

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
БОХТАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ НОСИРИ ХУСРАВА**

УДК: 519.87:632.9:634

На правах рукописи

Махмадалиев Хукмиддин Саймуминович

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ ЗАЩИТЫ ФРУКТОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ
В САДОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
(повторная защита)

Душанбе – 2021

Работа выполнена на кафедре информатики и методики преподавания информатики (ныне «Автоматизированные системы обработки информации и сетей связи») Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава.

Научный руководитель:

Юнуси Махмадюсуп Камарзода, доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Исмати Мухаммаджон, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Математика и информационная система в экономике» Института туризма, предпринимательства и сервиса

Садриддинов Махмади Махмудович, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедры «Высшая математика» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Оппонирующая организация: Технологический университет Таджикистана

Защита состоится «10» июня 2021 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-013 при Таджикском национальном университете по адресу: 734025, г. Душанбе, улица Буни-Хисорак, корпус 17, аудитория 203.

С диссертацией и её авторефератом можно ознакомиться в центральной библиотеке ТНУ по адресу: 734025, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17 и официального сайта ТНУ www.tnu.tj.

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат физико-математических
наук, доцент

Садуллоев Р. И.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Введение. Активное проникновение научных методов в практику современного промышленного и сельскохозяйственного производства в свете указаний Президента Республики Таджикистан, Лидера нации, многоуважаемого Эмомали Раҳмона стало характерной особенностью нашего общества и дало новый импульс для использования математики как инструмента преобразования нашей жизни. Эти указания особенно проявляются при рассмотрении ряда вопросов, решение которых связано с созданием строгих, научно обоснованных, современных методов математической науки в проблемах транспортировки нефти и газа, защиты и сбора планируемого урожая в агроценозах и вопросах охраны редких и исчезающих видов в заповедниках, а также проблемах устойчивости системы «Вода-населения», таяния ледников, распространения солнечного ветра и ряда других, которые играют главную роль в формировании агроценозов, заповедников, водохранилищ и других объектов, которые особенно нужны человечеству. Их выполнение связано с разработкой методов, по решению проблемы получения планируемого урожая с помощью защиты фруктовых деревьев от насекомых-вредителей с учётом требований по сохранению окружающей среды. И интересно то, что все перечисленные задачи наряду с другими задачами (например, экономическими) с учетом временных, возрастных и пространственных распределений описываются сходными уравнениями.

Захиста планируемого урожая в садовых экосистемах везде, во всех хозяйствах стран мира становится основной проблемой обеспечения населения фруктами. Следовательно, разработка методов защиты урожая от вредителей потребует прогнозирования динамики биологических популяций, сообществ и экосистем при различных режимах функционирования садовых экосистем и различных антропогенных воздействиях. Естественно, реальные эксперименты на моделируемых системах весьма дорогостоящие и продолжительны и, самое главное, очень часто трудно выполнимы. И, следовательно, возникает необходимость в разработке различного рода методов математического моделирования процессов защиты садовых экосистем. С помощью разработанных методов и математических моделей становится возможным сделать прогнозы и экспериментально изучить результаты планируемых мероприятий, которые затрагивают функционирование экологических систем, когда непосредственные эксперименты с ними невозможны. Следует заметить, что вопросам математического моделирования динамики численности биологических популяций посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных учёных. Отметим ряд замечательных работ В. Вольтерра, А. Т. Лотки, Р. М. Мэй, Ю. М. Свирежева, Д. О. Логофет и других учёных. Вопросы устойчивости экологических систем с учётом временных, возрастных и пространственных связей в основном изучены и им посвящены многочисленные публикации зарубежных и отечественных исследователей. Дальнейшей задачей исследования соответствующих систем является изучение устойчивости разработанных математических моделей временно-возрастной и

