

СОДЕРЖАНИЕ

Повышение агрохимической эффективности комплексных фосфорсодержащих удобрений за счет гуматной добавки.....	2
Эффективное использование фосфорных удобрений в земледелии.....	8
Содержание подвижных форм фосфора в черноземах обыкновенных Ростовской области и эффективность использования фосфора из удобрений растениями кукурузы.....	12
Поступление фосфора в поверхностный сток при весеннем снеготаянии на севере Великих равнин.....	14

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-eesa@ipni.net

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

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

Перепечатка и любое воспроизведение материалов, опубликованных в Вестнике, возможны только с письменного разрешения Международного института питания растений
© Международный институт питания растений 2015

Уважаемый читатель, мы продолжаем цикл публикаций, посвященных отдельным элементам питания растений. В 2011-13 годах мы выпустили серию сборников статей по калию (№3 2011, №4 2011, №1 2012, №3 2013, №4 2014), в 2014 вышел сборник по азоту (№2 2014) и сере (№3 2014).

Этот специальный выпуск вестника составлен из статей, посвященных наиболее актуальным проблемам, связанным с эффективностью применения фосфорных удобрений - способам повышения эффективности использования фосфора из удобрений растениями, методам ее оценки, а так же экологическим аспектам применения фосфорных удобрений.

Все сборники статей доступны в открытом доступе на нашем сайте (<http://eesa-ru.ipni.net/topic/russian-newsletter>)

С уважением,
Светлана Иванова, вице-президент МИПР по Восточной Европе и Центральной Азии

Crop Nutrient Deficiency Photo Contest — 2014

Победители конкурса «Дефицит элементов питания у сельскохозяйственных культур» – 2014 (Категория «Фосфор»)



1-е место: недостаток фосфора у чечевицы
О. Сингх, Территориальная программа развития, р. Чамбал, г. Кота, штат Раджастан, Индия.

Данная фотография была сделана при проведении вегетационного опыта в Экспериментальном центре Сельскохозяйственной научно-исследовательской станции в г. Кота (штат Раджастан). Недостаток фосфора у растений чечевицы проявился в контрольном варианте опыта (без внесения фосфора). Наблюдалось покраснение нижних листьев в результате образования антоциановых пигментов. При этом верхние листья сохраняли нормальную зеленую окраску. Содержание фосфора (P)

в растениях составило 0.16%. Почва, использовавшаяся в опыте, имела величину pH_{H_2O} , равную 7.8, и низкие запасы подвижного фосфора – 12 кг P/га (по методу Олсена).



2-е место: недостаток фосфора у гуавы

Ю.К. Шанвад, Университет сельскохозяйственных наук, г. Райчур, штат Карнатака, Индия.

На фотографии изображено однолетнее растение гуавы с внешними признаками недостатка фосфора, произраставшее в фермерском саду в районе Райчур на севере штата Карнатака. Агрохимическая характеристика почвы: $pH_{H_2O} = 7.7$; запасы подвижного фосфора – 8.2 кг P/га. По данным растительной диагностики, содержание фосфора (P) в листьях с признаками его недостатка составило 0.016%.

Повышение агрохимической эффективности комплексных фосфорсодержащих удобрений за счет гуматной добавки

Левин Б.В., Озеров С.А., Гармаш Г.А., Латина Н.В., Гармаш Н.Ю.

За несколько лет исследований установлено, что урожайность зерновых культур (яровой и озимой пшеницы, ярового ячменя) и рапса возрастала при внесении гуматизированных удобрений по сравнению с аналогичными дозами традиционных удобрений. Наибольший эффект от применения гуматизированных удобрений был получен на яровой пшенице и яровом рапсе в условиях засухи 2010 года. Внесение возрастающих доз минеральных удобрений в условиях засухи не привело к увеличению урожая яровой пшеницы и ярового рапса. При применении в аналогичных условиях такого же количества гуматизированных удобрений получена достоверная прибавка урожая изучаемых культур.

Применение минеральных удобрений (даже в высоких дозах) не всегда приводит к прогнозируемому увеличению урожая.

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что погодные условия вегетационного периода оказывают настолько сильное влияние на развитие растений, что экстремально неблагоприятные погодные условия фактически нивелирует эффект повышения урожайности даже при высоких дозах внесения питательных веществ (Страпеняц и др., 1980; Федосеев, 1985). Коэффициенты использования питательных веществ из минеральных удобрений могут резко отличаться в зависимости от погодных условий вегетационного периода, снижаясь для всех культур в годы с недостаточным увлажнением (Юркин и др., 1978; Державин, 1992). В связи с этим, любые новые приемы повышения эффективности минеральных удобрений в районах неустойчивого земледелия заслуживают внимания.

Один из приемов увеличения эффективности использования питательных веществ из удобрений и почвы, укрепления иммунитета растений к неблагоприятным факторам среды и повышения качества получаемой продукции - использование гуминовых препаратов при возделывании сельскохозяйственных культур.

За последние 20 лет, значительно повысился интерес к гуминовым веществам, применяемым в сельском хозяйстве. Тема гуминовых удобрений не является новой ни для исследователей, ни для практиков-аграриев. Начиная с 50-х годов прошлого столетия изучалось влияние гуминовых препаратов на рост, развитие, урожай различных сельскохозяйственных культур. В настоящее время в связи с резким подорожанием минеральных удобрений гуминовые вещества широко применяются для увеличения эффективности использования питательных веществ из почвы и удобрений, повышения иммунитета растений к неблагоприятным факторам среды и повышения качества урожая получаемой продукции.

Разнообразно сырье для производства гуминовых препаратов. Это могут быть угли бурые и темные, торф, озерный и речной сапропель, вермикомпост, леонардит, а также различные органические удобрения и отходы.

Основным способом получения гуматов на сегодня

является технология высокотемпературного щелочного гидролиза сырья, в результате которой происходит высвобождение поверхностно-активных высокомолекулярных органических веществ различной массы, характеризующихся определенным пространственным строением и физико-химическими свойствами. Препаративная форма гуминовых удобрений может представлять собой порошок, пасту или жидкость с различными удельным весом и концентрацией действующего вещества.

Основным отличием для различных гуминовых препаратов является форма действующего компонента гуминовых и фульвокислот и (или) их солей – в водорастворимой, усвояемой или трудноусвояемой формах. Чем выше содержание органических кислот в гуминовом препарате, тем ценнее он как для индивидуального применения, так и особенно для получения комплексных удобрений с гуматами.

Различны способы применения гуминовых препаратов в растениеводстве: обработка посевного материала, некорневые подкормки, внесение водных растворов в почву.

Гуматы могут применяться как отдельно, так и в сочетании со средствами защиты растений, регуляторами роста, макро- и микроэлементами. Спектр их использования в растениеводстве чрезвычайно широк и включает практически все сельскохозяйственные культуры, производимые как в крупных аграрных предприятиях, так и в личных подсобных хозяйствах. В последнее время значительно выросло их использование на различных декоративных культурах.

Гуминовые вещества обладают комплексным действием, улучшающим состояние почвы и системы взаимодействия «почва – растения»:

- повышают подвижность усвояемого фосфора в почве и почвенных растворах, ингибируют иммобилизацию усвояемого фосфора и ретроградацию фосфора;

- кардинально улучшают баланс фосфора в почвах и фосфорное питание растений, выражающееся в увеличении доли фосфорорганических соединений, ответственных за перенос и трансформацию энергии, синтез нуклеиновых кислот;

- улучшают структуру почв, их газопроницаемость, водопроницаемость тяжелых почв;

- поддерживают органо-минеральный баланс почв,

препятствуя их засолению, закислению и другим негативным процессам, приводящим к снижению или потере плодородия;

- сокращают вегетативный период за счет улучшения белкового обмена, концентрированной доставки питательных компонентов к плодовой части растений, насыщению их высокоэнергетическими соединениями (сахара, нуклеиновые кислоты и др. органические соединения), а также подавляют накопление нитратов в зеленой части растений;

- усиливают развитие корневой системы растения за счет полноценного питания и ускоренного деления клеток.

Особенно важными являются полезные свойства гуминовых компонентов для поддержания органо-минерального баланса почв при интенсивных технологиях. В статье Пола Фиксена «Концепция повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и эффективности использования элементов питания растениями» (Фиксен, 2010) приведена ссылка на системный анализ методов оценки эффективности использования элементов питания растениями. В качестве одного из значимых факторов, влияющих на эффективность использования элементов питания, указывается интенсивность технологий возделывания сельскохозяйственных культур и связанные с ними изменения структуры и состава почвы, в частности, иммобилизация элементов питания и минерализация органического вещества. Гуминовые компоненты в сочетании с ключевыми макроэлементами, прежде всего фосфором, поддерживают плодородие почв при интенсивных технологиях.

В работе Ивановой С.Е., Логиновой И.В., Тиндалл Т. «Фосфор: механизмы потерь из почвы и способы их снижения» (Иванова и др., 2011) химическая фиксация фосфора в почвах отмечена как один из основных факторов низкой степени использования фосфора растениями (на уровне 5 - 25% от внесенного в 1-ый год количества фосфора). Повышение степени использования фосфора растениями в год внесения имеет выраженный экологический эффект – снижение попадания фосфора с поверхностным и подземным стоком в водоемы. Сочетание органической составляющей в виде гуминовых веществ с минеральной в удобрениях препятствует химической фиксации фосфора в малорастворимые фосфаты кальция, магния, железа и алюминия и сохраняют фосфор в доступной для растений форме.

По нашему мнению, очень перспективно применение гуминовых препаратов в составе минеральных макроудобрений.

В настоящее время существует несколько способов введения гуматов в сухие минеральные удобрения:

- поверхностная обработка гранулированных промышленных удобрений, которая широко применяется при приготовлении механических тукосмесей;

- механическое введение гуматов в порошок с последующей грануляцией при малотоннажном производстве минеральных удобрений.

- введение гуматов в плав при крупнотоннажном производстве минеральных удобрений (промышленное производство).

Таблица 1. Основные показатели гумата натрия «Сахалинский» (ТУ 2189-004-54775950-2000)

№	Показатель	Ед. изм.	Величина
1	Массовая доля органического вещества	%	60
2	Массовая доля солей гуминовых кислот в органическом веществе	%	65
3	Na ₂ O	%	6
4	pH		8,0-9,5

Очень широкое распространение в России и за рубежом получило применение гуминовых препаратов для производства жидких минеральных удобрений, используемых для листовых обработок посевов.

Цель настоящей публикации - показать сравнительную эффективность гуматизированных и обычных гранулированных минеральных удобрений на зерновых культурах (озимой и яровой пшенице, ячмене) и яровом рапсе в различных почвенно-климатических зонах России.

В качестве гуминового препарата для получения гарантированных высоких результатов по агрохимической эффективности был выбран гумат натрия «Сахалинский» со следующими показателями (табл. 1).

Производство гумата «Сахалинский» основано на использовании бурых углей Солнцевского месторождения о. Сахалин, имеющих очень высокую концентрацию гуминовых кислот в усвояемой форме (более 80%). Щелочная вытяжка из бурых углей этого месторождения представляет собой практически полностью растворимый в воде негигроскопичный и неслеживающийся порошок темно-коричневого цвета. В состав продукта переходят также микроэлементы и цеолиты, способствующие аккумуляции питательных веществ и регулированию обменного процесса.

Кроме указанных показателей гумата натрия «Сахалинский», важным фактором его выбора в качестве гуминовой добавки было производство концентрированных форм гуминовых препаратов в промышленных количествах, высокие агрохимические показатели индивидуального применения, содержание гуминовых веществ преимущественно в водорастворимой форме и наличие жидкой формы гумата для равномерного распределения в грануле при промышленном производстве, а также государственная регистрация в качестве агрохимиката.

