продолжение научных исследований по минеральному питанию растений, изучение зарубежного опыта и активное распространение современных агрохимических знаний среди сельхозпроизводителей края.



# Студенческая премия - 2014

Международный институт питания растений ежегодно проводит конкурс научных работ студентов и аспирантов в области питания растений в основных сельскохозяйственных регионах мира. С 2009 года конкурс проводится в России, Украине и Казахстане в рамках программы института по Восточной Европе и Центральной Азии.

**П**ремия в размере 2000\$ присуждается студентам старших курсов и аспирантам за научные работы в области питания растений и разработки систем применения удобрений.

Премия присуждается только студентам и аспирантам и не зависит от получения других премий. Никаких специальных требований к претендентам не предъявляется.

## Адрес для подачи документов:

- <https://www.ipni.net/scholar/learn>
- Задать вопросы, получить дополнительную информацию о конкурсе и помощь при заполнении заявки вы можете, отправив письмо на адрес нашего филиала:  
>[ipni-eeca@ipni.net](mailto:ipni-eeca@ipni.net)<  
или по телефону: 8 (495) 580-64-14

## Условия участия

К участию в конкурсе допускаются студенты, магистранты и аспиранты. В конкурсе можно участвовать только до завершения срока обучения. После завершения срока обучения участие в конкурсе не допускается. Среди аспирантов предпочтение отдается тем, у кого до окончания срока обучения остается как минимум один год. Работы будут в первую очередь оцениваться с точки зрения соответствия целям Международного института питания растений.

Принимаются работы в следующих областях: почвоведение, агрохимия, растениеводство, агрономия, экология, почвоведение, физиология растений.

Победители не могут повторно участвовать в конкурсе, премия присуждается только один раз.



**IPNI**  
**SCHOLAR AWARD**

*for continuation of study and research*

Для участия в конкурсе необходимы следующие документы:

- Отсканированная зачетная книжка (удостоверение о сдаче кандидатских минимумов), средний балл.
- Отсканированные три рецензии на работу, одна из них – от научного руководителя. Письма должны быть оформлены на официальном бланке организации, подписаны автором. Необходимо указать электронный адрес и телефон рецензента.
- Краткое описание работы, позволяющее оценить ее оригинальность, глубину, информативность, новизну и соответствие целям IPNI. Крайне желательно приложить полную версию работы (опубликованные статьи) в электронном виде.
- Необходимо кратко перечислить имеющиеся награды и премии, указать место работы, карьерные планы, общественную и другую деятельность участника.

## Сроки

Документы должны быть поданы **до 30 апреля 2014 г.**

Результаты будут объявлены в сентябре 2014 г. на сайте программы в Восточной Европе и Центральной Азии >[eeca-ru.ipni.net](mailto:eeca-ru.ipni.net)< и на >[www.ipni.net](http://www.ipni.net)<.

Награда будет вручена сразу после публикации результатов.



# Обзор научных публикаций

В этом разделе приводится краткий обзор наиболее интересных, на наш взгляд, публикаций в отечественных научных изданиях

## Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально-черноземных областей России

П.А. Чекмарев, С.В. Лукин, *Агрохимия*, №4, 2013

Отмечено снижение обеспеченности пахотных почв ЦЧО подвижными формами фосфора (по Чирикову) в результате отрицательного баланса фосфора в земледелии. Средневзвешенное содержание подвижного фосфора в почвах Курской и Белгородской областей (133 и 116 мг  $P_2O_5$ /кг почвы соответственно), тем не менее, остается на уровне, близком к оптимальному. Содержание подвижных форм калия (по Чирикову) в пахотных почвах ЦЧО за последние годы существенно не изменилось. Для стабилизации калийного режима черноземов и обеспечения сбалансированного минерального питания сельскохозяйственных культур в перспективе рекомендуется увеличить поступление калия до уровня, обеспечивающего интенсивность баланса не менее 80%.

## Влияние локального внесения калийных удобрений в чернозем на урожайность ячменя

К.В. Павлов, М.М. Новиков, *Агрохимия*, №4, 2013

Представлены результаты вегетационных опытов, проведенных в 2008-2011 гг. Почва – верхняя половина гумусо-аккумулятивного горизонта чернозема обыкновенного тяжелосуглинистого (отобранная из старовозрастной лесополосы Каменной Степи). Почва характеризуется повышенной обеспеченностью подвижным калием (по Чирикову) – 98 мг  $K_2O$ /кг почвы, а также повышенным содержанием обменного калия (по Масловой) – 195 мг  $K_2O$ /кг почвы и высоким содержанием необменного калия (по Пчелкину) – 1150 мг  $K_2O$ /кг почвы. В работе показаны преимущества локального внесения калийного удобрения (на глубину 4-5 см в виде раствора хлористого калия) по сравнению с его равномерным внесением в использованный в опытах объем почвы.

