

году институт открыл в Москве офис, который будет координировать программу в России, Казахстане, Украине и других странах Восточной Европы и Центральной Азии. Сайт программы eeca.ipni.net

МИПР поддерживает научные исследования в области питания растений по трем основным направлениям. Во-первых, институт выделяет целевое финансирование научным организациям и университетам для прикладных исследований. Во-вторых, МИПР оказывает техническую и экспертную поддержку производителям удобрений. Это необходимо, так как практически во всем мире сейчас снижается уровень подготовки экспертов в области плодородия почв, поскольку среди молодых ученых довольно редко встречаются люди, имеющие практический опыт в сельском хозяйстве. И, наконец, МИПР софинансирует проведение научных и практических конференций и семинаров и, таким образом, способствует общению исследователей и специалистов для получения максимальной отдачи от исследований.

МИПР разрабатывает научно-практические проекты по следующим тематикам: поддержка принятия решений в области питания кукурузы и пшеницы, круговорот питательных элементов, пространственное варьирование, эффективность использования питательных элементов, питание растений и общество, питание растений и окружающая среда. Региональные проекты проводятся в рамках глобальных исследований, тематика которых, в свою очередь, определяется потребностями регионов. Так, например, институт в настоящее время проводит глобальный проект по

пшенице и кукурузе, в рамках которого выполняются стационарные и производственные опыты по единой схеме для всех стран-участников. В настоящее время в проектах участвуют США, Канада, Индия, Китай, Юго-Восточная Азия и Латинская Америка. Планируется, что в ближайшем будущем к проектам присоединится и Россия.

МИПР продолжает издавать научно-практический журнал "Better Crops", который был создан Институтом Фосфора и Калия и регулярно выходил с 1923 года. Результаты всех научных проектов, осуществленных Институтом Фосфора и Калия в прошлом и МИПР в настоящее время, собраны в единую базу данных и доступны на сайте института www.ipni.net, где также выложены в свободный доступ журнал "Better Crops" и другие публикации сотрудников института.

Ежегодно институт проводит конкурс научных работ для студентов и аспирантов (IPNI Scholar Award) в области агрономии, агрохимии, почвоведения и смежных специальностей, а также присуждает научную премию (IPNI Science Award) за выдающиеся успехи в исследованиях и распространении знаний в области питания растений, эффективном применении минеральных удобрений и сохранении окружающей среды. Кроме того, ежегодно проводится конкурс фотографий по симптомам недостатка элементов питания у растений (IPNI Crop Nutrient Deficiency Photo Contest).

Иванова С.Е. - Вице-президент Международного института питания растений по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку, к.б.н., e-mail: sivanova@ipni.net

Концепция повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и эффективности использования элементов питания растениями

Пол И. Фиксен

Удовлетворение потребностей в сельскохозяйственной продукции и решение многих из наиболее важных экологических проблем имеют глобальное значение, и необходимо тесно увязывать повышение продуктивности растениеводства с минимизацией воздействия на окружающую среду. Совместное решение этих задач является, вероятно, единственно верным стратегическим подходом который потребует тесного взаимодействия и взаимопонимания между отдельными научными дисциплинами, странами, а также между государственным и частным сектором. Ниже представлены три концепции, реализация которых может способствовать указанному взаимодействию:

- Концепция «4-х правил» применения удобрений: внесение лучшей формы удобрения в оптимальной дозе, в необходимые сроки и наиболее подходящим



Продуктивность земель и круговорот углерода сильно зависят от **почвенного плодородия**

способом – концепция, основанная на комплексном подходе, поскольку разработанные на ее основе технологии позволяют не только решать задачи каждого конкретного хозяйства, но и повышают эффективность и устойчивость производства продукции растениеводства в целом.

- Имитационные модели формирования урожая: разработанные в последнее время модели позволяют оценить нереализованный потенциал продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшить агротехнику их возделывания в условиях повышения изменчивости климата.