В 2004 г. на ОАО «Аммофос» в г. Череповец была выпущена опытная партия нового вида удобрения – азофоски (нитроаммофоски) марки 13:19:19, с добавкой гумата натрия «Сахалинский» (щелочная вытяжка из леонардита) в пульпу по технологии, разработанной в ОАО «НИУИФ». Показатели качества гуматизированной аммофоски 13:19:19 приведены в табл. 2.

Основной задачей при проведении промышленных испытаний было обоснование оптимального способа ввода гуматной добавки «Сахалинский» с сохранением водорастворимой формы гуматов в продукте. Известно, что гуминовые соединения в кислых средах (при pH < 6) переходят в формы водорастворимых гуматов (Н-гуматы) с потерей их эффективности.

Таблица 2. Показатели качества гуматизированной аммофоски 13:19:19 с гуматом натрия «Сахалинский»				
№	Показатель	Ед. изм.	Норма по ТУ 2186-182-00209438-04	Фактическое
1	Азот	%	13+/-1	13.2
2	P ₂ O ₅	%	19+/-1	18.6
3	K ₂ O	%	19+/-1	18.0
4	Содержание гумата натрия	%	0.2	0.20
5	Влага	%	1.3	1.0
6	Статическая прочность молекул	МПа	3	3.8
7	Рассыпчатость	%	100	100
8	Массовая доля гранул			
	менее 1 мм	%	3	0.2
	1 - 6 мм	%	97	99.8

Таблица 3. Эффективность применения гуматизированной аммофоски (13:19:19) под ячмень.		
Варианты опыта	Урожайность, т/га	Содержание белка в зерне, %
Аммофоска	3.10	11.0
Аммофоска+гумат	3.43	12.6
Относительная прибавка, %	10.6	14.5

Ввод порошкообразного гумата «Сахалинский» в ретур при производстве комплексных удобрений обеспечил отсутствие контакта гумата с кислой средой в жидкой фазе и его нежелательных химических трансформаций. Это подтвердил последующий анализ готовых удобрений с гуматами. Ввод гумата фактически на финальной стадии технологического процесса определил сохранение достигнутой производительности технологической системы, отсутствие возвратных потоков и дополнительных выбросов. Не отмечено и ухудшения физико-химических комплексных удобрений (слеживаемость, прочность гранул, пылимость) при наличии гуминовой составляющей. Аппаратурное оформление узла ввода гумата также не представляло сложностей.

В 2004 г. в ЗАО «Сет-Орел Инвест» (Орловская область) был проведен производственный опыт с внесением гуматизированной аммофоски под ячмень. Прибавка урожая ячменя на площади 4532 га от применения гуматизированного удобрения по сравнению со стандартной аммофоской марки 13:19:19 составила 0.33 т/га (11%), содержание белка в зерне повысилось с 11 до 12.6% (табл. 3), что дало хозяйству дополнительную прибыль в размере 924 руб/га.

В 2004 г. в ГФУП ОПХ «Орловское» ВНИИ зернобобовых и крупяных культур (Орловская область) проводились полевые опыты по изучению влияния гуматизированной и обычной аммофоски (13:19:19) на урожай и качество яровой и озимой пшеницы.

Схема опытов:

1. Контроль (без удобрений)
2. N26 P38 K38 кг д.в./га

3. N26 P38 K38 кг д.в./га гуматизированное
4. N39 P57 K57 кг д.в./га
5. N39 P57 K57 кг д.в./га гуматизированное.

Опыты с озимой пшеницей (сорт Московская-39) проводились по двум предшественникам - черный и сидеральный пар. Анализ результатов опыта с озимой пшеницей показал, что гуматизированные удобрения оказывают положительное влияние на урожайность, а также содержание белка и клейковины в зерне по сравнению с традиционным удобрением. Максимальная урожайность (3.59 т/га) наблюдалась в варианте с внесением повышенной дозы гуматизированного удобрения (N39 P57 K57). В этом же варианте получено самое высокое содержание белка и клейковины в зерне (табл. 4).

В опыте с яровой пшеницей (сорт Смена) максимальная урожайность 2.78 т/га наблюдалась также при внесении повышенной дозы гуматизированного удобрения. В этом же варианте наблюдалось самое высокое содержание белка и клейковины в зерне. Как и в опыте с озимой пшеницей, внесение гуматизированного удобрения статистически значимо увеличивало урожайность и содержание белка и клейковины в зерне по сравнению с внесением такой же дозы стандартного минерального удобрения. Последний работает не только как индивидуальный компонент, но и улучшает усвояемость растениями фосфора и калия, уменьшает потери азота в азотном цикле питания и в целом улучшает обмен между почвой, почвенными растворами и растениями.

Значимое улучшение качества урожая и озимой и яровой пшеницы свидетельствует о повышении эффективности минерального питания продукционной части растения.

По результатам действия гуматную добавку можно сравнить с влиянием микрокомпонентов (бор, цинк, кобальт, медь, марганец и др.). При относительно небольшом содержании (от десятых долей до 1%) гуматные добавки и микроэлементы обеспечивают практически одинаковое повышение урожайности и качества сельскохозяйственной продукции. В работе (Аристархов, 2010) изучено влияние микроэлементов на урожайность и качество зерна зерновых и зернобобовых и показано увеличение белка и клейковины на примере озимой пшеницы при основном внесении на различных типах почв. Направленное влияние микроэлементов и гуматов на продуктивную часть культур сопоставимо по получаемым результатам.

Высокие агрохимические результаты производства при минимальной доработке аппаратурной схемы крупнотоннажного производства комплексных удобрений, полученные от применения гуматизированной аммофоски (13:19:19) с гуматом натрия «Сахалинский», позволили расширить спектр гуматизированных марок комплексных удобрений с включением нитратсодержащих марок.

В 2010 г. в ОАО «Минеральные удобрения» (г. Россошь, Воронежская область) была произведена партия гуматизированной азофоски 16:16:16 (N:P₂O₅:K₂O) с содержанием гумата (щелочная вытяжка из леонардита) – не менее 0.3% и влаги – не более 0.7%.

Азофоска с гуматами представляла собой гранулированное органоминеральное удобрение светло-серо-

Таблица 4. Влияние гуматизированного минерального удобрения марки 13:19:19 на урожайность и качество зерна пшеницы				
№ п/п	Варианты опыта	Урожайность, т/га	Содержание в зерне, %	
			Клейковина	Белок
Озимая пшеница (сорт Московская-39)				
1	Контроль (без удобрений)	2.62	18.9	16.4
2	N26 P38 K38	3.22	19.7	16.9
3	N39 P57 K57	3.47	21.8	17.1
4	N26 P38 K38 +гумат	3.37	22.4	17.3
5	N39 P57 K57 +гумат	3.59	24.9	17.6
НСР ₀₅		0.23		
Относительная прибавка от гумата, %			13.7 - 14.2	2.3 - 2.9
Яровая пшеница (сорт Смена)				
1	Контроль (без удобрений)	1.98	18.3	15.0
2	N26 P38 K38	2.36	19.9	16.2
3	N39 P57 K57	2.50	22.9	17.0
4	N26 P38 K38 +гумат	2.62	22.4	17.0
5	N39 P57 K57 +гумат	2.78	24.5	17.5
НСР ₀₅		0.24		
Относительная прибавка от гумата, %			7.0 - 12.5	2.9 - 4.9

го цвета, отличающееся от стандартного только присутствием в нем гуминовых веществ, что придавало едва заметный светло-серый оттенок новому удобрению. Азофоска с гуматами была рекомендована в качестве органоминерального удобрения для основного и «припосевного» внесения в почву и для корневых подкормок под все культуры, где возможно применение обычной азофоски.

В 2010 и 2011 гг. на опытном поле ГНУ Московский НИИСХ «Немчиновка» проводили исследования с гуматизированной азофоской производства ОАО «Минеральные удобрения» в сравнении со стандартной, а также с калийными удобрениями (хлористый калий), содержащими гуминовые кислоты (КалиГум), в сравнении с традиционным калийным удобрением КСЛ.

Полевые опыты проводили по общепринятой методике (Доспехов, 1985) на опытном поле Московского НИИСХ «Немчиновка».

Отличительная особенность почв опытного участка - высокое содержание фосфора (порядка 150-250 мг/кг), и среднее калия (80-120 мг/кг). Это обусловило отказ от основного внесения фосфорных удобрений. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая. Агрохимическая характеристика почвы перед закладкой опыта: содержание органического вещества - 3.7%, рН_{сол.}-5.2, NH₄⁻ - следы, NO₃⁻ - 8 мг/кг, P₂O₅ и K₂O (по Кирсанову) - 156 и 88 мг/кг соответственно, СаО - 1589 мг/кг, MgO - 474 мг/кг.

В опыте с азофоской и рапсом размер опытной делянки составлял 56 м² (14м x 4м), повторность - четырехкратная. Предпосевная обработка почвы после основного внесения удобрений - культиватором и непосредственно перед посевом - РБК (ротационной бороной-культиватором). Посев - сеялкой Амазон в оптимальные агротехнические сроки, глубина заделки семян 4-5 см - для пшеницы и 1-3 см - для рапса. Нормы высева: пшеницы - 200 кг/га, рапса - 8 кг/га.

В опыте использовали яровую пшеницу сорт МИС и яровой рапс сорт Подмосковный. Сорт МИС - вы-

сокопродуктивный среднеспелый, позволяющий стабильно получать зерно, пригодное для производства макаронных изделий. Сорт устойчив к полеганию; значительно слабее стандарта поражается бурой ржавчиной, мучнистой росой и твердой головней.

Яровой рапс Подмосковный - среднеспелый, вегетационный период 98 дней. Экологически пластичен, отличается равномерным цветением и созреванием, устойчивостью к полеганию 4.5-4.8 балла. Низкое содержание глюкозинолатов в семенах позволяет использовать жмых и шроты в рационах животных и птицы в повышенных нормах.

Урожай пшеницы убирали в фазу полной спелости зерна. Рапс скашивали на зеленый корм в фазу цветения. Опыты для яровой пшеницы и рапса заложены по одной схеме.

Анализ почвы и растений проводили согласно стандартным и общепринятым в агрохимии методам.

Схема опытов с азофоской:

1. Фон (50 кг д.в. N/га в подкормку)
2. Фон+азофоска основное внесение 30 кг д.в. NPK/га
3. Фон+азофоска с гуматом основное внесение 30 кг д.в. NPK/га
4. Фон+азофоска основное внесение 60 кг д.в. NPK/га
5. Фон+азофоска с гуматом основное внесение 60 кг д.в. NPK/га
6. Фон+азофоска основное внесение 90 кг д.в. NPK/га
7. Фон+азофоска с гуматом основное внесение 90 кг д.в. NPK/га

Агрохимическую эффективность комплексные удобрения с гуматами продемонстрировали и в экстремально засушливых условиях 2010 г., подтвердив ключевое значение гуматов для стрессоустойчивости культур за счет активации обменных процессов при

Таблица 5. Эффективность обычной азофоски и гуматизированной азофоски при возрастающих дозах внесения (яровая пшеница МИС, 2010 год)

Варианты опыта	Урожай- ность т/га	Прибавка урожае	Масса 1000 зерен	Содержание в зерне, %			
				азот	фосфор	калий	белок
Фон (N50)	2.73	-	28	2.00	0.46	0.42	11.4
Фон (N50) +азофоска (N30P30K30)	3.27	0.54	27	2.09	0.48	0.44	11.9
Фон (N50) + азофоска с гуматом (N60P60K60)	3.48	0.75	27	2.16	0.43	0.38	12.3
Фон (N50) + азофоска (N60P60K60)	3.06	0.33	27	2.58	0.42	0.41	14.7
Фон (N50) +азофоска с гуматом (N90P90K90)	3.57	0.84	27	2.46	0.47	0.38	14.0
Фон (N50) +азофоска (N90P90K90)	3.24	0.51	27	2.59	0.50	0.39	14.8
Фон (N50) +азофоска с гуматом (N90P90K90)	3.69	0.96	27	2.59	0.47	0.37	14.8
НСР ₀₅	0.32						

водном голодании.

