

УДК 631.81:681.06

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ И ГОДОВЫХ ПЛАНОВ
ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОЛУЧЕНИЕ
ПЛАНИРУЕМЫХ УРОЖАЕВ КУЛЬТУР В СЕВООБОРОТЕ
(АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НА ЭВМ)**

Ю. П. ЖУКОВ, А. Р. КРАВЧЕНКО
(Кафедра агрономической и биологической химии)

При планировании урожаев сельскохозяйственных культур, лимитируемых недостатком основных питательных элементов в почвах Нечерноземья, учитывается фактическое плодородие полей (участков) севооборота (хозяйства), возможное накопление органических удобрений в хозяйстве и принятое, отвечающее структуре посевных площадей, чередование культур в каждом севооборотном участке.

Рациональное применение удобрений должно основываться на правильном решении ряда задач. Прежде всего разрабатывается научно обоснованная система удобрения, позволяющая получать планируемые урожаи культур и систематически улучшать плодородие почв каждого севооборотного участка и, следовательно, хозяйства в целом. Затем она конкретизируется для условий данного года путем составления универсального годового плана.

При разработке системы применения удобрений по каждому севооборотному участку принимались во внимание следующие условия: 1) обеспеченность минеральными удобрениями не ограничивается; 2) общее количество органических удобрений не превышает фактического среднего за ряд предыдущих лет; 3) все поля каждого севооборота равновелики; 4) на любом поле каждого севооборота выделяется несколько участков, различающихся по плодородию или по виду выращиваемых культур.

При конкретизации разработанной системы в универсальных годовых планах учитываются дополнительные факторы: а) общее количество органических и минеральных удобрений, выделяемых на каждый севооборот в данном году; б) результаты организационно-хозяйственной деятельности по возделыванию культур в прошлом году (фактическая урожайность); в) изменения в эффективном плодородии отдельных полей при конкретном размещении культур в данном году.

Для проведения расчетов требуются следующие исходные данные по каждому севооборотному участку: число полей севооборота; общая его площадь; среднее ежегодное планируемое количество органических удобрений; фактически выделяемое в данном году количество органических и минеральных удобрений. Кроме того, по каждому участку, входящему в состав полей севооборота, необходимо знать номер поля, к которому он относится; обеспеченность подвижными формами фосфора и калия (класс или группа); размер отличающегося по плодородию участка (в долях содержащего его поля); наименование культур в каждом поле, а в сборном поле — и в участке поля; плановую и фактическую прошлогоднюю урожайность каждой культуры; балл приоритета по от-

звучивости отдельных культур на органические удобрения, определяющий важность их внесения под ту или иную культуру в пределах каждого севооборота.

Заданными считаются условно-постоянные данные библиотеки ЭВМ, нормативные для конкретных природно-экономических условий: 1) затраты питательных элементов на создание единицы товарной продукции каждой культуры (еще лучше сорта) при планируемых величине, структуре и качестве урожая; более подробно об этом сообщалось ранее [1, 2]; 2) дифференцированные в зависимости от уровней планируемых урожаев дозы органических удобрений под наиболее отзывчивые культуры любого севооборота; такие данные уже опубликованы, например, для центральных [6] и северо-западных [7] районов Нечерноземной зоны РСФСР, аналогичные данные имеются и для других районов; 3) балансовые коэффициенты использования органических и минеральных удобрений, дифференцированные в зависимости от эффективного плодородия почвы [3—5].

Для разработки системы требуется определить общие нормы и соотношения минеральных и органических удобрений под каждую культуру по каждому полю и участку. Кроме того, для обоснования разработанной системы применения удобрений необходимо рассчитать баланс питательных веществ в севообороте.

Универсальный годовой план должен содержать нормы органических удобрений и общие нормы минеральных удобрений с указанием их распределения в условиях данного года на дозы основного, припосевного и послепосевного внесения.

При решении задач состав и порядок чередования культур в севообороте полагаются неизменными.

Принятое фактическое чередование культур в каждом севооборотном участке хозяйства должно отражать структуру посевной площади, оно учитывается при расчете последовательности органических удобрений на 2—3 года. Если в конкретном севообороте органические удобрения не применяются, то чередование культур не имеет существенного значения для общей схемы системы удобрения.