- Глобальные сети данных: расширение использования электронных технологий, облегчающих сбор данных в единую глобальную сеть, доступ к этим данным и их анализ ускоряет накопление новых знаний в области агрономии и питания растений и способствует их скорейшему применению на практике.

Важная роль почвенного плодородия в производстве продукции растениеводства и сохранении окружающей среды

Три основных фактора, с которыми человечество будет сталкиваться в ближайшие десятилетия, – это питание населения Земли, круговорот углерода (C) и земельные ресурсы (рис. 1). О двух из них – углероде и земельных ресурсах – недавно вдохновенно говорил д-р Генри Джанзен в своем докладе на Международном симпозиуме по динамике органического вещества почвы (Janzen, 2009). Такие процессы, как изменение климата, получение дешевой энергии, а также биоэнергетика, связаны с геохимией углерода. Говоря о земельных ресурсах, подразумевают эффективность использования земель, качественные характеристики почв, эффективность использования воды и ее качество, а также утилизацию различных отходов. Д-р Джанзен пронизательно указал на то, что органическое вещество почвы является «общей основой» для вышеназванных двух глобальных факторов. С добавлением третьего фактора, связанного с питанием населения Земли, рассматриваемая система дополняется такими параметрами, как продовольственная безопас-



Рис. 1. Факторы, лежащие в основе главных вызовов наступающих десятилетий

ность, качество продуктов питания и их стоимость. При обсуждении управления минеральным питанием растений важно учитывать, что плодородие почвы является значимым компонентом «общей основы» для всех трех вышеназванных фундаментальных факторов. Также важно понимать, как управление питанием растений влияет на обеспечение человечества продуктами питания, качество земельных ресурсов, а также круговорот углерода.

Продуктивность растениеводства и эффективность использования элементов питания из удобрений

Общеизвестно, что процесс устойчивого развития подразумевает одинаковый акцент на экономических, социальных и экологических аспектах развития. В свою очередь, устойчивое управление минеральным питанием растений включает применение таких систем возделывания сельскохозяйственных культур, которые удовлетворяют этим трем составляющим устойчивого развития.

Важнейшая цель мирового сельского хозяйства – одновременное повышение продуктивности растениеводства и эффективности использования элементов минерального питания растениями. Это необходимо для удовлетворения растущих потребностей мирового сообщества в продовольствии, волокнах растительного происхождения, биотопливе в условиях возрастающей озабоченности относительно влияния сельского хозяйства на качество воды и воздуха, а также в условиях глобальных финансовых потрясений. Стремление повысить эффективность использования растениями элементов питания из удобрений без роста продуктивности увеличивает нагрузку на остальные земли, которые могут быть менее пригодными для эффективного выращивания сельскохозяйственных культур, поскольку на этих землях придется получать больше продукции. Аналогично, стремление увеличить продуктивность путем расточительного использования ресурсов, оказывает негативное влияние на окружающую среду и ведет к тому, что на остальных землях придется уменьшить воздействие на окружающую среду, возможно, даже в ущерб продуктивности.

При стремлении одновременно повысить и продуктивность сельскохозяйственных культур, и эффективность использования элементов питания растениями важно понимать, как определяется данный показатель эффективности. Не так давно Доберманн (Dobermann, 2007) сделал обзор методов оценки эффективности использования элементов питания растениями и дал интерпретацию результатов. Автор также обобщил мировые данные по эффективности использования элементов питания основными культурами в современных условиях, обращая внимание на то, что на полях фермеров в среднем за год растения часто используют менее 40% азота, внесенного с азотными удобрениями, однако в лучших хозяйствах этот показатель был гораздо выше. Для иллюстрации того,

