

печивают максимальную отдачу при проводимых ими агрооперациях. Хотя технологии и методы точного земледелия с первого взгляда могут показаться трудновыполнимыми, важно обратить внимание новичков на то, что продвигаться вперед следует медленно и последовательно. Системы параллельного вождения и системы ASC приносят фермерам быструю и ощутимую выгоду, тогда как другие технологии и специфичные для конкретных условий агротехнологические подходы могут обеспечивать выгоды, но должны оцениваться за несколько лет использования. На практике может понадобиться время, чтобы в полной мере снизить себестоимость или увеличить доход при использовании данных технологий, особенно технологий применения удобрений, основанных на принципах точного земледелия.

Подробнее о технологиях точного земледелия см. на сайте по точному земледелию в Алабаме: www.AlabamaPrecisionAgOnline.com.

Д-р Уинстед (winstat@auburn.edu) – региональный консультант по точному земледелию Кооперативной консультационной службы Алабамы Научно-исследовательского и консультационного центра Долины Теннесси (г. Белле Мина, штат Алабама, США).

Д-р Фултон – адъюнкт-профессор/консультант кафедры проектирования биологических систем Обернского университета (штат Алабама, США).

Перевод с английского под редакцией В.В. Носова, С.Е. Ивановой.

Литература

Troesch, A., D.K. Mullenix, J.P. Fulton, A.T. Winstead, and S.H. Norwood. 2010 Economic analysis of auto-swath control for Alabama crop production. In Proceedings of the 10th International Conference on Precision Agriculture, Denver, CO, July, 23-25

Успехи использования наземных сенсоров в сельском хозяйстве Аргентины

Р. Мелхиори

В результате интегрированного взаимодействия между разными организациями и компаниями Аргентины исследования по использованию наземных сенсоров для повышения эффективности использования азота из удобрений привели к важным достижениям. Дифференцированная подкормка азотом, основанная на результатах наземного зондирования растений, повышает эффективность использования азота из удобрений в устойчивых высокоурожайных системах земледелия.

Несмотря на большое количество информации и данных по управлению азотным питанием зерновых культур, средний коэффициент использования азота из удобрений данными культурами в мире оценивается лишь на уровне 0.33 (Raun and Johnson, 1999). Постоянное проведение теоретических и экспериментальных исследований и разработка новых технологий, например, связанных с точным земледелием, вызваны необходимостью повышения эффективности использования азота из удобрений.

В 2002 г. INTA (Национальный институт агротехнологий), AAPRESID (Ассоциация фермеров, применяющих нулевые технологии) и Profertil (компания, производящая удобрения) запустили совместный проект по поддержке разработок и распространению устойчивых технологий управления азотным питанием в Аргентине с особым акцентом на повышение эффективности использования азота из удобрений с помощью методов наземного зондирования.

Как было показано рядом авторов, используя наземные сенсоры, можно выявить недостаток азота у растений. Однако стадия развития растений, состоя-

ние растительного покрова, накопленная биомасса, обеспеченность растений элементами питания и другие факторы оказывают влияние на спектральный отклик растений и, следовательно, на возможность выявления недостатка азота. Подходы, основанные на наземном зондировании, требуют наличия технологий для выявления недостатка азота и разработки диагностических методов и рекомендаций по



Автор проводит измерения показателя NDVI на поле кукурузы в Паране (провинция Энтре-Риос).

Сокращения: N = азот.