пространственных структур, которые были впервые предложены и обоснованы Юнуси М.К. в конце 70-ых годов. На основе этих моделей им предложены и исследованы также задачи управления агроценозами и охраняемыми биологическими популяциями с учётом временно – возрастной структуры и пространственных распределений. Общая задача управления агроценозами или так называемая задача защиты растений формулируется следующим образом: *задаётся некоторый планируемый уровень биомассы урожая растений (на корнях), а для остальных видов биосистемы (вредители растений, хищники и паразиты вредителей) определяются пороги вредоносности вредителей и уровни эффективности полезных насекомых, так, чтобы величина собираемого урожая была не меньше, чем величина планируемого урожая.*

Им также были получены необходимые и достаточные условия существования решения соответствующих задач, планируемых для случаев, когда между видами происходит взаимодействие по закону Вольтерра.

В данной диссертационной работе рассмотрены близкие к работам М.К. Юнуси модели защиты планируемого урожая фруктовых деревьев, однако, в отличие от них, здесь рассматриваются произвольные, более общие модели – модели с учётом трофических функций типа Оле в садовых экосистемах. Диссертация посвящена разработке моделей и методов исследования задач защиты планируемого урожая в садовых экосистемах. Следует отметить, что в садовых экосистемах главной задачей является эффективная интегрированная борьба с вредителями садовых деревьев, которая включает в себя две задачи. Первая: на основе имеющейся информации о садовом агроценозе определяются пороги вредоносности вредителей и уровни эффективности энтомофагов – полезных насекомых. В настоящее время, эти параметры определяются на местах энтомологами по проведённому учёту на определённом поле (обычно на растениях). Полученные результаты затем распространяются на части садовых экосистем. Использование методов борьбы для подавления численности вредителей садовых экосистем является второй задачей. Понятно, что этот способ определения параметров и является основой интегрированного метода борьбы для защиты планируемого урожая. Естественно, из-за недостатка и неточности информации, мы не будем иметь реальную картину садового агроценоза. И, следовательно, возникают упомянутые две задачи формализации процесса защиты: определение порогов вредоносности вредителей садовых экосистем и уровней эффективности энтомофагов – хищников и паразитов (на практике эту задачу обычно называют подготовительной задачей) и задача использования ядохимикатов против вредителей. Все это сказанное указывает на актуальность выбранной диссертационной темы.

Актуальность темы диссертационной работы состоит в разработке научных методов прогнозирования, связанных с защитой урожая фруктов в садах и обеспечением населения страны важными видами продуктов питания – фруктами. Создание научного инструмента для исследования и прогнозирования состояния экологических систем, является одной из важнейших задач на государственном уровне по выполнению продовольственной программы страны. При этом важной задачей в

современном сельскохозяйственном производстве является задача оптимизации производства планируемого урожая фруктов в садовых экосистемах (агроценозах). Отметим, что оптимизированное производство – это стремление добиваться большего меньшими усилиями. И, следовательно, это значит делать или производить больше с меньшими затратами.

Степень разработанности проблемы. Понятие моделирования садовых экосистем и задачи борьбы с вредителями являются наиболее важными задачами на современном этапе по обеспечению населения страны фруктами. Однако, в настоящее время проблема прогнозирования и оптимизации процессов, связанных с садовыми экосистемами, на основе математических методов, является недостаточно изученной. Как следствие, при этом существует проблема исследования сбора планируемого урожая и его защиты от вредителей садовых экосистем. И наиболее приемлемым инструментом решения задачи защиты планируемого урожая является применение методов математического моделирования. Применение методов математического моделирования для решения задачи защиты фруктовых деревьев в садовых экосистемах является очень важным для продовольственной программы для Республики Таджикистан.

Цель диссертационной работы. Целью данной диссертации является разработка инструмента типа компьютерных моделей на основе исследования математической модели задачи защиты фруктовых деревьев в садовых экосистемах и для выбора эффективного способа производства фруктов, с помощью созданных моделей и комплекса программ для поддержки принятия решений с ограничительными множителями. Мотивацией использования математического моделирования является наличие достаточно эффективного аппарата для принятия решений после количественного и качественного исследования садовых экосистем с помощью компьютерных программ.