В годы проведения исследований погодные условия значительно отличались от средних многолетних для Нечерноземной зоны. В 2010 году май и июнь были благоприятными для развития сельскохозяйственных культур, и у растений были заложены генеративные органы с перспективой на будущий урожай зерна порядка 7 т/га у яровой пшеницы (как в 2009 году) и 3 т/га – у рапса. Однако, как и во всем Центральном регионе РФ, в Московской области с начала июля и до уборки урожая пшеницы в начале августа наблюдалась длительная засуха. Среднесуточные температуры в этот период были превышены на 7°C, а дневные температуры в течение длительного времени были выше 35°C. Отдельные кратковременные осадки выпадали в виде ливневых дождей и вода стекала с поверхностным стоком и испарялась, лишь частично впитываясь в почву. Насыщение почвы влагой в кратковременные периоды дождей не превышало глубины проникновения 2-4 см. В 2011 году в первой декаде мая после посева и во время всходов растений осадков выпало почти в 4 раза меньше (4 мм) средневзвешенной многолетней нормы (15 мм).

Среднесуточная температура воздуха в этот период (13.9°C) была значительно выше среднесуточной многолетней температуры (10.6°C). Количество осадков и температура воздуха во 2-ую и 3-ю декады мая значительно не отличались от количества средневзвешенных осадков и среднесуточных температур.

В июне осадков выпало значительно меньше средней многолетней нормы, температура воздуха превышала среднесуточные на 2-4°C.

Жарким и сухим был июль. Всего за вегетационный период осадков выпало на 60 мм меньше нормы, а среднесуточная температура воздуха была примерно на 2°C выше средней многолетней. Неблагоприятные погодные условия 2010 и 2011 годов не могли не сказаться на состоянии посевов. Засуха совпала с фазой налива зерна у пшеницы, что, в конечном итоге, привело к значительному снижению урожая.

Длительная воздушная и почвенная засуха в 2010 году не дали ожидаемого эффекта от возрастающих доз азофоски. Это проявилось как на пшенице, так и на рапсе.

Дефицит влаги оказался главным препятствием в реализации заложенного почвенного плодородия, при этом урожайность пшеницы в целом была в два

раза ниже, чем в аналогичном опыте 2009 года (Гармаш и др., 2011). Прибавки урожая при внесении 200, 400 и 600 кг/га азофоски (физического веса) были практически одинаковы (табл. 5).

Низкая урожайность пшеницы обусловлена, в основном, щуплостью зерна. Масса 1000 зерен на всех вариантах опыта равнялась 27 – 28 грамм. Данные по структуре урожая на вариантах достоверно не различались. В массе снопа зерно составляло около 30% (при нормальных погодных условия этот показатель составляет до 50%). Коэффициент кущения равен 1.1-1.2. Масса зерна в колосе составляла 0.7-0.8 грамм.

В то же время, в вариантах опыта с гуматизированной азофоской получена достоверная прибавка урожая при увеличении доз удобрений. Это обусловлено, прежде всего, лучшим общим состоянием растений и развитием более мощной корневой системы при применении гуматов на фоне общего стресса посевов от длительной и продолжительной засухи.

Значительный эффект от применения гуматизированной азофоски проявился на начальном этапе развития растений рапса. После посева семян рапса в результате кратковременного ливня с последующими высокими температурами воздуха на поверхности почвы образовалась плотная корка. Поэтому всходы на вариантах с внесением обычной азофоски были неравномерными и сильно изреженными по сравнению с вариантами с гуматизированной азофоской, что привело к значительным различиям в урожае зеленой массы (табл. 6).

В опыте с калийными удобрениями площадь опытной делянки составляла – 225 м² (15 м x 15 м), повторность опыта – четырехкратная, расположение делянок – рендомизированное. Площадь опыта – 3600 м². Опыт проведен в звене севооборота озимые зерновые – яровые зерновые - занятый пар. Предшественник яровой пшеницы – озимое тритикале.

Удобрения вносили вручную из расчета: азота – 60, калия – 120 кг д.в. на га. В качестве азотных удобрений применяли аммиачную селитру, в качестве калийных – калий хлористый и новое удобрение КалиГум. В опыте выращивали яровую пшеницу сорт Злата, рекомендованный для возделывания в Центральном регионе. Сорт раннеспелый с потенциалом продуктивности до 6.5 т/га. Устойчив к полеганию, значительно слабее стандартного сорта поражается бурой ржавчиной и мучнистой росой, на уровне стандартного сорта

Таблица 6. Эффективность обычной азофоски и гуматизированной азофоски при возрастающих дозах внесения (яровой рапс Подмосковский, 2010 год)		
Варианты опыта	Урожай зеленой массы	Прибавка урожая
	т/га	
Фон (N50)	10.1	-
Фон (N50) + азофоска (N30P30K30)	12.0	1.9
Фон (N50) + азофоска с гуматом (N60P60K60)	18.5	8.4
Фон (N50) + азофоска (N60P60K60)	12.4	2.3
Фон (N50) + азофоска с гуматом (N90P90K90)	20.1	10.0
Фон (N50) + азофоска (N90P90K90)	13.2	3.1
Фон (N50) + азофоска с гуматом (N90P90K90)	22.6	12.5
НСР ₀₅	2.1	

– септориозом. Семена до посева обрабатывали протравителем «Винцит» в рекомендуемых производителем нормах. В фазе кущения проводили подкормку посевов пшеницы аммиачной селитрой из расчета 30 кг д.в. на 1 га.

Схема опытов с калийными удобрениями:

1. Контроль (без удобрений).
2. N60 основное + N30 подкормка
3. N60 основное + N30 подкормка + K 120 (KCl)
4. N60 основное + N30 подкормка + K 120 (КалиГум)

В опытах с калийными удобрениями отмечена тенденция увеличения урожая зерна пшеницы в варианте с испытуемым удобрением КалиГум по сравнению с традиционным хлористым калием. Содержание белка в зерне при внесении гуматизированного удобрения КалиГум было выше на 1.3% по сравнению с KCl. Самое высокое содержание белка наблюдалось на вариантах с минимальным урожаем – контроле и варианте с внесением азота (N60 + N30). Данные по структуре урожая на вариантах достоверно не различались. Масса 1000 зерен и масса зерна в колосе по вариантам были практически одинаковы и составляли 38.1-38.6 г и 0.7-0.8 г соответственно (табл. 7).

Таким образом, полевыми опытами достоверно доказана агрохимическая эффективность комплексных удобрений с добавками гуматов, определяемые по прибавке урожайности и содержанию белка в зерновых культурах. Для обеспечения этих результатов необходим правильный выбор гуминового препарата с высокой долей водорастворимых гуматов, его формы и места ввода в технологический процесс на

финальных стадиях. Это позволяет достигать относительно небольшого содержания гуматов (0.2 - 0.5% мас.) в гуматизированных удобрениях и обеспечивать равномерное распределение гуматов по грануле. При этом важным фактором является сохранение высокой доли водорастворимой формы гуматов в гуматизированных удобрениях.

Комплексные удобрения с гуматами повышают устойчивость сельскохозяйственных культур к негативным погодно-климатическим условиям в частности, к засухе, ухудшению структуры почв. Они могут быть рекомендованы как эффективные агрохимикаты в зонах рискованного земледелия, а также при использовании интенсивных методов земледелия со съемом нескольких урожаев в год для поддержания высокого плодородия почв в частности, в расширяющихся зонах с дефицитным водным балансом и аридных зонах. Высокая агрохимическая эффективность гуматизированной аммофоски (13:19:19) определяется комплексным действием минеральной и органической частей с усилением действия питательных компонентов, прежде всего фосфорного питания растений, улучшением обмена веществ между почвой и растениями, повышением стрессоустойчивости растений.

Левин Борис Владимирович – кандидат технических наук, заместитель ген. директора, директор по технической политике АО «ФосАгро-Череповец»; e-mail: BLevin@phosagro.ru.

Озеров Сергей Александрович – начальник управления анализа рынка и планирования продаж АО «ФосАгро-Череповец»; e-mail: Sozerov@phosagro.ru.

Гармаш Григорий Александрович - заведующий лабораторией аналитических исследований ФГБНУ «Московский НИИСХ «Немчиновка», кандидат биологических наук; e-mail: niicrnz@mail.ru.

Гармаш Нина Юрьевна - ученый секретарь ФГБНУ «Московский НИИСХ «Немчиновка», доктор биологических наук; e-mail: niicrnz@mail.ru.

Латина Наталья Валерьевна - генеральный директор ООО «Биомир 2000», директор производства ГК Сахалинские Гумат; e-mail: green_island@inbox.ru.

Литература

Пол И. Фиксен Концепция повышения продуктивности сельско-

Таблица 7. Эффективность гуматизированного калийного удобрения КалиГум и стандартного KCl							
Варианты опыта	Урожайность	Прибавка урожая	Масса 1000 зерен, г	Содержание в зерне, %			
				т/га	Азот	Фосфор	Калий
Контроль (без удобрений)	2.17	-	38.4	2.6	0.43	0.42	14.7
N 90	2.48	0.31	38.6	2.6	0.40	0.40	14.6
N90+K120 (KCl)	2.62	0.45	38.0	2.2	0.41	0.44	12.5
N90+K120 (КалиГум)	2.76	0.59	38.1	2.4	0.43	0.42	13.8
НСР ₀₅	0.21						

хозяйственных культур и эффективности использования элементов питания растениями // Питание растений: Вестник Международного института питания растений, 2010, №1. – с. 2-7.

Иванова С.Е., Логинова И.В., Танделл Т. Фосфор: механизмы потерь из почвы и способы их снижения // Питание растений: Вестник Международного института питания растений, 2011, №2. – с. 9-12.

Аристархов А.Н. и др. Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка и качество продукции зерновых и зернобобовых культур // Агрохимия, 2010, №2. – с. 36-49.

Страпеняни Р.А., Новиков А.И., Стребков И.М., Шапиро Л.З., Кирикой Я.Т. Моделирование закономерностей действия минеральных удобрений на урожай // Вестник с.-х. науки, 1980, № 12. – с. 34-43.

Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. Ленинград: Ги-

дрометиздат, 1985. – 144 с.

Юркин С.Н., Пименов Е.А., Макаров Н.Б. Влияние почвенно-климатических условий и удобрений на расход основных элементов питания урожая пшеницы // Агрохимия, 1978, № 8. – С. 150-158.

Державин Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. М.: Колос, 1992. – 271 с.

Гармаш Н.Ю., Гармаш Г.А., Берестов А.В., Морозова Г.Б. Микроэлементы в интенсивных технологиях производства зерновых культур // Агрохимический вестник, 2011, № 5. – С. 14-16.

Авторы выражают благодарность вице-президенту МИПР по Восточной Европе и Центральной Азии, кандидату биологических наук Ивановой С.Е. за помощь в подготовке статьи.

Эффективное использование фосфорных удобрений в земледелии

Дж. Джонстон, П. Фиксен и П. Поултон

Для разных типов почв двух континентов была проведена оценка эффективности использования фосфора из удобрений растениями. При этом результаты проведенных в Англии полевых опытов были объединены с агрегированными данными, полученными для отдельных штатов США. Проведенное обобщение позволяет сделать вывод о том, что поведение фосфора в почве и его доступность растениям можно охарактеризовать исходя из «простых» закономерностей. Это согласуется с концепцией, предполагающей существование четырех групп неорганических соединений фосфора в почве.

