

Л. А. Х в о р о в а (Барнаул, АлтГУ). **Математическое обеспечение динамических моделей озимых культур.**

К настоящему времени в моделировании продуктивности экологических систем уже сложились основные принципы построения математических моделей, описывающих сложные экологические процессы. При этом модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур (в основном) описывают формирование урожая, начиная с момента сева весной или весеннего возобновления вегетации.

Цель данного исследования — диагноз состояния озимых культур в течение холодного периода года, прогноз степени их повреждения к моменту возобновления весенней вегетации с использованием методов и моделей расчета температурного профиля и глубины промерзания почвы и включение их в динамическую модель. В качестве базовой модели выбран имитационно-моделирующий комплекс продукционного процесса сельскохозяйственных растений AGROTOOL, разработанный в Санкт-Петербургском АФИ.

Период перезимовки имеет огромное значение для процесса формирования будущего урожая озимых культур и в значительной степени определяется складывающимися агрометеорологическими условиями. К основным причинам, приводящим к гибели растений в зимний период, относят вымерзание, выпревание, вымокание и повреждение ледяной коркой.

Холодный сезон характерен тем, что в отдельные его периоды основными являются разные стороны гидротермических процессов в почвенном профиле, поэтому для разных этапов рассматриваемого сезона необходимо строить свою модель, отражающую основную физическую сущность процесса именно для этого этапа.

Для определения глубины промерзания почвы взято уравнение для скорости продвижения фронта промерзания ξ [1]:

$$L^* \frac{d\xi}{dt} = q_M - q_T, \quad L^* = L \rho_W (W - u_H) + \frac{c_2 |T_{\Pi}|}{2},$$

где q_T — кондуктивный поток тепла к границе промерзания со стороны талой зоны; q_M — кондуктивный отток тепла от границы промерзания в талую зону; L — теплота фазового перехода вода-лед; ρ_W — плотность воды; W — общая влажность почвы; u_H — количество незамерзающей воды в единице объема почвы; c_2 — эффективная теплоемкость мерзлой почвы с учетом фазовых переходов воды при отрицательных температурах; $q_M = -\lambda_2 T_c / (\xi + H)$, $H = \lambda_2 h / \lambda_1$ — приведенная высота снега, $T_{\Pi} = T_c \xi / (\xi + H)$ — температура поверхности почвы, T_c — температура поверхности снежного покрова. Введем обозначения: σ — верхняя часть почвенного профиля, испытывающего влияние динамики поверхностных термических процессов; T^* — среднегодовая температура почвы на больших глубинах.

Учитывая условия на границах ξ и σ : $T(\xi) = 0$, $T(\sigma) = T^*$, и условия непрерывности потока на σ : $(\partial T / \partial z)|_{\sigma} = 0$, уравнение для T будет иметь вид: $T = T^* - T^*(z - \sigma)^2 / (\xi - \sigma)^2$.

Соответственно, поток тепла со стороны талой зоны к границе промерзания будет равен

$$q_T = \lambda_3 \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{\xi} = \frac{2\lambda_3 T^*}{\sigma - \xi},$$

где λ_i — коэффициенты теплопроводности соответственно снежного покрова, мерзлой зоны почвы и талой. Воспользовавшись интегральной формой уравнения теплопроводности [1], получим следующий вариант рекуррентной формулы пошагового расчета глубины промерзания:

$$\xi(t_{k+1}) = -H(t_{k+1}) - \frac{q_T(t_k)\Delta t}{L^*}$$

$$+ \sqrt{[\xi(t_k) + H(t_{k+1})]^2 - \frac{2\lambda_2 T_C \Delta t}{L^*(t_{k+1})} + \left[\frac{q_T(t_k) \Delta t}{L^*(t_{k+1})} \right]^2}. \quad (1)$$

В общем случае коэффициент L^* определяется выражением

$$L^* = L \rho_W W - L \rho_W u_H^{-T_{\Pi}} - \frac{c_0 T_{\Pi}}{2}.$$

Для апробации моделей глубины промерзания почвы использовались материалы наблюдений Каменской метеорологической станции (Алтайский край). Ошибка при расчете глубины промерзания с использованием равенства (1) составила 7,68%, что вполне приемлемо в гидрологических расчетах. Таким образом, с учетом приведенных результатов можно полагать, что рассматриваемая модель (1) позволяет достаточно хорошо вести расчет глубины промерзания почвы в течение всего зимнего периода. При помощи данной модели можно оценивать степень влияния метеорологических факторов на питательный режим почв, количественные и качественные характеристики продукции растениеводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Е. М. Формирование режима и ресурсов почвенных вод в зимне-весенний период. М., 1993.