Порядок чередования культур в севооборотном участке обозначается через номер поля. Для поля с номером n ($n = \overline{2, N}$, здесь N — число полей) предшествующим считается поле с номером $n = 1$, а для поля с $n = 1$ — поле с номером N .

При описании алгоритмов расчета будем пользоваться следующими обозначениями: J — множество участков севооборота; j — номер участка, $j \in J$; N — число полей в севообороте; n — номер поля, $n = \overline{1, N}$; J_n — множество номеров участков, входящих в n -е поле, $\bigcup_{n=1}^N J_n = J$; i_j — шифр культуры, возделываемой в j -м участке; x — вид питательного элемента, $x = N, P, K$; W — выделяемое в среднем на севооборот общее (планируемое) количество органических удобрений; \overline{W} — выделяемое фактически общее количество органических удобрений в данном году; S — площадь севооборота; U_x — выделяемое в данном году фактическое количество минеральных удобрений x -го вида; n_j — номер поля, к которому относится j -й участок; c_j^x — плодородие (класс) j -го участка по содержанию подвижной формы x -го питательного элемента; β_j — размер участка в долях от размера поля, в которое он входит, $\sum_{j \in J_n} \beta_j = 1$, $\sum_{j \in J_n} \beta_j = N$; Y_j^{na} — плановая урожайность культуры, возделываемой в j -м участке; Y_j^{ϕ} — фактическая урожайность культуры в прошлом году, возделываемой в j -м участке; b_j — балл приоритета культуры в отношении органических удобрений для j -го участка; α_i^x — затраты на единицу

товарной продукции x -го питательного элемента i -й культуры; γ^x — фактическое среднее содержание x -го питательного элемента в органических удобрениях; $\theta_{x,1}^1, \theta_{x,2}^2, \theta_{x,3}^3$ — балансовые коэффициенты использования x -го питательного элемента из органических удобрений в 1, 2 и 3-й годы после внесения; $Z_i^{min}(Y), Z_i^{med}(Y), Z_i^{max}(Y)$ — соответственно минимальная, средняя и максимальная дозы органического удобрения под i -ю культуру при урожайности Y ; V_c^x — балансовый коэффициент возможного использования питательного элемента x из минеральных удобрений (в среднем за ротацию) при соответствующем классе плодородия почвы; d_j — доза органического удобрения, вносимая в j -й участок; m_j^x — доза минерального удобрения x -го вида в j -й участок; A_x — вынос с плановыми урожаями x -го питательного элемента культурами севооборота; M_x и D_x — внесение x -го питательного элемента в севообороте соответственно с минеральными и органическими удобрениями; W_x — общее внесение x -го питательного элемента с органическими и минеральными удобрениями; m_x — доза x -го питательного элемента с минеральными удобрениями на 1 га севооборота; D — общая потребность в органических удобрениях на весь севооборот; \bar{M}_x — общая потребность в минеральных удобрениях x -го вида; D и d — дозы органических удобрений соответственно на среднее поле и на 1 га севооборота; B_x — общий баланс по x -му питательному элементу; B'_x и B''_x — баланс по x -му питательному элементу соответственно на 1 га севооборота и в процентах к выносу этого элемента с урожаями культур; σ_j и ω_j^x — соответственно доза основного и припосевого внесения минеральных удобрений вида x на j -м участке; v_j^x — доза подкормки минеральными удобрениями вида x на j -м участке; a_j^x — вынос питательного элемента x на j -м участке.

При разработке системы применения удобрений применяются следующие расчеты:

1. Расчет выноса питательных элементов культурами по участкам (полям) севооборота

$$a_j^x = \alpha_{ij}^x Y_j^{n,j}, \quad j \in J, \quad x = N, P, K.$$

2. Распределение органических удобрений по культурам и расчет внесения с ними питательных элементов производится по полям (участкам) севооборота с помощью итерации, так как чередование культур выражается через номера полей.