Чтобы достичь поставленной цели диссертационной работы мы должны решить следующие основные задачи:

1. Изучение теоретической основы с целью построения математической модели защиты фруктовых деревьев в садовых экосистемах Республики Таджикистан на основе имеющейся информации о фруктовых деревьях садов и классификации их вредителей, полезных насекомых.

2. Создание качественно устойчивых концептуальных моделей с целью построения стабильно функционирующих реальных садовых экосистем, соответствующих математическим моделям.

3. Построение и обоснование математических моделей садовых экосистем с учетом временной и возрастной структуры, а также пространственных распределений с кусочно-непрерывными и интегрируемыми с квадратом внешними ресурсами, более реально описывающими процесс агротехнических мероприятий.

4. Оценки необходимого количества воды для определения эффективного производства фруктов, снижение порядка исходных интегро-дифференциальных уравнений по пространственным параметрам с целью упрощения решения сбора планируемого урожая.

5. Разработка и обоснование численных алгоритмов с целью создания комплекса программ и проведения вычислительных экспериментов с модельными данными садовых экосистем для решения поставленных задач. Анализ полученных компьютерных данных и расчетов, и на их основе разработки методологической основы обеспечения защиты планируемого урожая фруктов в садовых экосистемах.

Теоретическую и методологическую основу диссертационного исследования составляют труды отечественных и зарубежных учёных. При этом, фундаментальное значение имеют указания и наставления Президента Республики Таджикистан, Лидера нации, уважаемого Эмомали Рахмона по созданию садов фруктовых деревьев и их защиты от вредителей и болезней.

Практическое значение диссертации. Результаты, полученные в диссертации, значительно расширяют масштабы использования теоретического исследования математических моделей и вычислительного эксперимента и компьютерного анализа в решении проблемы выбора эффективного производства фруктов садовых экосистем Республики Таджикистан. Диссертационные теоретические выводы и предложения, а также подходы и рекомендации могут использоваться в качестве инструмента для анализа поставленных задач и выбора эффективного способа производства фруктов. Публикации по моделированию садовых экосистем и их обобщения, которые содержатся в работе, предлагаются в качестве рекомендаций производителям фруктов Республики Таджикистан. Материалы диссертационной работы могут быть использованы при чтении курсов лекций студентам прикладных специальностей: «Математическое моделирование», «Модельная экономика», а также при написании студентами курсовых и дипломных работ. Использование доказанных теоретических результатов поможет дальнейшему эффективному развитию практических моделей и выбору моделей эффективного производства фруктов, проведению оценки их реализации. Созданные прикладные программы имеют специфическое практическое значение для решения проблемы выбора эффективного производства и улучшения состояния экологических систем.

Объект исследования – Садовые экосистемы Хатлонской области Республики Таджикистан.

Предмет исследования – разработка математических моделей эффективного производства фруктов с помощью методов математического моделирования и вычислительного эксперимента.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в исследуемой области применялись самые современные методы теории дифференциальных уравнений, математического моделирования и компьютерных экспериментов. Методология, используемая в диссертационной работе, основана на создании инструмента математического моделирования.

Научная новизна исследования.

- Развита теория математического моделирования на основе использования теории качественной устойчивости экосистем и интегрально-дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка и

созданы эффективные алгоритмы решения задачи защиты предполагаемого урожая фруктов в садовых экосистемах.

- Осуществлено математическое моделирование согласно методологии определения «модель, алгоритм, программа» на примере садовых экосистем Хатлонской области Республики Таджикистан.

- Оценено необходимое количество воды для определения эффективного производства фруктов в классе интегрируемых с квадратом функций, понижен порядок исходных интегро-дифференциальных уравнений по пространственным параметрам с целью упрощения решения задачи сбора планируемого урожая.

