

УДК 631.8:519.86(476)

МЕТОДИКА МОДЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

И. Г. Ананич, А. С. Бруйло

УО «Гродненский государственный аграрный университет»,
г. Гродно, Республика Беларусь

(Поступила в редакцию 19.06.2015 г.)

***Аннотация.** Внесение удобрений является основным фактором формирования высокой урожайности сельскохозяйственных культур и повышения почвенного плодородия. Вместе с тем минеральные удобрения занимают значительный удельный вес в затратах на производство растениеводческой продукции. Поэтому повышение окутаемости использования минеральных удобрений оказывает существенное влияние на снижение производственных затрат. Эффект от использования удобрений может быть увеличен, если при их внесении учитывать качество каждого конкретного участка земли. Дифференцированное внесение минеральных удобрений с учетом обеспеченности почв питательными веществами является одним из элементов точного земледелия. Для оптимизации применения минеральных удобрений и повышения эффективности точного земледелия целесообразно использовать экономико-математическое моделирование.*

***Summary.** Fertilizer is the main factor in the achieving of high crop yields and improve soil fertility. However, fertilizers occupy a significant share of the cost of crop production. Therefore, increasing the return on the use of mineral fertilizers has a significant impact on reducing production costs. The effect of the use of fertilizers can be increased, if such payments are made to take into account the quality of any particular piece of land. Differentiated mineral fertilizers based on soil nutrient availability is one of the elements of precision farming. To optimize the use of mineral fertilizers and improve the effectiveness of precision agriculture is advisable to use economic and mathematical modeling.*

Введение. Почвенные ресурсы являются неоднородными с точки зрения содержания в них различных форм элементов питания, наличия влаги, плотности, аэрации. Почвы очень сильно дифференцированы и по многим другим параметрам. Даже на небольшом участке земли почвенные характеристики существенно различаются.

Из вышеизложенного следует, что при посеве сельскохозяйственных культур, внесении удобрений и средств защиты растений необходимо подходить избирательно, с учетом качественных характеристик конкретного почвенного участка [3].

В настоящее время все более широкое распространение и развитие получает так называемое точное земледелие. В основе научной концепции точного земледелия лежит представление о том, что любой, даже небольшой участок земли, является неоднородным по своим качественным характеристикам. Для оценки всех неоднородностей используются инновационные технологии, а также специальные компьютерные программы. Учет качественной неоднородности почв позволяет использовать материальные ресурсы наиболее рационально, что, в свою очередь, дает возможность повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Чаще всего термин «точное земледелие» применяется в случаях, когда речь идет о минеральном питании растений. И это не случайно, поскольку расходы на минеральные удобрения составляют в среднем 15-20% всех суммарных затрат на производство того или иного вида растениеводческой продукции.

Следует различать различные направления применения точного земледелия.

Агрономическое направление предполагает удовлетворение реальных потребностей сельскохозяйственных культур в питательных элементах.

Экологическое направление нацелено на создание условий, предотвращающих или минимизирующих загрязнение окружающей среды.

Экономическое направление точного земледелия решает проблему оптимизации минерального питания сельскохозяйственных культур в условиях дефицита производственных ресурсов и их высокой стоимости.

Цель работы: показать, что дифференцированное внесение минеральных удобрений с учетом обеспеченности почвы макроэлементами позволяет повысить урожайность сахарной свеклы.

Материал и методика исследований. Для решения проблемы оптимизации минерального питания сахарной свеклы в условиях точного земледелия нами была использована нормативная информация [1]. В качестве примера рассмотрим часть этой информации, которая представлена в таблице 1.

На основании нормативных данных для почв, различных по степени обеспеченности фосфором и калием, нами были рассчитаны производственные функции типа:

$$Y = a + bX,$$

где X – доза минеральных удобрений (NPK), кг д.в./га;

Y – урожайность сахарной свеклы, ц/га [2].

Например, если в 1 кг почвы содержится 151-200 мг фосфора и 141-200 мг калия, то соответствующая производственная функция примет следующий вид:

$$Y = -38,5 + 1,54X.$$

Аналогичные функции были рассчитаны нами и для почв, имеющих иную обеспеченность фосфором и калием. Полученные функциональные зависимости будут использованы при составлении развернутой экономико-математической модели.

Таблица 1 – Дозы удобрений под сахарную свеклу на дерново-подзолистых суглинистых почвах, кг/га д. в.