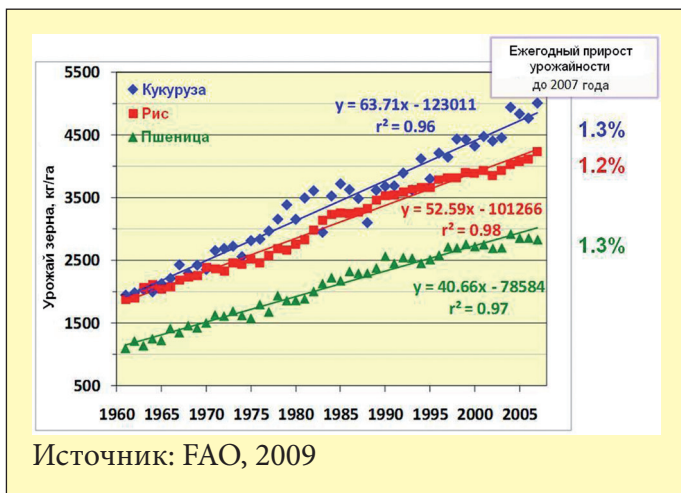


Рис. 2 Урожайность зерновых культур в мире, 1961-2007 гг.

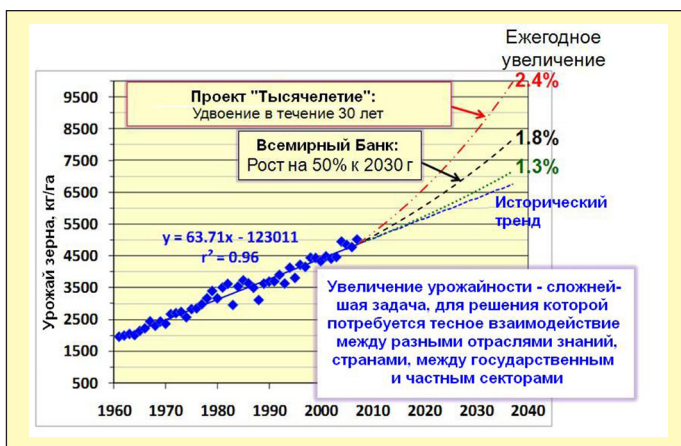


Рис. 3 Прогнозируемый рост потребностей в зерне кукурузы

как можно неверно истолковать данные по эффективности использования растениями элементов питания из удобрений, Доберманн приводит результаты 6-летнего полевого опыта с орошаемой бессменной кукурузой, проведенного в американском штате Небраска для изучения рекомендованной и интенсивной систем применения удобрений при, соответственно, рекомендованной и высокой густоте стояния растений. В этом исследовании, где интенсивная технология возделывания высокоурожайной кукурузы сравнивалась с рекомендованной для данного региона технологией, показатель производства зерна на единицу внесенного азота¹ при интенсивной технологии оказался значительно ниже, чем при рекомендованной. Это связано с тем, что при интенсивной системе возделывания кукурузы применение азотных удобрений способствовало увеличению содержания органического вещества почве, и после учета накопления азота в почве данная система практически сравнялась с рекомендованной по вышеуказанному показателю. Доберманн отмечает, что в перспективе такое увеличение содержания азота в почве приводит к снижению потребности в

¹ Отношение урожая зерна к дозе азота (кг/кг)

азотных удобрений и, соответственно, росту показателя производства зерна на единицу внесенного азота. Подобный эффект особенно заслуживает внимания при стремлении повысить продуктивность за счет внедрения интенсивных методов выращивания, когда используются новые технологии, отличающиеся от традиционных технологий, применяемых на опытных участках или на полях фермеров. Если с изменением технологий возделывания равновесное состояние органического вещества почвы сдвигается, иммобилизация элементов питания или минерализация органического вещества почвы могут повлиять на эффективность использования элементов питания из удобрений.

По некоторым оценкам, мировая потребность в продовольствии удвоится в течение последующих 30-ти лет (Glenn et al., 2008). В этом случае ее ежегодный прирост за указанный период составит свыше 2.4%. Согласно другим прогнозам, к 2030 г. потребность в продовольствии вырастет на 50%, т.е. ежегодный прирост составит 1.8% (Evans, 2009). Устойчивое удовлетворение таких потребностей – это сложнейшая задача, для решения которой потребуются тесное взаимодействие и согласованность между разными отраслями знаний, странами, между государственным и частным секторами. Масштабы данной задачи можно оценить, сравнив прогнозируемый рост потребности в продовольствии с динамикой урожайности зерновых культур до 2007 г., которая соответствует линейной зависимости с ежегодным приростом от 1.2 до 1.3% в течение почти полувека (рис. 2 и 3). Рассматриваемые далее три концепции могут способствовать взаимодействию между теми, кто будет работать над повышением продуктивности растениеводства и эффективности использования удобрений до требуемых уровней.

