

# Выделение зон для дифференцированного внесения удобрений способствует росту производства сахара в Северной Дакоте и Миннесоте

Д. Франзен, Г. Ричардс, Т. Дженсен

*Дифференцированное внесение азотных удобрений по зонам, выделенным на спутниковых изображениях полей с учетом окраски листьев сахарной свеклы, повысило урожаи корнеплодов и выход сахара с гектара при выращивании сахарной свеклы в севообороте в восточной части Северной Дакоты и на западе Миннесоты. Развитие метода разделения полей на три зоны для дифференцированного внесения азотных удобрений основывается на научных исследованиях и практическом опыте по применению азотных удобрений при возделывании сахарной свеклы. Данные три зоны в упрощенном виде могут быть охарактеризованы, как зоны с низким, средним и высоким содержанием доступного азота; и дозы азота и других элементов питания для каждой зоны устанавливаются на основании результатов анализа почвы.*

Управление азотным питанием важно для большинства сельскохозяйственных культур, но при выращивании сахарной свеклы оно имеет критическое значение для получения желаемого урожая корнеплодов и выхода сахара при их переработке. Достаточная обеспеченность растений азотом в начале периода вегетации необходима для полноценного развития листьев, максимальной фотосинтетической активности и последующего запаса фотосинтезированных сахаров в нормально развитых корнеплодах. При избытке доступного азота на поздних стадиях развития растений может быть получен высокий урожай корнеплодов. Но это также приводит к повышению в них содержания азотистых соединений и белков, что снижает технологическое качество корнеплодов и выход сахара на заводе.

Работы по исследованию взаимосвязи между содержанием доступных форм азота в почве и величиной урожайности, а также качеством корнеплодов сахарной свеклы продолжают в течение почти 130 лет. Первые опубликованные работы были проведены в Бернбурге (Германия) в 1882 г., на научно-исследовательской опытной станции, где изучалось минеральное питание сахарной свеклы (Winner, 1993). Многочисленные последующие исследования расширили представления о том, как следует управлять азотным питанием растений для получения желаемого урожая и качества корнеплодов. Так, в работе Бауэра и Стивенсона (Bauer and Stevenson, 1972) показано, что сбор сахара с гектара достигает максимума при умеренной дозе азота (112 кг N/га), при дальнейшем увеличении доз азота он снижается, хотя урожай корнеплодов при этом продолжает расти (табл. 1). При разработке рациональных систем применения азотных удобрений под сахарную свеклу, первым шагом является определение содержания доступных форм азота в почве после уборки предшествующей культуры и его учет при расчете дозы азотных удобрений, необходимой для получения

**Таблица 1.** Влияние различных доз азотных удобрений на урожай корнеплодов, сахаристость, коэффициент засорения и сбор сахара для трех сортов сахарной свеклы, выращиваемых в Оаксе, Северная Дакота

Доза N, кг N/га	Урожай корнеплодов, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га	Индекс качества*
0	48.8	17.0	8.3	429
56	50.0	16.7	8.3	482
112	54.0	16.4	8.9	534
224	55.1	15.3	8.4	750

Исходное содержание нитратов на глубине 0-60 см было 56 кг N/га

\* Индекс качества =  $[10(N) + 2.5(K) + 3.5(Na)] / C$ , где

**N** – содержание аминного азота в корнеплодах, мг/кг  
**K** – содержание калия в корнеплодах, мг/кг  
**Na** – содержание натрия в корнеплодах, мг/кг  
**C** – сахаристость, %

планируемого урожая сахарной свеклы. Содержание доступных форм азота в почве может быть определено путем отбора почвенных образцов осенью после уборки предшествующей культуры и их анализа на содержание минерального азота, обычно нитратного ( $NO_3-N$ ). Первоначальная глубина пробоотбора была 60 см, но последующие исследования показали, что целесообразно отбирать образцы до глубины 100–150 см, учитывая глубину проникновения корней сахарной свеклы (Franzen et al., 1999a).

Отбор и анализ почвенных образцов можно использовать для определения необходимой дозы удобрений для каждой культуры в севообороте. Однако было замечено, что пространственная неоднородность внутри поля приводит к тому, что на одних участках сахарная свекла испытывает недостаток азота, на других – среднее обеспечена азотом, а на третьих – наблюдается его избыток. Анализ почвенных образцов, отобранных с каждого участка показал, что содержание нитратного азота в почве на этих участках соответствовало различным уровням – от относительно низкого до