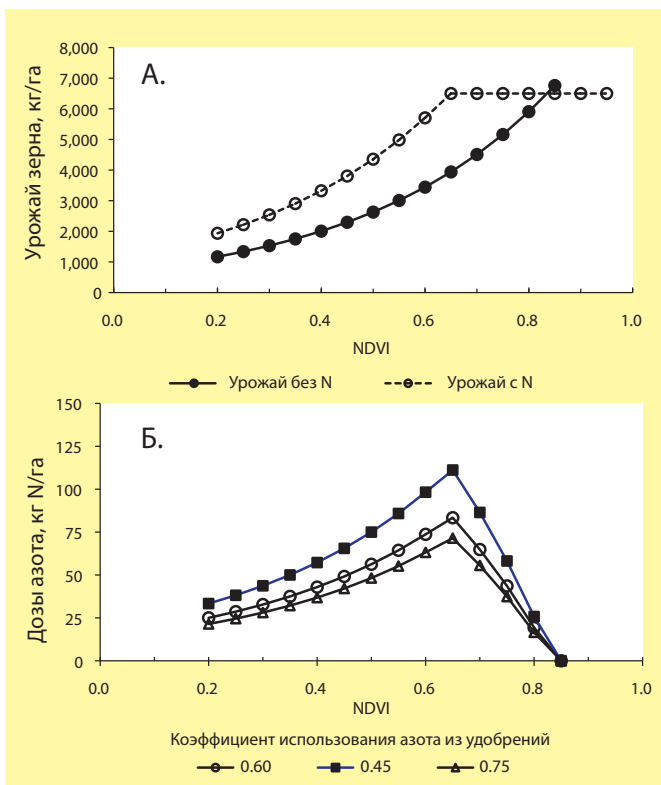


Рис. 1. А) Теоретическая модель для разработки рекомендаций, использующая функциональную зависимость между величиной урожайности и индексом NDVI (урожай без N – урожай без подкормки азотом, урожай с N – прогнозируемый урожай при подкормке азотом). Б) Дозы азота, рассчитанные для представленного выше примера (А) с помощью калькулятора доз азота по показаниям сенсора (sensor based nitrogen rate calculator, SBNRC) при трех значениях коэффициента использования азота из удобрений (0.45, 0.60 и 0.75).

его устранению. Необходимо также знать, насколько и под действием каких факторов снижается потенциальная урожайность, и как условия окружающей среды могут повлиять на отзывчивость растений на подкормки азотом.

Объединенные исследования, проводимые в настоящее время в Аргентине, предполагают: 1) разработку и проверку зональных методик диагностики азотного питания и рекомендаций по применению азотных удобрений на основе данных наземного зондирования, и 2) определение оптимальных сроков проведения азотных подкормок при выявлении недостатка азота у растений для повышения эффективности использования азота из удобрений. Результаты этих исследований были опубликованы Р. Мелхиори с соавт. (Melchiori et al., 2004; 2005; 2006; 2007; 2008a). Настоящая статья обобщает результаты, полученные в ходе выполнения указанных проектов.

Разработка и зональная корректировка алгоритмов, используемых при наземном зондировании

В основу проекта в Аргентине легла модель, разработанная Государственным университетом Оклахомы (OSU) в США и описанная У.Р. Руаном с соавт. (Raun et al., 2005). В нескольких словах, данный метод

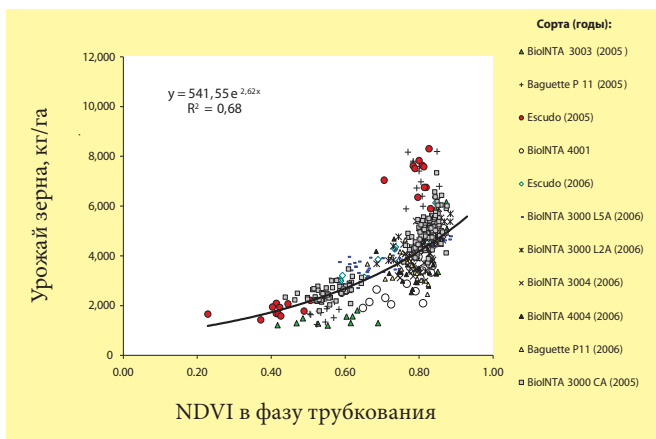


Рис. 2. Зависимость между величиной урожайности пшеницы и индексом NDVI, определенным с помощью оптического сенсора GreenSeeker в начале набухания колосьев. Данные включают результаты нескольких опытов по возделыванию разных сортов пшеницы при разных режимах увлажнения и уровнях азотного питания.

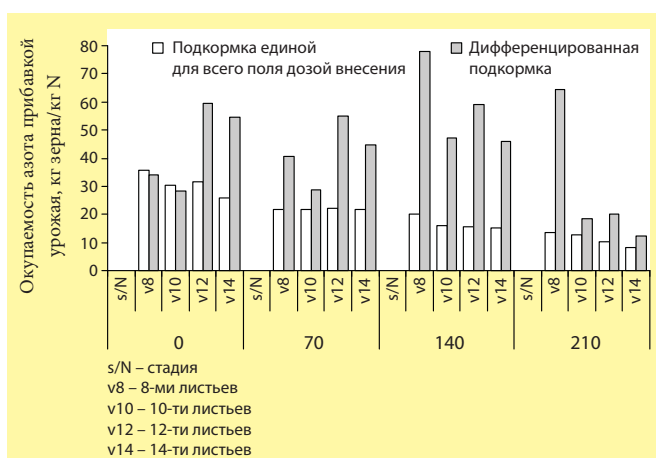


Рис. 3. Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая кукурузы (в среднем за 2002-2008 гг.). При посеве вносились следующие дозы азота (кг N/га): 0, 70, 140 и 210. Азотная подкормка проводилась между стадиями 8-ми и 14-ти листьев с применением двух подходов: равномерная доза внесения азота и дифференцированная подкормка, основанная на использовании сенсоров.