Пусть n' — номер поля севооборота, предшествующего полю с номером n ; причем $n' = n - 1$, если $n = 2, \bar{N}$; $n' = N$, если $n = 1$; n'' — номер поля, предшествующего полю n' , которое, в свою очередь, предшествует полю n , тогда $n'' = n - 2$, если $n = 3, \bar{N}$, и $n'' = N + n - 2$, если $n = 1, 2$; T, T' и T'' — множество номеров j , для которых соответственно $b_j \neq 0$;

$$b_j = \min_{j \in T} \{b_j\} \text{ и } b_j = \max_{j \in T} \{b_j\}; \quad B — \text{множество баллов по севообороту.}$$

Тогда:

$$1^\circ T = \{j | b_j \in B \text{ и } b_j \neq 0\};$$

$$2^\circ T' = \{j | b_j = \min_{j \in T} \{b_j\}\}, \quad T'' = \{j | b_j = \max_{j \in T} \{b_j\}\};$$

$$3^\circ d_j = Z_{ij}^{med}(Y_j^{n,j}), \quad j \in T;$$

$$4^\circ V = \frac{Wn}{S} - \sum_{j \in J} d_j \beta_j. \quad \text{Если } V = 0, \text{ то нужно идти к } 13^\circ, \text{ если } V > 0, \text{ то к } 5^\circ, \text{ если } V < 0, \text{ то к } 8;$$

5° $f' = \sum_{j \in T} [Z_{ij}^{\max}(Y_j^{nA}) - Z_{ij}^{\text{med}}(Y_j^{nA})] \beta_j$. Если $V \geq f'$, то следует идти к 6°, если $V < f'$, то к 7°;

6° $d_j = Z_{ij}^{\max}(Y_j^{nA})$, $j \in T'$. $T = T \setminus T'$. Если $T = \emptyset$, то нужно идти к 13°, если $T \neq \emptyset$, то к 2°;

7° $d_j = Z_{ij}^{\text{med}}(Y_j^{nA}) + [Z_{ij}^{\max}(Y_j^{nA}) - Z_{ij}^{\text{med}}(Y_j^{nA})] \frac{V}{f'}$; $j \in T'$. Идти к 13°;

8° $f'' = \sum_{j \in T''} [Z_{ij}^{\text{med}}(Y_j^{nA}) - Z_{ij}^{\min}(Y_j^{nA})] \beta_j$. Если $|V| \geq f''$, то к 9°;

если $|V| \geq f''$, то к 12°;

9° $d_j = Z_{ij}^{\min}(Y_j^{nA})$, $j \in T''$. $T = T \setminus T''$. Если $T \neq \emptyset$, то следует идти к 2°, если $T = \emptyset$, то к 10°;

10° Если $|V| = f''$, то нужно идти к 13°, если $|V| \neq f''$, то к 11°.

11° $b_j = 0$, $j \in T''$. Идти к 1°.

12° $d_j = Z_{ij}^{\text{med}}(Y_j^{nA}) - [Z_{ij}^{\text{med}}(Y_j^{nA}) - Z_{ij}^{\min}(Y_j^{nA})] \frac{|V|}{f''}$, $j \in T''$. Идти к 13°.

13° Конец.

Пусть d_j^x — действие и последствие органического удобрения в j -м участке по x -му питательному элементу.

$$d_j^x = (\theta_1^x d_j + \theta_2^x \sum_{j \in J_{n'}} d_j \beta_j + \theta_3^x \sum_{j \in J_{n''}} d_j \beta_j) \gamma^x, \quad j \in J, \quad x = N, P, K.$$

3. Расчет среднего плодородия (класса) севооборотного участка и выбор соответствующих балансовых коэффициентов использования минеральных удобрений.

Пусть c_x — средний класс севооборота по x -му питательному веществу; V_x — средний балансовый коэффициент использования x -го питательного элемента в севообороте.

$$c_x = \frac{1}{N} \sum_{j \in J} c_j^x \beta_j, \quad x = N, P, K.$$

$$V_x = (V_{[c_x]+1}^x - V_{[c_x]}^x) \cdot (c_x - [c_x]) + V_{[c_x]}^x, \quad x = N, P, K.$$

4. Расчет доз минеральных удобрений.

$$m_j^x = \frac{1}{V_x} (a_j^x - d_j^x), \quad j \in J, \quad x = N, P, K.$$

Если $m_j^x < 0$, то $m_j^x = 0$.