среднего и высокого. Смит (Smith, 1996, 1997) изучал эффективность различных доз азотных удобрений под сахарную свеклу в севообороте, рассчитанных с учетом содержания доступного азота в почве. Он установил, что если расчет дозы азотных удобрений для культуры, следующей в севообороте после сахарной свеклы, был основан на среднем для всего поля содержании нитратного азота, то при внесении азотных удобрений такие же зоны с различным содержанием азота в почве сохранялись в течение всего севооборота. Он предложил учитывать содержание азота в листьях сахарной свеклы при расчете дозы азотных удобрений под следующую культуру севооборота для того, чтобы не допустить внесения избытка азотных удобрений - в течение всего севооборота. Чем выше содержание азота в листьях, тем зеленее листья сахарной свеклы и больше азота содержится в растениях. Большая часть азота, присутствующего в листьях сахарной свеклы, возвращается в почву после уборки урожая корнеплодов, и используется последующей культурой (Franzen, 2004).

**Таблица 2.** Эффективность дифференцированного внесения удобрений по зонам в 2003–2007 гг. (база данных ACSC).

Метод внесения удобрений	Сбор сахара, кг/га	Выход сахара, кг/т корнеплодов	Доход, \$/га
Дифференцированный по зонам	8475	194	2524
Традиционный	8193	169	2435
Прибавка от дифференцированного внесения	282	25	89

Для выявления участков с высоким и низким содержанием азота в листьях свеклы в промышленных условиях использовали спутниковые изображения (Moraghan and Smith, 1996). Для формирования изображения использовали три полосы отражения, соответствующие низкому, среднему и высокому содержанию азота в листьях сахарной свеклы. Мораган и соавторами (Moraghan et al., 1997) разделили окраску листового покрова сахарной свеклы на изображениях, полученных между концом августа и началом октября, на желтый, желто-зеленый и зеленый цвета. Впоследствии Мораган указывал, что учет азота, поступающего в почву при минерализации ботвы, при расчете дозы азотных удобрений для следующей культуры севооборота в «зеленых» зонах имел практическое значение (Sims et al., 2002).

Franzen et al. (1999b) использовали нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetative Index, NDVI), определенный по спутниковым снимкам с Landsat 5, для выделения зон, где дозы азотных удобрений для пшеницы, посеянной после сахарной свеклы в севообороте, рассчитывали с учетом поступления азота из свекольной ботвы. Показатель NDVI равен отношению разности коэффициентов отражения в инфракрасном и красном диапазонах к их сумме. Величина NDVI зависит



**Рис 1.** Использование дифференцированного внесения удобрений по зонам в период с 2002 г. по 2009 г. в восточных районах Северной Дакоты и западных районах Миннесоты (American Crystal Sugar Company 2007, и личные контакты авторов, 2010).

от биомассы, типа культуры, степени поражения болезнями и повреждения вредителями, и обеспеченности растений элементами питания. В результате урожайность пшеницы в «желтых» зонах, где вносили полную дозу азотных удобрений, была сравнима с урожайностью в «зеленых» зонах, где доза азота была скорректирована с учетом содержания азота в листьях свеклы. Точный расчет доз азотных удобрений под каждую культуру севооборота с учетом содержания доступных форм азота в почве, дозы азотных удобрений под предшественник, и поступления азота с ботвой сахарной свеклы в зонах, определенных по спутниковым изображениям, привел к улучшению технологического качества сахарной свеклы. В 2002 г. в долине реки Ред Ривер (Red River) на площади примерно 40 тыс га, что составляет 20% площади под сахарной свеклой в этом регионе, применение азотных удобрений под культуру, возделываемые сразу после сахарной свеклы, осуществлялось на основе этого исследования. Это позволило снизить затраты на удобрения примерно на 50 долларов с гектара. Кроме того, снизилась частота полегания зерновых культур, а также содержание минерального азота в почве на полях, засеваемых сахарной свеклой через 2–3 года.

Использование зон с различной окраской листьев сахарной свеклы, выделенных по спутниковым изображениям, продолжает расширяться со времени их первого применения в 2002 г. (рис 1). По оценкам, в 2009 г. описанное выше дифференцированное внесение удобрений по зонам применялось примерно на 43% посевных площадей в Северной Дакоте и западных районах Миннесоты, на которых сахарная свекла выращивалась по контракту с American Crystal Sugar Company (ACSC). Дифференцированное внесение удобрений под сахарную свеклу на фермерских полях обычно осуществляют дистрибьютеры минеральных удобрений, используя рекомендации по дифференцированному внесению удобрений, основанные на технологии выделения зон по обеспеченности элементами питания растений. Фермеры и агрономы