Урожай- жай- ность, ц/га	Азотные удобре- ния	Фосфорные удобрения		Калийные удобрения	
		содержание P ₂ O ₅ в почве, мг/кг		содержание P ₂ O ₅ в почве, мг/кг	
		151-200	201-300	141-200	201-300
200	60	50	30	50	40
300	90	60	40	70	60
400	110	80	50	90	80
450	120	90	55	100	90
500	130	100	60	120	100
550	140	110	70	140	110

После получения необходимых производственных функций была разработана соответствующая экономико-математическая модель. Структурная форма данной модели приведена ниже.

Индексация:

i – номер питательного элемента;

I – множество питательных элементов;

j – номер участка;

J – множество участков, на которых возделывается культура.

Неизвестные:

X_{ij} – доза внесения i -го питательного элемента на j -м участке;

X_j – доза внесения NPK на j -м участке.

Постоянные:

V_i – точная доза внесения i -го питательного элемента на 1 га посева культуры;

a_j, b_j – соответственно, свободный член и коэффициент регрессии производственной функции, которая показывает влияние дозы NPK на урожайность сельскохозяйственной культуры;

d_j^{\min}, d_j^{\max} – соответственно, минимальная и максимальная доза внесения NPK на j -м участке;

$k_{ij}^{\min}, k_{ij}^{\max}$ – соответственно, минимальное и максимальное отношение дозы i -го питательного элемента к дозе азота

Ограничения:

$$1) \sum_{j \in J} X_{ij} / n \leq V_i, i \in I$$

$$2) \sum_{i \in I} X_{ij} = X_j, j \in J$$

$$3) d_j^{\min} \leq X_j \leq d_j^{\max}, j \in J$$

$$4) k_{ij}^{\min} X_{1j} \leq X_{ij} \leq k_{ij}^{\max}, i = 1, 2; j \in J$$

Целевая функция:

$$F_{\max} = \sum_{j \in J} ((a_j + b_j X_j) / n)$$

Поясним сущность ограничений структурной экономико-математической модели.

Первое ограничение отражает баланс питательных элементов, при котором суммарное внесение азота, фосфора и калия на отдельных участках не может превышать общее внесение удобрений на всю площадь.

Второе ограничение показывает, что на любом почвенном участке должны вноситься все виды питательных элементов.

Третье ограничение структурной модели указывает на то, что доза внесения удобрений (NPK) должна находиться в определенных научно-обоснованных границах.

Последнее ограничение модели позволяет выдержать допустимые соотношения между отдельными питательными элементами.

Целевая функция представляет собой максимальный выход продукции, получаемой со всей площади.

Результаты исследований и их обсуждение. Тестирование экономико-математической модели было выполнено на условных данных. С этой целью 1 гектар земли, на котором возделывается сахарная свекла, был условно разделен на 12 участков одинаковой площади. Содержание фосфора и калия на участках представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание в почве фосфора и калия, мг/кг

Участок 1: P ₂ O ₅ = 125 K ₂ O = 75	Участок 2: P ₂ O ₅ = 137 K ₂ O = 99	Участок 3: P ₂ O ₅ = 112 K ₂ O = 115
Участок 4: P ₂ O ₅ = 155 K ₂ O = 127	Участок 5: P ₂ O ₅ = 152 K ₂ O = 142	Участок 6: P ₂ O ₅ = 205 K ₂ O = 119
Участок 7: P ₂ O ₅ = 157	Участок 8: P ₂ O ₅ = 151	Участок 9: P ₂ O ₅ = 175

K ₂ O = 119	K ₂ O = 145	K ₂ O = 127
Участок 10: P ₂ O ₅ = 155 K ₂ O = 70	Участок 11: P ₂ O ₅ = 144 K ₂ O = 150	Участок 12: P ₂ O ₅ = 210 K ₂ O = 145

Для каждого из этих участков известна функциональная зависимость между дозой внесения минеральных удобрений (NPK) и выходом продукции. Все эти зависимости для каждого участка приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Функциональные зависимости между дозой внесения удобрений (кг д.в.) и урожайностью сахарной свеклы, ц/га

Участок 1: Y = -109,5 + 1,53X	Участок 2: Y = -84,7 + 1,5X	Участок 3: Y = -84,7 + 1,5X
Участок 4: Y = -81,6 + 1,58X	Участок 5: Y = -38,5 + 1,54X	Участок 6: Y = -81,9 + 1,76X
Участок 7: Y = -81,6 + 1,58X	Участок 8: Y = -38,5 + 1,54X	Участок 9: Y = -81,6 + 1,58X
Участок 10: Y = -116,7 + 1,66X	Участок 11: Y = -69,8 + 1,57X	Участок 12: Y = -35,8 + 1,71X