Концепция «4-х правил» применения удобрений

Для того, чтобы наука о питании растений эффективно взаимодействовала с другими научными дисциплинами, для вовлечения государственного и



Рис. 4 Схема концепции «4-х правил» (Bruulsema et al., 2008)

Таблица 1. Сравнение среднемноголетней урожайности кукурузы в опытах, изучающих интенсивные технологии, со средней урожайностью на полях фермеров (экспериментальные данные Adviento-Borbe et al., 2007)

Средняя урожайность за 2000-2005 гг	Бессменная кукуруза	Кукуруза/соя
Графство Ланкастер, поля фермеров при орошении, т/га		10.6
Рекомендованная Университетом технология, т/га	14.0	14.7
Интенсивная высокоурожайная технология, т/га	15.0	15.6

частного секторов и участия разных стран, необходима общая концепция, которая позволит проанализировать имеющиеся технологии, правильно поставить задачи и добиться их выполнения. Семена этой концепции были посеяны более 20-ти лет назад Торупом и Стюартом (Thorup and Stewart, 1988), написавшими следующее: «Надо вносить лучшую форму удобрения в оптимальной дозе, наиболее подходящим способом и в необходимые сроки». На **рис. 4** схематично представлена концепция «4-х правил» применения удобрений, которая базируется на подходах, изложенных Торупом и Стюартом (Bruulsema et al., 2008). В ее основе лежат четыре простых правила – внесение лучшей формы удобрения в оптимальной дозе, в необходимые сроки и наиболее подходящим способом. Примером практического применения этих четырех правил является разработка системы рационального применения удобрений для каждого конкретного поля.

На схеме четыре правила размещены внутри области, представляющей блок возделывания сельскохозяйственных культур, поскольку данные правила тесно интегрированы с системами рационального вы-

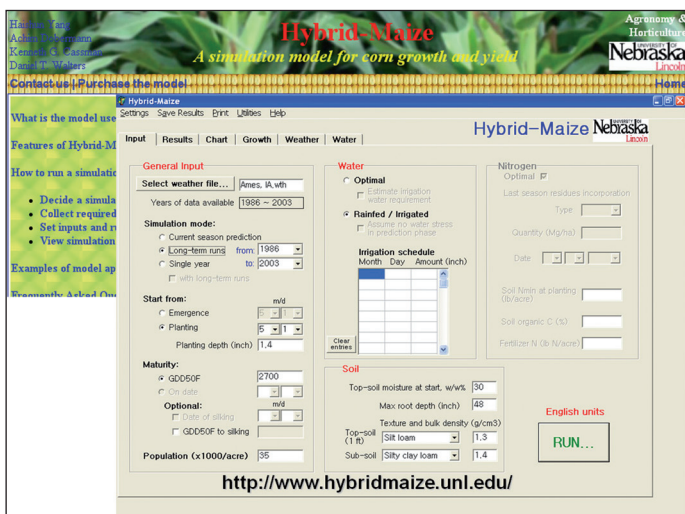
ращивания культур, используемыми для достижения поставленных целей в растениеводстве. Решение этих задач в рамках каждого фермерского хозяйства способствует решению более глобальных экономических, социальных и экологических проблем, обеспечивая тем самым устойчивое развитие всей системы. Важно отметить, что следование четырем правилам не дает желаемого результата при наличии каких-либо проблем в других звеньях системы возделывания сельскохозяйственных культур. Дарст и Мерфи (Darst and Murphy, 1994) писали об уроках «Пыльного котла» (серия пыльных бурь) в США в 1930-х гг. в том контексте, что многочисленные исследования, показавшие положительную роль надлежащего применения удобрений и других новых технологий в растениеводстве, способствовали включению ресурсосберегающих способов обработки почвы в систему рационального возделывания культур. Наука и практика четко показывают, что влияние рационального применения удобрений на урожай и его качество, на рентабельность в целом, на потери питательных веществ в результате вымывания и эрозии почвы, а также на газообразные потери азота из почвы во многом зависят от других агрономических (густота стояния растений, сорт, обработка почвы, защита растений от вредителей и болезней и т.д.) и ресурсосберегающих приемов (террасирование, полосное земледелие, оставление стерни и пожнивных остатков, создание лесополос, в том числе водозащитных и т.д.).

