

УДК 519.83

Е.В. Понькина, В.П. Козликина

Модель оптимизации объемов вносимых удобрений в процессе возделывания зерновых культур

В условиях рыночной экономики возросла потребность в оперативном принятии решений по управлению сельскохозяйственным производством. Актуальными в сфере производства продукции растениеводства являются задачи оценки необходимого объема внесения органических и минеральных удобрений, планирования структуры посевных площадей в соответствии с текущей и будущей ситуацией на рынке зерна, планирование и оценка затрат на приобретение удобрений и средств защиты растений, оценки валовых сборов товарной продукции и пр. Решение указанных задач достигается использованием методов экономико-математического моделирования и современных информационных технологий.

Вопросам разработки математических моделей в сфере производства продукции растениеводства и идентификации их параметров посвящены многочисленные работы российских ученых (В.А. Кундиус [1], С.М. Лавлинский, В.Л. Макаров, А.И. Певницкий, С.Б. Перминов [2], М.К. Каюмов [3-4], А.Н. Каштанов [5], В.А. Житков, А.В. Морозов, Л.В. Царфин [6], Л.А. Хворова [7], Ю.Б. Иост, Л.М. Бурлакова [8], М.А. Суманосова [9] и др.).

В статье предлагается оптимизационная модель, позволяющая для запланированной урожайности сельскохозяйственных культур определить дозы внесения и потребность в органических и минеральных удобрениях по полям хозяйства исходя из их агрохимических характеристик, затраты на внесение удобрений.

Период планирования составляет 1 год.

Обозначим через i – индекс культуры, возделываемой в исследуемом предприятии ($i=1, \dots, I$), а через j – номер поля ($j=1, \dots, J$).

В качестве переменных в модели рассматриваются величины планируемой урожайности культуры i на поле j (y_{ij}) и дозы внесения органических удобрений на поле j под культуру i (\tilde{D}_{ij}), кг д.в./га.

Целью функционирования предприятия в условиях рынка является максимизация прибыли при обеспечении воспроизводства основных средств и почвенного плодородия. В связи с этим в качестве критерия оптимальности

рассматривается максимум валового дохода, полученного сельскохозяйственным предприятием от реализации товарной продукции:

$$F(y_{ij}, \tilde{D}_{ij}) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left(\frac{c_i k_i y_{ij} S_j}{10} - z_{ij}(y_{ij}, \tilde{D}_{ij}) \right) \rightarrow \max_{y_{ij}, \tilde{D}_{ij}}, \quad (1)$$

где $F(y_{ij}, \tilde{D}_{ij})$ – валовой доход от реализации товарной продукции, тыс. руб.; c_i – средняя цена реализации товарной продукции вида i , тыс. руб./т; k_i – коэффициент выхода товарной продукции культуры i ($k_i \leq 1$); y_{ij} – планируемый уровень урожайности культуры i на поле j , ц/га; S_j – площадь поля j , га; $z_{ij}(y_{ij}, \tilde{D}_{ij})$ – затраты на производство культуры i на поле j , тыс. руб.

Исходя из того, что оптимизацию планируемой урожайности целесообразно проводить по культурам, разбиваем исходную задачу на I подзадач меньшей размерности. Таким образом, выражение (1) примет вид

$$F_i(y_{ij}, \tilde{D}_{ij}) = c_i k_i \sum_{j=1}^J (y_{ij} S_j - z_{ij}(y_{ij}, \tilde{D}_{ij})) \rightarrow \max_{y_{ij}, \tilde{D}_{ij}}, \quad (1')$$

$i=1, \dots, I$,

где $F_i(y_{ij}, \tilde{D}_{ij})$ – валовой доход от реализации товарной продукции вида i , тыс. руб.

