

*Точки сбыта:* управляются мастером-преподавателем, покупают продукцию у предприятий.

*Банк:* управляется мастером-преподавателем, может выдавать кредиты по запросу игроков (решение о выдаче принимает мастер), хранит информацию о счетах игроков и о всех проведенных платежах

Процесс игры состоит в заключении сделок между отдельными игроками и между игроком и рынком либо поставщиком сырья. Сделки оформляются с помощью электронных (или бумажных) документов, полностью соответствующих нормам закона и делопроизводства. Время в игре идет дискретно. На подготовительном этапе игроки составляют бизнес-планы, которые проверяются мастером, на их основании принимается решение о выдаче игроку кредита. После чего игроки выбирают себе одно из возможных существующих предприятий (как дополнительная возможность – создают новое с учетом указанной суммы). На завершающем этапе проводится анализ преподавателем действий игроков. Использование предложенной системы позволит развить в студентах не только навыки управления небольшими фирмами-предприятиями, но и сложные навыки взаимодействия в больших группах.

### **Литература**

1. Бурбаки Н. Теория множеств. Структуры / Н. Бурбаки – М. : Мир, 1965. – 456 с.
2. Шеннон Р. Дж. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Дж. Шеннон – М. : Мир, 1978. – 418 с.

## **Решение динамической системы уравнений фотосинтеза и фотодыхания**

***В.В. Журавлева***  
*АлтГУ, г. Барнаул*

Построена и обоснована динамическая система уравнений, определяющих мгновенные интенсивности фотосинтеза и фотодыхания листовой поверхности  $C_3$ -растений с учетом конкуренции углекислого газа и кислорода за активный акцептор РиБФ, связанный карбоксилазой. Вывод уравнений основан на современном представлении о фотосинтезе и фотодыхании [1]; учтено, что «гликолатный путь» углерода должен входить в описание фотосинтеза  $C_3$ -растений не как маловажное боковое звено, а как составная часть цикла Кальвина.

Решается задача Коши с малым параметром  $\varepsilon$  на интервале  $0 \leq t \leq T$ :

$$\varepsilon \cdot \frac{dX}{dt} = \lambda \cdot \left( \frac{C_\omega}{r_x} + \delta \frac{O_\omega}{r_y} \right) \cdot (p(Q_\Phi) + 5\Phi_M \cdot Z) - X \cdot \left( \frac{C_\omega}{r_x} + \frac{O_\omega}{r_y} \right),$$

$$\varepsilon \cdot \frac{dY}{dt} = (1 - \delta) \cdot \frac{O_\omega}{r_y} \cdot (p(Q_\Phi) + 5\Phi_M \cdot Z) - Y \cdot \left( \frac{C_\omega}{r_x} + \frac{O_\omega}{r_y} \right),$$

$$\varepsilon \cdot \frac{dZ}{dt} = X - \Phi_M \cdot Z,$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{\tau_{st}} (S^{smax}(Q_\Phi) - S)$$

со статическими связями

$$C_\omega = C_a - h_L X (r_m + r_e + S) + (h_L Y + R_d)(r_e + S),$$

$$O_\omega = O_a - (h_L Y + R_d)(r_m + r_e + S) + h_L X (r_e + S)$$

и начальными условиями

$$\text{при } t_0 = 0 \quad X(t_0) = Y(t_0) = Z(t_0) = 0, \quad S(t_0) = S^{smax}(0) = S_{\max}.$$

Обозначения:

а) «быстрые» переменные  $\Phi_g = h_L X$ ,  $R_l = h_L Y$  – интенсивности процессов фотосинтеза и фотодыхания,  $Z$  – вспомогательная переменная;

б) «медленная» переменная  $S = r_{st}$  – устьичное сопротивление диффузии газов во внутренние полости листа;

в) «очень медленные» переменные и параметры модели:  $Q_\Phi$  – ФАР, поглощенная единичной поверхностью листа,  $p(Q_\Phi) = \alpha Q_\Phi / (1 + Q_\Phi)$  – интенсивность синтеза РибФ ( $\alpha > 0$ ),  $S^{smax}(Q_\Phi)$  – ограниченная убывающая функция;  $R_d$  – интенсивность «темнового» дыхания на свету,  $C_a$ ,  $O_a$  – концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в посеве,  $r_e$ ,  $r_m$  – диффузионные сопротивления в пограничном слое листа и клетках мезофилла,  $r_x$ ,  $r_y$  – сопротивления реакций карбоксилирования и оксигенации,  $\Phi_M$  – максимальная интенсивность фотосинтеза,  $h_L$  – средняя толщина листа,  $\tau_{st}$  – постоянная переходного процесса для устьичного сопротивления (порядка 5 мин.),  $\lambda = 1/6$ ,  $\delta = 0,9$  – константы.

Полученная система с малым параметром  $\varepsilon$  является «жесткой» динамической нелинейной СДУ [2, 3]. Укажем проблемы, связанные с поиском численного решения данной системы: 1) сложность операторов в правой части: нелинейные зависимости относительно переменных; 2) наличие «быстрых» переменных, которые навязывают недопустимо малый шаг интегрирования; 3) существование внутренних пограничных слоев; 4) высокая размерность задачи.

Обоснован выбор метода численного интегрирования полученной нелинейной СДУ. Проблема равномерной сходимости порождающего решения к решению «возмущенной» системы и оценки точности решаются при использовании теории «жестких» систем [2, 3].

### Литература

1. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. – М. : Высшая школа, 2005.
2. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981.
3. Вервер Я., Деккер К. Устойчивость методов Рунге-Кутты для жестких нелинейных дифференциальных уравнений. – М. : Мир, 1988.

## Формирование гидротермического режима почвы в зимне-весенний период

*О.А. Иванова, М.Н. Стрижов*  
*Филиал АлтГУ в г. Камень-на-Оби*

В данной работе рассматривается аспект теплового режима почвы в холодный период, а именно – промерзание и оттаивание.

Промерзание почвы, процесс охлаждения почвы до  $0^{\circ}\text{C}$  и ниже сопровождается переходом части почвенной влаги в лед; почва затвердевает и приобретает свойства монолитного тела. Скорость, глубина и длительность периода сезонного промерзания почвы зависят от температуры воздуха, мощности снежного покрова и степени увлажнения почвы.

Используемые в настоящее время физико-математические модели по способу моделирования можно условно разделить на два класса: аналитические и алгоритмические. Первые характеризуются тем, что описание объекта моделирования и процесс его исследования осуществляются в них аналитическими методами в общем виде, а не численно. Использование аналитических методов неизбежно связано с выделением основных черт явления. Холодный сезон характерен тем, что в почвенном профиле в разные периоды выделяются разные стороны гидротермических процессов. Поэтому для разных этапов рассматриваемого сезона приходится строить свою модель, отражающую основную физическую сущность процесса именно для этого этапа.

По мнению многих авторов [1, 2] удобно при исследовании выделять следующие характерные периоды формирования гидротермического режима почвы.