позволяет получать уравнения для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в виде функции от нормализованного дифференциального вегетационного индекса (normalized difference vegetation index, NDVI). Разработанные алгоритмы позволяют спрогнозировать прибавку урожая от азотной подкормки при планируемом уровне урожайности и рассчитать дозу азота для заданной эффективности его использования растениями на основании разницы между расчетными величинами урожайности с проведением подкормки и без нее. На рис. 1А и 1Б показано, как в рамках теоретической модели вырабатываются рекомендации для пшеницы, когда урожайность и отзывчивость на азотную подкормку оцениваются, исходя из определения индекса NDVI в определенную фазу развития растений (стадия 10-12-ти листьев у кукурузы или 1-2-го узла у пшеницы) на специально заложенных референсных участках с высоким уровнем азотного питания



Автор (справа) и А. Бианчини (AAPRESID) проверяют результаты определения индекса NDVI в посевах кукурузы с помощью сенсора GreenSeeker.

растений и на остальном поле. Модель ограничивает планируемую урожайность зерна и эффективность использования азота из удобрений в соответствии с заданными пределами.

Зональные данные, полученные с учетом пестроты почвенно-климатических условий при выращивании пшеницы, позволили провести проверку указанных зависимостей и разработать модели для прогнозирования урожайности данной культуры применительно к условиям Аргентины. На **рис. 2** в качестве примера показана полученная в INTA (г. Парана, провинция Энтре-Риос) зависимость между значениями индекса NDVI, определенными с помощью сенсора GreenSeeker, и урожайностью зерна пшеницы. Аналогичные массивы данных были также получены и для кукурузы, а разработанные впоследствии уравнения были интегрированы в базу данных, доступную по адресу: <http://www.soiltesting.okstate.edu/sbnrc/sbnrc.php>

Обобщенные результаты исследований для кукурузы и пшеницы

Разработка модели для кукурузы потребовала изучения эффективности внесения азота в подкормку при выращивании данной культуры. Результаты исследований, проведенных в США, показали достаточно высокую эффективность подкормок азотом между стадиями 6-ти и 14-ти листьев (Scharf et al., 2002; Randall et al., 2003). Удлинение сроков внесения азота позволяет синхронизировать поступление азота в растения с их потребностью в данном элементе питания и тем самым снизить риск принятия ошибочных решений, поскольку влияние многих факторов, обуславливающих урожай, с ростом растений становится все более отчетливым. Хотя получены обнадеживающие результаты (Melchiori et al., 2004; 2005; 2006), следует отметить, что для нормального прохода техники на более поздних стадиях развития растений необходима ширина междурядий

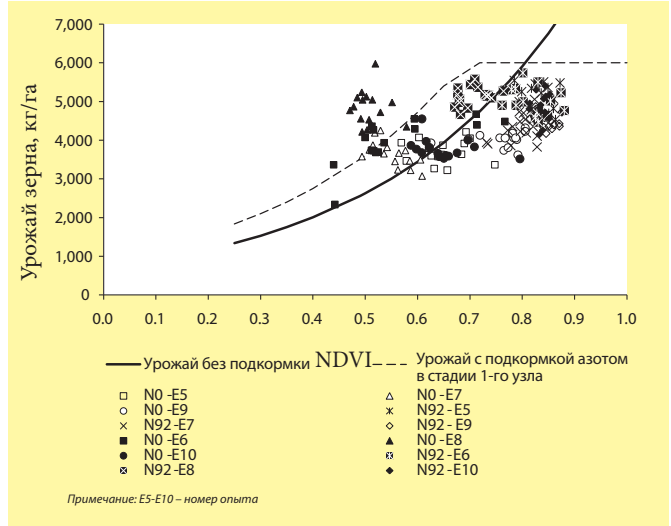


Рис. 4. Отзвучивость пшеницы на подкормку азотом (92 кг N/га в стадии 1-го узла) в разных почвенно-климатических условиях Параны (провинция Энтре-Риос) в 2006-2008 гг.

в 52 см (это шире, чем обычно применяется для кукурузы в Аргентине), и что необходимость таких подкормок также зависит от вероятности выпадения дождей непосредственно после проведения подкормок.

Усредненные результаты, полученные за семь сезонов выращивания в Паране (2002-2008 гг.), свидетельствуют о том, что в результате проведения азотных подкормок можно получить прибавку урожая кукурузы. Средние прибавки урожая были одинаковы как при подкормке с единой для всего поля дозой азота, так и при дифференцированной подкормке, проведенной с использованием сенсоров, однако в последнем случае общее количество внесенного азота было меньше, и, следовательно, повышалась окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая (**рис. 3**).

Исследования для пшеницы включали разработку прогностических уравнений, связывающих урожайность с индексом NDVI, а также оценку влияния сорта, длины вегетационного периода, особенностей кущения, припосевных доз азота и доступности влаги на получаемые результаты. Все эти факторы оказывают влияние на определение индекса NDVI.