Ограничениями в задаче являются:

1. $y_{ij} \geq 0, \tilde{D}_{ij} \geq 0, j=1, \dots, J;$ (2)
2. $\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J z_{ij}(y_{ij}, \tilde{D}_{ij}) \leq z_{\max},$

где z_{\max} – объем финансовых средств, выделяемый предприятием на производство продукции, тыс. руб.;

3. $\Delta N_j = \tilde{D}_{Nij} + D_{Nij} + N_{\delta j} + N_{ocj} - B_{Nij} \geq 0,$ (3)

где ΔN_j – баланс по азоту на поле j ; \tilde{D}_{Nij} – внесение азота с органическими удобрениями, кг д.в./га; $D_{Nij} = f(y_{ij}, \tilde{D}_{Nij})$ – внесение азота с минеральными удобрениями, кг д.в./га; N_{ocj} – поступление азота в результате азотфиксирующей деятельности клубеньковых бактерий с корневыми и пожнивными остатками бобовых культур, кг д.в./га; $N_{\delta j}$ – поступление азота с осадками, кг/га; B_{Nij} – вынос азота с урожаем культуры i на поле j , кг д.в./га;

$$4. \Delta P_j = \tilde{D}_{Pij} + D_{Pij} - B_{Pij}, \quad (4)$$

где ΔP_j – баланс по фосфору на поле j ; \tilde{D}_{Pij} – внесение фосфора с органическими удобрениями, кг д.в./га; $D_{Pij} = f(y_{ij}, \tilde{D}_{Pij})$ – внесение фосфора с минеральными удобрениями, кг д.в./га; B_{Pij} – вынос фосфора из почвы с урожаем культуры i на поле j , кг д.в./га;

$$5. \Delta K_j = \tilde{D}_{Kij} + D_{Kij} - B_{Kij} \geq 0, \quad (5)$$

где ΔK_j – баланс по калию на поле j ; \tilde{D}_{Kij} – внесение калия с органическими удобрениями, кг д.в./га; $D_{Kij} = f(y_{ij}, \tilde{D}_{Kij})$ – внесение калия с минеральными удобрениями, кг д.в./га; B_{Kij} – вынос калия из почвы с урожаем культуры i на поле j , кг д.в./га;

$$6. y_{\min}^{ij} \leq y_{ij} \leq y_{\max}^{ij}, \quad (6)$$

где y_{\max}^{ij} – максимально возможная урожайность культуры i на поле j ; y_{\min}^{ij} – урожайность культуры i на поле j без внесения органических и минеральных удобрений.

По формулам (3)–(5) определяется баланс питательных веществ в почве, который имеет важное значение при анализе уровня воспроизводства почвенного плодородия.

Расчет затрат на производство продукции растениеводства будем выполнять по калькуляционным статьям затрат:

- 1) заработная плата с отчислениями на социальные нужды;
- 2) приобретение семян;
- 3) приобретение удобрений;
- 4) амортизация основных средств;
- 5) текущий ремонт;
- 6) приобретение ГСМ;
- 7) общехозяйственные и общепроизводственные расходы;
- 8) прочие расходы.

Рассмотрим расчетные зависимости, описывающие величину затрат на производство культуры i на поле j :

$$z_{ij}(y_{ij}, \tilde{D}_{ij}) = \sum_{l=1}^L z_{ij}^l = \sum_{l=1}^L z_i^l S_j, \quad (7)$$

где z_i^l – затраты на производство культуры i по статье l , тыс. руб./га.

Расчет затрат по статье «Приобретение удобрений» ($l = 3$) проводится по формуле:

$$z_{ij}^3 = (C_{Nh} D_{Nij} K_{Nh} + C_{Ks} D_{Kij} K_{Ks} + C_{Pg} D_{Pij} K_{Pg} + C_{Oq} \tilde{D}_{ij} K_{Oq}) S_j, \quad j=1, \dots, J, \quad (8)$$

где C_{Nh}, C_{Ks}, C_{Pg} – цена приобретения азотных (вида $h, h=1, \dots, H$), калийных (вида $s, s=1, \dots, S$),

фосфорных (вида $g, g=1, \dots, G$) минеральных удобрений соответственно, тыс. руб./кг ф.в.; C_{Oq} – цена приобретения органических удобрений вида $q (q=1, \dots, Q)$, тыс. руб./кг ф.в.;

$D_{Nij}, D_{Kij}, D_{Pij}, \tilde{D}_{ij}$ – дозы внесения минеральных и органических удобрений под культуру i на поле j , кг д.в./га; $K_{Nh}, K_{Ks}, K_{Pg}, K_{Oq}$ – коэффициенты перевода из кг действующего вещества в кг физического веса по видам удобрений; площадь поля j , га.

