

УДК 631.559:551.5

Ю.Б. Лямкина, Л.А. Хворова

**Математическая модель прогноза урожайности**

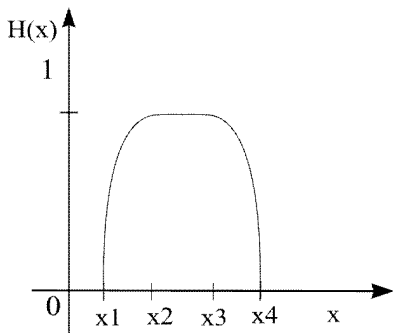
Описывается математическая модель прогноза урожайности сельскохозяйственных культур, связывающая урожайность, осадки и температуру воздуха. Приведенные результаты численных расчетов демонстрируют хорошую согласованность с экспериментальными данными.

Целью данной работы является построение прикладной малопараметрической модели прогноза урожайности зерновых культур, учитывающей наиболее существенные факторы внешней среды.

Анализ почвенно-климатических данных, предоставленных Алтайским центром по гидрометеорологии, показал, что для Алтайского края основным фактором, лимитирующим урожайность, является влагообеспеченность. Поэтому модель прогноза строилась с учетом зависимости урожайности от суммы осадков и суммы эффективных температур за вегетационный период.

Компьютерные эксперименты с различного рода моделями прогноза (с различной структурой, различными функциональными связями и зависимостями) показали, что лучшие результаты дает модель, в которой влияние суммы осадков и суммы эффективных температур за вегетационный период на урожайность учитывается с помощью нормированных функций отклика, совместное влияние которых предполагается мультипликативным [1].

Общий вид нормированных функций отклика  $H(x)$  установлен на основе экспериментальных и теоретических исследований (рис.)



Общий вид нормированных функций отклика  $H(x)$

$$H(x) = \begin{cases} 1 - \frac{(x-x_2)^2}{(x_1-x_2)^2}, & x_1 < x < x_2 \\ 1 - \frac{(x-x_3)^2}{(x_4-x_3)^2}, & x_3 < x < x_4, \\ 1, & x_2 \leq x \leq x_3 \\ 0, & x \leq x_1, \quad x \geq x_4 \end{cases}$$

где  $x_1$  – минимальное;  $x_2$  – максимальное значения факторов, за пределами которых формирование урожая не происходит;  $x_2, x_3$  – биологически оптимальные границы фактора.

Прогноз урожайности осуществляется по следующей схеме:

$$Y_{j+1} = Y_{min} + (Y_{max} - Y_j)H(P)H(T), \text{ если } Y_j < \bar{Y};$$

$$Y_{j+1} = Y_{min} + (Y_j - Y_{min})H(P)H(T), \text{ если } Y_j \geq \bar{Y},$$

где  $Y_{j+1}$  – урожайность текущего года (прогнозируемая);  $Y_j$  – урожайность предыдущего года;  $Y_{max}$  – максимальная;  $Y_{min}$  – минимальная;  $\bar{Y}$  – средняя урожайность по всему ряду урожайности, соответственно;  $P$  – сумма осадков за вегетационный период с пороговыми значениями функции отклика  $p_1, p_2, p_3, p_4$ ;  $T$  – сумма эффективных температур за вегетационный период с пороговыми значениями функции отклика  $t_1, t_2, t_3, t_4$ .

Модель предполагает расчет урожайности на прогнозируемый год в зависимости от урожайности предыдущих лет, суммы эффективных температур и суммы осадков за вегетационный период прогнозируемого года.

Предсказание суммы эффективных температур производится с помощью параболического тренда с учетом цикличности солнечной активности [2], выявленной по временному ряду температур.

Прогноз суммы осадков за вегетационный период представляет собой достаточно сложную задачу и на данном этапе может быть построен по годам-аналогам.

Проигрывая различные погодные сценарии, данная модель с большой степенью точности позволит предсказать урожайность и спланировать комплекс работ по уборке урожая.

Модель урожайности идентифицирована на основе данных по агроценозу пшеницы, предоставленных Алтайским центром по гидрометеорологии. В таблице 1 приведены оптимальные пороговые значения параметров функции отклика, найденные в результате проведения серии компьютерных экспериментов.

В процессе идентификации параметров модели соблюдались необходимые условия: а) число настраиваемых параметров должно быть много меньше, чем общее число измерений; б) значения найденных параметров не должны выходить за определенные пределы, связанные с их физическим смыслом; в) осуществление необходимой проверки адекватности модели на независимом материале.

Критерием выбора структуры модели и ее параметров являлась минимизация отклонений расчетных ( $Y_{calc}$ ) и экспериментальных данных ( $Y_{exp}$ ):

$$\sum_{i=1}^n (Y_{calc}(i) - Y_{exp}(i))^2 \rightarrow min.$$

Таблица 1

Оптимальные пороговые значения параметров функций отклика

Пороговые значения	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
для суммы осадков	110	140	280	400
для суммы эффективных температур	1200	1330	1450	1630

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы, результаты численных экспериментов, проведенных на данной модели, хорошо согласуются с экспериментальными данными. Среднее отклонение расчетных данных от экспериментальных значений урожайности составляет 3%.

Таблица 2

Результаты расчетов

Год	Экспериментальные данные	Расчетные данные
1977	22.0	
1978	21.2	21.0
1979	20.7	21.8
1980	21.8	22.0
1981	12.2	13.5
1982	16.0	15.3
1983	26.2	27.0
1984	30.3	26.2
1985	26.1	27.4
1986	26.2	26.1
1987	22.8	22.9

### Литература

1. Малкина И.Г. Моделирование онтогенеза высших растений (на примере агроценоза сои): Дис... канд. физ.-мат. наук. М., 1987.

2. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л., 1984.