

## СОДЕРЖАНИЕ

Проблемы оптимизации калийного питания сельскохозяйственных культур в земледелии Украины.....	2
Отзывчивость кукурузы на калийные удобрения в южной зоне Ростовской области.....	6
Действие и последствие калийных удобрений в Западной Сибири.....	9
Исследования по калийной тематике в Уругвае.....	13
Обзор научных публикаций.....	19

## Международный Институт Питания Растений

**Иванова С.Е.**, вице-президент программы по Восточной Европе и Центральной Азии  
*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. Ландышевая, 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*

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

Уважаемый читатель,  
17 августа 2016 г. в Белгороде в рамках VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева прошел гостевой симпозиум Международного Института Питания Растений (IPNI) “Эффективность калийных удобрений в современных системах земледелия”. В работе симпозиума приняли участие ученые из России, Украины и Аргентины. На страницах этого выпуска вестника мы публикуем результаты некоторых исследований, которые были представлены на нашем симпозиуме.



Участники симпозиума “Эффективность калийных удобрений в современных системах земледелия”, Белгород

В следующем году Международный Институт Питания Растений (IPNI) проводит международную конференцию “Frontiers of Potassium”, на которой соберутся ведущие ученые по калийной тематике со всего мира. Конференция состоится 25-27 января 2017 года в Риме. Ознакомиться с тематикой докладов и подать заявку на участие в конференции можно на сайте [www.KFrontiers.org](http://www.KFrontiers.org)



# Проблемы оптимизации калийного питания сельскохозяйственных культур в земледелии Украины

Христенко А.А. и Иванова С.Е.

*На основе данных современных методов почвенной диагностики дана объективная экспертная оценка калийного состояния основных типов почв Украины, разработан его прогноз на перспективу, а также предложены методы, позволяющие наиболее точно оценить калийное состояние почв. Показана эффективность использования калийных удобрений на основных типах почв. Обоснована агрономическая и экономическая целесообразность расширения сферы использования калийных удобрений на тяжелых почвах степной зоны.*

**К**ак известно, применение калийных удобрений не только повышает урожайность культур, но и улучшает качество получаемой продукции: повышает крахмалистость и вкусовые качества картофеля, сахаристость корнеплодов сахарной свеклы, накопление жира в семенах масличных культур, улучшает выполненность зерна злаковых культур. В этой связи интерес к проблеме калия в земледелии в последние годы возрастает не только в странах СНГ (Safoora Asadi, 2010; Bernardi A.C.C., Gimenez L.M., Machado P.L.O.A., 2011).

Эффективность использования калийных удобрений в земледелии Украины достаточно высока. Низкая прибавка урожая культур при их применении наблюдается лишь на почвах засушливой части степной зоны Украины (Носко Б.С., Прокошев В.В., 1999).

К сожалению, несмотря на эти факты, уровень применения калийных удобрений в последние годы резко упал. Если в 1986-1990 годах на гектар посевной площади с минеральными удобрениями вносилось 42 кг  $K_2O$ , то в настоящее время всего 8-11 кг  $K_2O$ , внесенных преимущественно в составе сложных удобрений.

Одна из причин такого спада — не совсем благоприятная социально-экономическая ситуация в стране. Кроме того, на наш взгляд, имеется еще один весомый фактор, определяющий данное явление — убежденность многих исследователей и земледельцев в том, что большинство почв тяжелого гранулометрического состава, хорошо обеспечены доступным растениям калием.

Многолетние исследования позволили прийти к выводу о том, что данное утверждение не вполне соответствует действительности. Одна из причин сложившегося ошибочного мнения кроется в несовершенстве почвенной диагностики и, как следствие этого, завышенной оценке калийного состояния тяжелых почв.

Исследования проводились в рамках совместного проекта ННЦ «ИПА имени А.Н. Соколовского» и Международного института питания растений (International Plant Nutrition Institute) 2011-2013 гг.

**Цель проекта** — установить закономерности калийного состояния почв Украины на основе данных современных методов почвенной диагностики и разработать рекомендации по эффективному использованию калийных удобрений.

## Методика и объекты исследования

Для решения поставленной задачи использовались материалы, полученные в длительных полевых стационарных опытах, заложенных на черноземах — типичном и оподзоленном. Кроме того, в 2011 году на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом (Слобожанское опытное поле, Харьковский район, Харьковская обл.) был заложен 3-летний полевой опыт (2011-2013 гг.). Проводились лабораторные исследования, а также был проведен статистический анализ фондовых материалов отдела агрохимии ННЦ ИПА (Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н.Соколовского»). Кроме того, проведено обобщение и анализ материалов автоматизированной информационной базы данных и материалов агрохимической службы страны.

Территория Украины в направлении с северо-запада на юго-восток разделяется на три основные зоны: Украинское Полесье, Лесостепь и Степь. Природные зоны существенно различаются годовой суммой активных температур и количеством выпадающих осадков. Вследствие этого почвы по типологическому составу очень неоднородны.

Особенно большой неоднородностью характеризуются почвы Полесья вследствие широкого спектра условий почвообразования. В данной зоне с ГТКV-IX Селянинова = 1.1-1.5 преобладают песчаные и глинисто-песчаные дерново-подзолистые, дерновые оподзоленные и дерновые оглеенные типы почв.

Почвообразующей породой большей территории зоны Лесостепи с ГТКV-IX = 0.9-1.8 служат лессы и лесовидные суглинки, преимущественно суглинистого гранулометрического состава. Почвенный покров в зависимости от растительного покрова представлен преимущественно светло-серыми лесными, серыми лесными, темно-серыми оподзоленными, черноземами оподзоленными, черноземами типичными.

Зона Степи характеризуется такими гидротермическими показателями: Северная Степь — 0.68-0.69, Южная Степь — 0.61-0.67 и Сухая Степь — 0.45-0.60. То есть большинство культур выращиваемых в этой зоне, испытывают дефицит влаги: регионы имеющие коэффициент ГТКV-IX менее 0.8 уже можно отнести к зоне рискованного земледелия.

Преобладают черноземы обыкновенные, южные, темно-каштановые, каштановые солонцеватые почвы главным образом тяжелосуглинистого и глини-

стого гранулометрического состава (Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисіль В.І., Величко В.А., 2005).

### Методы, позволяющие наиболее объективно оценить калийное состояние почв Украины

Установлено, что параллельное проведение химических анализов почв на основе разных нормативных документов часто приводит к получению противоречивой оценки обеспеченности почв калием.

Согласно данным “жестких” методов — кислотных или щелочных (стандарты СССР) — по мере утяжеления гранулометрического состава в направлении север-юг страны природная обеспеченность почв  $K_2O$  существенно возрастает. По данным солевого метода Дашевского (0.03% раствор  $MgSO_4$ ) естественное содержание подвижного калия практически не зависит от природной зоны и типа почв и находится в пределах 0.7-1.1 мг  $K_2O/100$  г почв (средняя обеспеченность).

Известно, что между данными определения  $K_2O$  в почве, получаемыми с помощью стандартов СССР (методы Кирсанова, Чирикова, Мачигина, Масловой и др.) и гранулометрическим составом почв (содержанием ила или физической глины) существует прямая зависимость, что часто ведет к искажению (завышению или занижению) реальной оценки калийного состояния почв (Христенко А.А., 2007; Прокошев В.В., Носов В.В., 2000). В этой связи стандартами Украины (ДСТУ) установлены нормы погрешности определения  $K_2O$  в зависимости от содержания физической глины и предложены соответствующие поправки.

Кроме того, стандартизированы солевые методы, в частности разработан стандарт на метод Дашевского (ДСТУ 7603). Необходимость разработки данного нормативного документа обусловлена тем, что результаты анализов почв по этому методу практически не зависят от значений их гранулометрического состава.

Прокошевым В.В. и Дерюгиним И.П. еще в 2000 году для метода Кирсанова были предложены группировка почв по содержанию подвижного калия с учетом гранулометрического состава (Прокошев, Дерюгин, 2000).

Сравнительная оценка точности методов показала, что применение метода Кирсанова (ГОСТ 26207) ведет к искусственному занижению оценки калийного состояния почв Украинского Полесья — 45 баллов (табл. 1). Это связано с тем, что почвы данной зоны, как правило, имеют легкий гранулометрический состав (менее 20 % физической глины), а исследования по разработке группировок обеспеченности калием (принятые и в Украине) явно проводились на более тяжелых почвах России.

Согласно математической модели, группировки для данного метода разрабатывались, вероятнее всего, на почвах, содержащих 42-46% физической глины. Отклонение количества физической глины

**Таблица 1.** Сравнительная оценка методов диагностики калийного состояния почв Украины (100 баллов - высшая точность).

Метод	Нормативный документ	Полесье	Лесостепь	Степь
Мачигина	ДСТУ 4114	-	120	140
Дашевского	Проект ДСТУ	100	100	110
Кирсанова	ГОСТ 26207	45	-	-
Кирсанова	ДСТУ 4405	70	-	-
Масловой	Проект ДСТУ	80	110	120
Чирикова	ГОСТ 26204	-	170	230
Чирикова	ДСТУ 4115	-	115	-

от этих значений на 1% автоматически искусственно завышает или занижает получаемые данные в среднем на 0.19 мг  $K_2O/100$  г почвы.

Применение метода Чирикова (ГОСТ 26204) ведет к искусственному завышению оценки обеспеченности некарбонатных почв зоны Лесостепи калием (170 баллов) и особенно тяжелых почв Степи (230 баллов).

Точность оценки плодородия почв Украины при использовании ДСТУ 4405 (метод Кирсанова) и ДСТУ 4115 (метод Чирикова) в сравнении с соответствующими ГОСТами СССР несколько повышается. Тем не менее, на наш взгляд, получить объективную оценку калийного состояния почв при широком (на миллионах гектаров) применении “жестких” кислотных методов чрезвычайно сложно.

### Экспертная оценка калийного состояния основных типов почв Украины на основе усовершенствованной системы почвенной диагностики

Средневзвешенные значения содержания  $P_2O_5$  — 10.0 мг/100 г и  $K_2O$  — 11.2 мг/100г почвы (по данным последнего тура обследования) являются завышенными вследствие несовершенства методов анализа почв и некорректной методики обобщения данных (без учета изменившейся площади обследования). Если в 1966-1970 годах площадь обследования пашни составляла 30.9 млн. га, то в 2006-2010 годах — всего 24.8 млн. га.

Это привело к существенному завышению средневзвешенных показателей, полученных агрохимслужбой страны и способствовало появлению феномена «самопроизвольного повышения» содержания  $P_2O_5$  или  $K_2O$  в почвах в условиях резко отрицательного баланса элементов питания в земледелии.

На основе данных, полученных с использованием национальной системы почвенной диагностики, и установленных закономерностей эволюции плодородия почв, можно с высокой степенью вероятности утверждать, что в настоящее время реальное средневзвешенное содержание подвижного фосфора и калия в пахотных почвах Украины составляет около 5.0 мг  $P_2O_5$  и 6.0 мг  $K_2O/100$  г почвы в пересчете на метод Чирикова.

Это объясняет хорошо известные эмпирические данные о высокой эффективности фосфорных и калийных удобрений на всех неокультуренных типах пахотных почв, в том числе черноземах (кроме почв,



нуждающихся в мелиоративном воздействии). Поэтому на всех неокультуренных почвах страны без применения соответствующих доз удобрений невозможно стабильно получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур нормативного качества продукции.

Согласно экспертной оценке, на данное время в почвах Украины содержится 0.8-1.0 мг/100г остаточного калия и 1.2-2.0 мг/100 г остаточного фосфора (средневзвешенное содержание). Это позволило в последние, относительно благоприятные по погодным условиям годы на фоне внесения N50P12K10 получать относительно высокие урожаи ряда сельскохозяйственных культур. Но данный трофический уровень и применяемые дозы удобрений не гарантируют стабильности урожая культур, а тем более, его дальнейшего роста.

### Прогноз динамики калийного состояния почв Украины

В результате статистической обработки материалов агрохимической паспортизации земель сельскохозяйственного назначения, а также данных полевых опытов были получены уравнения регрессии, а на их основе и формулы, позволяющие рассчитывать значения изменений калийного состояния почв (содержания подвижного калия) в разрезе климатических зон и страны в целом.

Согласно прогнозу, ожидаемая динамика уровня плодородия почв Украины следующая. Впервые за последние 10-15 лет, в течение которых наблюдалось постоянное падение уровня обеспеченности почв калием, можно ожидать слабую тенденцию к повышению содержания в почвах подвижного калия. Ожидаемое повышение средневзвешенного его содержания за 15 лет применения удобрений (с 2005 по 2020 гг.) в целом по Украине составит всего +0.3 мг  $K_2O$  /100 г почвы.

То есть в большинстве почв Украины средневзвешенное содержание подвижных форм калия до 2020 года останется практически на уровне природного.

### Эффективность калийных удобрений на почвах основных природных зон Украины

Известно, что при прочих равных условиях эффективность всех видов удобрений и особенно калия в Украине снижается от западных, более увлажненных, к восточным и юго-восточным, более засушливым провинциям.