- Составлен комплекс программ решения задачи «защиты фруктовых деревьев в садовых экосистемах».

- Проведены компьютерные эксперименты для конкретных садовых экосистем Хурсонского и Кушониянского районов Хатлонской области Республики Таджикистан.

Положения, выносимые на защиту:

1. Создание и обоснование концептуальной модели садовых экосистем Хатлонской области.

2. Разработка математической модели садовых экосистем, в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных на основе концептуальной модели.

3. Формулировка и обоснование задачи защиты растений с помощью агрегированной модели трёх трофических уровней, в садовых экосистемах Хатлонской области.

4. Оценка необходимого количества воды для определения эффективного производства фруктов в классе интегрируемых с квадратом функций, понижен порядок исходных интегро-дифференциальных уравнений по пространственным параметрам с целью упрощения решения задачи сбора планируемого урожая. Исследование решений задачи оптимального управления биологическими структурами садовых экосистем.

5. Разработка алгоритмов и комплекса программ численного решения созданных математических моделей.

6. Результаты компьютерных экспериментов и их анализ с модельными данными.

Личный вклад соискателя учёной степени состоит:

- в самостоятельном получении всех результатов диссертации;
- в исследовании разработанных математических моделей;
- в подготовке публикаций по выполненной работе и личном участии в апробации результатов исследования;
- в проведении компьютерных расчетов и анализа полученных результатов.

Достоверность результатов диссертации. Одной из первоочередных задач производителей фруктов в садовых экосистемах является выбор модели эффективного выращивания деревьев и получения урожая фруктов в садах. Эту задачу можно решить созданием инструмента в виде математического

моделирования, при этом решить задачу оптимизации защиты урожая фруктов от вредителей и болезней. В то же время требуется решить проблему, от решения которой зависит дальнейшая стратегия в задаче защиты урожая фруктов. В данном диссертационном исследовании решены вопросы математического моделирования и оптимального выбора стратегии защиты величины планируемого урожая - фруктов. Таким образом:

1. Изучены вопросы качественной устойчивости садовых экосистем и выявлены устойчивые и неустойчивые структуры фруктовых биоценозов.
2. Построены и обоснованы концептуальные и точечные математические модели садовых экосистем Хуресонского и Кушониянского районов Хатлонской области.
3. Построены и обоснованы математические модели садовых экосистем с учетом временной и возрастной структуры, а также пространственных распределений с кусочно-непрерывными и интегрируемыми с квадратом внешними ресурсами, более реально описывающими процесс агротехнических мероприятий.
4. Данна оценка необходимого количества воды для получения эффективного производства фруктов, снижен порядка исходных интегро-дифференциальных уравнений по пространственным параметрам с целью упрощения решения задачи сбора планируемого урожая. Построена и обоснована математическая модель оптимизационной задачи защиты урожая фруктовых садовых экосистем, связанной с производством фруктов в Республики Таджикистан.

5. Разработан алгоритм и создан комплекс программ для определения эффективного производства фруктов в садовых экосистемах Республики Таджикистан и проведены вычислительные эксперименты.

6. Проведён анализ полученных компьютерных экспериментов с целью разработки методологической основы обеспечения сбора и защиты планируемого урожая фруктов для населения.

Работа выполнена в соответствии со следующими разделами паспорта 05.13.18 – «математическое моделирование, численные методы и комплекс программ»:

1. Разработка и исследование новых математических методов моделирования систем, процессов и явлений, связанных с садовыми экосистемами, а также разработка новых концептуальных моделей задачи защиты фруктовых деревьев и моделирование садовых экосистем с учётом возрастной структуры.

2. Разработка условий, моделей и алгоритмов, методов исследования качественной устойчивости садовых экосистем и обоснование методов решения задачи защиты фруктовых деревьев.

3. Создание численных алгоритмов и связанных с ними комплексов программ для проведения вычислительных экспериментов в различных режимах функционирования садовых экосистем.