## Урожайность кукурузы и содержание хлорофилла в растениях при внесении в почву кремниевых удобрений

В.В. Матыченков, А.А. Кособрюхов, Е.А. Бочарникова, *Агрохимия*, №5, 2013

В условиях 2-летнего микрополевого опыта на целинной дерново-подзолистой почве Московской обл. изучено влияние кремниевых удобрений на продуктивность кукурузы. Внесение аморфного кремнезема в почву приводило к увеличению содержания доступного фосфора и кремния в почвенном растворе и положительно влияло на накопление биомассы рас-

тениями как в 1-й, так и во 2-й год исследований. Например, прибавка урожайности сухой зеленой массы кукурузы в 1-ый год внесения максимальной дозы кремния достигала 39%. Установлено, что величина биомассы кукурузы, а также содержание хлорофилла в листьях тесно коррелируют с содержанием монокремниевой кислоты в почве (актуальный кремний).

## Удобрение арбуза на черноземе обыкновенном в условиях орошения

Е.В. Агафонов, С.А. Гужвин, А.Я. Чернов, В.С. Барыкин, *Агрохимия*, №6, 2013

Представлены результаты полевых опытов по применению минеральных удобрений и бактериальных препаратов под арбуз, проводившихся на черноземе обыкновенном в Ростовской обл. (2007-2009 гг.). В среднем за 3 года исследований наибольшая прибавка урожайности (31%) получена в варианте N120P160K160. Увеличение дозы азота до 160 кг/га было нецелесообразным, несмотря на низкую обеспеченность почвы нитратным азотом перед посевом (<50 кг  $N-NO_3$ /га в слое почвы 0-60 см).

Сделан вывод о том, что при обеспеченности почвы (слой 0-20 см) подвижным фосфором  $\leq 40$  мг  $P_2O_5$ /кг (по Мачигину) необходимо применение фосфорных удобрений в дозе 160 кг  $P_2O_5$ /га, а при обеспеченности почвы  $> 40$  мг  $P_2O_5$ /кг – в дозе 120 кг  $P_2O_5$ /га. При повышенной обеспеченности чернозема обыкновенного подвижным калием необходимость применения калийных удобрений определялась условиями азотного и фосфорного питания растений. Калий рекомендуется вносить в дозе, равной дозе фосфора.

Наилучшие результаты были получены при совместном применении минеральных удобрений и бактериальных препаратов со штаммами ассоциативных азотфиксаторов. Использование данных препаратов позволяло сэкономить порядка 43-48 кг минерального азота/га.

## Влияние удобрений на питательную ценность ячменя ярового на дерново-подзолистой почве

О.В. Чухина, К.А. Усова, Ю.П. Жуков, *Плодородие*, №3, 2013

Изучение влияния удобрений на урожайность и кормовые показатели зерна ячменя проводили в 2010-2012 гг. на базе длительного полевого опыта в Вологодской обл., развернутом как в пространстве, так и во времени. Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая. Севооборот: викоовсяная смесь – озимая рожь – картофель – ячмень. Показано, что минеральная с максимальной дозой азота (N120P40K60) и органоминеральная (N30P10K20 + последствие 40 т/га торфонавозного компоста) системы удобрения прак-

тически не различались по влиянию на продуктивность ячменя. Прибавка урожайности зерна составила 0.75-0.78 т/га. Самый высокий сбор сырого белка (291 кг/га) наблюдался при минеральной системе удобрения с внесением максимальной дозой азота.

## Роль серы и микроэлементов в питании кукурузы, выращиваемой на серой лесной почве в условиях последействия макроудобрений

*В.И. Никитишн, В.И. Личко, В.Е. Остроумов, Агрохимия, №6, 2013*

Минеральное питание растений кукурузы изучалось в вегетационных опытах на серой лесной почве. Почва отбиралась с делянок многолетнего полевого опыта, получавших минеральные удобрения в дозе N120P80K60 на протяжении 2-х ротаций 9-польного севооборота (1979-2005 гг.). В дальнейшем (2006-2010 гг.) поле находилось в состоянии залежи.