По этой причине невысокая агрономическая эффективность калийных удобрений на черноземах обыкновенных, южных, темно-каштановых и каштановых почвах тяжелого гранулометрического состава степной зоны связана не с "хорошей" их обеспеченностью калием, а с недостатком влаги, характерным для зоны распространения данных почв.

Так, например, согласно полученной математической модели, при значении ГТКV-IX, соответству-

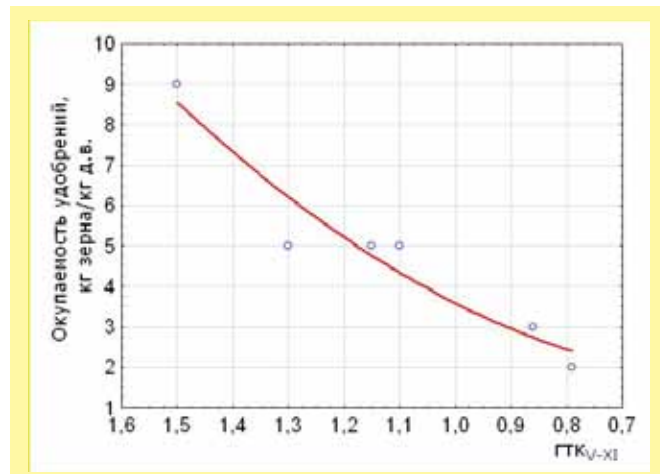


Рис. 1. Динамика окупаемости калийных удобрений (доза К60 на фоне NP) прибавкой урожая зерна кукурузы в направлении с северо-запада на юго-восток Украины

ющем коэффициенту, например, 1.6, окупаемость 1 кг  $K_2O$  удобрений составляет 9.9 кг зерна кукурузы, а при значении ГТКV-IX 0.95 – всего 3.3 кг зерна этой культуры (рис. 1).

Основное внесение калийных удобрений (под зяблевую вспашку) под приоритетные культуры (картофель, лен, озимая пшеница) эффективно на большинстве почв Украинского Полесья – 2.5 млн. га.

Основное внесение калийных удобрений (при условии высокой культуры земледелия) возможно в зоне Лесостепи на серых лесных почвах, темно-серых оподзоленных и черноземах оподзоленных (приоритетные культуры: сахарная свекла, озимая пшеница, кукуруза на зерно, рапс, картофель). Площадь пашни – 5.9 млн. га.

Как уже отмечалось, в условиях богары экономическая отдача от применения калийных удобрений на черноземах типичных (южная часть лесостепной зоны), обыкновенных и южных (зона Степи) значительно ниже, чем на почвах оподзоленного ряда.

В зоне Степи основное внесение калийных удобрений под большинство культур, как правило, нерентабельно.

Тем не менее, зная истинные причины низкой эффективности калийных удобрений в этой зоне, можно разработать приемы и способы, позволяющие существенно повысить агрохимический и экономический эффект от применения калийных удобрений.

Это прежде всего повышение уровня агротехники, широкое использование приемов, направленных на накопление и сохранение почвенной влаги, оптимизация азотно-фосфорного питания, точная диагностика плодородия почв, оптимизация способов внесения удобрений. Приоритетные культуры – озимая пшеница, кукуруза на зерно, рапс, подсолнечник.

В зоне Сухой Степи, на богаре (темно-каштановые почвы, каштановые солонцеватые, лугово-каштановые солонцеватые – около 3.2 млн. га) экономически оправдано внесение калия под озимые злаковые культуры только в небольших дозах в составе сложных удобрений под предпосевную культивацию или при посеве.

## Закономерности влияния удобрений на урожай и качество выращиваемых сельскохозяйственных культур на черноземе оподзоленном Левобережной Лесостепи Украины

Исследования, проведенные на основе полевого опыта (2011-2013 гг.) на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом показали высокую эффективность, а также экономическую целесообразность применения калийных удобрений на данной почве. Установлено, что оптимизация азотно-фосфорного питания растений позволяет существенно повысить отдачу от применения калийных удобрений.

Разработаны математические модели зависимости урожая зеленой массы кукурузы, зерна яровой пшеницы и корнеплодов сахарной свеклы от доз и соотношений калийных и азотно-фосфорных удобрений.

Так, например, зависимость урожая корнеплодов сахарной свеклы от доз и соотношений калийных и азотно-фосфорных удобрений описывается следующим уравнением:

$$Z = 238.68 - 0.022X + 0.17Y + 0.001X^2 + 0.002XY + 0.003Y^2$$

где  $Z$  – урожайность, ц/га,  $X$  – доза  $K_2O$ , кг/га,  $Y$  – доза  $N$  и  $P_2O_5$ , кг/га

Согласно модели получение максимального урожая может быть достигнуто вследствие сочетания разных доз и видов макроудобрений. В данном опыте для этого необходимо было внести 40 кг  $K_2O$ /га и по 105 кг  $N$  и  $P_2O_5$ /га, или 50 кг  $K_2O$ /га и по 100 кг  $N$  и  $P_2O_5$ /га, либо 70 кг  $K_2O$ /га и по 90 кг  $N$  и  $P_2O_5$ /га (рис. 2).

Локализация внесения калийных удобрений под предпосевную культивацию резко повышает эффективность применения калийных удобрений: в засушливых условиях 2011 года наивысший эффект как по урожайности корнеплодов сахарной свеклы, так и по

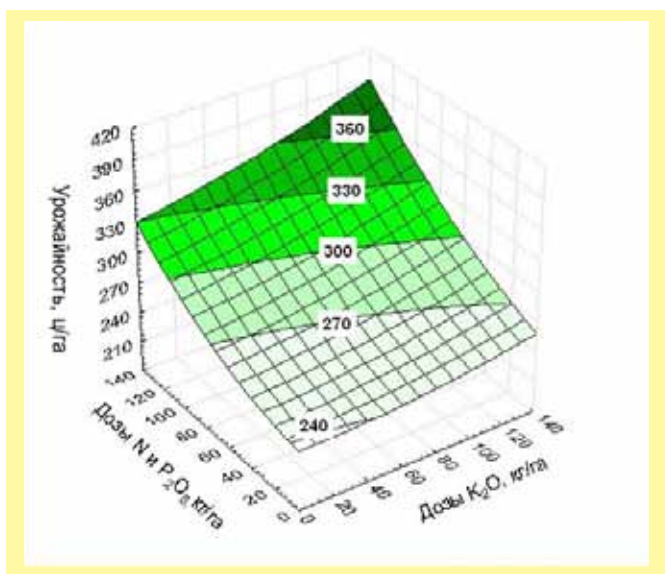


Рис.2. Зависимость урожая корнеплодов сахарной свеклы от доз калийных удобрений и оптимизации азотно-фосфорного питания

выходу сахара был получен именно при этом способе внесения. Локализация внесения удобрений под кукурузу на силос на 14-18% повышала урожайность этой культуры в сравнении с разбросным внесением.

Под воздействием внесения калийных удобрений отмечена четкая тенденция к увеличению сахаристости корнеплодов:

$$Y = 18.706 + 0.0014X$$

где  $Y$  – содержание сахара в корнеплодах, %,  $X$  – доза  $K_2O$ , кг/га

За счет влияния этого фактора, а также в результате увеличения урожайности выход сахара на вариантах с внесением калийных удобрений существенно возрастал.

## Экономическая эффективность применения удобрений на черноземах Левобережной Лесостепи Украины

Согласно полученному уравнению регрессии, наибольший эффект достигнут вследствие применения минеральных удобрений на черноземе оподзоленном под кукурузу на зеленую массу в дозе  $N90P90K40$ .

Опыт, проведенный в 2011 году на черноземе типичном тяжелосуглинистом, показал, что основное внесение азотно-фосфорно-калийных удобрений в больших дозах под сахарную свеклу ( $N120P120K120$ ) нерентабельно.

В опыте на черноземе оподзоленном, характеризующемся более благоприятным водным режимом, внесение калийных удобрений по фону  $NP$  (по 60 и 120 кг/га соответственно) существенно повысило прирост урожая корнеплодов сахарной свеклы и улучшило экономические показатели.

В данном опыте наибольший экономический эффект достигался при внесении калийных удобрений под сахарную свеклу в дозе  $K60-90$  на фоне  $N60P60$ , где рентабельность достигала 73%. На вариантах с внесением калийных удобрений в дозе  $K90-120$  на фоне  $N120P120$  себестоимость получаемой продукции существенно возрастала.

Результаты исследований по данному проекту позволили аргументированно обосновать агрономическую и экономическую целесообразность расширения зоны использования калийных удобрений. Только в Украине эта дополнительная площадь составляет более 5 млн. га.

В рамках проекта разработаны рекомендации по рациональному и эффективному использованию калийных удобрений на почвах Украины (Христенко А.А, Мирошниченко Н.Н, Гладких Е.Ю., 2013).

В рекомендациях отмечено, что важнейшим условием эффективного применения удобрений является безусловное соблюдение концепции "4-х правил" (4R Nutrient Stewardship) принятой земледельцами многих стран мира.

При разработке системы удобрения, распределении удобрений и расчета их доз предложено учитывать следующие факторы: приоритетность удоб-

рения культур; фактический уровень плодородия почв и соотношение подвижных форм элементов питания в почве; достигнутый уровень культуры земледелия и среднюю многолетнюю урожайность сельскохозяйственных культур; состав и свойства почв; рельеф местности; особенности современных технологий внесения удобрений.

Христенко А.А. — кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела агрохимии, Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского». Харьков, Украина; e-mail: [khristenko.an@mail.ru](mailto:khristenko.an@mail.ru)

Иванова С.Е. — кандидат биологических наук, вице-президент Международного Института Питания Растений по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку. e-mail: [sivanova@iprni.net](mailto:sivanova@iprni.net)

## Литература

Safoora Asadi. Influence of different potassium fertilizer sources on sunflower production: 19th World Congress of Soil Science, Soil

Solutions for a Changing World, 1 – 6 August 2010, Brisbane – Australia, 2010. – P. 16–18.

Bernardi A.C.C., Gimenez L.M., Machado P.L.O.A. Variable-Rate Application (VRA) of potassium fertilization for soybean in Brazil // *Electronic International Fertilizer Correspondent. Quarterly correspondent from IPI. International potash institute.* – e-ifc No. 27, June 2011. – P. 14–18.

Носко Б.С., Прокошев В.В. Калийні добрива в землеробстві України. – М: Міжнародний інститут калію, 1999. –55 с.

Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисіль В.І., Величко В.А. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України. – К.: Колообіг, 2005. – 304 с.

Христенко А.А. Оценка химических методов определения содержания подвижного калия в почвах // *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тематичн. наук. зб.* 2007. –Вип. 67. –С.90-98.

Прокошев В.В., Носов В.В. Теоретические и практические аспекты исследования некоторых методов определения калия в почве // *Почва — удобрение — плодородие.* — Минск: БелНИИПА, 2000. –С.92-98.

Христенко А.А, Мирошниченко Н.Н, Гладких Е.Ю. Рекомендации по эффективному использованию калийных удобрений на почвах Украины. — Харьков, 2013.- 36 с.

Прокошев В.В. и Дерюгин И.П. 2000. Калий и калийные удобрения. М.: «Ледум», 185 с.

# Отзывчивость кукурузы на калийные удобрения в южной зоне Ростовской области

Носов В.В., Бирюкова О.А. и Божков Д.В.

В краткосрочных полевых опытах, проведенных на черноземе обыкновенном с повышенной обеспеченностью подвижными формами калия, потребность во внесении калийных удобрений под кукурузу существенно возросла при формировании максимальной продуктивности данной культуры. Коэффициент использования калия растениями кукурузы из внесенных в повышенной дозе калийных удобрений в среднем за 5 лет исследований составил 41%.

Кукуруза – калиелюбивая культура, предъявляющая повышенные требования к уровню обеспеченности почв доступными для растений формами калия. Работы, проведенные на юге России, свидетельствуют о том, что калийному питанию кукурузы должно уделяться большее внимание (Шмалько и Багринцева, 2007; Турчин, 2007; Иванова и др., 2015). За последние 5 лет в Ростовской области в сельхозорганизациях (без учета микропредприятий) под кукурузу в среднем вносилось 3 кг  $K_2O$ /га (РОССТАТ, 2016), то есть условия калийного питания данной культуры в регионе зависят исключительно от почвенных резервов калия.

Нами была изучена эффективность применения калийных удобрений под кукурузу в серии однолетних полевых опытов, которые проводились в Целинском районе Ростовской области в течение 5-ти лет (2011-15 гг.). В 2011-2014 гг. выращивался гибрид Фурио, а в 2015 г. – гибрид П9175. Исследования проводились на черноземе обыкновенном со слабощелочной реакцией среды, низким содержанием гумуса, а также средним и повышенным содержанием подвижных форм фосфора и калия соответственно (метод Мачигина). Содержание обменного калия было

очень высоким и составило 426-466 мг  $K_2O$ /кг почвы (метод Масловой). Исходная агрохимическая характеристика почвы представлена в **табл. 1**.