Апробация результатов исследования. Полученные диссертантом результаты изложены в публикациях; они докладывались на республиканских и

международных конференциях, где они были обсуждены и получили положительную оценку. Результаты исследования также обсуждались на научно-теоретических конференциях и семинарах: научно-теоретическая конференция «Роль Кулябского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки в подготовке специалистов», посвященной 70-летию университета (Куляб, 2015); 10-ая Международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии (Душанбе, 2015); республиканская научно-практическая конференция: «Опыт и перспективы использования информационных технологий в экономике» (Душанбе, 2016); республиканская научно-теоретическая конференция: «Развитие науки и образования в современном мире», посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан и 50-летию деятельности профессора Санга Холназарова (Курган-Тюбе, 2016); «Компьютерный анализ проблем науки и технологии», материалы XI-междунородной научно-теоретической конференции, посвященной 70-летию образования Таджикского национального университета и 70-летию доктора физико-математических наук, профессора Юнуси Махмадюсуфа Камарзода (Душанбе, 2018), республиканской научно-теоретической конференции, посвященной 80-летию профессора М. Исмати и «20-летию развития естественных, точных математических наук». – (Душанбе, 2020).

Публикации. Основные результаты исследования опубликованы в 15-ти научных работах, из которых 7 опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК России и ВАК Республики Таджикистан.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, двух глав, заключения, приложения и списка использованной литературы. Общий объем диссертации составляет 115 страниц, в том числе 26 рисунков и 5 таблицы. Список используемой литературы насчитывает 172 наименования.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

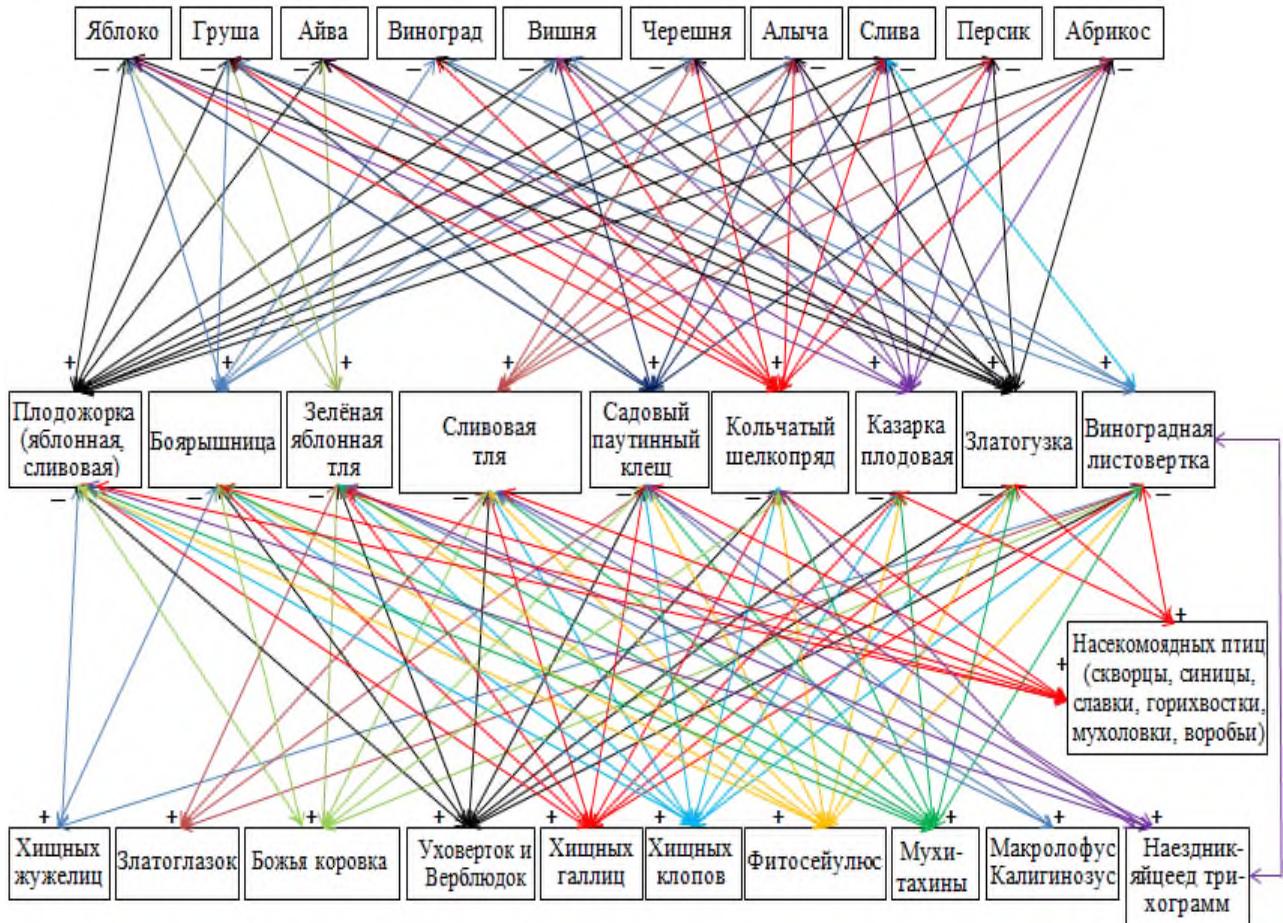
В первой главе на основе имеющей информации в литературе построены концептуальные и математические (временные, возрастные и пространственное распределенные) модели, а также с помощью метода качественной устойчивости выделены устойчивые и неустойчивые биологические структуры садового биоценоза. Сформулированы задачи защиты в общем виде и подготовительная задача защиты (т. е. определение порогов вредоносности вредителей и уровня эффективности энтомофагов). Найдены необходимые и достаточные условия разрешимости подготовительной задачи защиты растений и оптимизационных задач защиты садовых экосистем для различных классов внешних ресурсов.