Технологии, используемые для разработки системы применения удобрений с учетом специфики конкретного фермерского хозяйства, могут считаться «лучшими» только при надлежащем подборе всех агрономических и ресурсосберегающих приемов в системе рационального возделывания культур. Разработанная система рационального применения удобрений может быть совершенно неэффективной, если при возделывании культуры допускаются просчеты в других агротехнологических звеньях.

На схеме концепции «4-х правил» (**рис. 4**) внутри внешней области приводятся основные показатели эффективности системы. Сбалансированный набор этих показателей помогает понять взаимосвязь между рациональным применением удобрений и устойчивым развитием растениеводства в целом. На схеме четко показано, что устойчивое развитие всей системы определяется не только урожайностью и эффективностью использования элементов питания из удобрений, хотя эти показатели и являются ключевыми индикаторами. Залогом успеха является вклад всех составляющих в улучшение показателей эффективности системы.

Имитационные модели формирования урожая

Определение разницы между потенциальной и реальной урожайностью – важный шаг к повышению продуктивности культур и эффективности растениеводства. Недавно ФАО опубликовала ряд подобных



«Hybrid-Maize» («Гибридная кукуруза») - пример имитационной модели для оценки нереализованного потенциала урожайности в конкретных условиях

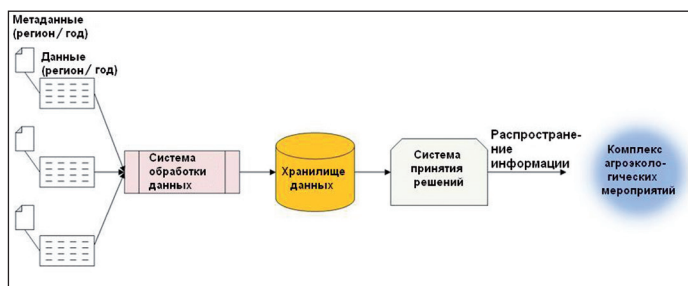


Рис. 5 Концептуальная модель процесса сбора и обработки данных в большом географическом масштабе

оценок для шести стран-производителей кукурузы (FAO, 2008). Согласно оценкам, разрыв между потенциальной и реальной урожайностью кукурузы колеблется от 4 и 5 т/га в, соответственно, Мексике и Индии до 0 в США. Однако подобные общие оценки не следует трактовать слишком буквально применительно к конкретным условиям внутри каждого региона. Например, при сопоставлении урожайности орошаемой кукурузы при возделывании по интенсивной технологии в рассмотренном выше опыте в штате Небраска со средней урожайностью кукурузы в стране на полях фермеров за те же годы получается разница в 4-5 т/га (табл. 1), предполагающая, что по крайней мере в ряде регионов США существует нереализованный потенциал продуктивности кукурузы.