В 2-х опытах из 3-х установлено положительное действие S и Zn на усвоение растениями макро- и микроэлементов, обеспечившее достоверное повышение продуктивности надземной биомассы. Усиление корневого питания и рост урожайности кукурузы под влиянием Mn, Mo и Se отмечены только в одном из опытов.

При выращивании кукурузы в условиях дефицита тепла применение Cu и Co вызывало ухудшение режима питания растений макроэлементами и снижение продуктивности надземной биомассы, а положительное действие цинка на продуктивность кукурузы ограни-

чивалось вследствие выраженного дефицита фосфора. Формирование продуктивности кукурузы в большей степени определялось уровнем потребления растениями Zn и Mn и слабо зависело от поступления в них Cu.

## Влияние органических и минеральных удобрений на продуктивность севооборотов и плодородие почвы в условиях Северо-Запада

*Л.В. Тиранова, Е.А. Тиранов, Плодородие, №3, 2013*

Исследования проводили на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в Новгородской обл. (2006-2010 гг.). В полевом опыте изучали эффективность применения минеральных, а также органических удобрений, включая солому зерновых культур, зеленую массу сидеральных паров (викоовсяной смеси, люпина узколистного) и промежуточных озимых культур (рожь и рапс). Опыт включал 4 модели 5-польных полевых севооборотов с насыщенностью бобовыми культурами 20%.

Показано, что применение органических удобрений растительного происхождения в короткоротационных полевых севооборотах обеспечивает прирост гумуса в пахотном горизонте почвы за ротацию севооборота. При этом рекомендуется внесение минеральных удобрений в дозах N51P60K60 в среднем за ротацию севооборота. Данная система применения органических и минеральных удобрений позволяет получать повышенную продуктивность агроэкосистем с удельной энергоемкостью производства менее 3 ГДж/т к.е.

## Обзор научных публикаций

### BETTER CROPS with plant food, № 1, 2013

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

#### Динамика поглощения элементов питания современными гибридами кукурузы

*Р.Р. Бендер, Дж.В. Хагеле, М.Л. Руффо и Ф.Е. Билоу*

Биотехнологии, селекция и достижения в агрономии способствовали росту урожайности кукурузы. При этом уделяется мало внимания системе применения удобрений под современные гибриды кукурузы для максимального использования потенциала урожайности. Текущая практика применения удобрений, основанная на разработках десятилетней давности, может не отвечать потребностям в элементах питания современных гибридов, защищенных от насекомых-вредителей с помощью методов генной инженерии и возделываемых при более высокой густоте стояния, чем раньше. Переоценка динамики поглощения и распределения элементов питания по органам растений может стать основой для совершенствования текущей практики применения удобрений с целью максимального использования потенциала урожайности.

#### Стратегии по снижению эмиссии метана с рисовых полей в низинах Южной Бразилии

*Ц. Байер, Т. Чорнак, Р.О. Соуса, Л.С. да Силва, В.Б. Скивиттаро, П.Р.Ф. да Силва, С.Дж. Джакомини и Ф. де К. Кармона*

Минимизация обработки почвы, снижение использования поливной воды и диверсификация растениеводства – это эффективные стратегии снижения эмиссии  $\text{CH}_4$  с рисовых полей при одновременном повышении урожайности. Несмотря на то, что в период 1990-2005 гг. площади посевов риса выросли на 30%, и Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC) прогнозировала соответствующий 30-процентный рост эмиссии  $\text{CH}_4$ , распространение технологий минимальной обработки почвы способствовало снижению общей эмиссии  $\text{CH}_4$  на 4%. Эмиссия  $\text{CH}_4$  на единицу производимого зерна при этом снизилась на 48%. Это пример того,

как использование локальных показателей эмиссии парниковых газов позволяет учитывать влияние новых технологий, что невозможно при использовании обобщенных показателей.

## Влияние концентраций и соотношений азота, фосфора и калия в питательных растворах на рост и развитие многолетних древесидных растений

Х.Т. Краус и С.Л. Уоррен

Интенсивность цветения и рост многолетних травянистых растений зависят от концентраций и соотношений азота, фосфора и калия в питательных растворах. Результаты опытов по изучению влияния N, P и K и их соотношений на рост и развитие растений из указанной группы свидетельствуют о том, что у них такие же потребности в азоте, как и у однолетних травянистых растений. Однако при выращивании многолетних травянистых растений, как и многолетних древесидных растений, требуются более низкие концентрации P и K в питательных растворах.