Поскольку при основном внесении нецелесообразно давать дозы минеральных удобрений меньше определенной величины E_x (принимается $E_N = E_P = E_K = 20$ кг д.в. на 1 га), вводится следующая корректировка рассчитанных доз:

1° $j = 1$.

2° Если $m_j^x < E_x$, то следует идти к 3°, если $m_j^x \geq E_x$, то к 4° ($x = N, P, K$).

$$3^\circ m_t^x = m_t^x + m_j^x \beta_j, \quad t \in J_{n'}, \quad m_j^x = 0,$$

4° $j = j + 1$. Если $j \leq N$, то идти к 2°, если $j > N$, то к 5°

5. Составление итогов и балансов.

5° Конец.

$$A_x = \sum_{j \in J} a_j^x \beta_j, \quad M_x = \sum_{j \in J} m_j^x \beta_j, \quad D = \sum_{j \in J} d_j \beta_j, \quad D_x = (\theta_1^x + \theta_2^x + \theta_3^x) \gamma D,$$

$$W_x = M_x + D_x, m_x = M_x/N, d = D/N, \bar{D} = Sd, \bar{M}_x = Sm_x/100,$$

$$B_x = W_x - A_x, B'_x = B_x/N, B''_x = \frac{B_x}{A_x} 100\%.$$

Результатом решения первой задачи считаются рассчитанные по каждому участку величины d_j, m_j^x, a_j^x , а также итоги и балансы, перечисленные в 5-м пункте, т. е. общая схема системы удобрения и балансовая таблица каждого севооборота.

Составление универсального годового плана по каждому севообороту начинается с расчета величины условного выноса (δ_j^x) питательных элементов культурами севооборота, определяемого по результатам решения предыдущей задачи:

а) определение условного выноса:

$$\delta_j^x = V_x m_j^x + d_j^x, x = N, P, K$$

б) корректировка внесения органических удобрений.

Корректировка органических удобрений состоит в распределении выделяемого в данном году их количества по участкам и расчете внесения питательных элементов с ними. Алгоритм такой же, как во 2-м пункте, только в качестве исходной величины вместо W берется \bar{W} , а получают в результате величины \bar{d}_j и \bar{d}_j^x (аналогичные соответственно d_j и d_j^x). Тогда условный вынос корректируется следующим образом:

$$\delta_j^x = \delta_j^x - \bar{d}_j^x,$$

в) корректировка на фактическую урожайность предшественника:

$$\Delta \Pi_n^x = \sum_{i \in J_n} (Y_i^{nA} - Y_i^{\phi}) \alpha_{ij}^x \beta_j; \Pi_n^x = \sum_{i \in J_n} \delta_i^x \beta_j, n = \overline{1, N}, x = N, P, K.$$

$$\lambda_n^x = \Delta \Pi_n^x / \Pi_n^x, n = \overline{1, N}, x = N, P, K.$$

$$\delta_j^x = \delta_j^x (1 - \beta_j \lambda_n^x), j \in J, x = N, P, K.$$

Если $\delta_j^x < 0$, то $\delta_j^x = 0$.

г) корректировка минеральных удобрений

$$L_x = \left(\sum_{j \in J} \frac{\delta_j^x \beta_j}{V_x} \right) / 100, x = N, P, K.$$

$$\mu^x = (nU_x) / (SL_x), x = N, P, K.$$

$$\delta_j^x = \delta_j^x \cdot \mu^x, x = N, P, K, j \in J.$$

д) уточнение доз минеральных удобрений.

Сначала определяется наименьший из встречающихся в пределах севооборотного участка класс по плодородию почвы для каждого питательного элемента $C = \min_{jix} \{C_j^x\}$. Наибольший класс C' обычно при-

нимается равным шести. Далее для каждого класса $c (c = \overline{C, C'})$ из таблицы нормативов V_c^x определяются подлежащее распределению имеющееся количество минеральных удобрений $l_j^x = \delta_j^x / V_c^x$ и искомые дозы по способам внесения $\omega_j^x, v_j^x, \tau_j^x$.

Распределение производится по следующему алгоритму:

0° $j = 1$.

1° Если l_j -я культура — озимые зерновые, то нужно идти к 2°, если нет, то к 4°.

2° Если $l_j^N \cdot 0,7 < 20$, то $v_j^N = 0$; если $l_j^N \cdot 0,7 \geq 20$, то $v_j^N = 10$.