Фосфор – основной элемент, без которого немислимо существование всех живых организмов. При этом доступные запасы фосфатной руды в мире ограничены. Более 80% добываемых фосфатов после переработки используются для производства продуктов питания. Следовательно, от того, насколько рационально используется фосфор в земледелии зависит, как быстро будут исчерпаны мировые запасы фосфатного сырья. Это особенно важно с учетом растущего потребления фосфорных удобрений вследствие увеличения численности населения. Неэффективное использование фосфора в земледелии служит причиной убытков сельхозпроизводителей.

Поведение фосфора в почве

Свой вклад в решение вопроса о повышении эффективности использования фосфора в земледелии внесли Сайерс с соавт. (Syers и др., 2008), которые пересмотрели сложившиеся представления о поведении фосфора в почве. Они доказали, что существовавшая долгое время точка зрения о необратимой фиксации фосфора почвой несостоятельна для большинства типов почв. По мнению авторов, можно выделить четыре группы неорганических соединений фосфора в почве в зависимости от их доступности для поглощения корневой системой растений и извлекаемости из почв при использовании общепринятых аналитических методов (рис. 1). Первые две группы – это фосфор почвенного рас-

твора (группа 1: очень малое количество фосфора) и легкодоступный растениям фосфор (группа 2). Данные группы составляют незначительную часть от валового содержания фосфора в почве, и их количественная оценка может быть проведена с помощью стандартных вытяжек, широко используемых при проведении массовых агрохимических анализов.

Доступность и экстрагируемость фосфора различных групп в значительной степени определяется природой и прочностью его связи с органо-минеральными компонентами почвы. Важная особенность, отмеченная на рис. 1 для первых трех групп, – это обратимость перехода фосфора из одной группы в другую, что ранее было подробно описано в работе Сайерса с соавт. (Syers и др., 2008). Согласно вышеуказанной концепции, существует критический уровень содержания доступного растениям фосфора, который представлен группами 1 и 2. Оптимальная урожайность сельскохозяйственных культур не достигается при содержании доступного растениям фосфора ниже данного критического уровня. С другой стороны, если содержание доступного растениям фосфора превышает указанный уровень, вносить в почву фосфорные удобрения нецелесообразно (неэффективно).

Эффективность использования фосфора из удобрений растениями

Определить точное количество фосфора, поглощенное растениями из удобрений, можно только

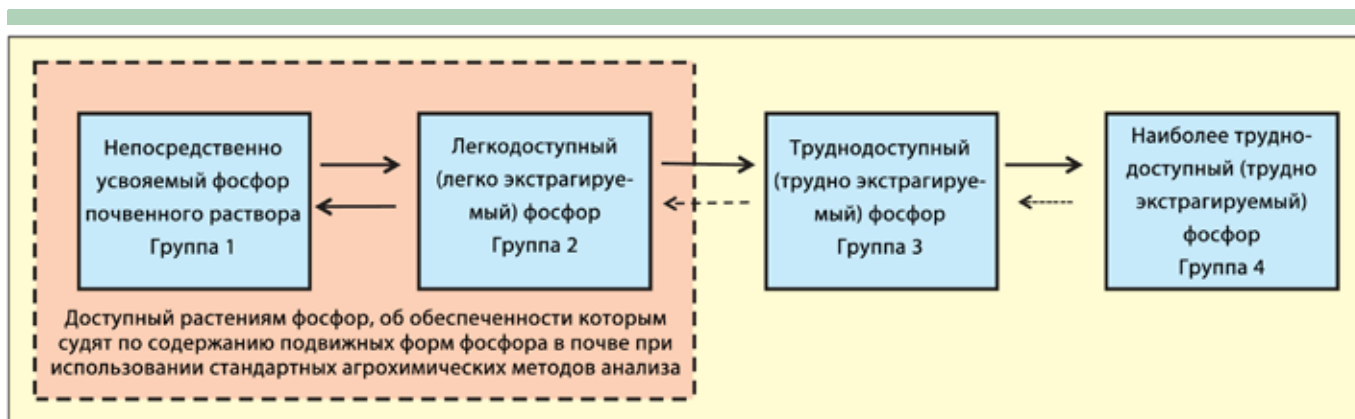


Рис. 1. Концептуальная блок-схема для описания неорганических соединений фосфора в почве, различающихся по доступности растениям и экстрагируемости вытяжками при анализе почв.

с помощью изотопной метки ^{32}P . Однако это дорогостоящее исследование, и, кроме того, изотоп ^{32}P имеет короткий период полураспада. Поэтому, как правило, коэффициент использования фосфора из удобрений растениями (%) определяют разностным методом по следующей формуле:

$$\left(\frac{U_p - U_0}{F_p} \right) 100,$$

где U_p и U_0 – вынос фосфора надземной биомассой растений в вариантах с внесением и без внесения фосфорных удобрений соответственно, F_p – доза внесенных фосфорных удобрений.

Согласно литературным данным, коэффициент использования фосфора из удобрений растениями, как правило, находится в диапазоне 10-15% и редко превышает 25%. При столь малых значениях данного показателя применение фосфорных удобрений принято считать неэффективным.

Если в растения переходит лишь незначительное количество фосфора из «свежевнесенных» минеральных и органических удобрений, то остальная его часть должна поступать из почвенных запасов.

Наличие данных резервов может быть связано как с высоким уровнем естественного плодородия почвы, так и с предшествующим внесением фосфора с минеральными и органическими удобрениями. В работе Сайерса с соавт. (Syers и др., 2008) высказано предположение о том, что при возмещении поглощенного растениями фосфора из почвенных запасов достигается столь же эффективное использование «свежевнесенного» фосфора, как и при его непосредственном поглощении растениями. Данная точка зрения базируется на том, что при дозах фосфорных удобрений, близких к выносу фосфора с урожаем основной продукции, суммарное количество фосфатов 1-й и 2-й групп остается неизменным во многих типах почв (рис. 1). Таким образом, для оценки эффективности использования фосфора растениями приемлемо использовать такой показатель, как отношение выноса фосфора с урожаем основной продукции к поступлению фосфора с удобрениями (так называемый балансовый коэффициент использования фосфора из удобрений и почвы), особенно совместно с данными по содержанию доступного растениям фосфора в почве.

Таблица 1. Поддержание содержания подвижного фосфора в почве при возмещении выноса фосфора с урожаем зерна за счет внесения с удобрениями: 4-х летний период полевого опыта по бессменному возделыванию озимой пшеницы (Ротамстедская опытная станция, 2005-2008 гг.).

Показатель	Содержание подвижного фосфора (по методу Олсена) в 2004 г., мг P/кг почвы**				
	9	14	20	23	31
Средняя урожайность зерна за 4 года, т/га	7.6	8.3	8.1	8.5	8.5
Внесение фосфора с удобрениями (всего), кг P/га*	80	80	80	80	80
Вынос фосфора с урожаем зерна (всего), кг P/га	56	68	66	77	75
Баланс фосфора, кг P/га	24	12	14	3	5
Содержание подвижного фосфора (по методу Олсена) в 2008 г., мг P/кг почвы**	8	13	18	24	31
Балансовый коэффициент использования фосфора из удобрений и почвы, %	70	85	82	96	94

* Осеннее внесение 20 кг P/га ежегодно.
** Образцы почвы отбирали осенью.

Эффективность использования фосфора из удобрений при содержании доступного растениям фосфора в почве близком к критическому уровню

Эффективность использования растениями внесенного в почву фосфора, оцененная с помощью балансового коэффициента использования фосфора из удобрений и почвы, зачастую превышает 80% при применении фосфорных удобрений с учетом поддержания содержания подвижных форм фосфора в почве на критическом уровне. В полевом опыте, проведенном на Ротамстедской опытной станции (Великобритания) на пылевато-иловатом суглинке с разной обеспеченностью доступным фосфором (с содержанием подвижных форм фосфора 9-31 мг P/кг почвы по методу Олсена), в течение четырех лет изучали «поддерживающее» внесение фосфорных удобрений под озимую пшеницу (20 кг P/га каждую осень). При увеличении содержания подвижных форм фосфора в почве наблюдалось повышение урожайности зерна (в среднем за годы исследова-

ний), а также выноса фосфора основной и побочной продукцией. Соответственно, снижалась интенсивность баланса фосфора. При максимальной урожайности и внесении доз фосфора, близких к его выносу с урожаем зерна, эффективность использования растениями внесенного в почву фосфора, оцененная с помощью балансового коэффициента использования фосфора из удобрений и почвы, превышала 90% (табл. 1). Аналогичные полевые опыты по поддержанию содержания доступного растениям фосфора в почве на критическом уровне при компенсации выноса фосфора с урожаем за счет внесения фосфорных удобрений проводились и ранее (Halvorson, Black, 1985; McCollum, 1991).

Взаимосвязь между балансовым коэффициентом использования фосфора из удобрений и почвы и содержанием доступного растениям фосфора в почве

Содержание доступного растениям фосфора в почве должно изменяться в зависимости от величины балансового коэффициента использования фосфора из удобрений и почвы. Если величина данного балансового коэффициента равна единице¹, наблюдается баланс между выносом фосфора с урожаем основной продукции и поступлением с удобрениями. При этом содержание доступного растениям фосфора в почве меняется незначительно. Если величина балансового коэффициента больше единицы, вынос фосфора с урожаем основной продукции превышает поступление с удобрениями, и в результате этого происходит истощение запасов данного элемента питания в почве. При содержании доступного растениям фосфора в почве, равном или меньше критического уровня, возрастает риск недополучения урожая сельскохозяйственных культур. Если величина балансового коэффициента меньше единицы (то есть вынос фосфора с урожаем основной продукции ниже поступления с удобрениями), в большинстве типов почв происходит накопление фосфора. При достижении либо незначительном превышении критического уровня содержания доступного растениям фосфора в почве внесение фосфорных удобрений в большинстве случаев следует снизить до доз, компенсирующих вынос фосфора с урожаем основной продукции.

Международный институт питания растений (IPNI) разработал ГИС-систему для оценки использования элементов питания в земледелии (NuGIS: <http://www.ipni.net/nugis>) с целью получения данных о балансе фосфора и сопоставления с содержанием доступного растениям фосфора в почве (Fixen и др., 2010; личные контакты с автором). Например, данные IPNI для северной части Великих равнин США свидетельствуют о том, что в тех штатах, где величина балансового коэффициента использования фосфора из удобрений и почвы была близка к единице, медианное содержание подвижного фосфора

