

Научная статья

УДК 004.9+631.5

EDN CMFKFN

<https://doi.org/10.22450/978-5-9642-0600-2-352-359>

Оптимальное программирование производства продукции растениеводства

Людмила Алексеевна Цветкова¹, кандидат экономических наук, доцент
Анастасия Альбертовна Павличенко², кандидат экономических наук, доцент
Лариса Александровна Горюнова³, кандидат экономических наук, доцент

^{1, 2} Дальневосточный государственный аграрный университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

³ Камчатский государственный технический университет

Камчатский край, Петропавловск-Камчатский, Россия

¹ Tsvetkova_la@inbox.ru

Аннотация. Одним из наиболее действенных методов повышения урожайности сельскохозяйственных культур является рациональное использование удобрений. В статье рассмотрена возможность применения экономико-математического моделирования при программировании урожая растениеводческих культур и оптимизации доз внесения удобрений. Приведена числовая конкретизация модели оптимального распределения удобрений.

Ключевые слова: экономико-математическое моделирование, оптимизация, оптимальное распределение удобрений, числовая модель

Для цитирования: Цветкова Л. А., Павличенко А. А., Горюнова Л. А. Оптимальное программирование производства продукции растениеводства // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 16–17 апреля 2025 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2025. С. 352–359.

Original article

Optimal programming of crop production

Lyudmila A. Tsvetkova¹, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Anastasia A. Pavlichenko², Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Larisa A. Goryunova³, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

^{1, 2} Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

³ Kamchatka State Technical University

Kamchatka krai, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

¹ Tsvetkova_la@inbox.ru

Abstract. One of the most effective methods of increasing crop yields is the rational use of fertilizers. The article considers the possibility of using economic and mathematical modeling in programming crop yields and optimizing fertilizer application doses. The numerical specification of the optimal fertilizer distribution model is given.

Keywords: economic and mathematical modeling, optimization, optimal fertilizer distribution, numerical model

For citation: Tsvetkova L. A., Pavlichenko A. A., Goryunova L. A. Optimal programming of crop production. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 352–359), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2025 (in Russ.).

Основным направлением развития сельского хозяйства является рациональное и эффективное земледелие. Однако урожайность культур зависит не только от качества почвы; существенное влияние оказывают на нее и другие факторы. В наших исследованиях к таким факторам отнесены основные условия сельскохозяйственного производства – земля, орудия труда, труд, а также удобрения [1]. Использование удобрений в сельском хозяйстве обеспечивает значительную прибавку урожая. Экономико-математическое моделирование позволяет решать задачи программирования урожая сельскохозяйственных культур и оптимального распределения удобрений.

Первоочередной задачей разработки систем удобрений является максимальная отдача от вкладываемых средств за счет наиболее рационального их распределения с учетом значимости получаемой продукции.

Исходной информацией для составления экономико-математической модели оптимизации использования удобрений является [2]:

- 1) наличие удобрений;
- 2) площади посева различных сельскохозяйственных культур (если одна и та же культура возделывается на различных почвах и по различным предшественникам, то площади рассчитываются с учетом этих особенностей);

3) способы внесения удобрений по каждой культуре с учетом особенностей ее возделывания;

4) нормы и смеси минеральных удобрений на 1 га в зависимости от способа внесения под различные сельскохозяйственные культуры;

5) прибавки урожая в натуральном или денежном выражении по каждой культуре в зависимости от внесенной смеси на 1 га.

Рассмотрим пример составления числовой модели оптимизации использования удобрений в хозяйстве.

Хозяйство выращивает три культуры: ячмень, картофель и кукурузу на силос. Посевные площади данных культур составляют соответственно 130,9 и 80 га. Урожайность культур по плану должна составить: ячменя – 2,5 т/га, картофеля – 12,0 т/га и кукурузы – 20,0 т/га. Потенциальные возможности высеваемых сортов могут обеспечить максимальную урожайность, равную по ячменю – 4,0 т/га, картофелю – 23,0 т/га и кукурузе – 35,0 т/га.

Содержание усвояемых питательных веществ (в килограммах действующего вещества) на гектаре пашни определяется произведением содержания питательных веществ на 100 г почвы, коэффициента усвоения культурой питательных веществ (табл. 1) и константой пересчета в килограммы действующего вещества на гектар (равна 30).

Таблица 1 – Коэффициенты усвоения питательных веществ из почвы культурами

Элементы питания	Ячмень	Картофель	Кукуруза на силос
N	0,19	0,21	0,25
P ₂ O ₅	0,09	0,09	0,10
K ₂ O	0,20	0,33	0,20

Органические удобрения вносятся под картофель и кукурузу в количестве 40 т/га. Под предшественники ячменя вносились органические удобрения в количестве 30 т/га.

