

МОДЕЛЬ КИНЕТИКИ БИО-ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ

В.Г. Александров

Описан подход построения локальной модели кинетически био-органоминеральных взаимодействий в системе почва – растение, основанный на принципах В. Вольтерра и Э. Бауэра.

Ключевые слова: модель; кинетика; дифференциальное уравнение; почво-бактериальная система.

Взаимодействующими объектами системы почва – растение в элементарном почвенном объёме являются живые и костные компоненты. В качестве объектов кинетики системы почва – растение выбраны доминантные физиологические группировки микробиологического сообщества аборигенной почвенной микрофлоры, растительное сообщество и питательные субстраты минерального и органического происхождения.

В логическую основу построения локальной модели кинетических взаимодействий в системе почва – растение положены следующие принципы [1, 2]:

- Пищевые субстраты имеются в неограниченном количестве.
- Изменение массы биологических компонентов системы почва – растение подчиняется принципам Э. Бауэра развития живых систем: устойчивая неравновесность, работа структурных сил, предел массы и Основной закон развития.
- Трофические отношения между биологическими объектами системы почва – растение как конкурентные, так и симбиотические. Это означает, что скорость изменения численности некоторого субъекта зависит от совместного влияния остальных субъектов. Участие остальных субъектов в изменении скорости численности некоторого субъекта определяется суммой долей их численности и описывается квадратной матрицей парных взаимодействий между ними.
- Если пищевые субстраты имеются в неограниченном количестве и имеется несколько субъектов, их потребляющих, то масса каждого пищевого субстрата, потребляемая каждым субъектом в единицу времени, пропорциональна количеству особей этого субъекта.
- Если субъект питается пищей, имеющейся в неограниченном количестве, прирост его численности за единицу времени пропорционален численности субъекта.

Движение живого и костного вещества (живые структуры и субстраты) почво – растительной системы на основании изложенных принципов, можно описать следующей системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (1):

$$\begin{aligned} \frac{dx_i}{dt} &= a_i P(x_i) x_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} y_j + \sum_{l=1}^m \beta_{il} x_l + \sum_{q=1}^p \zeta_{iq} z_q + U_i^x \\ \frac{dy_j}{dt} &= b_j Q(y_j) y_j + \sum_{r=1}^n \gamma_{jr} y_r + \sum_{i=1}^m \delta_{ij} x_i + \sum_{q=1}^p \theta_{jq} z_q + U_j^y \\ \frac{dz_k}{dt} &= \sum_{i=1}^m \phi_{ki} P(x_i) x_i + \sum_{j=1}^n \varphi_{kj} Q(y_j) y_j - \chi_k z_k + U_k^z \end{aligned} \quad (1)$$

где x_i, y_j, z_k – концентрации доминантных группировок сообщества почвенных микроорганизмов, группировок растительного сообщества и питательных субстратов системы почва – растение соответственно; $P(x_i), Q(y_j)$ – функции изменения концентрации бактериальных и растительных группировок системы почва – растение в зависимости от их текущих значений; $\phi_{ki} P(x), \varphi_{kj} Q(y_j)$ – функции изменения концентрации k -го питательного субстрата в зависимости от текущей концентрации бактериальных и растительных группировок системы почва – растение; $\alpha_{ij}, \beta_{il}, \zeta_{iq}, \gamma_{jr}, \delta_{ij}, \theta_{jq}, \chi_k, \phi_{ki}, \varphi_{kj}$ – коэффициенты подобия; U_i^x, U_j^y, U_k^z – функции внешнего воздействия на изменение текущей концентрации объектов кинетики системы почва – растение.