Исходя из планируемой урожайности (y_{ij}) и объемов внесения питательных веществ с органическими удобрениями (\tilde{D}_{ij}) по полям определяются дозы внесения минеральных удобрений. Для определения доз внесения минеральных удобрений используется зависимость, предложенная М.К. Каюмовым в работе [3, с. 57]. В наших обозначениях получаем

$$\begin{aligned} D_{Nij} &= \frac{y_{ij} B_N^i - \overline{N_{nj}} K_{nN}^i - \tilde{D}_{Nij} K_{oN}^i}{K_{yN}^i}, \\ D_{Kij} &= \frac{y_{ij} B_K^i - \overline{K_{nj}} K_{nK}^i - \tilde{D}_{Kij} K_{oK}^i}{K_{yK}^i}, \\ D_{Pij} &= \frac{y_{ij} B_P^i - \overline{P_{nj}} K_{nP}^i - \tilde{D}_{Pij} K_{oP}^i}{K_{yP}^i}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $\tilde{D}_{Nij}, \tilde{D}_{Kij}, \tilde{D}_{Pij}$ – внесение питательных веществ (N, P, K) с органическими удобрениями на поле j под культуру i , кг д.в./га; $\overline{N_{nj}}, \overline{K_{nj}}, \overline{P_{nj}}$ – содержание в почве питательных веществ (N, P, K) на поле j , кг д.в./га; B_N^i, B_P^i, B_K^i – вынос питательных веществ (N, P, K) из почвы с урожаем, кг/ц; $K_{yN}^i, K_{yP}^i, K_{yK}^i, K_{nN}^i, K_{nP}^i, K_{nK}^i, K_{oN}^i, K_{oP}^i, K_{oK}^i$ – коэффициенты усвоения питательных веществ (N, P, K) из почвы, органических и минеральных удобрений.

Предложенная задача оптимизации (1)–(9) является задачей большой размерности со сложной структурой матрицы условий. Общее количество переменных составляет $2J$, общее количество ограничений – $5J + 1$.

Рассмотренная модель положена в основу математического обеспечения прикладной ГИС одного из хозяйств Кулундинского района. Для этого хозяйства разработана цифровая векторная карта, содержащая слои: дороги, объекты гидрографии, населенные пункты, земельные участки и лесополосы.

- Структура ГИС включает подсистемы:
- пространственного анализа;
 - оптимизации объемов вносимых удобрений в почву на запланированный урожай.

Реализация системы проводится в средах *MS Excel* и *ArcView GIS*.

Практическое использование геоинформационных технологий для поддержки принятия решений по управлению производством продук-

ции растениеводства позволяет проводить анализ вариантов развития производства, обоснование объемов приобретения удобрений, анализ экономической эффективности производства товарной продукции по полям хозяйства.

Литература

1. Математические методы и моделирование социально-экономических процессов в АПК: Учеб. пособие / Под ред. В.А. Кундиус. Барнаул, 1998.
2. Имитационный анализ регионального воспроизводственного процесса / С.М. Лавлинский, В.Л. Макаров, А.И. Певницкий, С.Б. Перминов. Новосибирск, 1987.
3. Каюмов М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. М., 1989.
4. Каюмов М.К. Справочник по программированию урожаев. М., 1977.
5. Основы экономики и организации земледелия / Под ред. А.Н. Каштанова. М., 1988.
6. Житков В.А., Морозов А.В., Царфин Л.В. Модельный инструментарий для прогноза фермерского производства // Экономика и математические методы. 1995. Т. 31. № 4.
7. Хворова Л.А. Брыксин В.М. Методы и технологии прогнозирования погодных факторов // Известия АГУ. 2002. Спец. вып.
8. Бурлакова Л.М. Плодородие алтайских черноземов. Барнаул, 1990.
9. Суманосова М.А. Теоретико-игровая системная модель регионального землепользования // Известия АГУ. 2002. Спец. вып.