Данные таблицы 2 служат основанием для расчета содержания добавочного количества элементов питания на 1 га. Таким образом, на основании данных таблиц 1 и 2 рассчитываем количество NPK, которые могут быть усвоены растениями из почвы и органических удобрений на 1 га (килограмм усвояемого вещества). Определяем урожайность культур, обеспечиваемую данным содержанием. При этом учитывается вынос NPK одной тонной основной и соответствующим количеством побочной продукции (табл. 3).

Таблица 2 – Коэффициенты усвоения питательных веществ из органических удобрений

Элементы питания	Содержание в 1 т органических удобрений, кг д. в.	Ячмень	Картофель	Кукуруза на силос
N	5,0	0,15	0,30	0,30
P ₂ O ₅	2,5	0,20	0,40	0,40
K ₂ O	6,0	0,10	0,60	0,60

Таблица 3 – Вынос NPK культурой в пересчете на 1 т основной продукции
В килограммах действующего вещества

Элементы питания	Ячмень	Картофель	Кукуруза на силос
N	27,0	5,0	2,5
P ₂ O ₅	11,0	2,2	1,0
K ₂ O	16,0	8,0	3,5

При программировании урожайности культур за счет добавок минеральных удобрений, нормы внесения которых определяются в ходе расчетов, следует учитывать коэффициенты усвоения азота, фосфора и калия из минеральных удобрений (табл. 4).

Таблица 4 – Коэффициенты усвоения NPK из минеральных удобрений

Элементы питания	Ячмень	Картофель	Кукуруза на силос
N	0,60	0,70	0,60
P ₂ O ₅	0,25	0,25	0,25
K ₂ O	0,70	0,70	0,70

Фонды минеральных удобрений составляют: по азоту – 8 519 кг д. в., по фосфору – 11 440 кг д. в., по калию – 18 740 кг д. в.

При расчете экономической эффективности программирования урожайности культур следует также учитывать закупочные цены продукции и цены

используемых под программируемый урожай удобрений.

Покажем формирование экономико-математической модели задачи.

Состав переменных задачи. В состав переменных задачи входят три группы переменных:

1) *валовый сбор культур:*

x_1 – ячменя, тонн;

x_2 – картофеля, тонн;

x_3 – кукурузы на силос, тонн.

2) *нормы внесения удобрений на 1 га, кг д. в.:*

x_4 – норма внесения азотных удобрений под ячмень;

x_5 – норма внесения фосфора под ячмень;

...

x_{12} – норма внесения калийных удобрений под кукурузу.

3) *вынос из почвы растениями питательных веществ в килограммах усвояемого вещества:*

x_{13} – вынос ячменем азота из почвы;

...

x_{21} – вынос кукурузой калия из почвы.

Состав ограничений задачи. Состав ограничений задачи представлен пятью группами.

Первая группа ограничений отражает балансы по питательным веществам. Например, ограничение по балансу азота для ячменя запишется следующим образом:

$$a_{11}x_1 \leq a_{14}Kx_4 + x_{13} \quad (1)$$

где в левой части ограничения отражается вынос азота всем валовым сбором ячменя x_1 при a_{11} – выносе азота на 1 т равного 27 кг д. в. (табл. 3);

в правой части: x_{13} – определяет вынос азота со всей площади поля, а выражение $a_{14}Kx_4$ устанавливает необходимое количество минеральных удобрений под всю культуру в действующем веществе; величина a_{14} определена

площадью посева данной культуры; коэффициент K переводит усвояемое вещество в действующее (табл. 4); величина x_4 определит при расчетах норму азота под ячмень.

В числовом виде ограничение запишется следующим образом:

$$27x_1 \leq 130 \cdot 0,6x_4 + x_{13}$$

Окончательная запись в модели примет вид:

$$27x_1 - 78x_4 - x_{13} \leq 0$$

Аналогично формируются все остальные ограничения данной группы.

Вторая и третья группы формируют условия по максимальной и минимальной возможным границам валового сбора культур. Так, ограничение по необходимому объему производства ячменя запишется следующим образом:

$$x_1 \geq 2,5 \cdot 130$$

При этом 2,5 – плановая урожайность, т/га; 130,0 – площадь под соответствующей культурой, га.