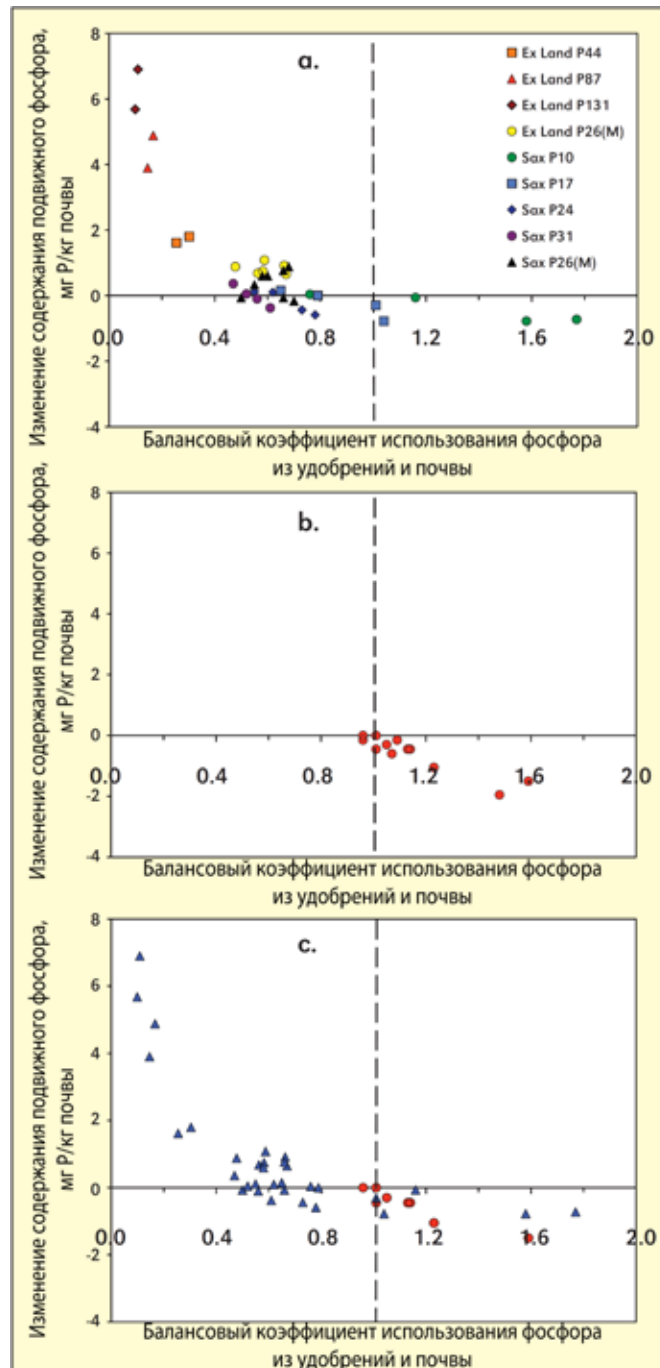


Рис. 2. Среднегодовое изменение содержания подвижного фосфора в почве (по методу Олсена) в зависимости от величины балансового коэффициента использования фосфора из удобрений и почвы (отношение выноса фосфора с урожаем основной продукции к поступлению фосфора с удобрениями):

- a – данные двух многолетних полевых опытов, проводимых в Великобритании [P44 и т.д. – ежегодная доза фосфора; M – доза фосфора, компенсирующая вынос с урожаем основной продукции];
- b – данные для 12-ти штатов США (П. Фиксен, личные контакты);
- c – объединенные данные для США (●) и Великобритании (▲).

Ex Land = Бессменная озимая пшеница
Sax = Опыт в Саксмундхаме

в почве по методу «Брей-1» оставалось практически неизменным (в 340 тыс. почвенных образцах, проанализированных в данных штатах за три года). Данные табл. 1 (Ротамстедская опытная станция) и

¹ Или 100% при выражении в процентах (примечание редактора).

Таблица 2. Балансовый коэффициент использования фосфора из удобрений и почвы и содержание подвижного фосфора (по методу «Брей-1») в трех штатах США.

Штат	Балансовый коэффициент использования фосфора из удобрений и почвы			Медианное содержание подвижного фосфора, мг P/кг почвы		
	2002	2007	Среднее	2001	2005	2010
Монтана	0.97	1.04	1.01	12	14	14
Северная Дакота	1.07	0.94	1.01	10	11	11
Южная Дакота	1.02	0.91	0.97	11	14	13

Примечание: поступление фосфора с удобрениями учитывало его использование из внесенного навоза; таблица подготовлена исходя из базы данных NuGIS по состоянию на 12.01.2012 (см. пояснения в тексте).

табл. 2 (США) свидетельствуют о том, что при величине балансового коэффициента использования фосфора из удобрений и почвы, близком к единице, и практически неизменном содержании доступного растениям фосфора в почве достигается очень высокая эффективность использования фосфорных удобрений, о чем ранее сообщалось Сайерсом с соавт. (Syers и др., 2008).

На **рис. 2a** представлены балансовые коэффициенты использования фосфора из удобрений и почвы (в основном они были менее единицы), а также изменения в содержании подвижного фосфора в почве по методу Олсена, полученные в двух длительных полевых опытах Ротамстедской опытной станции. Между двумя вышеуказанными показателями наблюдается тесная нелинейная зависимость, описываемая полиномиальной функцией со значением коэффициента детерминации $R^2 = 0.84$.

На **рис. 2b** аналогичным образом представлена зависимость между изменением в содержании доступного растениям фосфора в почве и величиной балансового коэффициента использования фосфора из удобрений и почвы для 12-ти штатов «кукурузного пояса» США, исходя из базы данных NuGIS. При этом поступление фосфора рассчитывалось с учетом его использования из внесенного в почву навоза. Кроме того, путем умножения на коэффициент 0.75 данные по содержанию подвижного фосфора, полученные при использовании метода «Брей-1», были переведены в соответствующие им величины по содержанию подвижного фосфора по методу Олсена. Несмотря на некоторую неточность единичных наблюдений, связанную с принятыми допущениями, в результате усреднения большого количества индивидуальных значений для каждого штата была получена приемлемая аппроксимация, представленная одной точкой на **рис. 2b**. Между рассматриваемыми показателями наблюдается линейная зависимость ($R^2 = 0.85$). В большинстве случаев величина балансового коэффициента использования фосфора из удобрений и почвы была больше единицы (то есть наблюдался отрицательный баланс фосфора и происходило истощение почвенных запасов фосфора).

Визуальное сравнение представленных на **рис. 2a** и **рис. 2b** результатов указывает на схожий характер зависимостей, поэтому нам представляется особенно интересным объединение обеих совокупностей данных, как это сделано на **рис. 2c**. Мы специально не стали показывать на графике аппроксимирующую линию, поскольку возможны два

варианта анализа данных. Согласно первому варианту, полученная зависимость может быть описана логарифмической функцией ($R^2 = 0.84$). Согласно второму подходу, можно выделить два прямолинейных участка, а именно: первый (нижний массив данных) – для почв с небольшим поступлением фосфора ($R^2 = 0.63$) и второй – для шести типов почв с высоким поступлением фосфора ($R^2 = 0.84$). Независимо от выбранного подхода к математическому описанию полученной зависимости, следует обратить внимание на то, что она объединяет данные для совершенно разных типов почв двух континентов – результаты полевых опытов, проведенных в Англии, а также агрегированные показатели по штатам США. Возможность использования единой модели для описания комбинированных данных – это убедительный аргумент в пользу того, что поведение фосфора в изученных почвах и его доступность растениям можно охарактеризовать исходя из «простых» закономерностей. Это согласуется с концепцией, предполагающей существование четырех групп неорганических соединений фосфора в почве. Данная концепция была предложена Сайерсом с соавт. (Syers и др., 2008) и в дальнейшем детально рассмотрена Джонстоном с соавт. (Johnston и др., 2014).

Дж. Джонстон – старший научный сотрудник Фонда Лооза (Lawes Trust), П. Поултон – приглашенный научный сотрудник Ротамстедской опытной станции, г. Харпенден, Великобритания; e-mail: johnny.johnston@rothamsted.ac.uk.

Д-р Фиксен – старший вице-президент и директор по НИР Международного института питания растений; e-mail: pfixen@ipni.net

Литература

- Fixen, P.E., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, R. Mikkelsen, T.S. Murrell, S.B. Phillips, Q. Rund, and W.M. Stewart. 2010. *Better Crops with Plant Food* 94(4):6-8.
- Halvorson, A.D. and A.L. Black. 1985. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:933-937.
- Johnston, A.E., P.R. Poulton, P.E. Fixen, and D. Curtin. 2014. *Adv. Agron.* 123:177-228.
- McCollum, R.E. 1991. *Agron. J.* 83:77-85.
- Syers, J. K., A.E. Johnston, and D. Curtin. 2008. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 18. FAO-UN. 107pp.

Редактирование перевода с английского: В.В. Носов.

Содержание подвижных форм фосфора в черноземах обыкновенных Ростовской области и эффективность использования фосфора из удобрений растениями кукурузы

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

Исследования, проведенные в двух районах Ростовской области на черноземах обыкновенных, свидетельствуют о том, что общепринятый для почвенной зоны метод для определения содержания подвижных форм фосфора адекватно характеризует условия питания растений фосфором. Согласно полученным результатам, оптимизация минерального питания кукурузы при выращивании в относительно засушливых почвенно-климатических условиях региона способствует существенному повышению ее продуктивности. При этом наблюдается высокая эффективность использования фосфора из удобрений растениями кукурузы.

Адекватная оценка обеспеченности почв доступными формами элементов питания растений имеет огромное значение для выработки наиболее оптимальной системы применения удобрений и получения максимальной экономической отдачи. В мировой практике для диагностики обеспеченности карбонатных почв, особенно содержащих более 2% CaCO_3 , подвижными формами фосфора широко используется метод Олсена (0.5 M NaHCO_3 , pH = 8.5) (Recommended chemical soil test procedure ..., 1998). В этой связи нами было проведено сравнение данного метода с методом Мачигина (1%-ый раствор $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, pH = 9.0), общепринятого для карбонатных почв в России.

Почвы в наших исследованиях – черноземы обыкновенные со слабощелочной реакцией среды ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 7.6-7.9$) и низким содержанием гумуса (3.0-3.2%). Было проанализировано 27 почвенных образцов, отобранных осенью 2012 г. с площади 39 га в фермерском хозяйстве (ИП Тюрин М.Н., глава КФХ) в Егорлыкском районе Ростовской области. Кроме того, аналогичная работа была проведена и на базе стационарного полевого опыта, который проводится на Целинском ГСУ в Целинском районе в севообороте кукуруза – соя. Опыт повторялся в пространстве и ежегодно включал два экспериментальных участка – под кукурузой и соей. В опыте сравнивались две системы применения удобрений, а именно: практика хозяйств – средние дозы минеральных удобрений, применяемые в хозяйствах района, и экологическая интенсификация. Кроме того, изучалось действие азотных удобрений при использовании данных агротехнологий. Условия проведения данного опыта были более детально описаны ранее (Носов и др., 2014). Почвенные образцы отбирались весной до внесения удобрений. Таким образом, в общей сложности за 3 года (2012-2014 гг.) с учетом 4-х повторностей было отобрано и проанализировано 96 почвенных образцов (смешанный образец с делянки при отборе из 5-ти точек).

Как видно из **рис. 1**, при использовании метода Мачигина из почвы в целом извлекается меньшее количество фосфора по сравнению с методом Олсена, но между полученными с помощью данных

экстрагентов значениями прослеживается тесная корреляционная связь. При этом результаты анализа почвенных образцов, отобранных в соседних районах области, по-видимому, можно рассматривать в рамках одной совокупности.

Использование описательного метода, заключающегося в расчете разности между двумя измерениями, средней величины и стандартного отклонения разности (Бирюкова и др., 2014), ранее позволило сделать вывод о систематическом расхождении результатов для двух методов определения содержания подвижного фосфора в почве стационарного опыта, как с вероятностью 0.95, так и 0.99. При более низком содержании фосфора в почве оба метода дают близкие значения, а при более высоком – расхождения возрастают.

Для изучения отзывчивости кукурузы на внесение в почву отдельных элементов питания в Целинском районе в типичном севообороте в течение 4-х лет были дополнительно проведены однолетние полевые опыты с кукурузой. Схема опытов включала варианты с внесением и без внесения фосфорных удобрений – N100P80K60 и N100K60 соответственно. Удобрения вносились под предпосевную культивацию. Изучались несколько повышенные дозы элементов питания, чтобы исключить их недостаток у растений. Проводилась также обработка семян сульфатом цинка.

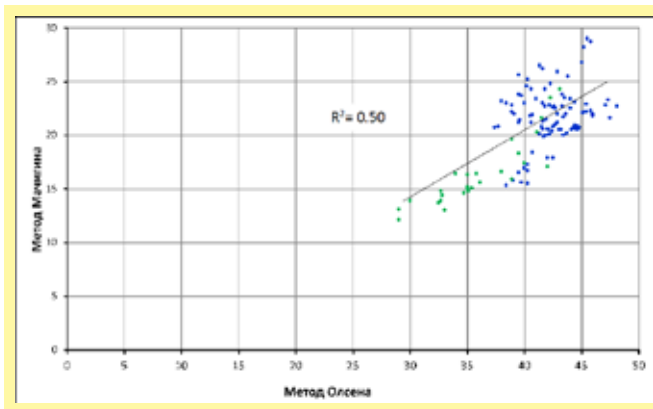


Рис. 1. Зависимость между содержанием подвижных форм фосфора, извлекаемых из почв с помощью методов Мачигина и Олсена (мг P_2O_5 /кг почвы).