Имитационные модели формирования урожая культур могут быть полезным инструментом для оценки недополученных урожаев в любых конкретных условиях. Значительный прогресс в удобстве использования этих моделей был достигнут с появлением возможности анализа нереализованного потенциала урожая, а также агротехники возделывания культуры и системы применения удобрений. Один из примеров – программа «Гибридная кукуруза» («Hybrid Maize»), разработанная Университетом Небраски (Yang et al., 2006). Блок программы по применению удобрений находится в стадии разработки. Агротехника возделывания культуры и система применения удобрений составляют единый комплекс отчасти потому, что протекание жизненно важных процессов в растениях и в почвах сильно зависит от погодных условий. На практике у пользователей есть две альтернативы для принятия решений – вероятностный подход на основе многолетних климатических наблюдений или анализ близкой к реальному времени информации о погодных условиях текущего сезона. Имитационные модели работают при обоих подходах. Изменение климата повышает востребованность моделей, в которых используются погодные/климатические данные. В недавнем отчете Национального научно-исследовательского совета (National Research Council, 2009) указывается, что окончание периода стабильности климата требует организованной, основанной на работе с базами данных, системы поддержки принятия решений. Очевидно, что в эту категорию попадают агротехника выращивания культур и система применения удобрений. Последствия изменения климата для питания растений

были обобщены Броудером и Воленеком (Brouder and Volenec, 2008). Лобелль с соавторами (Lobell et al., 2009) не так давно опубликовал исчерпывающий обзор о нереализованном потенциале продуктивности сельскохозяйственных культур – в основном пшеницы, риса, кукурузы, который включал использование имитационных моделей.

Глобальные сети данных

В недавнем обобщающем докладе «Международная оценка сельскохозяйственных знаний, науки и технологий для развития» говорится, что увеличение продуктивности сельского хозяйства экологически рациональным способом является основной задачей для сельскохозяйственного знания, науки и технологий (IAASTD, 2009). В качестве одного из шести высокоприоритетных вариантов управления природными ресурсами предлагается «создание сети специалистов-практиков (фермерские организации, негосударственные организации, государственный и частный сектора) для содействия долгосрочному управлению природными ресурсами с тем, чтобы природные ресурсы приносили большую пользу для всеобщего блага». В качестве еще одного варианта предлагается «объединить доступ к глобальной и локальной информации и сделать генерированные на региональном уровне знания и инновации по управлению природными ресурсами доступными для всеобщего сельскохозяйственного знания, науки и технологий».

В своей пленарной лекции на годовом собрании Американской ассоциации содействия развитию науки в 2008 г. д-р Нина Федорофф – руководитель USAID сказала, что единственной альтернативой повышению цен на продукты питания и прогрессирующей вырубке лесов является использование достижений современной науки, в том числе молекулярной биологии, для повышения продуктивности уже возделываемых земель и снижения их потребности в воде (Fedoroff, 2008). В продолжение она сказала, что исследовательские университеты и институты, работая вместе с бизнес-сообществом и используя современные электронные ресурсы, имеют уникальную возможность ускорить мировое сотрудничество.

Можно ли еще более эффективно использовать современные технологии связи и обработки данных для достижения целей, связанных с ростом продуктивности культур и эффективности использования элементов питания растениями? Национальная академия наук (National Academy of Sciences, 2009) в напутствии начинающим ученым теперь говорит о том, что исследователи отвечают за проработку наилучших из возможных способов совместного использования данных, приводя в качестве примера базы данных астрономических изображений, последовательностей белков, археологических данных, клеточных линий, химических реагентов и трансгенных животных.

Для глобальной совместной работы ученых исследователи Университета Пурду создали «Сеть

вычислительной нанотехнологии» (Network for Computational Nanotechnology, NCN). Результатом работы этого консорциума стало создание виртуального вычислительного центра nanoHUB (<http://nanohub.org>). Онлайн-сообщество nanoHUB, состоящее из более чем 90 тыс. пользователей в год, получает доступ к ресурсам, которые необходимы ученым для сотрудничества в области моделирования, для исследований и обучения в сфере нанотехнологий. Есть ли необходимость в создании «Nutrohub» – глобального исследовательского и образовательного проекта в области питания растений? Подобное сообщество специалистов могло бы состоять из многочисленных групп – каждая со своим направлением работы, но при совместном использовании коммуникационных и вычислительных ресурсов. Группы могли бы разрабатывать интегрированные системы управления данными, подобно представленной на рис. 5 системе, разработанной для Глобального проекта IPNI по кукурузе (Murrell, 2008).