## Управление питанием растений исходя из концепции «4-х правил» применения удобрений (4R): Сравнение систем применения азотных удобрений при возделывании кукурузы в штате Айова

П.М. Киверига и Т.М. Блэкмер

Обобщены результаты двух широкомасштабных исследований, проведенных на полях фермеров. Для установления различий между основными системами применения азотных удобрений использовались данные цифровой аэрофотосъемки в поздние фазы развития растений, определялось содержания нитратного азота в стеблях кукурузы, а также проводилось картирование урожайности. Сравняется пять систем применения азотных удобрений, различающихся по срокам внесения и используемым формам удобрений.

## Экспертная программа расчета доз удобрений (Nutrient Expert™): Инструмент для оптимизации применения удобрений и повышения продуктивности кукурузы

Т. Сатьянараяна, К. Маджумдар, М. Памполино, А.М. Джонстон, М.Л. Джат, П. Кучанур, Д. Шриилата, Дж.К. Шекхар, Дж. Кумар, Р. Махешваран, Р. Картикьян, А. Велаятам, Г. Дхибакаран, Н. Сактхивель, С. Воллалканнан, К. Бхарати, Т. Шерене, С. Суганья, П. Джанаки, Р. Баскар, Т.Х. Ранджит, Д. Шивамурти, Дж.Р. Аладакатти, Д. Чиплонкар, Р. Гупта, Д.П. Бирадар, С. Джейраман и С.Г. Патил

Использование рекомендаций, полученных с помощью Экспертной программы расчета доз удобрений (Nutrient Expert, NE), позволило фермерам Юга Индии оптимизировать применение минеральных

удобрений под кукурузу в текущих экономических условиях, когда повышаются цены на удобрения. Для проверки указанной модели на полях фермеров на Юге Индии было проведено 82 полевых опыта, в которых рассчитанные с помощью экспертной программы дозы удобрений сравнивались с практикой фермеров и рекомендациями по применению удобрений для каждого штата. Согласно полученным результатам, разработанная система поддержки принятия решений способствует повышению урожайности кукурузы в регионе, а также доходов фермеров.

## Комплексная обработка результатов опытов по изучению плодородия почв на уровне агроэкосистем с использованием мета-анализа

Л.Е. Пэрент и Т. Бруулсема

Исследования, основанные на концепции «4-х правил» применения удобрений (4R), должны учитывать комплексное взаимодействие между 4-мя ключевыми факторами (дозами, формами, сроками и способами внесения удобрений) и характерными для конкретной агроэкосистемы почвенно-климатическими факторами. Необходимо уделять большее внимание способам обработки данных, полученных в опытной сети. Мета-анализ обеспечивает статистическую строгость при анализе опытных данных.

## Важная роль удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур: Результаты исследований в провинции Хубэй

В. Вонг, Цз. Лу, Дж. Ли, Чж. Цзоу и В. Су

Результаты широкомасштабных многофакторных полевых опытов, проведенных на рисе, озимой пшенице, рапсе и хлопчатнике, свидетельствуют о том, что разработанные для конкретных почвенно-климатических условий рекомендации по применению азотных, фосфорных и калийных удобрений значительно повышают урожайность сельскохозяйственных культур. Кроме того, показано, что минеральные удобрения в настоящее время играют большую роль в формировании продуктивности культур по сравнению с прошлым периодом.

## Насколько важны фосфор и калий при возделывании сои в регионе Серрадо Бразилии?

Э.А.В. Франсиско

Бразилия стала крупнейшим мировым производителем сои, обогнав США. Основа данного достижения – создание благоприятных условий для устойчивого получения высоких урожаев на высокопродуктивных, но плохо обеспеченных элементами питания почвах в регионе Серрадо.

# Компании - члены IPNI



Agrium Inc.



Compass Minerals Speciality Fertilizers



Arab Fertilizer Association (AFA)



Intrepid Potash, Inc.



Arab Potash Company



K+S KALI GmbH



Белорусская калийная компания



The Mosaic Company



OCP S.A.



CF Industries Holdings, Inc.



PotashCorp PotashCorp



Canadian Fertilizer Institute (CFI)



Simplot



Fertiliser Association of India (FAI)



Sinofert Holdings Limited



International Fertilizer Association (IFA)



SQM



The Fertilizer Institute (TFI)



International Potash Institute (IPI)



Uralkali



Qatar Fertilizer Company



Uralchem



Toros Tarim



Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA)



International Raw Materials LTD



МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ  
ИНСТИТУТ

Восточная Европа и Центральная Азия

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

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

