

## ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 631.5

### СХЕМА ПРОГНОЗА УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

**Е.И. Волкова**, научный сотрудник

**А.П. Лихацевич**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси  
Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси

Создание наиболее благоприятных условий для роста и развития сельскохозяйственных культур и получения высокого их урожая – главная задача земледельцев. Но эти условия определяются многими составляющими, в том числе факторами, изменение которых не зависит от воли человека.

Характерной особенностью воздействия любых факторов на формирующийся урожай является комплексность. Комплекс условий, в которых развивается растение, представляет собой одно органическое целое, все элементы которого связаны неразрывно.

При этом в течение вегетации происходит смена ведущего или ведущих факторов комплекса, определяющих состояние посева на каждую конкретную дату и уровень урожайности. Одни факторы отличаются длительным воздействием на урожайность, другие – кратковременным [1, 2].

Взаимодействие факторов жизни растений – явление необычайно сложное и многообразное. Вместе с тем сформулирован ряд закономерностей действия факторов в процессе роста и развития культур, которые получили название *законов земледелия*: *закон равнозначности и незаменимости факторов жизни растений*, *закон минимума (оптимума, максимума)*, *закон совокупного действия факторов жизни растений* и др.

Принципы и вид модели урожаев сельскохозяйственных культур, учитывающей законы земледелия, были сформулированы ранее [3, 4]. Рассмотрим подробнее закон минимума (оптимума, максимума), примерное графическое изображение которого приведено на рис. 1. График выражает обобщенно закон продуктивности растений в зависимости от одного фактора. Чем больше отклонение фактора от оптимального значения, тем меньше урожай культуры (при условии, что другие факторы неизменны). Аналитический вид зависимости продуктивности (урожая) от одного фактора имеет вид:

$$y = y_{\text{макс}} f(\text{grad}X), \quad (1)$$

где  $X$  – величины фактора,

$y_{\text{макс}}$  – максимально возможный урожай при оптимальном значении фактора  $X$ ,

$\text{grad}X$  – градиент фактора  $X$  относительно оптимального значения.

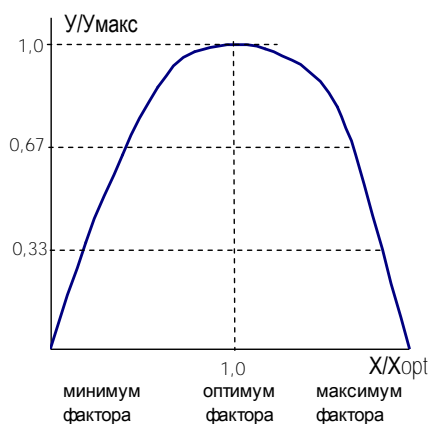


Рис. 1. Обобщенная зависимость урожая от фактора

Аналогично, Попов В. А. [5] пишет о подобном математическом выражении закона лимитирующего фактора:

$$y_{\phi} = y_n K_{\text{lim}}; \quad 1 \geq K_{\text{lim}} \geq 0, \quad (1)$$

где  $y_{\phi}$  – продуктивность посевов при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях, отличных от оптимальных;

$y_n$  – потенциальная продуктивность;

$K_{\text{lim}}$  – коэффициент, понижающий потенциальную продуктивность на величину, зависящую от степени отклонения лимитирующего фактора от оптимума.

Важно уточнить понятие фактора. Безусловно, при всем их множестве учесть в модели можно только те факторы, для которых существуют количественные характеристики, используемые в уравнении (1) для оценки и прогноза урожая. Хотя ясно, что многие из них пока воспринимаются только качественно: биологические (сорт, развитие вредителей и болезней), экономические (удобрения, машины, орудия, ядохимикаты и др.), технологические, организационные (подбор полей, соблюдение севооборотов, выполнение агроприемов и др.), метеорологические (условия влагообеспеченности, условия перезимовки растений и др.). Поэтому в данной работе представлены результаты и предложения только по рассмотрению метеоданных в качестве факторов влияния на урожай сельскохозяйственных культур. Было бы весьма перспективным заблаговременно прогнозировать будущий урожай по метеоданным.

Графики и выводы, приведенные в данной статье, построены и получены на основе ежедневных среднесуточных температур и осадков для метеостанции «Полесская» Лунинецкого района за 1974-2005 гг., урожайностей озимых зерновых на стационаре Полесской опытной мелиоративной станции с постоянным уровнем питания ( $P_{60}K_{150}$ ) за те же годы. Изменчивость урожайности на стационаре с постоянным и неизменным за многолетие режимом внесения удобрений и уровнем агротехники должна иллюстрировать

влияние других нерегулируемых метеорологических факторов на рост и развитие сельскохозяйственных культур.