**Поле сахарной свеклы**, общий вид (слева) и спутниковое изображение окраски листьев (справа) (по данным ACSC).

ACSC, использующие данный метод управления азотным питанием, установили, что в дальнейшем зоны могут выделяться не только с помощью спутниковых изображений листьев сахарной свеклы, но и цифровых топографических карт и карт урожайности всех культур севооборота. Многие поля разделены на зоны для дифференцированного внесения удобрений, определенные на основании трех источников данных, указанных выше (ACSC, 2008). Важно отметить, что на всех полях, засеянных по контракту с ACSC, используются рекомендации по применению удобрений, основанные на отборе и анализе почвенных образцов. Так, в 2009 году почвенные образцы отбирались по зонам на 43% полей, а с остальных полей отбирали смешанные почвенные образцы. Преимуществом системы дифференцированного внесения удобрений по зонам является увеличение сбора сахара с гектара, выхода сахара на тонну корнеплодов и, следовательно, дохода сельхозпроизводителя с гектара (**табл. 2**) (ACSC, 2008).

Технология дифференцированного внесения удобрений и выделения зон по окраске листьев сахарной свеклы была успешно использована в восточной части Северной Дакоты и западных районах Миннесоты. Ожидается, что использование дифференцированного внесения удобрений сельхозпроизводителями, выращивающими сахарную свеклу по контракту с ACSC, будет продолжать расширяться. Возможно и дальнейшее совершенствование процесса выделения зон (включая увеличение их числа с трех до пяти) для более эффективного применения удобрений на участках, требующих промежуточных доз азотных удобрений. Это позволит увеличить производство сахара и повысить доходы производителей сахарной свеклы.

Технология разделения полей на зоны также может использоваться для более точного определения нормы высева семян сахарной свеклы. Например, высокие урожаи всех культур севооборота часто получают в зонах с повышенным содержанием доступного азота в почве. Таким об-

разом, увеличивая плотность посевов сахарной свеклы в этих зонах, можно повысить урожай сахарной свеклы и выход сахара с единицы посевной площади. И наоборот, снижая плотность посевов в зонах стабильно низких урожаев, можно сэкономить на стоимости семян без снижения ожидаемого урожая. Эта технология дифференцированного посева является частью проводимых в настоящее время исследований (ACSC, 2010).

*Д-р Франзен - с.-х. консультант Университета Штата Северная Дакота (North Dakota State University (г. Фэгро, США).*

*Г. Ричардс – менеджер по развитию стратегии сельскохозяйственных предприятий, American Crystal Sugar Company, (г. Морхед, штат Миннесота, США).*

*Д-р Дженсен – региональный директор IPNI на севере Великих равнин, (г. Саскатун, провинция Саскачеван, Канада); e-mail: tjensen@ipni.net*

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

## Литература

- American Crystal Sugar Company, Moorehead, MN. 2007. Ag Notes – Issue #500, 26-July-2007. <http://www.crystalsugar.com/agronomy/agnotes/files.500.asp>*
- American Crystal Sugar Company, Moorehead, MN. 2008. Ag Notes – Issue #513, 23-July-2008. <http://www.crystalsugar.com/agronomy/agnotes/files.513.asp>*
- American Crystal Sugar Company, Moorehead, MN. 2010. Personal communication 10-May-2010.*
- Bauer, C.S. and C.K. Stevenson. 1972. North Dakota State Univ. Ext. Ser. 2: 49-56.*
- Franzen, D.W., A.J. Landgraff, J.F. Giles, N.R. Cattanach, and L.J. Reitmeier. 1999a. North Dakota State Univ. Extension Ser. 30: 117-126.*
- Franzen, D.W., L. Reitmeier, I.F. Giles, and A.C. Cattanach. 1999b. Aerial photography and satellite imagery to detect deep soil N levels in potato and sugarbeet. p. 281-290. In P.C. Robert et al. (ed.). Precision Agriculture, Proceedings of the 4th International Conference, 19-22 July, 1998, St. Paul, MN.*
- Franzen, D.W. 2004. Journal of Sugar Beet Research 41: 47-60.*
- Moraghan, J.T. and L.J. Smith 1996. Agron. J. 88:521-526.*
- Moraghan, J.T., K. Horsager, L. Smith, A. Sims, and J. Holland. 1997. 1996 Sugarbeet Res. and Ext. Rep., North Dakota State Univ. Ext. Ser. 27:121-133.*
- Sims, A.L., J.T. Moraghan, and L.J. Smith. 2002. Spring Prec. Agric. 3:283-295.*
- Smith, L.J. 1996. North Dakota State Univ. Ext. Ser. 26: 117-119.*
- Smith, L.J. 1997. North Dakota State Univ. Ext. Ser. 27: 88-91.*
- Winner, C. 1993. History of the crop. p. 1-35. In D.A. Cooke and R.K. Scott (ed.), The Sugarbeet Crop-. Chapman & Hall, NY.*