Минеральные удобрения вносились под предпосевную культивацию. Кроме того, в рассматриваемых в данной статье вариантах опытов с внесением удобрений проводилась обработка семян сульфатом цинка. Изучались несколько повышенные дозы минеральных удобрений, чтобы исключить недостаток азота, фосфора и калия у растений. Условия проведе-

**Таблица 1.** Исходная агрохимическая характеристика чернозема обыкновенного.

Гумус (2011 г.), %	3.22
pH ( $H_2O$ )	7.68 – 7.85
$N-NH_4$ , мг/кг почвы	14.3 – 20.3
$N-NO_3$ , мг/кг почвы	8.0 – 15.9
Подвижный P (метод Мачигина), мг $P_2O_5$ /кг почвы	22.0 – 26.5
Подвижный K (метод Мачигина), мг $K_2O$ /кг почвы	306 – 395
Обменный K (метод Масловой), мг $K_2O$ /кг почвы	426 – 466

**Примечание:** Приведены средневзвешенные величины для слоя почвы 0-20 см (исходя из результатов анализа для слоев 0-5, 5-10 и 10-20 см).



Вариант опыта	2011	2012	2013	2014	2015	Среднее
Контроль	7.32	6.50	4.70	5.80	2.80	5.42
N <sub>100</sub> P <sub>80</sub>	8.28	7.25	5.84	7.08	3.43	6.38
N <sub>100</sub> P <sub>80</sub> K <sub>60</sub>	8.83	7.37	5.99	6.94	3.61	6.55
N <sub>100</sub> P <sub>80</sub> K <sub>30</sub>	-	-	-	6.91	3.55	-
НСР <sub>0.05</sub>	0.26	0.09	0.20	0.46	0.09	

**Примечания:** во всех вариантах, кроме контрольного, проводилась обработка семян сульфатом цинка; в 2011-2014 гг. выращивался гибрид Фурио, а в 2015 г. – гибрид П9175.

ния полевых опытов были детально описаны ранее (Носов и др. 2014). В 2014 г. в схему опытов был добавлен новый вариант, где основное внесение калийных удобрений проводится при посеве в небольшой дозе – 30 кг К<sub>2</sub>О/га (2 см сбоку семян).

Следует отметить, что наиболее благоприятные погодные условия наблюдались в 2011 г., когда в период от посева до физиологической спелости выпало 190 мм осадков. В 2012 г. этот показатель составил 124 мм, в 2013 г. – 125 мм, в 2014 г. – 93 мм, а в 2015 г. – 177 мм. Однако в 2015 г. оптимальные сроки посева были упущены из-за холодной и дождливой весны, поэтому период опыления кукурузы пришелся на наиболее жаркий и засушливый период.

Результаты проведенных опытов по изучению отзывчивости кукурузы на калийные удобрения в целом соответствуют уровню почвенного плодородия по калию. Достоверная прибавка урожайности зерна от применения калийных удобрений наблюдалась в 3-х из 5-ти лет исследований и составила 0.12-0.55 т/га или 2-7% (табл. 2). Максимальная прибавка урожайности от калия наблюдалась в наиболее благоприятном 2011 г. Следовательно, калийснабжающая способность изученной почвы все-таки недостаточна для удовлетворения потребностей растений в калии при высоком уровне продуктивности.

Сравнительное изучение отзывчивости гибридов кукурузы на минеральные удобрения (азотные и фосфорные), проведенное в течение двух лет в Ростовской области, свидетельствует о том, что гибрид Фурио характеризуется умеренной отзывчивостью (Лабынцев и др., 2012). В целом, об этом же свидетельствуют и результаты наших исследований. Возделываемый с 2015 г. гибрид П9175, по-видимому, относится к группе гибридов, высокоотзывчивых на применение минеральных удобрений. Так, прибавка урожайности от внесения НРК-удобрений

(и обработки семян цинком) у данного гибрида в крайне неблагоприятных условиях 2015 г. составила 29% по сравнению с контрольным вариантом, где минеральные удобрения не применялись. У гибрида Фурио в течение 4-х лет исследований (2011-14 гг.) прибавка урожайности зерна от аналогичной системы применения удобрений находилась в диапазоне 13-27%.

Исходя из имеющихся двухлетних данных, между вариантами с внесением вразброс несколько повышенной для изученной почвы дозы калийных удобрений (60 кг К<sub>2</sub>О/га) и внесением низкой дозы при посеве (30 кг К<sub>2</sub>О/га) не наблюдается статистически значимых различий (табл. 2). По-видимому, при хорошей обеспеченности чернозема обыкновенного доступными для растений формами калия, внесение калийных удобрений вразброс может быть заменено на их локальное внесение при посеве в меньшей дозе. Тем более, что кукуруза относится к культурам, которые отзываются на внесение в почву хлора в составе хлористого калия (4R Plant Nutrition..., 2012). Для окончательных выводов об эффективности стартового применения калийных удобрений под кукурузу в данных почвенно-климатических условиях, безусловно, требуется продолжение исследований.

Согласно имеющимся обобщениям, для формирования 1 т зерна с учетом побочной продукции кукуруза выносит из почвы 21-33 кг К<sub>2</sub>О/га (Прокошев и Дерюгин, 2000). В наших исследованиях данный показатель составил в среднем 29 и 32 кг К<sub>2</sub>О/га в вариантах с внесением N100P80 и N100P80K60 соответственно (табл. 3). С 1 т зерна в данных вариантах из почвы отчуждалось в среднем 4.4 и 5.6 кг К<sub>2</sub>О/га соответственно. С учетом достигнутых уровней урожайности отчуждение калия из почвы с зерном в варианте опыта с внесением азотно-фосфорных удобрений составило 18-41 кг К<sub>2</sub>О/га, а в среднем за 5 лет исследований – 28 кг К<sub>2</sub>О/га. Принимая во внимание, что калийные удобрения в хозяйствах района под кукурузу практически не вносятся, следует отметить соответствующий отрицательный баланс калия, складывающийся в земледелии данного региона.

В проведенных полевых опытах были рассчитаны показатели, которые стандартно используются для оценки эффективности применения минеральных удобрений. Под агрономической эффективностью (АЭ) применения калийных удобрений понималась окупаемость калия прибавкой урожая зерна кукурузы

Части растений	Вариант опыта	2011	2012	2013	2014	2015	Среднее
Зерно	N <sub>100</sub> P <sub>80</sub>	4.9	4.9	3.2	3.6	5.2	4.4
	N <sub>100</sub> P <sub>80</sub> K <sub>60</sub>	5.4	6.3	4.7	5.5	5.9	5.6
Остальная надземная биомасса	N <sub>100</sub> P <sub>80</sub>	25.1	19.8	19.6	20.5	37.7	24.5
	N <sub>100</sub> P <sub>80</sub> K <sub>60</sub>	24.4	21.6	18.9	24.4	44.9	26.8
Сумма	N <sub>100</sub> P <sub>80</sub>	30.0	24.7	22.8	24.1	42.9	28.9
	N <sub>100</sub> P <sub>80</sub> K <sub>60</sub>	29.8	27.9	23.6	29.9	50.8	32.4

Таблица 4. Анализ эффективности применения калийных удобрений (при сопоставлении вариантов с внесением 0 и 60 кг K <sub>2</sub> O/га).						
Показатель	2011	2012	2013	2014	2015	Среднее
АЭ <sub>к</sub> , кг зерна/кг K <sub>2</sub> O	9.2	2.1	2.5	-	3.1	4.3
КИУ <sub>к</sub> , %	24	44	13	62	61	41

зы. Коэффициент использования калия из удобрений растениями рассчитывался разностным способом по следующей формуле:

$$\text{КИУ (\%)} = ((V - V_0)/D)100, \text{ где:}$$

*КИУ – коэффициент использования калия из удобрений растениями;*

*V – вынос калия надземной биомассой растений в варианте с внесением данного элемента питания с удобрениями (кг/га);*

*V<sub>0</sub> – вынос калия надземной биомассой растений в варианте без внесения данного элемента питания с удобрениями (кг/га);*

*D – доза внесения калия (кг/га).*

Агрономическая эффективность применения калийных удобрений в дозе 60 кг K<sub>2</sub>O/га составила в среднем за 4 года 4.3 кг зерна/кг K<sub>2</sub>O (за исключением 2014 г.). Это относительно высокий показатель с учетом того, что в опытах вносились несколько повышенные дозы калия, чтобы гарантировать отсутствие недостатка калия у растений.

Коэффициент использования калия из удобрений растениями кукурузы сильно варьировал по годам исследований. Величина рассматриваемого показателя составила в среднем 41% (табл. 4). Следовательно, наблюдалась сравнительно невысокая эффективность использования калия из внесенных удобрений растениями. Следует отметить, что калийные удобрения не применялись в хозяйствах уже достаточно долгое время. Возможно, сказалось длительное истощение почвы по калию, которое может способствовать протеканию трансформационных изменений калийсодержащих глинистых минералов и, соответственно, усилению калийфиксирующей способности почвы (Соколова и др., 2001).

Проведенные исследования в целом продемонстрировали достаточно объективную оценку калийного состояния чернозема обыкновенного при использовании стандартного метода агрохимического анализа на содержание подвижных форм калия в почве. Была выявлена средняя корреляционная связь (R = 0.6) между содержанием калия в вытяжках ацетата и карбоната аммония. Предполагается, что при извлечении калия из почвы раствором карбоната аммония, так же как и раствором ацетата аммония, протекают в основном реакции ионного обмена между ионами аммония и ионами калия, то есть извлекается именно доступный растениям почвенный калий.

В заключение следует отметить, что, согласно полученным результатам, оптимизация минерального питания кукурузы при выращивании в относительно засушливых почвенно-климатиче-

ских условиях южной зоны Ростовской области способствует повышению продуктивности данной зерновой культуры. При повышенной обеспеченности подвижными формами калия чернозема обыкновенного, длительное время не получавшего калийных удобрений, наблюдалась сравнительно невысокая эффективность использования калия из внесенных удобрений растениями кукурузы. Тем не менее, потребность во внесении калийных удобрений под кукурузу существенно возросла при формировании максимальной продуктивности данной культуры.

*Носов В.В. – кандидат биологических наук, региональный директор Международного института питания растений по Югу и Востоку России; e-mail: vnosov@ipni.net.*

*Бирюкова О.А. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону); e-mail: olga\_alexan@mail.ru.*

*Божков Д.В. – ассистент кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону).*

## Литература

- РОССТАТ, 2016. [www.gks.ru](http://www.gks.ru)
- Шмалько И.А. и Багринцева В.Н. 2007. Влияние калийных удобрений на формирование урожая кукурузы. Материалы научн.-метод. Сопоставления ученых-агрохимиков Теграф. Сети опытов с удобрениями Сев. Кавказа. М.: ВНИИА. С. 155-160.*
- Турчин В.В. 2007. Обеспеченность чернозема обыкновенного различными формами калия и эффективность калийных удобрений на озимой пшенице и кукурузе на силос. Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. Персиановский, 24 с.*
- Иванова С.Е., Романенков В.А. и Никитина Л.В. 2015. Питание Растений. Вестник Международного института питания растений, 4: 2-4.*
- Носов В.В., Бирюкова О.А., Купров А.В. и Божков Д.В. 2014. Питание Растений. Вестник Международного института питания растений, 1: 5-8.*
- Лабынцев А.В., Пасько С.В. и Кравченко А.Н. 2012. Зерновое хозяйство России, 5: 42-47.*
- 4R Plant Nutrition: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition, Metric Version, 2012. (T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski, eds.). IPNI, Norcross, USA.*
- Прокошев В.В. и Дерюгин И.П. 2000. Калий и калийные удобрения. М.: «Ледум», 185 с.*
- Соколова Т.А., Прокошев В.В. и Носов В.В., 2001. Бюллетень ВИУА, 115: 99-101.*



# Действие и последствие калийных удобрений в Западной Сибири

Якименко В.Н. и Нечаева Т.В.

**К**алий относится к важнейшим элементам минерального питания растений, его вынос урожаем всегда больше, чем фосфора, а часто и азота. Благоприятный режим калия в агроценозах является одним из обязательных условий их эффективного функционирования. Тем не менее, использование калийных удобрений в земледелии Западной Сибири перманентно находится на минимальном уровне; даже в период наибольших масштабов химизации (1981-90 гг.) средняя доза их внесения в регионе не превышала 5 кг/га. В настоящее время калийные удобрения практически не применяются – при средней по региону дозе вносимых туков около 5 кг/га доля калия в общей структуре составляет 2-3%.