Вышеприведенная информация позволяет определить выход сахарной свеклы с каждого участка и со всей площади, соответственно. Предположим, что внесенные азота, фосфора и калия на 1 га посевной площади сахарной свеклы составляет 110, 80 и 100 кг действующего вещества. Тогда урожайность сахарной свеклы на первом участке (в пересчете на 1 га) составит:

$$Y = -109,5 + 1,53 \cdot (110 + 80 + 100) = 334,2 \text{ ц/га}$$

Учитывая, что площадь первого участка равна 1/12 га, то с этого участка будет получено 27,9 ц сахарной свеклы.

Выход продукции по всем участкам отражен в таблице 4.

Таблица 4 – Выход сахарной свеклы по участкам при условии внесения фиксированной дозы минеральных удобрений, ц

1	2	3
Участок 1: 27,9	Участок 2: 29,2	Участок 3: 29,2
Участок 4: 31,4	Участок 5: 34,0	Участок 6: 35,7

Продолжение таблицы 4

1	2	3
Участок 7: 31,4	Участок 8: 34,0	Участок 9: 31,4
Участок 10: 30,4	Участок 11: 32,1	Участок 12: 38,3

Расчеты показывают, что если удобрения вносятся равномерно, то выход сахарной свеклы со всей площади, т. е. урожайность данной культуры, составит 385 ц/га.

В результате решения экономико-математической модели был получен оптимальный план распределения минеральных удобрений по отдельным участкам, на которых выращивается сахарная свекла.

Таблица 5 – Оптимальные дозы внесения удобрений под сахарную свеклу на различных участках, кг. д. в.

Участок 1: N = 64,3 P ₂ O ₅ = 50,2 K ₂ O = 85,5	Участок 2: N = 70,1 P ₂ O ₅ = 54,7 K ₂ O = 65,2	Участок 3: N = 70,1 P ₂ O ₅ = 54,7 K ₂ O = 65,2
Участок 4: N = 140,2 P ₂ O ₅ = 109,4 K ₂ O = 130,4	Участок 5: N = 71,9 P ₂ O ₅ = 56,1 K ₂ O = 56,0	Участок 6: N = 150,4 P ₂ O ₅ = 75,2 K ₂ O = 114,4
Участок 7: N = 135,5 P ₂ O ₅ = 105,6 K ₂ O = 138,9	Участок 8: N = 62,6 P ₂ O ₅ = 48,8 K ₂ O = 48,8	Участок 9: N = 129,2 P ₂ O ₅ = 100,9 K ₂ O = 149,9
Участок 10: N = 144,5 P ₂ O ₅ = 112,7 K ₂ O = 112,7	Участок 11: N = 144,9 P ₂ O ₅ = 124,9 K ₂ O = 120,2	Участок 12: N = 141,6 P ₂ O ₅ = 70,8 K ₂ O = 117,6

Внесение удобрений под сахарную свеклу с учетом качественных характеристик почвы изменит выход продукции с каждого участка. Например, с седьмого участка будет получено сахарной свеклы:

$$Y = \frac{-81,6 + 1,58 \cdot (135,5 + 105,6 + 138,9)}{12} = 43,2 \text{ ц}$$

В случае оптимального распределения минеральных удобрений по участкам общий выход сахарной свеклы, т. е. урожайность, увеличится до 391 ц/га. При этом доза внесения минеральных удобрений на 1 га не изменится.

Заключение. Результаты проведенных исследований показывают, что дифференцированное внесение удобрений, с учетом почвенных характеристик земельного участка, позволяет заметно повысить урожайность сахарной свеклы.

Если доза удобрений для всех участков постоянна (N=110; P=80; K=100 кг д. вещества/га), то урожайность сахарной свеклы составит 385 ц/га, а если удобрения вносятся с учетом степени обеспеченности почв подвижными формами макроэлементов, то урожайность данной культуры возрастет до 391 ц/га.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: Беларус. наука, 2007. – 390 с.

2. Захарова, В. С. Ананич, И. Г. Эконометрические модели: монография/ В. С. Захарова, И. Г. Ананич. – Lambert Academic Publishing, 2015. – 80 с.
3. Современные технологии производства и использования сахарной свеклы/ Н.А.Красюк – Минск: Амалфея, 2008. – 512 с.