Содержание подвижных форм фосфора в слое почвы 0-20 см перед закладкой опытов находилось в довольно узком диапазоне, а именно: 22.0-24.4 мг P_2O_5 /кг почвы – по методу Мачигина и 36.8-40.5 мг P_2O_5 /кг почвы – по методу Олсена. За счет применения фосфорных удобрений урожайность зерна кукурузы в среднем за годы исследований повышалась на 6% (рис. 2). Максимальная прибавка урожайности от фосфора в 13% была получена в наиболее благоприятном 2011 г., когда продуктивность культуры была максимальной.

Для однолетних опытов был рассчитан ряд показателей, используемых для оценки эффективности использования фосфора из удобрений растениями кукурузы, а также коэффициенты вариации данных показателей. Под агрономической эффективностью применения фосфорных удобрений понималась окупаемость фосфора прибавкой урожая зерна кукурузы:

$$AЭ = (Y - Y_0)/D,$$

где: AЭ – агрономическая эффективность применения фосфорных удобрений (кг зерна/кг P_2O_5); Y – урожайность зерна в варианте с внесением фосфорных удобрений (т/га); Y_0 – урожайность зерна в варианте без внесения фосфорных удобрений (т/га); D – доза фосфорных удобрений (кг P_2O_5 /га).

Коэффициент использования фосфора из удобрений растениями рассчитывался разностным способом по следующей формуле:

$$КИУ = ((B - B_0)/D)100,$$

где: КИУ – коэффициент использования фосфора из удобрений растениями (%); B – вынос фосфора надземной биомассой растений в варианте с внесением фосфорных удобрений (кг P_2O_5 /га); B_0 – вынос фосфора надземной биомассой растений в варианте без внесения фосфорных удобрений (кг P_2O_5 /га); D – доза фосфорных удобрений (кг P_2O_5 /га).

Так называемый балансый коэффициент использования элемента питания из удобрений и почвы растениями рассчитывался по формуле, представленной ниже:

$$БКИУП = (B/D)100,$$

где: БКИУП – балансый коэффициент использования фосфора из удобрений и почвы растениями (%); B – вынос фосфора зерном в варианте с внесением фосфорных удобрений (кг P_2O_5 /га); D – доза фосфорных удобрений (кг P_2O_5 /га).

Агрономическая эффективность (AЭ) применения фосфорных удобрений в среднем за 4 года составила 5.4 кг зерна/кг P_2O_5 (табл. 1). Это относительно высокий показатель с учетом того, что в опытах вносились повышенные дозы фосфора. Условная граница рентабельности, согласно нашим оценкам, составляет 4.4 кг зерна/кг P_2O_5 . Расчет в данном случае проводился без учета затрат на вне-

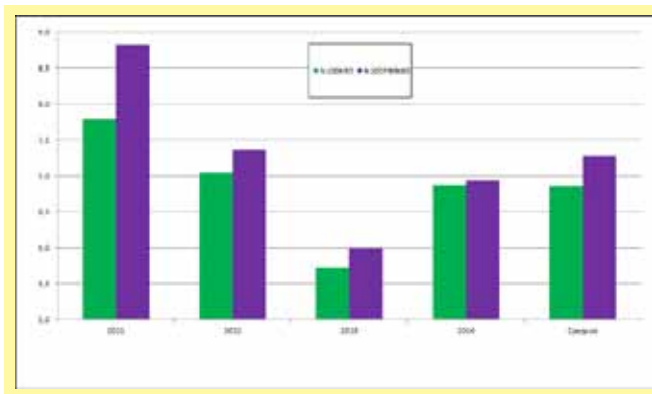


Рис. 2. Отзывчивость кукурузы на применение фосфорных удобрений в однолетних опытах (т/га).

Таблица 1. Показатели оценки эффективности использования фосфора из удобрений растениями кукурузы.

Показатель	2011	2012	2013	2014	Среднее
AЭ, кг зерна/кг P_2O_5	12.9	4.1	3.4	1.0	5.4
CV, %	23	31	84	-	
КИУ, %	103	76	56	88	81
CV, %	8	45	20	12	
БКИУП, %	112	96	71	71	88
CV, %	4	3	10	5	

сение удобрений в почву, а также уборку и доработку прибавки урожая. При оптимизации дозы фосфора (исходя из изучения отзывчивости растений на внесение возрастающих доз), безусловно, можно ожидать гораздо большую отдачу от применения фосфорных удобрений. Следует отметить, что для агрономической эффективности применения фосфорных удобрений было характерно очень сильное варьирование, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициента вариации (CV).

Как отмечается в ряде работ (Johnston с соавт., 2009; Johnston с соавт., 2014), показатель КИУ, рассчитанный с учетом прямого действия фосфора на зерновых культурах, как правило, имеет очень низкие значения. В связи с этим, эффективность использования фосфора из удобрений растениями в севообороте можно ошибочно интерпретировать, как невысокую. Исходя из последствие фосфорных удобрений, в практических целях указанными авторами предложено применять балансый коэффициент использования фосфора из удобрений и почвы (БКИУП), который отражает использование растениями ранее накопленных почвенных запасов фосфора. Однако в наших опытах показатель КИУ имел достаточно высокие значения (81% в среднем за 4 года исследований), и был ненамного меньше БКИУП (88%). Это свидетельствует о высоком использовании фосфора из удобрений растениями кукурузы непосредственно в год внесения удобрений на черноземе обыкновенном со средней обеспеченностью подвижными формами фосфора (по Мачигину).

В заключении следует отметить, что общепринятый для карбонатных почв метод для определения содержания подвижных форм фосфора вполне адекватно характеризует условия питания растений

фосфором в изученных почвах. Полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимизация минерального питания кукурузы при выращивании в относительно засушливых почвенно-климатических условиях региона способствует существенно повышению ее продуктивности. При этом наблюдается высокая эффективность использования фосфора из внесенных удобрений растениями кукурузы.

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

Бирюкова О.А. – доцент кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета, доктор сельскохозяйственных наук; e-mail: olga_alexan@mail.ru.

Божков Д.В. – аспирант кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета.

Литература

- Recommended chemical soil test procedure for the North Central region.* North Central Regional Research Publication No. 221 (Revised). Missouri Agricultural Experiment Station SB 1001. Revised January 1998. 73 p.
- Носов В.В., Бирюкова О.А., Купров А.В. и Божков Д.В. 2014. Питание Растений. Вестник Международного института питания растений, 1: 5-8. <http://eeca-ru.ipni.net/article/EECARU-2230>
- Бирюкова О.А., Божков Д.В. и Носов В.В. 2014. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 09 (103). IDA [article ID]: 1031409038. <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/38.pdf>
- Johnston A.E., Syers J.K. A New Approach to Assessing Phosphorus Use Efficiency in Agriculture // *Better Crops with Plant Food*. 2009. Vol. 93. №3. P. 14-16. www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/issue/BC-2009-3
- Johnston J., Fixen P., Poulton P. The efficient use of phosphorus in agriculture // *Better Crops with Plant Food*. 2014. Vol. 98. №4. P. 22-24. www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/issue/BC-2014-4

Поступление фосфора в поверхностный сток при весеннем снеготаянии на севере Великих равнин

Т. Дженсен, К. Тиссен, Э. Салвано, А. Калищук и Д.Н. Флатен

Недавние исследования, проведенные в штатах Альберта и Манитоба (Канада), подтвердили, что на севере Великих равнин Северной Америки поверхностный сток при снеготаянии доминирует в общем годовом стоке с сельскохозяйственных водосборов. Для данного региона характерен относительно выровненный рельеф и засушливый климат с холодной зимой и теплым летом. Методы, используемые для оценки риска попадания фосфора в поверхностные водотоки и озера, в основном были разработаны для теплых и влажных климатических условий, а также расчлененного рельефа. В таких условиях доминирует дождевой сток, и нерастворимый взвешенный фосфор, попадающий в поверхностный сток в результате эрозии почвы, служит главным источником поступления фосфора с сельскохозяйственных земель. Однако на севере Великих равнин, особенно во время весеннего снеготаяния, фосфор в поверхностном стоке в основном представлен растворенными фосфатами поверхностного слоя почвы, растительных остатков и поверхностно внесенного навоза. Методы контроля эрозии почв, помогающие снизить потери фосфора с поверхностными водами в условиях теплого и влажного климата, могут быть менее эффективными на севере Великих равнин. Недавние исследования, проведенные в регионе, также позволили предположить, что содержание подвижного фосфора в почве тесно коррелирует с общими потерями фосфора с поверхностным стоком при снеготаянии. Как было показано для севера Великих равнин, наиболее эффективное снижение и дальнейший контроль потерь фосфора с поверхностным стоком возможны тогда, когда в почве поддерживается не слишком высокое содержание подвижных форм фосфора

Перемещение элементов питания с поверхностным стоком – это естественный процесс, протекающий в природной среде. В так называемый доколониальный период на севере Великих равнин элементы питания естественным образом перемещались с поверхностным стоком с целинных степных, лесостепных и лесных территорий. В поверхностном стоке элементы питания находятся главным образом в двух формах, а именно: растворимой и нерастворимой – взвешенной форме (удерживаются поверхностями почвенных частиц). Перемещение элементов с поверхностным стоком имеет большое значение для функционирования акваэко-

систем, так как микроорганизмы, водные растения и животные именно за счет этого получают необходимые им элементы питания.

Однако в результате деятельности человека, включая сельское и лесное хозяйство, урбанизацию, промышленное производство, а также растущую рекреационную нагрузку, может повышаться поступление элементов питания с водосборов в водоемы. Усилению потерь элементов питания могут способствовать такие виды деятельности, как расчистка территорий, внесение в почву минеральных и органических удобрений, очищенных бытовых и промышленных сточных вод, а также, осадка сточ-



Сток талых вод на севере Великих равнин.

Фотография любезно предоставлена Департаментом развития сельского хозяйства и сельских территорий провинции Альберта

ных вод. Например, проведенное на протяжении 8-ми лет изучение качества поверхностных вод на 23-х сельскохозяйственных водосборах в провинции Альберта показало, что с повышением интенсификации сельскохозяйственного производства качество вод ухудшается, включая повышение концентраций азота и фосфора (Lorenz и др., 2008). Такой прирост наряду с продолжающимся поступлением элементов питания с целинных степных, лесостепных и лесных территорий способствует накоплению элементов питания в поверхностных водах.

Чрезмерно высокие концентрации фосфора и, в меньшей степени, азота могут ускорить рост водорослей (так называемое «цветение» воды) и других водных растений, что ведет к эвтрофикации пресноводных водотоков, заболоченных водоемов (стариц, устьев рек) и озер. Рост, последующее отмирание и разложение водорослей может приводить к снижению содержания кислорода (аноксии) в вышеуказанных поверхностных водоемах. Это, в свою очередь, оказывает угнетающее воздействие на водные растения и животный мир. В качестве примера можно привести ухудшение качества воды в озере Виннипег в канадской провинции Манитоба (10-м по площади пресноводном озере в мире). Водосборный бассейн озера Виннипег включает большую часть южных территорий провинций Альберта, Саскачеван и Манитоба. В последние годы в этом озере, как и в других водных объектах на севере Великих равнин, неоднократно происходило интенсивное «цветение» воды, что связывают главным образом с избыточным поступлением фосфора с водосборной площади (Совет по контролю за состоянием озера Виннипег, 2006).