Оправданием для невнимания к режиму калия в агроценозах всегда служило, как правило, высокое валовое содержание этого элемента в основных пахотных почвах, с одной стороны, и слабый эффект от вносимых калийных удобрений в ряде проведенных опытов, с другой. Выполненный нами анализ региональных работ (Якименко, 2003; Якименко и Носов, 2012), свидетельствующих об отсутствии или низкой эффективности внесения калия, показал, что большинство опытов были краткосрочными, а дозы удобрений и урожайность – невысокими. Чаще всего выращивалась пшеница. Сделанные при таких условиях выводы о нецелесообразности использования калия являются, очевидно, недостаточно обоснованными. Учитывая постоянно нарастающее истощение пахотных почв в отношении калия, изучение их калийного состояния в связи с урожайностью выращиваемых культур, корректировка методов и градаций оценки обеспеченности почв этим элементом в настоящее время весьма актуальны.

В этой связи с 1988 г. нами проводятся опыты по изучению влияния баланса калия в агроценозах на калийное состояние различных зональных почв и продуктивность культур. Выращивались различные овощные и зерновые культуры в севооборотах, а также картофель и кукуруза на силос в монокультурах. Схе-

ма опытов, дозы вносимых минеральных удобрений и урожайность культур показаны нами ранее (Якименко, 2003). Максимальная эффективность калийных удобрений (на фоне NP) отмечалась на картофеле и кукурузе – урожайность увеличивалась в 1.5-2.4 раза по сравнению с фоном. При применении калийных удобрений их наибольшая агрономическая эффективность или окупаемость была получена при использовании относительно невысоких доз (30-75 кг  $K_2O$ /га в зависимости от культуры): яровая пшеница – 4 кг зерна, яровой ячмень – 6 кг зерна, кукуруза – 144 кг зеленой массы, капуста – 42 кг кочанов, томат – 100 кг плодов, лук – 80 кг луковиц, морковь – 175 кг корнеплодов, картофель – 141 кг клубней на кг внесенного калия. По нашим оценкам, применение калийных удобрений (совместно с NP) под яровую пшеницу на зональных почвах Западной Сибири (со средней обеспеченностью этим элементом) в текущих экономических условиях – это исключительно инвестиция в почвенное плодородие и страховка на случай неблагоприятных погодных условий. Так, порог окупаемости хлористого калия прибавкой урожая зерна сейчас составляет более 4.5 кг зерна/кг  $K_2O$  при окупаемости в опытах  $\leq 4.0$  кг зерна/кг  $K_2O$ . Таким образом, в настоящее время экономическую отдачу от калийных удобрений можно гарантированно получить только при возделывании овощных культур и картофеля, тем более, если учитывать не только величину урожая, но и его качество.

В целом, результаты проведенных нами исследований на зональных почвах Западной Сибири показывают, что эффект от внесения калия – почти повсеместно элемента «третьего минимума» (после N и P) отчетливо проявляется при следующих обстоятельствах:

- низкое исходное содержание калия в почве (почвы легкого гранулометрического состава, особенно нечерноземной зоны);
- достаточное обеспечение культур азотом и фосфором (относительные запасы этих элементов в почвах, как правило, ниже, чем калия);
- длительное интенсивное использование почвы при дефицитном балансе калия (рис. 1);
- выращивание калиелюбивых культур (прежде всего картофель, овощи).

Кроме того, литературные данные (Прокошев и Дерюгин, 2000; и др.) и результаты наших опытов свидетельствуют, что оптимальная обеспеченность растений калием существенно повышает их устойчивость к воздействию различных неблагоприятных внешних факторов.

Основанием для неиспользования калийных удобрений зачастую служат относительно высокие запасы калия в подпахотном и нижележащих почвенных слоях. Проведенное нами изучение изменений содержания форм калия по профилю почвы, косвенно сви-

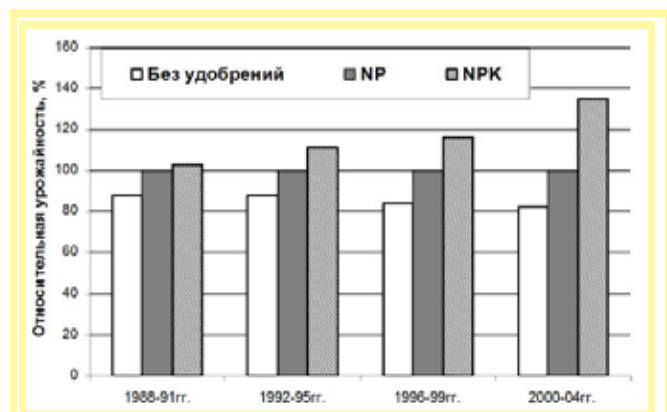
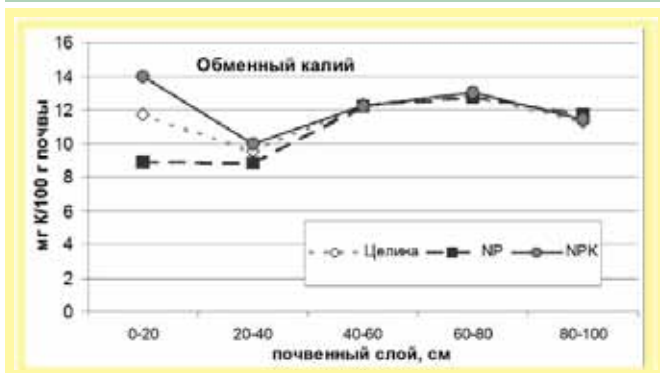


Рис. 1. Изменение относительной продуктивности зернового агроценоза во времени в зависимости от использования минеральных удобрений.



**Рис. 2.** Изменение содержания обменного калия по профилю серой лесной среднесуглинистой почвы в длительном полевом опыте.

детельствующих об участии различных почвенных горизонтов в обеспечении выращиваемых культур этим элементом, показало, что длительный сильнодефицитный баланс калия в агроценозе приводил к существенному снижению содержания его обменной и необменной форм, главным образом в пахотном слое почвы (рис. 2). Имеющиеся внешне неизменные запасы форм калия в нижележащих горизонтах почвы были не в состоянии полноценно компенсировать истощенный калийный фонд пахотного слоя, что отчетливо проявлялось в значительном падении эффективности продукционного процесса сельскохозяйственных культур.

Следовательно, надежды на «неисчерпаемые» запасы калия в почве, как в пахотном слое, так и включая нижележащие горизонты, оказываются не совсем состоятельными, что подтверждает отсутствие альтернативы сбалансированному применению минеральных удобрений.

Об этом свидетельствует и рассчитанный баланс

	Без удобрений	NP	NPK
<b>Овощной агроценоз</b>			
Урожайность, ц к.е./га	1640	1898	2631
Баланс, кг $K_2O$ /га	-1570	-1632	+343
<b>Зерновой агроценоз</b>			
Урожайность, ц к.е./га	1087	1250	1567
Баланс, кг $K_2O$ /га	-1917	-2090	+38

	Легкообменный (0.0025 M $CaCl_2$ )	Обменный (1 M $CH_3COONH_4$ )	Необменный (1 M $HNO_3$ )
<b>Целина</b>			
	1.6	12.0	120
<b>Овощной участок</b>			
Без удобрений	0.4	7.6	95
NP	0.4	7.4	95
NPK	1.6	14.6	142
<b>Зерновой участок</b>			
Без удобрений	0.5	7.8	107
NP	0.4	7.6	102
NPK	1.4	11.3	126

калия в многолетнем полевом опыте (табл. 1). При длительном дефицитном калийном балансе «одностороннее» внесение NP удобрений не способствовало заметной дополнительной мобилизации почвенного калия культурами; его вынос в вариантах контроль и NP был примерно одинаковым.

Баланс калия в агроценозах оказал существенное влияние на калийный статус почвы (табл. 2). Следует отметить, что в данном полевом опыте (с 1988 г) на серой лесной среднесуглинистой почве в вариантах без внесения калийных удобрений (контроль и фон) содержание обменного калия в почве снизилось в течение первых 4-5 лет до стабильного минимального уровня (около 8 мг/100 г), на котором и оставалось всё последующее время, не отражая дальнейшие потери элемента из почвы с выносом урожаями. В определенной, хотя и меньшей, степени это относится и к необменной форме элемента.

О наличии в почве минимального уровня обменного калия свидетельствует ряд работ (Прокошев и Дерюгин, 2000; Якименко, 2003; Никитина, 2012 и др.). Минимальный уровень обменного калия в конкретной почве определяется ее емкостью катионного обмена (ЕКО); для зональных почв нашего региона он составляет 0.8-0.9% от ЕКО в суглинистых разновидностях и 1.0-1.2 – в супесчаных.

Важно подчеркнуть, что зачастую при мониторинге калийного состояния пахотных почв подобная стабильность содержания обменного калия ошибочно оценивается с положительной точки зрения, то есть считается благополучной ситуацией. Однако в действительности стабилизация произошла на минимальном уровне, при котором калий для многих культур, в том числе картофеля, находится в первом минимуме.

Рациональное регулирование калийного состояния пахотных почв в немалой степени зависит от методики его оценки. Следует сказать, что существующая рутинная система почвенной калийной диагностики достаточно несовершенна и не всегда позволяет реально оценить эффективное плодородие почв (Носов и др., 1997; Прокошев и Дерюгин, 2000; Якименко, 2003; 2009). Существенным недостатком используемых при этом градаций является их полная усредненность, безотносительность к важным в отношении калия почвенным свойствам – емкости катионного обмена и гранулометрическому составу.

Для определения почвенного содержания обменного калия – основного показателя калийного состояния почв – в научных исследованиях, как правило, используется вытяжка 1 M раствора ацетата аммония (метод Масловой). В системе отечественной Агрохимслужбы при определении почвенного калия стандартными вытяжками являются 0.2 M HCl (метод Кирсанова) и 0.5 M уксусная кислота (метод Чирикова) соответственно для почв лесной и лесостепной зон. Учитывая важность проводимых работ по массовому агрохимическому обследованию сельскохозяйственных угодий для практического земледелия и насущную необходимость получения реальной картины калийного состояния пахотных почв, эффективное использование результатов почвенных анализов, по-

лученных рутинными методами, имеет большое значение.

В длительных полевых опытах мы провели сравнительную оценку калийного состояния ряда автоморфных почв лесостепи Западной Сибири (серые лесные и черноземы) методами Чирикова и Масловой и на основании сопоставления данных по содержанию калия в почвах и урожайности выращиваемых культур предложили градации обеспеченности почв калием. Небольшой фрагмент данных исследований представлен в **табл. 3**.

Исследования показали, что оба метода, в принципе, отражали как снижение содержания обменного калия в почвах при дефицитном балансе этого элемента в агроценозах, так и его накопление в случае длительного использования повышенных доз калийных удобрений (**табл. 3**). Продуктивность агроценозов при этом изменялась соответствующим образом. Однако были выявлены некоторые особенности используемых методов, способные повлиять на оценку калийного состояния конкретной почвы. Результаты, полученные методом Чирикова, были менее информативны на почвах с относительно истощенным калийным фондом. Метод Масловой четче регистрировал улучшения калийного состояния почвы при внесении невысоких доз удобрений. По некоторым данным (Важенин и Карасева, 1959), методом Масловой извлекается 70% обменного калия почвы независимо от ее свойств и абсолютного значения величины имеющегося калийного запаса. В наших опытах различные почвы, имеющие одинаковое содержание обменного калия по Масловой, значительно отличались друг от друга при оценке по методу Чирикова. Очевидно, что экстрагирующие возможности 0.5 М уксусной кислоты в значительной степени зависят от ЕКО почвы и насыщенности почвенного поглощающего комплекса

(ППК) калием: чем выше ЕКО почвы и чем ниже степень насыщенности ППК этим элементом, тем меньшее относительное количество обменного калия извлекается из почвы методом Чирикова.

Тем не менее, в целом, нет оснований для отказа от применения метода Чирикова при массовых агрохимических обследованиях сельскохозяйственных угодий. Информативность же полученных этим методом результатов определяется корректностью их трактовки и адекватностью используемых градаций обеспеченности.

Как уже отмечалось выше, содержание обменного калия в почвах агроценозов при длительном сильнодефицитном балансе постепенно достигает стабильно низкого («минимального») уровня, существенно лимитирующего продуктивность культур (**табл. 2 и 3**). Заметим, что истощенный по калию чернозем (**табл. 3**) с «минимальным» содержанием обменной формы этого элемента (9-10 мг  $K_2O/100$  г почвы) по стандартным градациям должен быть отнесен к почвам с повышенной обеспеченностью калием. Такая трактовка результатов анализов и создает иллюзию благополучного калийного состояния многих пахотных почв на больших площадях. «Минимальный» уровень обменного калия в почвах разного гранулометрического состава имеет различные абсолютные значения, но в относительных величинах – % от ЕКО – примерно одинаков. Соответствующим образом можно сопоставить и уровни обменного калия в почвах, обеспечивающие благоприятные условия калийного питания растений. Универсальные градации обеспеченности калием различных автоморфных почв лесостепи Западной Сибири представлены в **табл. 4**.