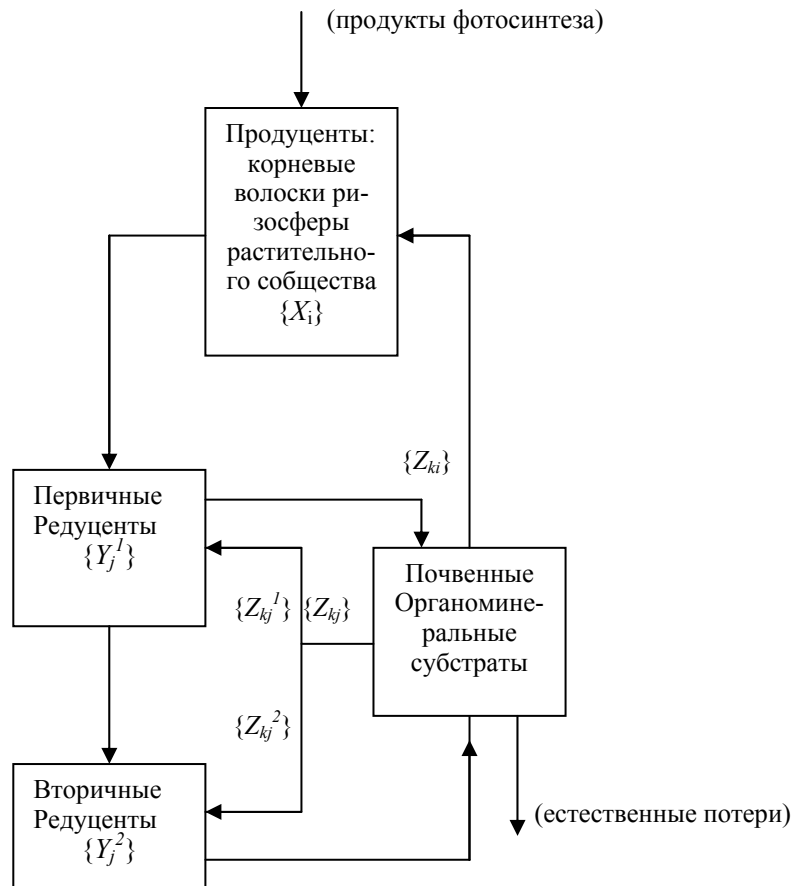


Схема потоков вещества и энергии в элементарном объёме почвы:
 $\{X_i\}$ – сообщество i -х продуцентов ($i=1, m$); $\{Y_j^1\}, \{Y_j^2\}$ – сообщество первичных и вторичных редуцентов ($j=1, n$); $\{Z_{ki}\}, \{Z_{kj}^1\}, \{Z_{kj}^2\}$ – почвенные органо-минеральные субстраты, потребляемые и воспроизводимые сообществами $\{X_i\}, \{Y_j^1\}, \{Y_j^2\}$, где ($k=1, p$).

Из принципов кинетики живых систем Бауэра [2] функции $P(x_i), Q(y_j)$ можно представить в виде:

$$P(x_i) = \mu_{0i} x_i e^{c_i(x_{0i} - x_i)}, \quad (2)$$

$$Q(y_j) = \begin{cases} b_{1j} \bar{\mu}_{0j} e^{c_j(y_{0j} - y_j)} y_j, & \text{при } t_0 < t \leq t_j^* \\ \frac{b_{2j} y_j}{M_j \bar{\mu}_{0j} e^{\frac{y_{0j} - 1}{M_j}}}, & \text{при } t_j^* < t \leq t_j^{**} \end{cases} \quad (3')$$

где $\bar{\mu}_{0i}$ – начальный потенциал развития i -ой группировки растительного сообщества системы почва – растение; c_i – показатель активности ассимиляции питательных субстратов i -ой группировки растительного сообщества системы почва – растение; x_{0i} – минимальная начальная масса i -ой растительной группировки; $\bar{\mu}_{0j}$ – начальный потенциал развития j -ой группировки бактериального сообщества системы почва – растение; c_j – показатель активности ассимиляции питательных субстратов j -ой группировкой бактериального сообщества; y_{0j} – минимальная начальная масса j -ой группировки бактериального сообщества.

Функции (2) и (3') выражают изменение величины свободной энергии каждой из биологических группировок системы почва – растение в стадии ассимиляции питательных субстратов – $\{z_k\}$ до достижения предела массы – $M_i = \frac{1}{c_i}$ и $M_j = \frac{1}{c_j}$.

Функция (3'') выражает изменение потенциала роста бактериальных почвенных группировок $\{Y_j\}$ в фазе основного процесса после достижения ими предела масс – $M_j = \frac{1}{c_j}$ (см. рисунок) [2].

Пределы масс почвенных биологических сообществ $\{X_i\}, \{Y_j\}$ зависят как от количества и качественных отношений между отдельными субстратами $\{Z_k\}$, так и от состояния факторов жизни микроорганизмов (температура, влажность, состояние геомагнитного фона) [3 – 6]. В модели (1) этот фактор регулируется параметрами c_i и c_j . Для определённости положим, что c_i и факторы жизни системы почва – растение постоянны, а c_j выражаются соотношением:

$$c_j = c_{0j} \left(1 - \sum_{k=1}^p S_k \int_{t^*}^{t^{**}} \varphi_k dt \right), \quad (4)$$

где c_{0j} – показатель ассимиляции питательных субстратов j -ым редуцентом в стационарном режиме; S_k – коэффициент усиления влияния k -го фактора питания для j -ого редуцента; $\varphi_k(t)$ – функция возмущения k -го фактора питания для j -ого редуцента, которая в общем случае зависит от управляющих воздействий U_i^x, U_j^y, U_k^z

Обозначим через σ выражение, стоящее в скобках (4). В зависимости от значения σ система уравнений (1) будет описывать следующие режимы кинетики системы почва – растение:

- $\sigma = 1$ – стационарный режим;
- $0 < \sigma < 1$ – режим метаморфоза;
- $\sigma < 0$ – режим деградации.

Указанные режимы экспериментально обнаружены и описаны в работах [5, 6].

Литература

1. *Ризниченко Г.Ю.* Динамические модели в биологии. Реестр моделей, Модели в экологии, Модели экологических сообществ. – М.: МГУ. <http://dmb.biophys.msu.ru/>
2. *Бауэр Э.С.* Теоретическая биология. – Ижевск, 2001. – 280 с.
3. *Чернощёков К.А., Чернощёков М.А.* Причинность закономерности и механизм образования эволюционных мутаций у энтеробактерий. – Томск: Изд-во ООО “Томский ЦТИ”, 2002. – 147 с
4. *Мишустин Е.Н., Емцев В.Т.* Микробиология. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1978. – 352 с.
5. *Рудаков В.О., Рудаков О.Л.* Природа почвенных фитотоксикозов и проблема защиты растений // АГРО XXI. – № 1–3. – М.: Агрорус, 2009.
6. *Александров В.Г., Яшин А.А.* Эффект возбуждения митогенетической активности микробиологической системы низкоинтенсивным бактериальным воздействием // Вестник новых медицинских технологий. – 2009 – Т. XVI. – №1 – С. 37.