



*Российская
Академия Наук*

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



АДМИНИСТРАЦИЯ Г. ПУЩИНО



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОБЛЕМ ПОЧВОВЕДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
ПРОБЛЕМ БИОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Материалы

Четвертой Национальной научной конференции с международным участием



Математическое моделирование в экологии

18-22 мая 2015 г.
г. Пущино

МНОГОПОДХОДНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИМБИОТИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИ СИМБИОТИЧЕСКОЙ АЗОТФИКСАЦИИ

Топаж А.Г.¹, Абрамова А.В.²

¹ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», С.-Петербург, Россия
alex.topaj@gmail.com

²ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет», Барнаул, Россия
abramova.math@gmail.com

Аннотация: Представлены результаты исследований процесса симбиотической азотфиксации с помощью имитационных моделей в рамках мультипарадигменного подхода. Проанализированы поточно-балансовые системно-динамические модели, построены и изучены агентные модели с использованием аппарата теории оптимального управления и теории коалиционных игр.

1. Введение

Среди всего разнообразия реализующихся в живой природе межвидовых коалиционных взаимодействий, пожалуй, наибольший практический интерес для человечества представляет процесс фиксации атмосферного азота специфическими микроорганизмами (ризобиями), который они осуществляют в симбиозе с корнями бобовых растений. Действительно, биологическая азотфиксация – уникальный механизм и потенциально практически неисчерпаемый естественный источник минеральных соединений азота – важнейшего питательного элемента культурных растений. Создание специфических севооборотов с участием бобовых культур за счет использования бобово-ризобиальных систем составляет основу «биологического земледелия». Понимание движущих механизмов данного процесса может быть достигнуто как в ходе экспериментальных исследований, так, в том числе, и с помощью методов математического имитационного моделирования. В частности, совершенно необходимым представляется включение алгоритмов симбиотической азотфиксации в математические модели продукционного процесса бобовых культур, а, следовательно, и в «моделецентрические» системы расчета сельскохозяйственных севооборотов с их участием (Баденко и др.).

2. Материалы и методы

Магистральная тенденция развития современных методов математического моделирования в различных предметных областях естественных наук связана с появлением т.н. мультипарадигменных или гибридных моделей. В рамках моделей, построенных по этим принципам, одно и то же природное явление или феномен может рассматриваться и описываться с одновременным использованием нескольких принципиально разных математических аппаратов, методов формализации и/или техник имитационного моделирования.

В приложении к рассматриваемой проблеме моделирования симбиотической азотфиксации многоподходность, прежде всего, выражается в том, чтобы попытаться расширить традиционный формализм описания, базирующийся на классическом системно-динамическом или поточно-балансовом методе, когда законы поведения исследуемого «пассивного» объекта формулируются в виде предопределенных причинно-следственных связей, а также потоков вещества и энергии, математическим выражением которых выступают системы обыкновенных дифференциальных уравнений или уравнения в частных производных (Хворова и др., 2015). Если же встать на точку зрения эволюционной теории, то можно поставить цель не просто зафиксировать наблюдаемые законы поведения живых систем, но с помощью телеономического подхода объяснить принципы их возникновения в живой природе (Новосельцев, 1978). Тогда для описания симбиотической азотфиксации

может быть применен принципиально иной математический аппарат. Так как, азотфиксация, как типичное кооперативное взаимодействие, может быть описана в терминах совместного функционирования двух независимых, вступающих в симбиоз, активных агентов, каждый из которых обладает своей собственной целью и, вытекающей из вариационной постановки, собственной стратегией ее достижения. В рассматриваемом случае данными агентами выступают бобовое растение и азотфиксирующие бактерии (ризобии), оптимизирующие свою приспособленность согласованным кооперативным поведением.

Действительно, известно, что свободно живущие азотфиксирующие бактерии, вообще говоря, не нуждаются в симбиозе с растениями для поддержания своей популяции и, более того, в этом состоянии они не задействуют энергетически затратные механизмы фиксации атмосферного азота. В свою очередь, растение (в том числе и бобовое) может успешно произрастать без клубеньковых микроорганизмов, используя имеющиеся в почве запасы минерального азота. Сущность же бобово-ризобияльного симбиоза проявляется именно в том, что бактерии вырабатывают лабильный азот в качестве своеобразной платы за снабжение их растением углеродосодержащими питательными веществами (сахарами и т.п.). А растению оказывается в определенных условиях выгодно содержать на углеродном довольствии дополнительные мощности, генерирующие азот. Путем построения семейства все более усложняющихся агентных моделей можно изучить вопросы односторонней или двусторонней стимуляции подобного рода взаимодействия. В частности, интерес вызывает определение наличия или отсутствия единственного «центра принятия решений» в данной системе, обеспечение устойчивости кооперативных стратегий к проявлениям «мошенничества» субъектов взаимодействия, то есть существование эволюционно стабильных стратегий и механизмов их поддержания. Детальное исследование поставленных вопросов требует использования математического аппарата теории оптимальных решений и теории игр.

3. Результаты

В докладе представлены результаты исследования следующих модельных решений:

- 1) поточно-балансовая детерминистическая модель азотфиксации в системно-динамической и агентной постановке
- 2) модель симбиотической азотфиксации, в которой активным действующим агентом выступает бобовое растение, и ее анализ методами теории оптимального управления
- 3) модель симбиотической азотфиксации, в которой активными действующими агентами выступают колонии азотфиксирующих бактерий (ризобий) с различными параметрами поведения (популяция с неоднородной структурой)
- 4) модель симбиотической азотфиксации, с двумя активными агентами (бобовое растение и ризобии), полученная путём совмещения двух ранее разработанных классов моделей, в каждой из которых поведение одного из агентов пассивно (заранее известно другому агенту). Исследование получившейся двухкомпонентной динамической модели методами теории неантагонистических дифференциальных игр (Айзекс, 1967).

Литература

- Айзекс Р. Дифференциальные игры. Москва, Мир, 1967, 480 с.
- Баденко В.Л., Гарманов В.В., Иванов Д.А., Савченко А.Н., Топаж А.Г. Перспективы использования динамических моделей агроэкосистем в задачах средне- и долгосрочного планирования сельскохозяйственного производства и землеустройства // Российская сельскохозяйственная наука. 2015. № 1-2. С. 72-76.
- Новосельцев В.Н. Теория управления и биосистемы. Москва, «Наука», 1978, 320 с.
- Хворова Л.А., Топаж А.Г., Абрамова А.В., Неупокоева К.Г. Подходы к описанию симбиотической азотфиксации Часть 2. Анализ подходов к математическому моделированию процесса // Известия АлтГУ. Барнаул, 2015. №1/1 (85). С. 192–196.