Известно, что подвижность обменного калия в почвах, а, следовательно, и его доступность растениям, тесно зависит (обратно пропорциональная зави-

**Таблица 3.** Содержание обменного калия в почве и урожайность культур в полевых опытах

Варианты опытов	Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый			Серая лесная среднесуглинистая почва		
	Содержание калия, мг $K_2O/100$ г почвы		Урожайность, ц/га	Содержание калия, мг $K_2O/100$ г почвы		Урожайность, ц/га
	по Чирикову	по Масловой		по Чирикову	по Масловой	
<b>Картофель, 2000 г.</b>				<b>Картофель, 2005 г.</b>		
Без удобрений	9.1	13.6	154	6.5	8.9	105
NP	8.7	12.2	131	6.0	8.9	96
NP + K25%	10.0	16.8	265	7.5	11.1	186
NP + K50%	10.9	20.6	330	10.0	12.8	248
NP + K75%	18.9	31.4	426	14.0	13.3	256
NP + K100%	25.8	42.7	403	17.6	18.2	269
NP + K125%	50.2	76.2	343	31.7	33.3	283
<b>Яровая пшеница, 2001 г.</b>				<b>Кукуруза на силос, 2005 г.</b>		
Без удобрений	11.3	15.4	14.7	5.8	7.8	398
NP	9.9	14.8	21.6	5.0	7.5	506
NP + K25%	11.3	17.8	25.5	7.0	10.0	697
NP + K50%	14.6	19.6	24.6	-	-	-
NP + K75%	19.1	27.7	27.9	10.6	12.0	737
NP + K100%	24.9	34.1	25.2	-	-	-
NP + K125%	55.9	73.1	24.2	22.2	21.9	741

**Примечание:** Схема опытов: NP – дозы удобрений по выносу планируемым урожаем; K25% и т.д. – доза калия в процентах от выноса планируемым урожаем культуры.



Таблица 4. Классификация уровня содержания обменного калия в пахотных почвах лесостепи Западной Сибири по насыщенности им почвенной ЕКО.		
Уровень	Содержание обменного калия, в % от ЕКО почвы	
	по Чирикову	
	по Чирикову	по Масловой
Минимальный	0.6 – 0.7	0.8 – 0.9
Неустойчивый	0.8 – 1.2	1.0 – 1.4
Оптимальный	1.3 – 1.8	1.5 – 2.2
Повышенный	> 1.8	> 2.2

симось) от ЕКО и гранулометрического состава почв; поэтому учет данных характеристик при почвенной калийной диагностике является обязательным. Оценка калийного состояния почв с использованием величин их ЕКО в ряде случаев может быть затруднена из-за отсутствия соответствующих данных. Однако каждый агроном определит, как минимум, гранулометрический состав почвы конкретного участка полевым «мокрым» методом по Н.А. Качинскому (смочить на ладони почву до консистенции теста, попытаться раскатать ее в шнур и т.д.). Зная гранулометрический состав почвы и содержание в ней обменного калия, можно достаточно корректно оценить ее калийное состояние, используя табл. 5. Выделяемые в табл. 5 градации, с точки зрения обеспеченности культур почвенным калием, имеют следующий смысл:

Низкая обеспеченность – при таком содержании обменного калия в почве он находится в «первом минимуме» для культур со слабой способностью к его мобилизации (картофель, морковь и др.); «одностороннее» внесение NP-удобрений под них не дает положительного результата и может вызывать угнетение растений; даже небольшие дозы калийных удобрений резко увеличивают урожай.

Неустойчивая – для растений с высокой способностью к усвоению почвенного калия (злаковые культуры и др.) этот элемент не находится в «первом минимуме» даже при «минимальном» уровне обменного калия в почве, однако их продуктивность заметно лимитирована. При данной обеспеченности культур почвенным калием дополнительное его внесение на фоне NP существенно увеличивает урожайность всех культур.

Оптимальная – при таком содержании обменного калия в почве использование рациональных доз NP-удобрений обеспечивает максимальную прибавку урожая, а дополнительное внесение калийных удобрений малоэффективно.

Повышенная – существенное положительное влияние повышенного содержания обменного калия в

Таблица 6. Урожайность клубней картофеля в период последействия калийных удобрений, ц/га.					
Вариант	Годы исследования				
	2008	2009	2010	2011	2012
Без удобрений	52	78	62	81	84
NP	71	125	78	95	80
NPK25%	96	162	101	114	78
NPK50%	146	246	136	143	85
NPK75%	177	263	145	144	86
NPK100%	180	271	152	156	97
NPK125%	204	327	158	157	98
HCP <sub>0.05</sub>	23	32	24	29	22

почве наблюдается только в стрессовых ситуациях (засуха, избыточное увлажнение и т.п.).

Важным свойством удобрений является их способностью оказывать положительное влияние на условия минерального питания культур не только в год внесения, но и в течение ряда последующих лет. Имеющиеся литературные данные по последействию калия относительно немногочисленны и не всегда однозначны, а для западносибирского региона они практически отсутствуют. Проведенные нами исследования показали, что последействие различных доз калийных удобрений, вносимых в предшествующие годы даже из расчета поддержания бездефицитного баланса калия в агроценозе, завершилось на 5-й год (табл. 6).

После прекращения внесения калийных удобрений в вариантах опыта NPK содержание обменного калия в почве этих вариантов закономерно снижалось; скорость и масштабы этого снижения зависели от исходного уровня обменного калия в почве конкретного варианта (табл. 7). В вариантах с длительным предшествующим внесением невысоких доз калия содержание его обменной формы в почве снизилось до минимального уровня или приблизилось к нему уже на второй год последействия. При исходно высоком уровне калия в почве, сформировавшемся при предшествующем бездефицитном калийном балансе (варианты NPK100%-125%), масштабы снижения содержания его обменной формы в течение периода последействия были особенно заметны. Через 5 лет после прекращения внесения калийных удобрений уровень обменного калия в почве этих вариантов снизился в 2.5-3.5 раза, а наиболее значительное падение произошло за первые 2 года последействия.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили, что длительный сильно дефицитный баланс калия в агроценозе, связанный с неиспользованием

Таблица 5. Градации обеспеченности обменным калием зональных почв лесостепи Западной Сибири.						
Обеспеченность	Гранулометрический состав почвы:					
	легкосуглинистый		среднесуглинистый		тяжелосуглинистый	
	Содержание обменного калия, мг K <sub>2</sub> O/100 г почвы					
	по Чирикову	по Масловой	по Чирикову	по Масловой	по Чирикову	по Масловой
Низкая	< 6	< 10	< 10	< 15	< 14	< 20
Неустойчивая	6 – 10	10 – 15	10 – 14	15 – 20	14 – 18	20 – 25
Оптимальная	10 – 14	15 – 20	14 – 18	20 – 25	18 – 22	25 – 30
Повышенная	> 14	> 20	> 18	> 25	> 22	> 30

**Таблица 7.** Изменение содержания обменного калия в почве за период последствия калийных удобрений, мг  $K_2O/100$  г почвы.

Вариант	Годы исследования				
	2008	2009	2010	2011	2012
Без удобрений	8.5	8.2	8.1	8.1	7.8
NP	8.0	7.9	7.9	8.1	7.8
NPK25%	10.0	8.3	8.9	8.0	7.2
NPK50%	12.4	9.0	9.2	8.3	7.2
NPK75%	14.5	10.3	9.7	9.5	9.0
NPK100%	26.3	16.1	15.3	11.7	10.0
NPK125%	35.5	22.8	18.1	14.2	11.7
HCP <sub>0.05</sub>	7.1	6.5	6.7	6.3	6.3

калийных удобрений, обуславливает переход этого элемента в разряд первого минимума, что существенно лимитирует продуктивность выращиваемых культур. Внесение других видов минеральных удобрений при сильном дефиците калия не ведет к повышению урожайности культур, прежде всего, калиелюбивых (картофель, овощи и др.). В то же время сбалансированное минеральное питание обеспечивает стабильное получение высокого урожая. Регулярное использование калийных удобрений позволяет при расчете их доз допускать небольшой (20-25%) дефицит баланса калия в агроценозе, при котором калийное состояние почвы сохраняется на оптимальном уровне. Положительное влияние калийных удобрений на продуктивность культур особенно отчетливо проявляется в неблагоприятные по погодным условиям вегетационные сезоны.

Длительность периода последствия внесенных калийных удобрений зависит от их доз, используемых в предшествующие годы. Даже при многолетнем при-

менении невысоких (30-60 кг  $K_2O/га$ ) доз калийных удобрений период их последствия на среднесуглинистой почве не превышает 1-2 лет. Запасы калия в почве агроценоза, сформировавшиеся при длительном применении повышенных доз калийных удобрений (120-150 кг  $K_2O/га$ ), оказывают существенное положительное влияние на урожайность картофеля в течение 4-5 лет после прекращения их использования.

Якименко В.Н. – заведующий лабораторией агрохимии, доктор биологических наук, доцент; e-mail: yakimenko@issa.nsc.ru.

Нечаева Т.В. – научный сотрудник лаборатории агрохимии, кандидат биологических наук.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск).

## Литература

- Якименко В.Н. 2003. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд. СО РАН, 231 с.
- Якименко В.Н. и Носов В.В. 2012. Питание растений. Вестник Международного института питания растений, 1: 2-5.
- Прокошев В.В. и Дерюгин И.П. 2000. Калий и калийные удобрения. М.: «Ледум», 185 с.
- Никитина Л.В. 2012. Агрохимия, 12:15-23.
- Носов В.В., Соколова Т.А., Прокошев В.В. и Исаенко М.А. 1997. Агрохимия, 5: 13-19.
- Якименко В.Н. 2009. Плодородие, 4: 8-10.
- Важенин И.Г. и Карасева Г.И. 1959. Почвоведение, 3: 11-21.

## Исследования по калийной тематике в Уругвае

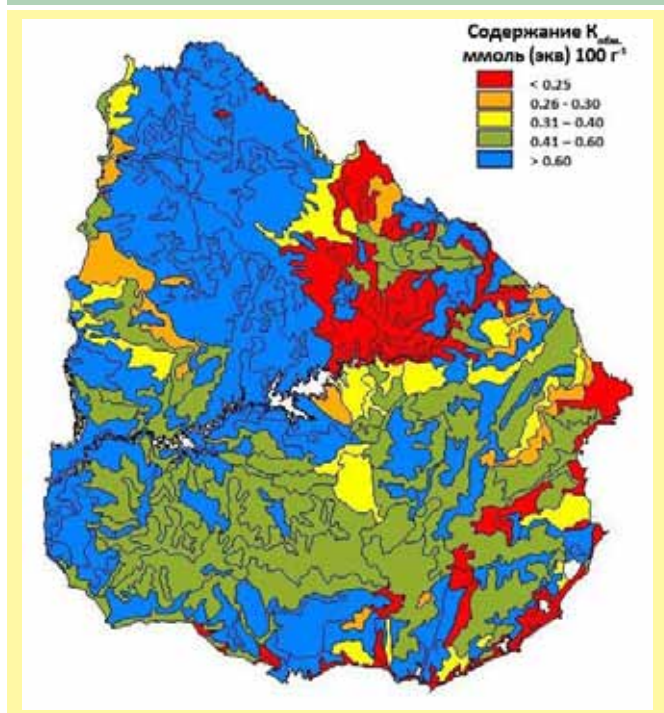
Ф. Гарсия и М. Барбазан

Восточная Республика Уругвай расположена в юго-восточной части Южной Америки. Она граничит на западе с Аргентиной, а на севере и востоке – с Бразилией. Уругвай омывается водами залива Ла-Плата («Серебряная река») на юге и Атлантического океана – на юго-востоке. Население страны – 3.3 млн человек, а площадь – около 176 тыс. км<sup>2</sup>. Доля сельского хозяйства в ВВП страны составляет 11.8% примерно при равном вкладе животноводства и растениеводства (DIEA-MGAP, 2015). Сельское хозяйство страны по большей части ориентировано на экспорт. Так, продукция сельского и лесного хозяйства составляет 75% экспорта. В основном это соя, крупный рогатый скот, молочные продукты, лесоматериалы и рис.

Сельское хозяйство Уругвая исторически развивалось на почвах с высокой обеспеченностью обменным калием при традиционной системе обработки почвы и использовании пастбищных севооборотов, что и объясняло отсутствие рекомендаций по применению калийных удобрений (Hernández, 1997; Hernández и др., 1988). Однако почвы Уругвая характеризуются

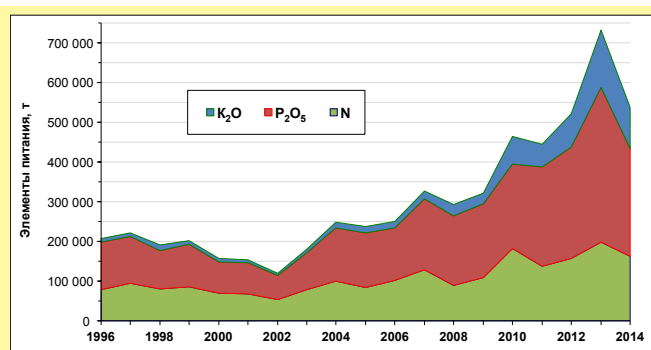
широким диапазоном содержания обменного калия (рис. 1). Согласно результатам проведенного в стране почвенного обследования (Soil Survey Guide of Uruguay), почвенные разности с низкой обеспеченностью доступным для растений калием занимали приблизительно 5 млн га. В исторически сложившейся земледельческой зоне на западе Уругвая содержание обменного калия в почвах находилось в диапазоне от среднего до высокого.