3° Если $l_j^P < 20$, то $\omega_j^P = l_j^P$; если $l_j^P \geq 20$, то $\omega_j^P = 10$;
 $\sigma_j^P = l_j^P - \omega_j^P$; $\sigma_j^K = l_j^K$. Идти к 14°.

4° Если i_j -я культура — травы, то нужно идти к 5°, если нет, то к 8°.

5° Если $l_j^N < 20$, то $v_j^N = 0$, если $l_j^N \geq 20$, то $v_j^N = l_j^N$,
 $\sigma_j^N = l_j^N - v_j^N$.

6° Если $l_j^P < 20$, то $\omega_j^P = l_j^P$, если $l_j^P \geq 20$, то $\omega_j^P = 10$.
 $\sigma_j^P = l_j^P - \omega_j^P$.

7° Поиск предшественника, не являющегося травами (t),

$l_i^x = l_i^x + l_i^x$, $\sigma_j^x = 0$, $x = N, P, K$. Идти к 15°.

8° Если i_j относится к группе зерновых, то $z_N = 0$, $z_P = 10$, $z_K = 0$. Идти к 12°.

9° Если i_j относится к группе картофеля, то $z_N = 15$, $z_P = 20$, $z_K = 0$. Идти к 12°.

10° Если i_j относится к группе свеклы, то $z_N = 10$, $z_P = 10$, $z_K = 10$. Идти к 12°.

11° Если i_j относится к группе овощей, то $z_N = 15$, $z_P = 15$, $z_K = 0$. Идти к 12°.

12° Если $l_j^x < Z_x$, то $\omega_j^x = l_j^x$; если $l_j^x \geq Z_x$, то $\omega_j^x = Z_x$.
 $\sigma_j^x = l_j^x - \omega_j^x$, $x = N, P, K$.

13° Поиск предшественника (t). Если i_t относится к травам, то идти к 15°, если нет, то к 14°.

14° Если $\sigma_j^x < 20$, то $l_i^x = l_i^x + \sigma_j^x$ и $\sigma_i^x = 0$.

Если $\sigma_j^x \geq 20$, то идти к 15° ($x = N, P, K$).

15° $j = j + 1$. Если $j \leq N$, то идти к 1°. Если $j > N$, то к 16°.

16° Конец распределения.

Результатом решения являются искомые дозы основного, припосевного и послепосевного внесения минеральных удобрений ω_j^x , v_j^x , σ_j^x ($j \in I$, $x = N, P, K$) для всех встречающихся в пределах севооборота полей и участков c ($c = \overline{C, C'}$), различающихся по плодородию почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков Ю. П. Определение доз и разработка системы удобрения в севооборотах. М., ТСХА, 1974. — 2. Жуков Ю. П. Программирование урожая и применение удобрений. В кн.: Совершенствование преподавания агрохимии в с.-х. вузах СССР и связь ее с производством. Киев, 1976, с. 33—36. — 3. Жуков Ю. П. Эффективность балансовых систем удобрения в полевом севообороте. Тез. докл. регион. совещания «Итоги работы геосети опытов с удобрениями и пути повышения эффективности применения удобрений в Нечерноземной зоне». Горький, 19—21 июля 1977 г., с. 23—24. — 4. Жуков Ю. П., Глухов Н. И. Определение оптимальных доз и соотношений удоб-

рений с учетом использования питательных элементов из удобрений и почвы, «Изв. ТСХА», 1977, вып. 4, с. 68—76. — 5. Лигум С. Т. Балансовый коэффициент использования растениями питательных веществ из удобрений и почвы и его применение. «Агрохимия», 1977, № 5, с. 128—133. — 6. Смирнов П. М., Жуков Ю. П., Кравченко А. Р. Методика разработки системы удобрения в севообороте хозяйств Нечерноземной зоны РСФСР с применением ЭВМ. «Изв. ТСХА», 1976, вып. 2, с. 59—67. — 7. Сапожников И. А., Корнилов М. Ф. Научные основы системы удобрения в нечерноземной полосе, 2-е изд. перераб. и дополн. Л., «Колос», 1977.

Статья поступила 14 марта 1978 г.