Практически на всей территории севера Великих равнин, для которой характерно регулярное выпадение осадков в виде снега, фосфор поступает в поверхностные воды в основном со стоком талых вод. В этом заключается отличие данного региона от

других регионов мира с более теплыми и влажными климатическими условиями, где фосфор поступает в поверхностные воды, как правило, с дождевым стоком, возникающим в результате выпадения интенсивных осадков. Под влиянием стока дождевых вод часто происходит эрозия почв. В результате этого большая часть фосфора, попадающего в поверхностные воды, находится во взвешенной форме. В отличие от дождевого стока сток талых вод вызывает меньшую эрозию почв, так как талые воды обладают меньшей кинетической энергией по сравнению с дождевыми каплями и потоками и оказывают меньшее разрушающее воздействие на почву, которая часто еще находится в мерзлом состоянии. Большая часть фосфора в талых водах находится в растворенной, а не во взвешенной форме. Два исследования, недавно проведенные в провинциях Альберта и Манитоба, показали, что величина потерь фосфора в процессе снеготаяния сильно зависит от содержания подвижных форм фосфора в поверхностном слое почвы (Little и др., 2007; Salvano и др., 2009).

В провинции Альберта на протяжении 3-х лет проводился мониторинг поверхностного стока с 8-ми водосборов, занятых сельскохозяйственными полями (Little и др., 2007). Одна из целей исследования заключалась в том, чтобы установить, насколько содержание фосфора в поверхностном стоке (общий и растворенный – химически активный фосфор) зависит от содержания подвижного фосфора в почве и степени насыщения почвы фосфором. Данные по объему воды и содержанию элементов питания в образцах воды с водосборов, занятых сельскохозяйственными полями, получали во время весеннего снеготаяния и летних дождей. Для всех участков была характерна высокая величина потенциального смыва почвы. Все они одинаково обрабатывались и не испытывали влияния как со стороны животноводства, так и со стороны других факторов, не связанных с сельским хозяйством. Площадь исследуемых водосборов варьировала от 2 до 248 га. Большая часть поверхностного стока (более 90% по всем участкам) формировалась во время весеннего снеготаяния. В результате проведенного исследования была выявлена тесная линейная корреляционная связь между содержанием подвижного фосфора в почве и содержанием фосфора в поверхностном стоке. С таким фактором, как содержание подвижного фосфора в почве, связано 88% варьирования содержания общего фосфора в стоке с водосборов. При снижении содержания подвижного фосфора в почве после прекращения внесения навоза наблюдалось непосредственное снижение содержания фосфора в поверхностном стоке. В вышеуказанной работе были изучены различные схемы отбора почвенных образцов. Однако было установлено, что содержание фосфора в поверхностном стоке можно хорошо спрогнозировать исходя из такого простого показателя, как среднее содержание подвижного фосфора во всех отобранных почвенных образцах. Корреляционные зависимости между содержанием фосфора в поверхностном стоке и содержанием подвижного фосфора в почве при разной глубине отбора почвен-

ных образцов (0-2.5, 0-5.0 и 0-15.0 см) существенно не отличались. Следовательно, при прогнозировании содержания фосфора в поверхностном стоке с сельскохозяйственных земель в провинции Альберта может быть использована общепринятая в агрономии глубина отбора почвенных образцов (0-15 см). Несмотря на то, что для прогнозирования потерь фосфора с поверхностным стоком, а также в результате выщелачивания может применяться такой показатель, как степень насыщенности почвы фосфором, при анализе почвенных образцов в провинции Альберта стандартно определяется только содержание подвижного фосфора. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для использования степени насыщенности почвы фосфором вместо содержания подвижного фосфора нет серьезных оснований.

В исследовании, проведенном Салвано с соавт. (Salvano и др., 2009) в провинции Манитоба, изучалась взаимосвязь между качеством воды – содержанием в ней фосфора и следующими тремя показателями, разработанными для оценки потерь данного элемента питания на региональном уровне: 1) «коэффициент потерь» фосфора по Бирру и Мулле (Birg and Mulla's P Index), разработанный для штата Миннесота (США); 2) «первичный индикатор» риска потерь фосфора (Preliminary P Risk Indicator), разработанный для провинции Манитоба (Канада); 3) «индикатор» риска загрязнения воды фосфором, разработанный для Канады – предварительный вариант (Canada's National Indicator of Risk of Water Contamination by Phosphorus). Валидация вышеуказанных подходов к оценке риска потерь фосфора была проведена с использованием данных многолетнего мониторинга качества воды, включая концентрацию общего фосфора, полученных для 14-ти водосборов в провинции Манитоба. В восточных областях вышеуказанной провинции водосборы имеют практически выровненный рельеф, а в западных – холмистый. Мониторинг качества воды, поступающей с водосборов, проводился на протяжении 11-ти лет (1989-1999 гг.). Данные по содержанию подвижного фосфора в почве по полям каждого водораздела за 2000-2003 гг. были предоставлены лабораторией «Бодикот тестинг груп» (Bodycote Testing Group). Полученные результаты сопоставлялись с дозами внесения фосфорных удобрений в рассматриваемом регионе, расчет которых проводился исходя из Сельскохозяйственной статистической базы данных за 2001 г. и потребления удобрений в Канаде.

Как отмечают Салвано с соавт. (Salvano и др., 2009), корреляция между величиной реальных потерь фосфора с поверхностным стоком и вышеуказанными показателями, используемыми для оценки риска потерь фосфора, была слабой и в целом незначимой. Слабая корреляция, по предположению авторов, связана с тем, что в алгоритмах расчета данных показателей делается упор на оценке риска развития эрозии почвы. Однако доля взвешенного фосфора в поверхностном стоке в период весеннего снеготаяния была небольшой. Кроме того, сток талых вод преобладал над дождевым. Для сравнения, 63% варьирования ($p < 0.01$) содержания общего фосфора

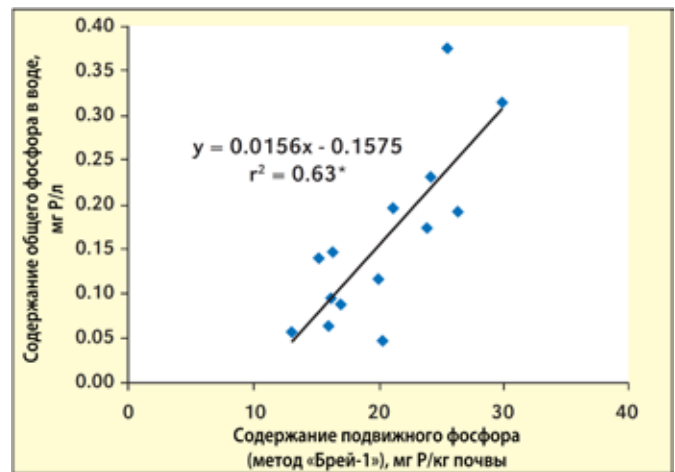


Рис. 1. Зависимость между содержанием общего фосфора в поверхностных водах и содержанием подвижного фосфора в почвах (метод «Брей-1» - перевод с учетом соответствующих коэффициентов): усредненные данные для 14-ти водосборов в провинции Манитоба (Канада).

* Статистически значимая корреляционная связь ($p < 0.01$) [Адаптировано из: Salvano и др., 2009]

в пробах воды было связано с таким фактором, как содержание подвижного фосфора в почве (рис. 1). Хотя три рассмотренных подхода к оценке риска потерь фосфора с поверхностным стоком учитывают в основном развитие эрозии почвы, содержание общего фосфора в поверхностном стоке сильнее всего зависит от содержания подвижных форм фосфора в почве. Таким образом, придание слишком большого значения эрозии почвы делает нерациональным использование рассматриваемых комплексных показателей для оценки риска потерь фосфора в условиях провинции Манитоба.

Крайне слабая связь между интенсивностью эрозионных процессов и содержанием общего фосфора в поверхностном стоке ставит вопрос о роли противоэрозионных мер в снижении фосфорной нагрузки с водосборов в регионе прерий в провинции Манитоба. Так, недавно проведенные исследования показали, что накопление фосфора в водных артериях провинции Манитоба либо незначительно уменьшалось, либо даже увеличивалось в результате применения таких традиционно эффективных противоэрозионных мероприятий, как создание буферных полос (Sheppard и др., 2006) и использование ресурсосберегающих технологий обработки почвы (Glozier и др., 2006). Таким образом, для определения риска потерь фосфора с поверхностным стоком и их количественной оценки в условиях практически выровненного рельефа прерий в южной части провинции Манитоба необходимо проводить исследования в другом направлении. Так, Салвано с соавт. (Salvano и др., 2009) предлагают разрабатывать и изучать рациональные приемы, направленные на уменьшение потерь фосфора при снеготаянии (главным образом в растворенной форме).

Продолжая работу Глозиера с соавт. (Glozier и др., 2006), Тиссен с соавт. (Tiessen и др., 2010) провели сравнение объемов поверхностного сезонного стока и потерь элементов питания с двух длительно существующих парных водосборов в южной части

провинции Манитоба. Площадь первого водосбора составила 4.1 га. Здесь применялась традиционная система обработки почвы (первичная и вторичная обработка с последующим боронованием перед посевом, покрытие почвы растительными остатками после посева – менее 30%). Площадь второго водосбора составила 5.3 га. На территории этого водосбора применялась ресурсосберегающая система обработки почвы (прямой посев – нулевая обработка почвы с умеренным механическим воздействием, покрытие почвы растительными остатками предшественника после посева – более 30%) (рис. 2). Мониторинг состояния указанных парных водосборов проводился в 1993-2007 гг., а ресурсосберегающая технология обработки почвы на водосборе площадью 5.3 га была введена в 1997 г. Полученные данные были сгруппированы по трем периодам: 1) 4-летний «калибровочный» период (1993-1996 гг.); 2) 7-летний переходный период (1997-2003 гг.) и 3) 4-летний итоговый период. Изучаемые водосборы находятся в 150 км юго-западнее г. Виннипег (провинция Манитоба).

Закономерности колебаний годового поверхностного стока с изученных парных водосборов – это наличие пика в период весеннего снеготаяния (обычно в марте или апреле), а также многочисленных пиков с мая по ноябрь, связанных с выпадением дождей. Обычно период снеготаяния в этом районе канадских прерий длится несколько дней или даже недель, а дождевые стоки образуются менее 5-ти раз в год (Tiessen и др., 2010). Полученные данные были разделены для двух сезонных периодов – снеготаяния и выпадения дождей. Отбор почвенных образцов с двух водосборов проводился в 2004-2007 гг. ежегодно осенью после уборки (до традиционной обработки полей). Степень покрытия почвы растительными остатками предшественника определялась после проведения весенних полевых работ. С целью установления количества воды, поступающей с каждого водосбора, в конце зимы непосредственно перед началом весеннего снеготаяния измерялась глубина и плотность снежного покрова (табл. 1).

Тиссен с соавт. (Tiessen и др., 2010) отмечают, что за время проведения наблюдений доля осадков в виде снега составила всего 25% от общего годового количества осадков. Однако доля стока талых вод с обоих водосборов достигала 80-90% от общего годового стока. В данном исследовании концентрации растворенных элементов питания в стоке в среднем были выше в период снеготаяния, чем в периоды выпадения дождей. В то же время содержание твердых частиц, а также взвешенных форм элементов пита-



Рис. 2. Граница парных водосборов: традиционная обработка почвы (слева) и ресурсосберегающая (справа). Октябрь 2005 г.

ния в стоке было выше в период выпадения дождей. Однако в связи с тем, что снеготаяние было основным гидрологическим процессом, большие потери элементов питания во взвешенной и растворенной формах происходили именно в период снеготаяния (рис. 3).