В Уругвае предпринимались немногочисленные попытки изучения динамики калия в почвах по сравнению с усилиями по изучению динамики азота и фосфора, которая была исследована в разных почвенно-климатических условиях при использовании разных систем земледелия. Наиболее ранние исследования по изучению отзывчивости растений на применение калийных удобрений проводились с сельскохозяйственными культурами, имеющими высокую потребность в калии, – сахарным тростником, сахарной свеклой, картофелем, луком и хлопчатником. Для разных типов почв был предложен ряд рекомендаций по применению минеральных удобрений под указанные культуры. В 1960-х гг.



**Рис. 1.** Содержание обменного калия (Кобм.) в почвах Уругвая в слое 0-20 см по данным почвенного обследования. Масштаб: 1:1000000. Источник: Califra и Barbazán (неопубликов. данные).

были проведены первые исследования по питанию калием зерновых культур, и была продемонстрирована отзывчивость пшеницы на применение калийных удобрений на почвах, развитых на песчаниках меловой формации (Moir и Reynaert, 1962). Два десятилетия спустя в северо-восточной части страны было проведено несколько исследований по минеральному питанию сои, согласно результатам которых растения либо слабо отзывались, либо не отзывались на применение калийных удобрений (Colombo и Collares, 1982; Docampo и др., 1981; Marella и др., 1981). Немногочисленность исследований по калийной тематике, по-видимому, была связана с тем, что сельское хозяйство страны развивалось в первую очередь в регионах, почвы которых имели высокую обеспеченность обменным калием. При этом практиковались пастбищные севообороты, и использовалась традиционная обработка почвы. Это и объясняет отсутствие рекомендаций по применению калийных удобрений в то время. Их внесение рекомендовалось только при содержании обменного калия в почве менее 0.30 смоль (экв)  $\text{кг}^{-1}$  или 117 мг  $\text{K} \text{кг}^{-1}$  (Oudri



**Рис. 2.** Посевные площади семи основных сельскохозяйственных культур в Уругвае за период 2002-2014 гг. Источник: DIEA-MGAP, 2015.

и др., 1976), исходя из результатов работ, проведенных в «кукурузном поясе» США. Эти работы показали, что при содержании обменного калия в почве более 0.23-0.33 смоль (экв)  $\text{кг}^{-1}$  (90-130 мг  $\text{K} \text{кг}^{-1}$ ) низка вероятность того, что растения сои и кукурузы будут отзываться на применение калийных удобрений при использовании традиционной обработки почвы.

Структура сельского хозяйства Уругвая изменилась за последние десятилетия, что обусловлено ростом мировых цен на зерно (Wingeyer и др., 2015; Ernst и др., 2016). Посевные площади сельскохозяйственных культур выросли с 700 тыс. га в 2002 г. до более чем 2 млн га в 2014 г. При этом на долю сои и пшеницы в структуре посевных площадей в 2014 г. приходилось соответственно 67 и 20%. Произошла интенсификация систем земледелия – переход от пастбищных севооборотов к непрерывному ежегодному возделыванию сельскохозяйственных культур при нулевой обработке почвы. Текущий уровень интенсивности составляет 1.5 культуры в год (рис. 2).

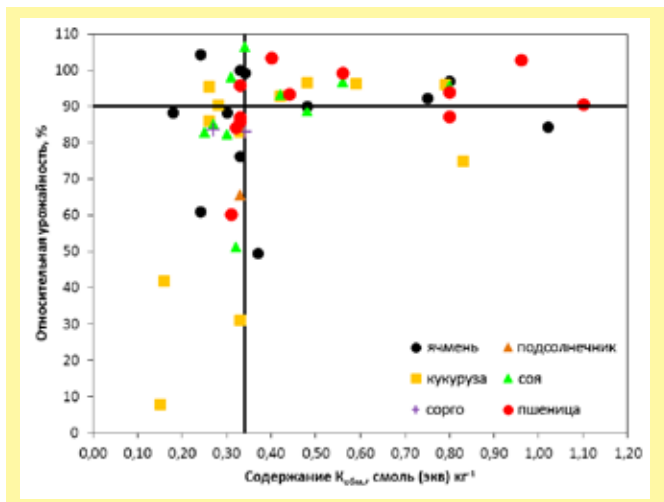
Без применения калийных удобрений в земледелии Уругвая исторически складывался отрицательный баланс калия, рассчитываемый как разность между поступлением калия с удобрениями и выносом с урожаем (Mancassola и Casanova, 2015). Более того, с ростом посевных площадей сои за последние два десятилетия баланс калия стал еще более дефицитным из-за высокой потребности данной культуры в калии. Экспорт сои в 2014 г. составил 3.6 млн т, то есть, исходя из среднего содержания калия в семенах сои, отчуждение калия с данной продукцией достигает приблизительно 63 тыс. т  $\text{K}_2\text{O}$ . Кроме того, сельское хозяйство стало распространяться на маргинальные (малопродуктивные) территории в северо-центральной и восточной частях страны, где преобладают почвы с низким содержанием обменного калия.

### Появление признаков недостатка калия и ответные меры

В полевых исследованиях, проведенных в конце 90-х и начале 2000-х гг. агрономическим факультетом Республиканского университета, Национальным исследовательским институтом сельского хозяйства и другими организациями, в ряде случаев на почвах с низким содержанием обменного калия были выявлены признаки недостатка калия у таких культур, как кукуруза, белый клевер, люцерна и лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus* L.) (Moron и Baethgen, 1996; Moron, 1998, 1999, 2000; Barbazan и др., 2007). Более того, нарастающее распространение внешних признаков недостатка калия, подтвержденное данными растительной диагностики, повлекло за собой проведение специальных исследований, которые продемонстрировали отзывчивость ряда сельскохозяйственных культур на применение калийных удобрений.

Была проведена серия полевых опытов, продемонстрировавших отзывчивость сельскохозяйственных культур на внесение калия в почву (Almada, 2006; Bautes и др., 2009; Cano и др., 2007; Garcia Lamothe и др., 2009). М. Барбазан с соавт. (Barbazán и др., 2011) обобщили результаты 50-ти полевых опытов, проведенных





**Рис. 3.** Взаимосвязь между относительной урожайностью сельскохозяйственных культур и содержанием обменного калия в почвах Уругвая в слое 0-20 см. Представлено обобщение результатов 50-ти полевых опытов. Относительная урожайность рассчитывалась как процентное соотношение между средней урожайностью в контрольном варианте и при внесении хлористого калия (100-200 кг/га в физ. весе). Источник: Barbazán и др., 2011.

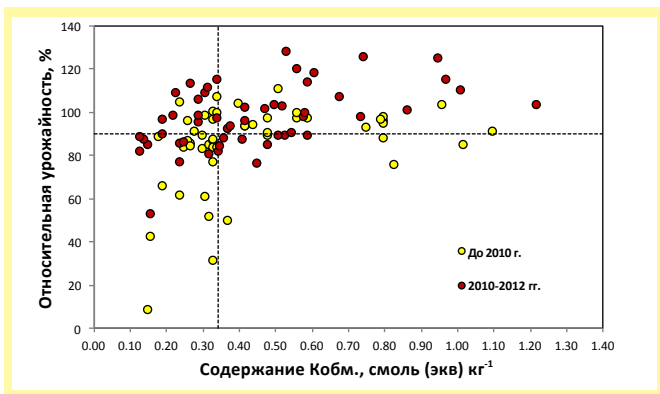
разными группами исследователей в 2004-2010 гг. В данных опытах изучалась отзывчивость ячменя, пшеницы, кукурузы, сои, сорго и подсолнечника на применение калийных удобрений на почвах разного гранулометрического состава, различающихся по содержанию обменного калия. В 15-ти из 50-ти опытов калийные удобрения повышали урожайность изученных культур ( $p < 0.10$ ). Критическое содержание обменного калия в слое почвы 0-20 см составило 0.30-0.40 смоль (экв)  $\text{кг}^{-1}$  (120-160 мг К  $\text{кг}^{-1}$ ) для всех вышеуказанных культур в изученных почвенно-климатических условиях (рис. 3). Данное исследование стало прорывом в изучении калийной проблематики в Уругвае, и полученные результаты продемонстрировали необходимость дальнейшего исследования динамики калия в почвах страны.

### Современные работы по калию в Уругвае

Исследования последних 6-ти лет были направлены на улучшение диагностики недостатка калия и прогнозирование отзывчивости сельскохозяйственных культур на применение калийных удобрений. Взаимосвязь между отзывчивостью полевых культур на внесение калийных удобрений и содержанием обменного калия в почве подвержена влиянию следующих факторов: сроки отбора почвенных образцов и их доведение до воздушно-сухого состояния, минералогический состав почвы, высвобождение калия из необменной формы и т.д. (Zorč и др., 2014). Ниже представлен обзор недавних, а также текущих исследований по данным аспектам, проводимых в Уругвае.

#### 1. Уточненная группировка почв по содержанию обменного калия (Barbazán и др., 2013)

Критическое содержание обменного калия в слое почвы 0-20 см (0.30-0.40 смоль (экв)  $\text{кг}^{-1}$  или 120-160 мг К  $\text{кг}^{-1}$ ), установленное в более ранних исследованиях, было подтверждено результатами полевых опытов, проведенных и после 2010 г. (рис. 4). Однако



**Рис. 4.** Взаимосвязь между относительной урожайностью сельскохозяйственных культур и содержанием обменного калия в почвах Уругвая в слое 0-20 см. Представлено обобщение результатов полевых опытов, проведенных до 2010 г., а также в 2010-2012 гг. ( $n=57$ ). Относительная урожайность рассчитывалась как процентное соотношение между средней урожайностью в контрольном варианте и при внесении хлористого калия. Источник: Barbazán и др. (2013).

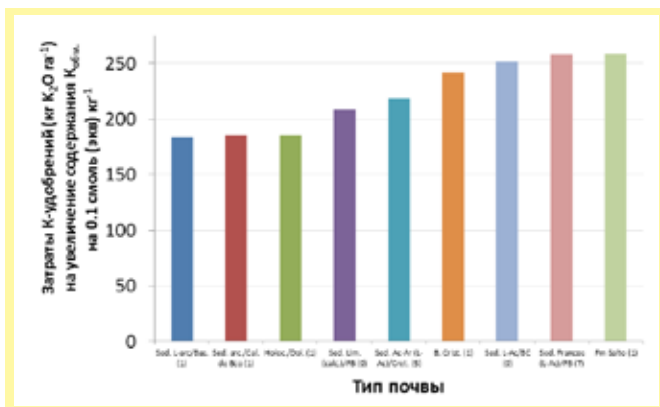
сохраняется недостаточная надежность прогнозирования отзывчивости сельскохозяйственных культур на применение калийных удобрений. Это указывает на необходимость учета комплекса факторов, потенциально оказывающих влияние на отзывчивость растений на калий, включая сроки отбора почвенных образцов, пространственное варьирование содержания обменного калия в почве, высушивание почвенных образцов, величину pH почвы, а также ее гранулометрический и минералогический состав.

#### 2. Затраты калийных удобрений на увеличение содержания обменного калия в почвах Уругвая (Faggionato, 2011)

Г. Фаджгионато (Faggionato, 2011) изучил изменения в содержании обменного калия в сельскохозяйственных почвах страны (36 почвенных образцов) после добавления калийных удобрений и инкубирования в контролируемых условиях (рис. 5). Как показали полевые исследования, затраты калийных удобрений на увеличение содержания обменного калия в почве на 0.1 смоль (экв)  $\text{кг}^{-1}$  составляют 127-526 кг  $\text{K}_2\text{O}$   $\text{га}^{-1}$  или в среднем – 231 кг  $\text{K}_2\text{O}$   $\text{га}^{-1}$  (4.9 кг К  $\text{га}^{-1}$  на 1 мг К  $\text{кг}^{-1}$  почвы). Результаты исследований, проведенных в штате Айова (США), свидетельствуют о том, что затраты калийных удобрений на увеличение содержания обменного калия в почве на 0.1 смоль (экв)  $\text{кг}^{-1}$  составляют 106-354 кг  $\text{K}_2\text{O}$   $\text{га}^{-1}$  или 2.3-7.6 кг К  $\text{га}^{-1}$  на 1 мг К  $\text{кг}^{-1}$  почвы (Mallarino и др., 2013).