Задача, стоявшая перед авторами, – выделить по исходным данным лимитирующие факторы (исключая фактор питания), действующие на рост и развитие сельскохозяйственных культур. В ходе анализа мы столкнулись с проблемой выбора критериев отнесения метеоданных к факторам. При ближайшем рассмотрении возникает много вопросов. Например, как учесть осадки. Значение имеют не только конкретные, осредненные или суммарные величины осадков, но и их распределение по периодам в течение года. Дожди случаются неравномерно в течение года с разными промежутками между выпадением. Брать в качестве фактора сумму осадков? За какой период? Брать конкретные декадные суммы в периоды, когда растение испытывает большую потребность во влаге? Учитывать каждый дождь как фактор? Не вызывает сомнений, что наилучшим показателем при этом является дефицит водного баланса корнеобитаемого слоя почвы. Но для его определения необходимо проводить водобалансовые расчеты, что существенно усложняет методику. Не меньше вопросов и по температурам.

Нами проанализированы различные применяемые в агрометеорологическом прогнозировании критерии, в частности:

- продолжительности периодов со средней суточной температурой выше различных пределов;
- сумма температур воздуха;
- сумма эффективных температур и многие другие.

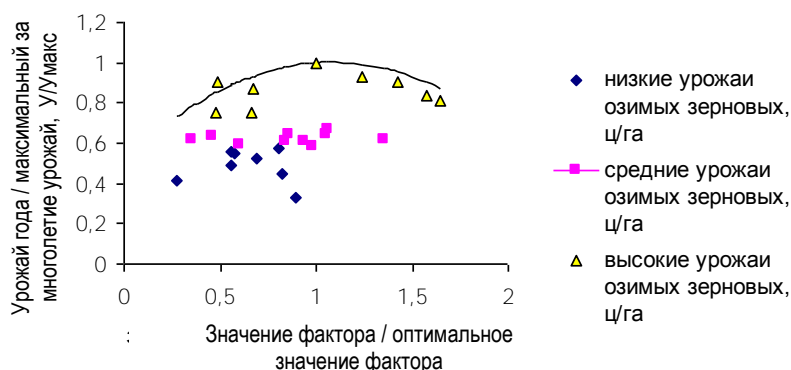
Были выбраны наиболее значимые и влияющие на урожайность культур периоды в течение года и выделены критерии факторов-метеоданных.

Например, мы установили, что в исследуемой зоне (Полесье) засушливый период в начале вегетации (21 апреля – 01 июня) существенно влияет на урожайность озимых зерновых. Поэтому сумма осадков за период (21 апреля – 01 июня) взята в качестве влияющего фактора.

На графике (рис.2) представлены зависимости урожая от конкретного фактора. Имеет место разброс точек, обусловленный влиянием взаимозависимого множества факторов. Но наилучшая связь (в виде параболы) выявлена в области высоких урожаев, что подтверждает выводы [6].

Верхнюю огибающую множества точек можно рассматривать как эмпирическое приближение к закону лимитирующего фактора. Если бы все факторы были в оптимуме, то зависимость урожая озимых зерновых от изменчивости данного фактора (сумма осадков за 21 апреля – 01 июня) графически выражалась согласно огибающей параболы.

Точки, расположенные ниже параболы, характеризуют влияние других факторов, неоптимальность которых снижает урожай культуры. Примерно то же самое имеет место и относительно других факторов (рис. 3). Каждый график (рис. 2 и 3) условно пред



**Рис. 2. Зависимость между урожаем озимых зерновых и фактором «сумма осадков за период 21 апреля – 01 июня»**

ставляет собой проекцию пространственного поля точек на конкретную плоскость: (по оси X – фактор; по оси Y – урожайность).

В результате анализа зависимостей урожая от многочисленных факторов предварительно сложилась следующая схема прогноза урожая:

- определяются, обосновываются и выделяются факторы, влияющие на урожай конкретной культуры;

- определяется год с наибольшим урожаем ( $Y_{\text{макс}}$ ); по условиям данного года определяются оптимальные значения факторов ( $X_{i,\text{opt}}$ );

- представляется зависимость урожая культуры от каждого выделенного фактора

в виде графика, по оси абсцисс которого будут значения  $\frac{X_i}{X_{i,\text{opt}}}$ , а по оси ординат – значения  $\frac{y_i}{y_{\text{макс}}}$ ;

- определяется графический и аналитический вид огибающих кривых (пример представлен на рис. 2 и 3): где  $\frac{y_i}{y_{\text{макс}}} = f_i\left(\frac{X_i}{X_{i,\text{opt}}}\right)$ ,  $X_i$  – i-й фактор,  $f_i\left(\frac{X_i}{X_{i,\text{opt}}}\right)$  – функция,

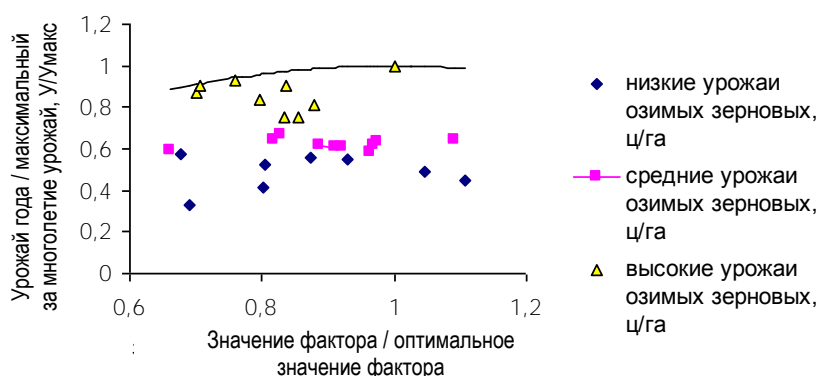
выражающая зависимость снижения урожая от изменчивости конкретного фактора  $X_i$ ;