Д-р Фиксен – старший вице-президент (Программа по Америке) и Директор по научной работе IPNI. Работает в Бруклинге, штат Южная Дакота. E-mail: pfixen@ipni.net

Литература

Adviento-Borbe, M.A.A., M.L. Haddix, D.L. Binder, D.T. Walter, and A. Dobermann. 2007. *Global Change Biology* 13:1972-1988.

Brouder, S.M. and J.J. Volenec. 2008. *Physiol. Plant.* 2008:1-20.

Bruulsema, T.W., C. Witt, Fernando Garcia, Shutian Li, T. Nagendra Rao, Fang Chen, and S.Ivanova. 2008. *Better Crops* 92(2):13-15.

Darst, B.C. and L.S. Murphy. 1994. Keeping agriculture viable: Industry's viewpoint. *J. Soil and Water Conservation* 46(2):8-14.

Dobermann, A. 2007. In *Fertilizer Best Management Practices*. International Fertilizer Industry Assoc., Paris, France.

Evans, Alex. 2009. *The Feeding of the Nine Billion: Global Food Security for the 21st Century (A Chatham House Report)*. Royal Institute of International Affairs, London.

FAO. 2008. *State of Food and Agriculture* (page 62). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. On line at <http://www.fao.org/catalog/inter-e.htm>.

Fedoroff, Nina V. 2008. American Association for the Advancement of Science Annual Meeting. On line at <http://www.pitt.edu/~super1/lecture/lec31911/001.htm>.

Glenn, J.C., T.J. Gordon, and E. Florescu. 2008. *The Millenium Project: State of the Future*. World Federation of UN Associations, Washington, D.C.

IAASTD. 2009. *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development – Executive Summary of the Synthesis Report*. Island Press, Washington, D.C.

Janzen, H. 2009. SOM research in 2030: what scientists then might ask of us now. In program and Abstracts for the International Symposium on Soil Organic Matter Dynamics: Land Use, Management and Global Change. Colorado State University, Fort Collins. p. 114.

Lobell, D.B., K.G. Cassman, and C.B. Field. 2009. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 34:4.1-4.26.

Murrell, T.S. 2008. Personal Communication.

National Academy of Sciences. 2009. *On Being a Scientist – a Guide to responsible Conduct in Research*, Third Edition. Committee on Science, Engineering and Public Policy. The National Academies Press. Washington, D.C.

National research Council. 2009. *Informing decisions in a changing climate. Panel on Strategies and Methods for Climate-Related Decision Support of the Committee on the Human Dimensions of Global Change*, National Research Council of the National Academies. The National Academies Press. Washington, DC. On line at <http://books.nap.edu/catalog/12626.html/>.

Thorup, J.T. and J.W.B. Stewart. 1988. Optimum fertilizer use with differing management practices and changing government policies. In *Proceedings of the 25th Anniversary Symposium of Division S-8, Advances in Fertilizer technology and Use*. Published for the Soil Sci. Soc. A. by the Potash & Phosphate Institute (now the International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA).

Yang, H., A. Dobermann, K.G. Cassman, and D.T. Walters. 2006. *Agron. J.* 98:737-748.

Роль элементов питания в повышении урожайности яровой пшеницы в Сибири

Гамзиков Г.П., Носов В.В.

Сибирь расположена в азиатской части России на площади около 10 млн. км². В южной части этого региона, где находится более 56 млн. га сельхозугодий, занимаются земледелием и животноводством. Здесь имеется около 23.5 млн. га распаханых земель, что составляет примерно 1/5 часть пашни России. В регионе традиционно и успешно возделываются яровые культуры: пшеница, ячмень, овёс, просо, гречиха, зернобобовые, подсолнечник, картофель и овощи. Из озимых высеваются рожь и тритикале. Перспективны и дают высокие урожаи яровой рапс, соя, сахарная свёкла. Основная доля (около 70%) в структуре посевных площадей принадлежит зерновым культурам, среди ко-