#### 3. Высвобождение калия из растительных остатков кукурузы и сои и временное варьирование содержания обменного калия в почве (Barbazán и др., 2011)

Распределение калия по профилю почвы зависит от качества растительных остатков, а также способов их утилизации. Это необходимо учитывать при проведении почвенных обследований (отборе почвенных образцов) и выработке рекомендаций по применению калийных удобрений. Исследования, проведенные М. Барбазан с соавт. (2011), показали, что содержание обменного калия варьирует по профилю почвы в зависимости от интенсивности высвобождения калия из растительных остатков (рис. 6).



**Рис. 5.** Затраты калийных удобрений ( $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) на увеличение содержания обменного калия на 0.1 смоль (экв)  $\text{kg}^{-1}$  в разных типах почв Уругвая при инкубировании в контролируемых условиях. Источник: Barbazan и др., 2011.

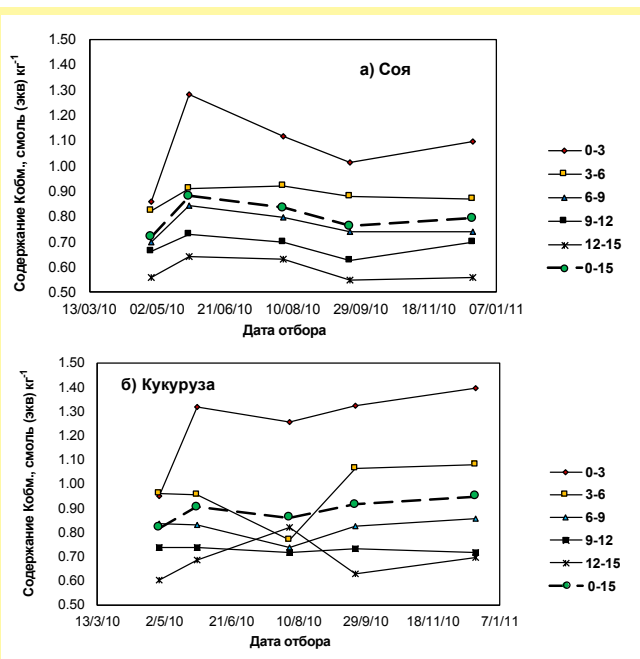
#### 4. Обследование коммерческих посевов сои (Bordoli и др., 2012)

Ж. Бордоли с соавт. (Bordoli и др., 2012) изучали недостаток элементов питания у растений в разных регионах страны, используя сою в качестве индикаторной культуры (178 коммерческих полей). В течение двух сезонов (2009-10 и 2010-11 гг.) была проведена почвенная и растительная диагностика с отбором образцов почв и листьев растений в фазы начала цветения – полного цветения. Урожайность сои составила 511-5435  $\text{kg ha}^{-1}$ . В 23% случаев содержание обменного калия в почве было ниже 0.30 смоль (экв)  $\text{kg}^{-1}$ . Содержание калия (K) в листьях сои в данном исследовании составило в среднем 2.03% ( $\pm 0.53$ ). Чаще всего у растений отмечался недостаток таких элементов питания, как фосфор, калий и азот. Их содержание в листьях было ниже критических значений соответственно в 42, 39 и 13% случаев (рис. 7). Полученные результаты свидетельствуют о том, что недостаток калия у растений отчасти лимитирует продуктивность сои. Это предполагает корректировку калийного питания растений при проработке системы применения удобрений в соевых агроценозах.

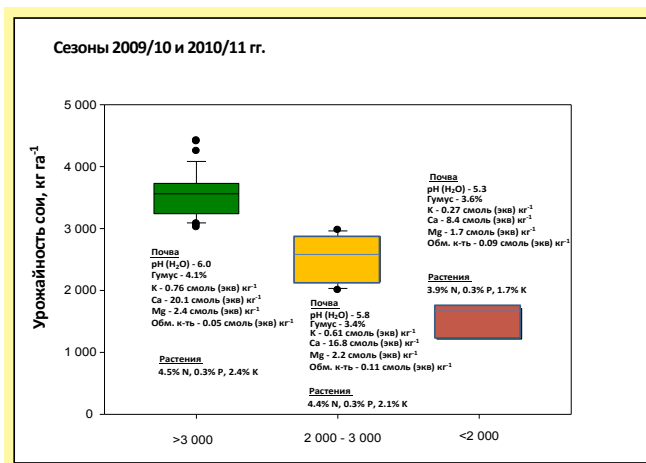
#### 5. Определение содержания обменного калия в образцах почвы при естественной влажности (Barbazán и др., 2013)

В почвенно-аналитических лабораториях содержание обменного калия обычно определяют в воздушно-сухих образцах почвы. Исследования, выполненные П. Барбагелатой и А. Малларино (Barbagelata и Mallarino, 2013), свидетельствуют об улучшении интерпретации результатов почвенных анализов при определении содержания обменного калия в образцах почвы при естественной полевой влажности. Аналогичные результаты были получены и М. Барбазан с соавт. (Barbazan и др., 2014, неопубликов. данные) при анализе почвенных образцов, отобранных в полевых опытах в Уругвае. Как видно из рис. 8, при низком уровне содержания обменного калия использование воздушно-сухих образцов почвы ведет к завышению результатов. Это одна из возможных причин неудовлетворительной группировки по обеспеченности почв калием, получаемой для некоторых массивов данных.

#### 6. Определение содержания необменных форм калия в почве: хорошая корреляция между урожайностью растений и содержанием калия в вытяжке



**Рис. 6.** Временное варьирование содержания обменного калия после уборки сои (а) и кукурузы (б) по слоям почвы (см). Адаптировано из: Barbazán и др., 2011

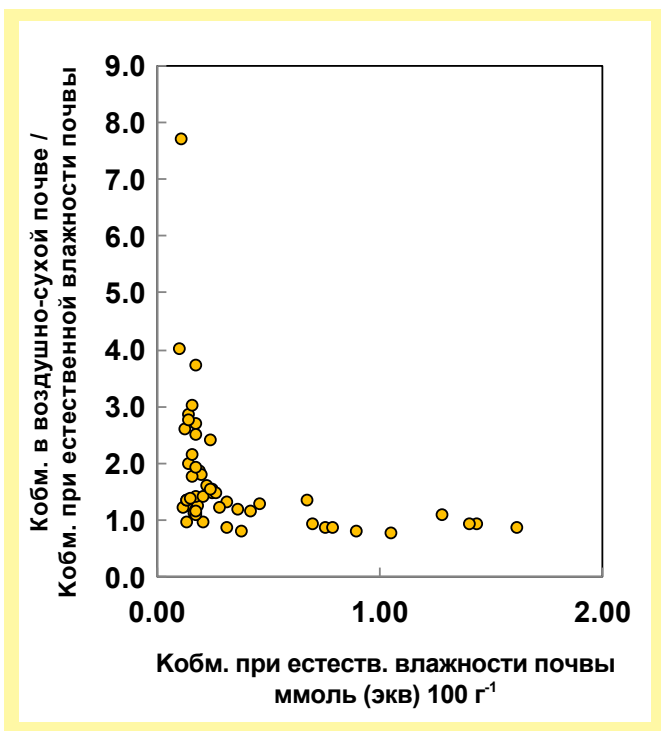


**Рис. 7.** Продуктивность сои, увязанная с данными почвенно-растительной диагностики. Показаны медиана (тонкая линия внутри) и процентилю (10-й, 25-й, 75-й и 90-й). Адаптировано из: Bordoli и др., 2012.

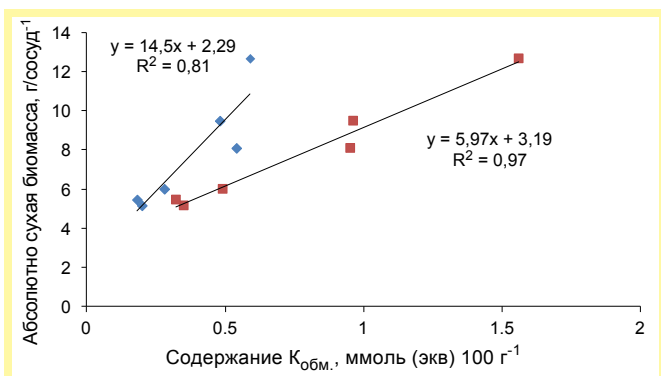
#### тетрафенилбората натрия (Nuñez, 2014)

А. Нуñez (Nuñez, 2014) протестировал вытяжку тетрафенилбората натрия (Na-ТФБ) для извлечения почвенного калия. Данный метод позволяет оценить количество доступного растениям калия из необменной формы. Использование вытяжки Na-ТФБ помогает лучше оценить содержание доступного растением калия в почве и добиться лучшей корреляции с балансом калия по сравнению с вытяжкой ацетата аммония. Это объясняется тем, что с помощью вытяжки Na-ТФБ извлекается как обменный калий, так и часть необменного калия, доступного растениям (рис. 9). Этот метод считается перспективным для оценки резервов почвенного калия и для мониторинга калийного состояния почв.

#### 7. Пространственное варьирование содержания обменного калия в почве и отзывчивость сои на применение калийных удобрений: эдафические и топографические факторы (Coitiño, 2016)



**Рис. 8.** Зависимость между отношением «содержание  $K_{обм.}$  в воздушно-сухой почве / содержание  $K_{обм.}$  при естественной влажности почвы» и содержанием  $K_{обм.}$  при естественной влажности почвы.



**Рис. 9.** Урожайность биомассы растений в зависимости от содержания обменного калия в почве, а также калия, извлекаемого из почвы вытяжкой Na-ТФБ. Источник: Nuñez, 2014.

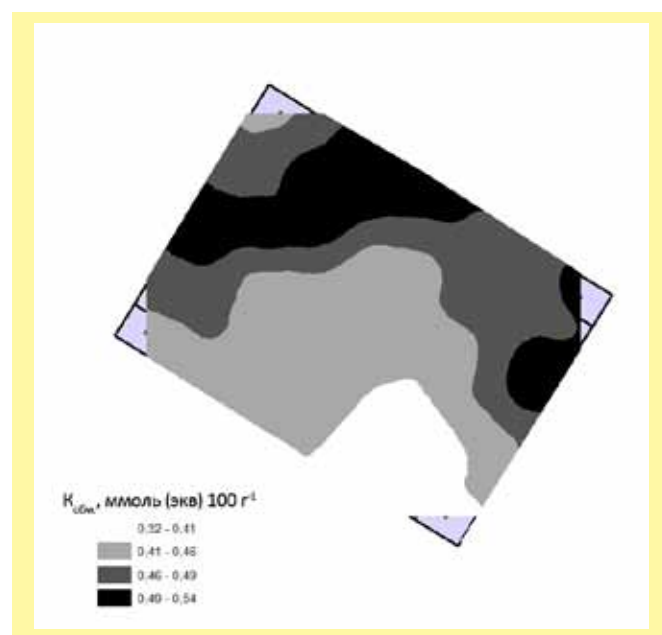
Задачи исследования, проведенного Х. Коитино (Coitiño, 2016), заключались в следующем: 1) количественно оценить отзывчивость сои на применение калийных удобрений при варьировании содержания обменного калия в почве в диапазоне, близком к критическому уровню; 2) изучить взаимосвязи между отзывчивостью сои на применение калийных удобрений и физико-химическими свойствами почвы, а также топографическими свойствами участков; 3) изучить временное варьирование отзывчивости растений на применение калийных удобрений; 4) выделить зоны внутри поля с разной отзывчивостью на применение калийных удобрений. Полевые опыты с внесением разных доз калийных удобрений полосами проводились в течение 2-х лет (2012 и 2013 годы) на одном и том же поле, где выращивалась соя. Оценка пространственного варьирования содержания обменного калия в почве в 2012 г., выполненная с помощью кластерного анализа, позволила выделить несколько зон внутри данного

поля (рис. 10). Среднее содержание обменного калия на участках без внесения калийных удобрений составило 0.46 смоль (экв)  $кг^{-1}$  в 2012 г. и 0.40 смоль (экв)  $кг^{-1}$  – в 2013 г. Различия в калийснабжающей способности почв по годам исследований отражались на проявлении внешних признаков недостатка калия и на накоплении сухого вещества на ранних этапах развития растений, а также на содержании калия в растениях в репродуктивный период развития. Прибавка урожайности сои от применения калийных удобрений была значимой только в 2013 г. и различалась в выделенных по содержанию обменного калия зонах. Наблюдалась взаимосвязь между отзывчивостью сои на внесение калийных удобрений и содержанием обменного калия в почве. Других показателей, которые могли бы дополнить интерпретацию данных по содержанию обменного калия в почве и более точно охарактеризовать отзывчивость растений на применение калийных удобрений, выявлено не было.

### Заключительные рассуждения

Результаты исследований, проведенных за последние годы в Уругвае, в значительной мере способствовали росту импорта калийных удобрений, который вырос с 9 до 146 тыс. т  $K_2O$  в период с 2003 по 2013 годы (рис. 11).

