

**Л. А. Х о р о в а** (Барнаул, АлтГУ). **Идентификация параметров модели фенологического развития зерновых культур в условиях Алтайского края.**

Прогноз темпов развития растений в сельскохозяйственных посевах имеет в практическом смысле зачастую большую ценность для конкретного пользователя-агронома, чем прогноз продуктивности. Поэтому моделирование фенологического развития является центральной частью любой модели продукционного процесса. Рассмотрим вопросы моделирования и идентификации параметров блока развития растений имитационно-моделирующего комплекса Agrootool, разработанного в Агрофизическом институте г. Санкт-Петербурга [1].

Основными факторами, влияющими на фенотипическое проявление генетически детерминированной скорости развития многих растений, являются длина светового дня (фотопериодизм), температура воздуха и влагообеспеченность растений. Так как процедура идентификации осуществляется по районированным сортам, выращиваемым в условиях Алтайского края, то фотопериодическая реакция осуществляется автоматически.

В модели Agrootool физиологическое время измеряется в градусо-днях, а приращение физиологического времени в день  $k$  вычисляется по формуле

$$\Delta\tau_0 = \begin{cases} T_{av}(k) - T_0 & \text{при } T_{av}(k) \geq T_0, \\ 0 & \text{при } T_{av}(k) < T_0, \end{cases}$$

где  $T_{av}(k)$  — среднесуточная температура воздуха в день  $k$ ,  $T_0$  — биологический нуль, ( $^{\circ}\text{C}$ ). С учетом влияния на развитие высоких температур, замедляющих скорость развития, и влажности почвы формула (1) принимает вид

$$\Delta\tau(k) = \Delta\tau_0(1 - \Delta\tau_0/c)Str(\Psi_s), \quad (2)$$

где  $c$  — коэффициент, учитывающий перегрев растений, ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\Psi_s$  — потенциал воды в почве, функция

$$Str(\Psi_s) = \begin{cases} 1, & \text{если } \Psi_s \geq \Psi_{opt}, \\ 1 + (S_0 - 1) \frac{\Psi_s - \Psi_{opt}}{\Psi_w - \Psi_{opt}}, & \text{если } \Psi_s \leq \Psi_{opt}, \end{cases}$$

отражает влияние водного дефицита,  $\Psi_w$  — потенциал воды в почве, соответствующий влажности завядания,  $\Psi_{opt}$  — граница комфортной зоны по водному потенциалу почвы (см), в пределах которой влияние стресса отсутствует,  $S_0$  — предельная величина стресса (б/р). Величина прироста биологического времени (2) суммируется по дням, и накопленная к текущим суткам  $k$  величина рассчитывается по формуле

$$\tau(k) = \sum_{j=k_0}^k \Delta\tau(j), \quad (3)$$

$k_0$  — номер дня сева. Очередная фаза наступает при достижении величиной некоторого порогового значения (градусо-дни), зависящего от порядкового номера фазы  $IPh$ . Таким образом, идентификации в модели подлежит следующий набор параметров, управляющих темпами развития полевых культур:  $T_0$ ,  $c$ ,  $\Psi_{opt}$ ,  $S_0$ ,  $T_{Ph}$ .

Процедура идентификации осуществлялась путем спланированного численного эксперимента. Для реализации алгоритма идентификации были отобраны годы вегетации, по которым имеются экспериментальные данные по срокам наступления фенофаз. В результате прогона модели для каждой фазы формируется файл невязок между фактическими и расчетными датами наступления фенофаз и вычисляется их

среднеквадратичное значение. Из всей совокупности значений параметров выбираются те, которые минимизируют сумму квадратов невязки. Первоначально должны быть определены параметры, управляющие длительностью периода посев-всходы. Затем подобранные значения параметров подставляются в модель, и исследуется следующий межфазный период. Эта процедура продолжается до тех пор, пока не будут найдены параметры последней фазы.

Результаты идентификации параметров модели фенологического развития для яровой пшеницы с 2002 по 2009 гг. говорят о хорошем совпадении результатов моделирования с данными фактических наблюдений. О достаточно высокой точности расчета сроков наступления фенофаз по модели (1)–(3) говорит ошибка расчета, которая в большинстве случаев составляет 1–2 дня, что лежит в пределах точности измерений. Найденные оптимальные значения параметров модели фенологического развития яровой пшеницы в условиях Алтайского края могут в дальнейшем использоваться для прогноза урожайности данной культуры. Решение данной задачи становится актуальным и практически значимым в связи с сокращением числа метеорологических станций и отсутствием достаточных для агрометеорологических прогнозов фенологических наблюдений: периодичности осмотра растений, правильного понимания наблюдателем признаков наступления фаз развития и соблюдения методики проведения наблюдений.

Работа выполнена при поддержке ведомственно-аналитической программы «Развитие научного потенциала Высшей школы 2009-2010» № 2.2.2.4/4278.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полужетов Р. А., Смоляр Э. И. и др.* Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. СПб.: Изд-во СПбУ, 2006.