В период с 2006 г. по 2008 г. на Сельскохозяйственной опытной станции INTA в Паране было проведено 19 полевых опытов, в которых варианты закладывались в виде полос вдоль всего поля. Как правило, опыты включали полосы-варианты, где в подкормку вносились следующие дозы азота: рекомендованная для конкретного поля, не лимитирующая урожай (референсная полоса) и установленная с помощью сенсоров (Melchiori et al., 2008b). В некоторых случаях добавлялись полосы-варианты без припосевного внесения азота – только с подкормкой. На **рис. 4** показана зависимость между урожайностью зерна пшеницы и индексом NDVI, которая получена в полевых опытах при использовании алгоритма, выложенного на сайте OSU: <http://www.soiltesting.okstate.edu>. Данный алгоритм аналогичен



Поле пшеницы на Сельскохозяйственной опытной станции INTA в Паране (провинция Энтре-Риос).

теоретической модели, представленной на **рис. 1а**.

Настройка систем дифференцированного внесения подкормок

Недавно мы начали работу по оценке системы дифференцированного внесения азотных удобрений в подкормку (GreenSeeker RT 200, «Энтех Индастриз», г. Укиах, штат Калифорния, США) в полевых опытах. Данная система позволяет устанавливать сенсоры на машинах для внесения удобрений, при этом полученные данные обрабатываются на компьютере для определения доз внесения азота, и, уже исходя из этого, в режиме реального времени осуществляется дифференцированное внесение азотных удобрений.

Результаты оценки различных конфигураций с разным количеством сенсоров свидетельствуют о том, что для пшеницы и кукурузы приемлемое определение индекса NDVI и допустимое варьирование получаемых данных достигаются при использовании от 4-х до 6-ти сенсоров на стандартных машинах для внесения удобрений. При этом варьирование индекса NDVI снижается по мере развития растений.

Будущая работа должна быть направлена на проведение исследований по применению наземных сенсоров в более широком диапазоне почвенно-климатических условий для получения более надежных моделей азотного питания растений и разработки зональных методик, а также необходимых технических средств.

Благодарности от автора

Д-ру У. Рауну (OSU), А. Бианчини (AAPRESID) и сотрудникам Сельскохозяйственной опытной станции в Паране, участвующих в Проекте INTA по точному земледелию.

Работа финансировалась в соответствии с Договором между INTA, PROFERTIL и AAPRESID («Повышение эффективности использования азота с помощью методов наземного зондирования»),

из проекта INTA («Разработка и применение методов точного земледелия для управления агротехнологиями выращивания сельскохозяйственных культур» (АЕА13722)), а также компаниями PASA и D&E SA.

Р. Мелхиори – магистр, агроном-исследователь Группы по природным ресурсам и абиотическим факторам Сельскохозяйственной опытной станции в Паране Национального института агротехнологий (г. Парана, провинция Энтре-Риос, Аргентина); e-mail: rmelchiori@parana.inta.gov.ar.

Перевод с английского под редакцией В.В. Носова, С.Е. Ивановой.

Литература

- Melchiori, R.J.M., O.P. Caviglia, S.M. Albarenque, N. Faccendini, and A. Bianchini, 2008a. *Actas VII Congreso Nacional de Trigo.*
- Melchiori, Ricardo, Octavio P. Caviglia, S.M. Albarenque, Nelson Faccendini, Agustin Bianchini, and W.R. Raun. 2007. *International Annual Meetings, ASA-CSSA-SSSA, Nov 4-8. New Orleans.*
- Melchiori, Ricardo, Pedro Barbagelata, Susana M. Albarenque, Agustin A. Bianchini, and William Raun. 2008b. *Abstract submission to 9th International Conference on Precision Agriculture. Denver, Colorado. July 20-23.*
- Melchiori, R.J.M., O. Caviglia, and A. Bianchini. 2004. *ASA-CSSA-SSSA Annual Meetings. Seattle, Washington.*
- Melchiori, R.J.M., O.P. Caviglia, A. Bianchini, N. Faccendini, and W. Raun. 2005. *VII Congreso Nacional de Maíz. Pp. 218-220. Rosario, Argentina.*
- Melchiori, R.J.M., O.P. Caviglia, A. Bianchini, N. Faccendini, and W. Raun. 2006. *ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings. Indianapolis, IN, November 12-16.*
- Randall, G.W., J.A. Vetsch, and J.R. Huffman. 2003. *Agron. J. 95:1213-1219.*
- Raun, W.R. and G.V. Johnson. 1999. *Agron. J. 91: 357-363.*
- Raun, W.R., J.B. Solie, M.L. Stone, K.L. Martin, K.W. Freeman, R.W. Mullen, H. Zhang, J.S. Schepers, and V. Jonson. 2005. *Comm. in Soil Sci. and Plant Anal. 36:2759-2781.*
- Scharf, P.C., W.J. Wiebold, and J.A. Lory. 2002. *Agron. J. 94:435-441.*