Ограничение по максимально возможному сбору ячменя запишется:

$$x_1 \geq 4,0 \cdot 130$$

Четвертая группа ограничений отражает распределение фондов минеральных удобрений по видам. Ограничение по азотным удобрениям будет иметь следующий вид:

$$a_{164}x_4 + a_{167}x_7 + a_{1610}x_{10} \leq b_i \tag{2}$$

где a_{164} , a_{167} , a_{1610} – площади посева культур, га;

x_4 , x_7 , x_{10} – нормы внесения азотных удобрений, кг д. в./га;

b_i – фонд азотных удобрений (равны 8 519 кг д. в.).

В числовом виде ограничение запишется следующим образом:

$$130x_4 + 9x_7 + 80x_{10} \leq 8519$$

Пятая группа ограничений формирует условие по выносу из почвы элементов питания под каждую культуру, исходя из наличия естественного плодородия и количества вносимых органических удобрений.

Таблица 5 – Матрица задачи оптимального программирования производства производства продукции растениеводства

Ограничения	Единицы измерения	Переменные																				Ограничения Лин	Значение правых частей ограничений						
		Валовый сбор		Количество вносимых удобрений на 1 га, кг д. в.												Использование питательных веществ из почвы, кг д. в.													
				ячмень				картофель				кукуруза на силос				ячмень				картофель				кукуруза на силос					
				N x4	P x5	K x6	N x7	P x3	K x9	N x10	P x11	K x12	N x13	P x14	K x15	N x16	P x17	K x18	N x19	P x20	K x21								
I. Базис действующего вещества																													
1. Ячмень	кг д. в.	27																											0
2. Ячмень	кг д. в.	11				32,5																							0
3. Ячмень	кг д. в.	16						-91																					0
4. Картофель	кг д. в.		5						-6,3																				0
5. Картофель	кг д. в.		2,2						2,25																				0
6. Картофель	кг д. в.		8								-6,3																		0
7. Кукуруза на силос	кг д. в.			2,5								48																	0
8. Кукуруза на силос	кг д. в.			1,0									-20																0
9. Кукуруза на силос	кг д. в.			3,5											-56														0
II. Валовой сбор тпс																													
10. Ячмень	тонн	1																											325
11. Картофель	тонн		1																										108
12. Кукуруза на силос	тонн			1																									1 600
III. Валовой сбор тпх																													
13. Ячмень	тонн	1																											520
14. Картофель	тонн		1																										207
15. Кукуруза на силос	тонн			1																									2 800
IV. фонды удобрений																													
16. Азотные	кг д. в.			130						9		80																	8 519
17. Фосфорные	кг д. в.				130						9		80																11 440
18. Калийные	кг д. в.					130								80															18 740
V. Запасы в почве																													
19. Ячмень	кг д. в.															1													7 074
20. Ячмень	кг д. в.																1												4 161
21. Ячмень	кг д. в.																	1											5 694
22. Картофель	кг д. в.																		1										772
23. Картофель	кг д. в.																			1									469
24. Картофель	кг д. в.																				1								1 598
25. Кукуруза на силос	кг д. в.																												6 540
26. Кукуруза на силос	кг д. в.																												3 992
27. Кукуруза на силос	кг д. в.																												1 776

Ограничение по азоту, выносимому ячменем, будет иметь вид, в котором правая часть рассчитывается, исходя из запасов азота в почве и площади посева:

$$x_{13} \leq 7074$$

Коэффициенты целевой функции определяются стоимостью тонны продукции и стоимостью килограммов действующего вещества удобрений, что позволяет определить максимальный доход без стоимости удобрений.

Числовая конкретизация ограничений приведена в таблице 5.

Данные расчеты могут быть использованы сельскохозяйственными предприятиями при планировании производства продукции растениеводства и распределении удобрений.

Список источников

1. Цветкова Л. А., Павличенко А. А. Использование производственных функций в программировании и прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур // Научный и экономический потенциал развития общества: теория и практика : материалы всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2023. С. 252–259.
2. Качанова Л. С. Модель планирования дополнительного дохода от применения удобрений // Аграрная наука. 2016. № 6. С. 8–11.

References

1. Tsvetkova L. A., Pavlichenko A. A. The use of production functions in programming and forecasting crop yields. Proceedings from Scientific and economic potential of society's development: theory and practice: *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 252–259), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2023 (in Russ.).
2. Kachanova L. S. A model for planning additional income from the use of fertilizers. *Agrarnaya nauka*, 2016;6:8–11 (in Russ.).

© Цветкова Л. А., Павличенко А. А., Горюнова Л. А., 2025

Статья поступила в редакцию 03.04.2025; одобрена после рецензирования 17.04.2025; принята к публикации 20.06.2025.

The article was submitted 03.04.2025; approved after reviewing 17.04.2025; accepted for publication 20.06.2025.