Будущие исследования и опытная работа должны быть сфокусированы на взаимосвязи динамики калия с минералогическими и физическими свойствами почвы, а также с изменениями в системе земледелия, включая обработку почвы, в средне- и долгосрочной перспективе. Данные исследования помогут усовершенствовать рекомендации по применению калийных удобрений. Эффективность использования калия из удобрений растениями зависит от понимания динамики калия в системе «почва – растение», а также отзывчивости растений и почвы на применяемые системы управления почвенным плодородием.



**Рис. 10.** Картограмма содержания обменного калия в почве: длительный полевой опыт, заложенный на ферме Ла Манера в г. Пайсанду (Уругвай). Источник: Coitiño (2016).



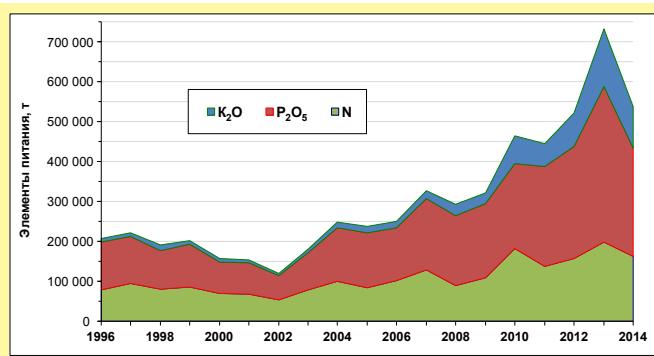


Рис. 11. Импорт минеральных удобрений Уругваем в 1996–2014 гг. Источник: DIEA-MGAP, 2015.

Д-р Гарсия – Региональный директор Международного института питания растений по странам «Южного конуса» Латинской Америки (Аргентина). E-mail: fgarcia@ipni.net.

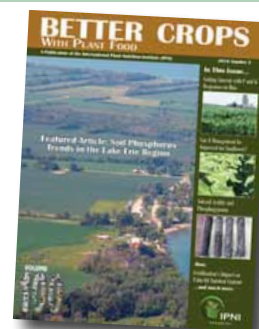
Д-р Барбазан – адъюнкт-профессор кафедры почвенных и водных ресурсов агрономического факультета Республиканского университета, г. Монтевидео (Уругвай). E-mail: mbarbaz@fagro.edu.uy.

## Литература

- Almada, P. 2006. Fertilización P y K de maíz en tres suelos de Durazno. Tesis Ing. Agrónomo, Facultad de Agronomía, Montevideo. UY.
- Barbagelata P.A., and A. P. Mallarino. 2013. Field correlation of potassium soil test methods based on dried and field-moist soil samples for corn and soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77:318-327.
- Barbazán M., Bautes C., Beux L., Bordoli J., Cano J., Ernst O., García A., García F., and Quincke A. 2011. Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: rendimiento según análisis de suelos. *Agrociencia (Uruguay)*, 15 (2): 93-99.
- Barbazán MM, Bordoli JM, Coitiño J, del Pino A, Hoffman E, and Mazzilli S. 2013. Avances en estudios de potasio en Uruguay. In: *Simposio Fertilidad 2013*. Rosario, Santa Fe, Argentina). Nutrición de los cultivos para la intensificación productiva sustentable. IPNI-Fertilizar AC. pp 151-155.
- Barbazán, M.M., G. Faggionato, A. del Pino, and J. Rodríguez. 2011. Changes in Soil Exchangeable Potassium After Fertilizer Application in Agricultural Soils of Uruguay. *Proceedings: Fundamental for life: soil, crop, and environmental sciences. ASA-CSSA-SSSA International Annual Meeting*. San Antonio, Texas, US. Oct.16-19.
- Barbazán M.; Ferrando M. and Zamalvide J. 2007. Estado nutricional de *Lotus corniculatus* L. en Uruguay. *Agrociencia Vol XI N° 1* pág. 22 – 34.
- Barbazán, M.M., M.J. Fiorelli, J. Rodríguez, A. del Pino, S. Mazzilli, and O. Ernst. 2011. Liberación de potasio desde rastrojos de maíz y soja y variación en el suelo. *Actas del Simposio Fertilidad 2011*, Rosario, Argentina «La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de Producción». IPNI-Fertilizar AC.
- Bautes C., M. Barbazan and L. Beux. 2009. Fertilización potásica inicial y residual en cultivos de secano en suelos sobre areniscas cretácicas y transicionales. *Informaciones Agronomicas del Cono Sur*. 41:1-8.
- Bordoli J.M., Barbazán, M.M., and Rocha, L. 2012. Soil nutritional survey for soybean production in Uruguay. *Agrociencia, Special Issue*, 76-83.
- Cano . D., O. R. Ernst, and F. O. Garcia. 2007. Respuesta a la fertilización potásica en maíz para grano en suelos del noroeste de Uruguay. *Informaciones Agronomicas del Cono Sur*. 36:9-12.
- Colombo, M., y J.R. Collares. 1982. Efecto del encalado y fertilización PK en suelos arenosos ácidos. Tesis Ing. Agrónomo, Facultad de Agronomía, Montevideo. UY.
- DIEA – MGAP. 2015. Anuario Estadístico Agropecuario 2015. <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-anuario-2015,O,es,O,> Verified 15 June 016. Uruguay.
- Docampo, R., M. Ferres, y D. Zooby. 1981. Efecto del encalado, fertilización fosfatada y potásica en la producción de soja en suelos arenosos de Tacuarembó. Tesis Ing. Agrónomo, Facultad de Agronomía, Montevideo.
- Ernst O. R., A. R. Kemanian, S. R. Mazzilli, M. Cadenazzi, and S. Dogliotti. 2016. Depressed attainable wheat yields under continuous annual no-tillagriculture suggest declining soil productivity. *Field Crops Research*, 186: 107–116
- García Lamothe A, Quincke A, Pereyra S, and Díaz de Ackermann M. 2009. Respuesta a cloruro de potasio (KCl) en trigo y cebada. En: *Jornada de Cultivos de Invierno (2009, Mercedes, Uruguay)*. La Estanzuela: INIA. (Serie Actividades de Difusión no. 566). pp 13-18.
- Hernández, J., O. Casanova and J. P. Zamalvide. 1988. Capacidad de suministro de potasio en suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. *Boletín de Investigación* No. 19. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. 20p.
- Hernández. J. 1997. Potasio. Manejo de la fertilidad en producciones extensivas (Cereales y pasturas). Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. Pp. 29-33.
- Mallarino A.P, J. E. Sawyer, and S. K. Barnhart. 2013. A General Guide for Crop Nutrient and Limestone Recommendations in Iowa. PM 1688. Extension adn Outreach, Iowa State University. Ames, Iowa, US.
- Mancassola M.V. and O. Casanova. 2015. Balance de nutrientes de los principales productos agropecuarios de Uruguay para los años 1990, 2000 y 2010. *Informaciones Agronomicas de Hispanoamerica*. 17:2-13. [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/1FBFE76748E1474185257E0A0065CD05/\\$FILE/2.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/1FBFE76748E1474185257E0A0065CD05/$FILE/2.pdf)
- Marella, G., A. Crosa, y J. Bordaberry. 1981. Respuesta de la soja a la fertilización fosfatada y potásica. Tesis Ing. Agrónomo, Facultad de Agronomía, Montevideo.
- Moir, T. R. G. and E. E. Reynaert. 1962. Ensayos de fertilización de cultivos. Comisión Honoraria del Plan Agropecuario. Ministerio de Ganadería y Agricultura.
- Morón, A. 1998. Requerimientos de fertilización y relevamiento nutricional. In: *Jornada de Alfalfa*. Canelones, Uruguay. p.15-20
- Morón, A. 1999. Relevamiento del estado nutricional y la fertilidad del suelo en cultivos de Trébol blanco. In: *Jornada de Trébol blanco*. INIA. Serie de Actividades de Difusión N° 200. 1-14p.
- Morón A. 2000. Fertilidad de suelos y estado nutricional. En: *Rebuffo M, Risso D, Restaino E. (Eds.). Tecnología en alfalfa*. INIA Boletín de Divulgación n° 69. 37-52. Montevideo, Uruguay.
- Morón, A.; Baethgen, W. 1996. Relevamiento de la fertilidad de los suelos bajo producción lechera. INIA Serie Técnica 73. Montevideo, Uruguay. 16 p.
- Núñez A. 2014. Dinámica del potasio en suelos agrícolas. Thesis M.Sc. Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. 97 p.
- Oudri N, Castro JL, Doti R, Secondi de Carbonell A. 1976. Guía para fertilización de cultivos. Montevideo: MAP. 48p.
- Wingeyer A.B., Amado T., Pérez-Bidegain M., Studdert G.A., Perdomo Varela C.H., García F.O., Karlen, D.L. 2015. Soil quality impacts of current South American. *Sustainability* 7:2213–2242, <http://dx.doi.org/10.3390/su7022213>.
- Zorb C., M. Senbayram, and E. Peiter. 2014. Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* 171:656-669.

Перевод с английского: Носов В.В.

# Обзор научных публикаций BETTER CROPS with plant food, № 2 2016



Ежеквартальный журнал

Международного института питания растений

(онлайн в свободном доступе <http://www.ipni.net/bettercrops>)

## Тенденции изменения содержания фосфора в почве в районе озера Эри

Том Бруулсема

Повышение концентрации растворенного фосфора в воде, поступающей в озеро Эри в течение последних 15 лет, привлекло внимание к особенностям сельскохозяйственного производства в бассейне озера.

В течение того же периода времени содержание фосфора в почве снизилось. В настоящее время небольшая площадь пахотных почв региона характеризуются очень высоким уровнем обеспеченности фосфором. И почти в половине почв региона содержание фосфора таково, что урожай зависит от ежегодного применения фосфорных удобрений.

Для снижения концентрации фосфора в воде, поступающей в озеро Эри, необходимо совершенствовать способы внесения фосфорных удобрений в почвы с низким уровнем обеспеченности, более точно определять сроки внесения, а также сочетать применение удобрений с другими сберегающими технологиями в рамках концепции «4-х правил» (4R Nutrient Stewardship).

## Отзывчивость кукурузы и сои на внесение фосфорных и калийных удобрений в Огайо

А.М. Фулфорд, С.В. Кулман, Р.В. Муллен, С.Е. Дигерт, Г.А. ЛаБарж, Е.М. Ленти, Г.Д. Уотерс

Рекомендации по дозам внесения фосфорных и калийных удобрений под кукурузу и сою в Огайо были последний раз обновлены в середине 90-х годов XX века.

Необходимы дальнейшие исследования для проверки правомерности этих рекомендаций спустя 20 лет.

В работе показано, что частота наблюдаемой отзывчивости кукурузы и сои на фосфорные и калийные удобрения незначительно отличается от уровня, ожидаемого по результатам агрохимического анализа почвы. Однако она превышает частоту, прогнозируемую исходя из наблюдаемого снижения уровня обеспеченности почвы, что указывает на необходимость дальнейших исследований.

## Можно ли улучшить азотное питание подсолнечника?

Н. Диовисалви, Н. Реусси Кальво, Г. Дивито, Н. Изкиердо, Г.Е. Эшеверия, Ф. Гарсия

Правильная диагностика доступности почвенного азота для подсолнечника имеет решающее значение при определении оптимальных доз азотных удобрений, необходимых для получения максимального уро-

жая семян и достаточного содержания в них масла и белка.

Использование локальных сенсорных датчиков для определения содержания азота в растениях может улучшить диагностику почвенного азота.

## Применение фосфогипса для снижения кислотности почвы: опыт Бразилии

Луис Прочноу, Эдуардо Кайреш, Камила Родригес

Применение фосфогипса может улучшить свойства почвы в подпахотном слое, что способствует лучшему развитию корневых систем растений.

Более развитая корневая система у растений, возделываемых на кислых почвах, обеспечивает более высокое поглощение влаги и питательных веществ сельскохозяйственными культурами, что приводит к росту урожайности, повышению экономической эффективности и устойчивости с/х производства.

## Урожайность картофеля и экономическая эффективность удобрений

Шутуан Ли, Ю Дуан, Жанкуан Чен, Тианвен Гуо, Иоухонг Ли

Сеть полевых опытов заложена на северо-западе Китая для изучения отзывчивости картофеля на внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений, а также восприимчивости возделывания картофеля к колебаниям цен на удобрения.

Применение NPK удобрений под картофель эффективно и рентабельно для этого важного региона возделывания картофеля.

## Содержание элементов питания растений в пальмовом масле

Кристофер Р. Доно, Ангер Кахио, Рули Вандри, Майлс Фишер, Томас Обертюр

Очевидный недостаток сведений о содержании элементов питания растений в пальмовом масле стимулировал исследование, направленное на определение концентраций элементов питания растений (N, P, K, Mg, Ca, S, Fe, Zn, Cu) в пальмовом масле и оценку влияния применения удобрений на уровень их содержания.

Содержание элементов питания растений было низким в пальмовом масле, экстрагированном на промышленных мельницах. Вероятно, они частично остаются в жмыхе.

Содержание некоторых элементов питания растений в пальмовом масле зависит от дозы удобрений, но не от сроков или частоты их применения.