Следует также отметить, что как весной, так и летом в поступлении азота и фосфора с двух водосборов растворенная форма преобладала над взвешенной. Это было особенно очевидно в период весеннего снеготаяния, когда более 80% азота и фосфора поступало именно в растворенной форме (рис. 3).

Эффективность использования нулевой обработки почвы для уменьшения потерь твердых частиц была хорошо задокументирована (Baker и Lafren, 1983). Однако, как показали предыдущие исследования, при нулевой обработке почвы общие потери элементов питания снижаются в связи со значительным уменьшением объема стока и перемещаемой массы твердых частиц. В работе Тиссена с соавт. (Tiessen и др., 2010) объем стока талых вод был сопоставим при использовании ресурсосберегающей и традиционной системы обработки почвы, составив соответственно 726 и 729 м³/га. В то же время объем дождевого стока был в два раза меньше при использовании ресурсосберегающей системы обработки почвы по сравнению с традиционной (80 и 173 м³/га соответственно). Согласно полученным результатам, в условиях субгумидного климата южной части провинции Манитоба ресурсосберегающая обработка почвы может быть эффективным приемом для уменьшения дождевого стока. Сток же талых вод при этом не уменьшается. Одна из предполагаемых причин заключается в том, что в более влажной восточной части севера Великих равнин формируется мощный снежный покров. В этой связи запасы воды в снеге были практически одинаковыми как на во-

Таблица. 1. Степень покрытия растительными остатками и агрохимическая характеристика почв: усредненные данные за 2004-2007 гг. для парных водосборов в провинции Манитоба (Tiessen и др., 2010).

Водосбор	Степень покрытия почвы растительными остатками, %	Запасы воды в снеге, мм	Запасы N-NO ₃ (0-15 см), кг/га	Подвижный фосфор по Олсену (0-15 см), мг P/кг почвы	Гумус (0-15 см), %
Ресурсосберегающая обработка почвы	56 a*	8.13	6.5 b	19.1 a	3.8
Традиционная обработка почвы	19 b	7.87	8.3 a	13.1 b	3.5

* Разные буквы указывают на достоверные различия (p<0.05).

досборе с традиционной обработкой почвы, так и на водосборе с ресурсосберегающей обработкой (табл. 1). В более засушливой западной части севера Великих равнин выпадает меньше снега, и эпизодически зимой и ранней весной дует теплый ветер «Чинук» (Chinook). Здесь могут проявляться различия в толщине снежного покрова, в протекании процессов снеготаяния, а также в объемах поверхностного стока при использовании традиционной и ресурсосберегающей системы обработки почвы (Pomeroy и Gray, 1995). В регионах с небольшим количеством выпадающего снега предполагается максимальная эффективность снегозадержания в результате применения ресурсосберегающей технологии обработки почвы.

Интересно также отметить, что Тиссен с соавт. (Tiessen и др., 2010) выявили влияние систем обработки почвы на величину потерь азота и фосфора с поверхностным стоком (рис. 3). Переход на ресурсосберегающую технологию способствовал уменьшению потерь общего азота, но в то же время – увеличению потерь общего фосфора. Учитывая различия между двумя водосборами, существовавшие до перехода на ресурсосберегающую технологию обработки почвы на одном из них, а также сезонную и годовую вариабельность климатических и гидрологических параметров, было показано, что после перехода на ресурсосберегающую технологию потери фосфора во взвешенной форме уменьшились на 37%.

Однако после перехода на ресурсосберегающую технологию обработки почвы потери фосфора в растворенной форме увеличились на 36%. При этом снижение потерь фосфора во взвешенной форме никак не могло компенсировать увеличение его потерь в растворенной форме, поскольку с двух водосборов фосфор поступал в основном именно в растворенной форме. Данное увеличение потерь фосфора вызвано тем, что при использовании ресурсосберегающей технологии обработки почвы усиливаются потери фосфора в растворенной форме с поверхностным стоком талых вод. Вероятно, это происходит в результате дифференциации пахотного слоя почвы по содержанию подвижного фосфора (табл. 1), а также вымывания фосфора из растительных остатков и сорняков. Потери общего фосфора в данном исследовании (1.49 кг P_2O_5 /га/год в среднем за 2004-2007 гг. с водосбора, где применялась ресурсосберегающая система обработки почвы), по-видимому, оказывают слабое влияние на состояние почвенного плодородия. Тем не менее, эти потери значимы для экологии, так как ускорение эвтрофикации озер в США связывают с фосфорной нагрузкой в диапазоне 2.24-5.60 кг P_2O_5 /га/год (Sharpley и Rekolainen, 1997).

Такие агротехнологии, как ресурсосберегающие приемы обработки почвы, применяются для улучшения качества поверхностных вод за счет уменьшения выноса твердых частиц и, соответственно, потерь элементов питания во взвешенной форме с сельскохозяйственных полей и водосборов. В регионах с теплым и влажным климатом это может быть эффективно для уменьшения объемов твердого стока и потерь азота. Однако данные агротехнологии

менее эффективны для снижения потерь фосфора в регионах с холодным и сухим климатом, где потери элементов питания происходят в основном в растворенной форме в процессе снеготаяния. В данных условиях может быть более эффективным применение таких систем земледелия, которые позволили бы уменьшить накопление элементов питания в поверхностном слое почвы и в растительных остатках. В работе Тиссена с соавт. (Tiessen и др., 2010) была предложена одна из возможных схем. По мнению авторов, осенняя обработка почвы перед промерзанием и выпадением снега могла бы иметь положительные последствия. Использование данного приема позволило бы заделать в почву часть растительных остатков и сорняков, а также внесенный навоз. В результате этого на поверхности почвы оставалось бы меньшее количество фосфора в водорастворимой форме, который подвержен вымыванию с полей с поверхностным стоком талых вод. Однако для проверки данной гипотезы необходимо проведение дальнейших исследований.

Все описанные выше исследования имеют практическую значимость. Они показали, что содержание подвижного фосфора в почве – это очень важный показатель при оценке потерь фосфора из почв на севере Великих равнин. В связи с этим предполагается, что потери фосфора с поверхностным стоком можно минимизировать, если не допускать накопления подвижного фосфора в почве до чрезмерно высокого уровня. Те же принципы могут быть применены и при регулировании потерь азота. Внесение азота в составе навоза и минеральных удобрений должно быть достаточным для удовлетворения потребностей сельскохозяйственных культур в данном элементе питания. Однако оно не должно быть избыточным, так как это может привести к высокому

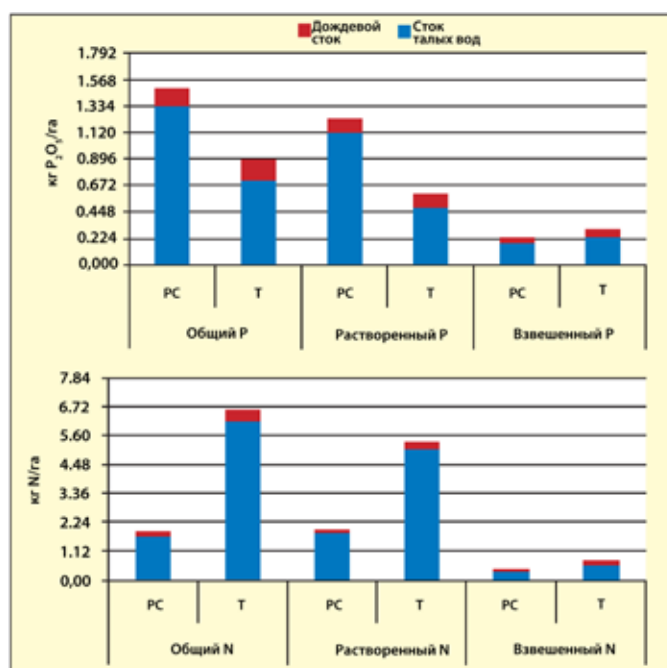


Рис. 3. Годовые потери разных форм фосфора и азота с поверхностным стоком при двух системах обработки почвы (средние данные за 4 года: 2004-2007 гг.).

Примечание: без учета имевшихся различий между водосборами, а также сезонной вариабельности климатических показателей.

накоплению остаточного минерального азота (NO_3^- и NH_4^+) в верхнем слое почвы. Для разработки рекомендаций по необходимым уровням содержания подвижного фосфора в почвах, а также агротехнологий, с помощью которых можно бы было контролировать потери фосфора из почв в районах Северной Америки с холодным климатом требуется проведение дальнейших исследований.

Д-р Дженсен – региональный директор Международного института питания растений по Северу Великих равнин, г. Саскатун, провинция Саскачеван; e-mail: tjensen@ipni.net.

Д-р Тиссен – бывший научный сотрудник Университета Манитобы, г. Виннипег, провинция Манитоба, старший программный координатор Международного исследовательского центра по вопросам развития (IDRC), г. Оттава, провинция Онтарио.

Д-р Салвано – специалист по вопросам изменения климата Департамента развития сельскохозяйственных, продовольственных и сельских инициатив провинции Манитоба, г. Виннипег, провинция Манитоба.

А. Калищук – руководитель отдела по вопросам качества воды Департамента развития сельского хозяйства и сельских территорий провинции Альберта, г. Летбридж, провинция Альберта.

Д-р Флатен – профессор кафедры почвоведения Университета Манитобы, г. Виннипег, провинция Манитоба.

Литература

- Baker, J.L. and J.M. Laflen. 1983. *J. Soil Water Conserv.* 38:186–193.
- Glozier, N.E., J.A. Elliott, B. Holliday, J. Yartoski, and B. Harker. 2006. *National Water Research Institute, Environment Canada, Saskatoon, SK, Canada.*
- Lake Winnipeg Stewardship Board. 2006. *Reducing Nutrient Loading to Lake Winnipeg and its Watershed – Our Collective Responsibility and Commitment to Action. Report to the Minister of Water Stewardship. December 2006. Lake Winnipeg Stewardship Board, Winnipeg, MB, Canada.*
- Little, J.L., S.C. Nolan, J.P. Casson, and B.M. Olson. 2007. *J. Environ. Qual.* 36:1289–1300.
- Lorenz, K., S. Depoe, and C. Phelan. 2008. *Assessment of Environmental Sustainability in Alberta's Agricultural Watersheds, Project. Vol. 3: AESA Water Quality Monitoring Project. Alberta Agriculture and Rural Development, Edmonton, Alberta, Canada.*
- Pomeroy, J.W. and D.M. Gray. 1995. *Snowcover accumulation, relocation and management. NHRI Science Rep. 7, Cat En36-513/7E. Minister of Supply and Services Canada, Ottawa, ON, Canada.*
- Salvano, E., D.N. Flaten, A.N. Rousseau, and R. Quilbe. 2009. *J. Environ. Qual.* 38:2096–2105.
- Sharpley, A.N. and S. Rekolainen. 1997. *Phosphorus in agriculture and its environmental implications. p. 1–53. In H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes, and A.E. Johnston (ed.) Phosphorus Loss from Soil to Water. Center for Agriculture and Biosciences International, New York.*
- Sheppard, S.C., M.I. Sheppard, J. Long, B. Sanipelli, and J. Tait. 2006. *Can. J. Soil Sci.* 86:871–884.
- Tiessen, K.H.D., J.A. Elliot, J. Yartoski, D.A. Lobb, D.N. Flaten, and N.E. Glozier. 2010. *J. Environ. Qual.* 39:964–980.

Редактирование перевода с английского: В.В. Носов.



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

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

Присылайте Ваше резюме на ipni-eesa@ipni.net.



Московский офис МИПР (IPNI) объявляет о вакансии на должность специалиста по сопровождению агрономических проектов.

Обязательное условие – высшее образование по специальностям: агрономия, агрохимия или почвоведение, а также опыт практической работы по закладке и проведению опытов с удобрениями. Наличие ученой степени приветствуется.

Обязательно проживание в ЦФО.

Присылайте Ваше резюме на ipni-eesa@ipni.net