- последовательно учитывается каждый из факторов по следующей схеме:

$$y_i = y_{\text{макс}} \cdot f_1\left(\frac{X_1}{X_{1,\text{opt}}}\right) \cdot f_2\left(\frac{X_2}{X_{2,\text{opt}}}\right) \cdot \dots \cdot f_i\left(\frac{X_i}{X_{i,\text{opt}}}\right). \quad (2)$$

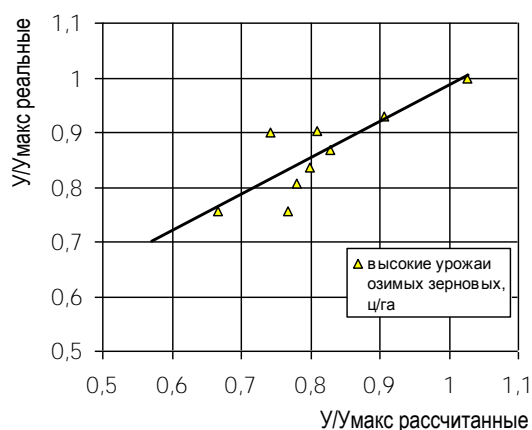
Применив формулу (1), мы рассчитаем снижение урожая от максимально возможного по причине действия конкретных факторов.

Схема проверена на реальных данных. Рассчитанные по (1) урожаи сравнивались с реальными урожаями, при этом наблюдается (рис. 4) хорошая их сходимость. Проверка по t-критерию подтверждает равенство средних значений выборок



**Рис. 3. Зависимость между урожаем озимых зерновых и фактором «сумма среднесуточных температур за период 21 апреля – 01 июня»**

( $|t|=1,08 < t_{\alpha, k}=2,12$  при  $\alpha=0,05$ ,  $k=16$ ). В связи с тем, что изначально для анализа выбраны факторы весеннего периода, можно считать, что мы получили заблаговременный прогноз высокого урожая озимых зерновых, и тем значимее полученные результаты.



**Рис. 4. Соотношение между рассчитанными по четырем факторам урожаями и реальными высокими урожаями озимых зерновых**

Таким образом, по предложенной схеме можно с достаточной уверенностью прогнозировать высокие урожаи озимых зерновых. А для прогнозирования низких и средних урожаев, которые лимитируют значительно большее количество факторов, требуется дальнейшая работа по уточнению аналитического вида взаимного влияния факторов на такие урожаи.

#### Выводы

Закон лимитирующего фактора, как и другие законы земледелия, являются методологической основой для прогноза урожая, в том числе по метеорологическим данным.

Факторы-метеоданные, которые можно использовать при прогнозе урожая, необходимо предварительно выделять, уточнять и обосновывать. Для разных культур лимитирующие факторы могут не совпадать.

Схему, предложенную в работе, показавшую достаточно высокую точность, можно применять для заблаговременного прогноза урожая озимых зерновых. В перспективе, после уточнения и обоснования конкретных метеоданных-факторов, эта схема может быть реализована и для других сельскохозяйственных культур.

#### **Литература**

1. Шашко К.Г. К вопросу стабильного повышения урожайности зерновых культур в Белоруссии. // Земледелие и растениеводство в БССР. – Вып. 30. – Мн.: Ураджай, 1986. – С. 57.
2. Земледелие / С. А. Воробьев, А. Н. Каштанов, А. М. Лыков, И. П. Макаров; под ред. С. А. Воробьева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 527 с.
3. Лихацевич А. П. Модель влияния регулируемых факторов окружающей среды на урожай сельскохозяйственных культур // Мелиорация переувлажненных земель. – 2004. – 2(52). – С. 123-143.
4. Лихацевич А. П., Карнаухов В. Н. Модель динамики урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от изменчивости природно-климатических факторов. // Мелиорация переувлажненных земель. – 2005. – № 2(54). – С. 108-117.
5. Попов В. А. Математическое моделирование закона лимитирующего фактора и его приложение к задачам мелиоративного земледелия. // Мелиорация и водное хозяйство. – № 2, 1997. – С. 30.
6. Лихацевич А. П. Приближенная количественная оценка воздействия факторов окружающей среды на формирование урожая сельхозкультур. // Мелиорация переувлажненных земель. – 2006. – № 1(55).

#### *Summary*

*Volkova E., Likhatchevich A. The forecast scheme of the harvest of the agricultural cultures.*

The scheme of the forecasting harvest agricultural cultures is offered. The scheme is basing on dependency of the influence meteorological data on harvest. The results of the forecasting have shown get prettier convergence with real harvest for high harvest winter corn.