В первом параграфе на основе собранной информации из разных источников* о биологических видах садовых структур Хатлонской области строится концептуальная модель садовых экосистем, и методами теории качественной устойчивости анализируются структуры, свойственные садовой

* 1) Схема взаимодействий видов по Успенскому, 1970;

2) Схема взаимодействий видов хлопкового агроценоза, по Юнуси, 1990.

экосистемы, основными уровнями которых служат: фруктовые деревья, вредители фруктовых деревьев, энтомофаги (хищники и паразиты вредителей), а также возбудители болезней. Результаты исследования имеют методологическое значение при планировании мероприятий по биологической борьбе с вредителями садовых экосистем. Общая схема взаимодействий структур садовых экосистем приведена на рисунок 1.



*Рисунок 1. Общая схема взаимодействия биологических видов садовых экосистем
Республики Таджикистан*

Соответствующая данной схеме математическая модель с учетом временно-возрастной структуры представляется в виде:

$$\begin{aligned}
 \frac{dN_0}{dt} &= Q - \sum_{i=1}^6 \alpha_i \bar{N}_i N_0, \\
 \frac{\partial N_1}{\partial t} + \frac{\partial N_1}{\partial a} &= N_1 F_1(N_0, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}), \\
 \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} &= N_2 F_2(N_0, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
 \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial N_3}{\partial a} &= N_3 F_3(N_0, N_8, N_{10}, N_{12}), \\
 \frac{\partial N_4}{\partial t} + \frac{\partial N_4}{\partial a} &= N_4 F_4(N_0, N_7, N_8, N_9, N_{10}), \\
 \frac{\partial N_5}{\partial t} + \frac{\partial N_5}{\partial a} &= N_5 F_5(N_0, N_7, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}),
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial N_6}{\partial t} + \frac{\partial N_6}{\partial a} &= N_6 F_6(N_0, N_7, N_9, N_{10}, N_{11}), \\
\frac{\partial N_7}{\partial t} + \frac{\partial N_7}{\partial a} &= N_7 F_7(N_1, N_2, N_4, N_5, N_6, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
\frac{\partial N_8}{\partial t} + \frac{\partial N_8}{\partial a} &= N_8 F_8(N_1, N_2, N_3, N_4, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
\frac{\partial N_9}{\partial t} + \frac{\partial N_9}{\partial a} &= N_9 F_9(N_1, N_2, N_4, N_5, N_6, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
\frac{\partial N_{10}}{\partial t} + \frac{\partial N_{10}}{\partial a} &= N_{10} F_{10}(N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
\frac{\partial N_{11}}{\partial t} + \frac{\partial N_{11}}{\partial a} &= N_{11} F_{11}(N_1, N_2, N_5, N_6, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
\frac{\partial N_{12}}{\partial t} + \frac{\partial N_{12}}{\partial a} &= N_{12} F_{12}(N_2, N_3, N_5, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
\frac{\partial N_{13}}{\partial t} + \frac{\partial N_{13}}{\partial a} &= N_{13} F_{13}(N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
\frac{\partial N_{14}}{\partial t} + \frac{\partial N_{14}}{\partial a} &= N_{14} F_{14}(N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
\frac{\partial N_{15}}{\partial t} + \frac{\partial N_{15}}{\partial a} &= N_{15} F_{15}(N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
\frac{\partial N_{16}}{\partial t} + \frac{\partial N_{16}}{\partial a} &= N_{16} F_{16}(N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
\frac{\partial N_{17}}{\partial t} + \frac{\partial N_{17}}{\partial a} &= N_{17} F_{17}(N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}),
\end{aligned}$$

где N_0 – масса ресурса, N_1 – биомасса яблок, N_2 – биомасса груш, N_3 – биомасса винограда, N_4 – биомасса черешни, N_5 – биомасса сливы, N_6 – биомасса абрикосов, $\bar{N}_i = \int_0^{a_{max}} N_i(a, t) da$ – суммарные по возрастам биомассы фруктовых деревьев потребляющих ресурс, N_7 – биомасса плодожорки (яблонной, сливовой), N_8 – биомасса боярышницы, N_9 – биомасса тли (яблонной, сливовой), N_{10} – биомасса кольчатого шелкопряда, N_{11} – биомасса садового паутинного клеща, N_{12} – биомасса виноградной листовертки, N_{13} – биомасса божьей коровки, N_{14} – биомасса хищных галлиц, N_{15} – биомасса насекомоядных птиц, N_{16} – биомасса хищных клопов, N_{17} – биомасса наездника-яйцееда трихограмма, F_i – трофическая функция, t -время, a -возраст, Q -скорость поступления внешнего ресурса с массой $N_0(t)$, N_i . К уравнениям (1) необходимо добавить начальные и граничные условия:

$$\begin{aligned}
N_i|_{t=0} &= N_i^0 \quad i = 0, \dots, 17 \\
N_i(0, t) &= \int_0^{a_{max}} B_i(a) N_i(a, t) da \quad i = 2, \dots, 17.
\end{aligned}$$

где $\frac{\partial F_i}{\partial N_j} = \begin{cases} \leq 0, & i > j \\ = 0, & i = j \\ \geq 0, & i \leq j \end{cases}$

Заметим, что если численность популяций зависят только от времени, то в качестве операторов левой части возьмем

$$\frac{d}{dt}.$$

Если численность еще зависит от возраста, то в качестве операторов левой части необходимо брать

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a};$$

Если же еще добавит постстранные параметры, то

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} + \sum v_j \frac{\partial}{\partial x_j} - \sum D_j \frac{\partial^2}{\partial x_j^2}$$

Для многих практических и теоретических случаев, в частности для моделирования задач планируемого урожая и вопросов качественной устойчивости целесообразен перейти от задачи (1) к агрегированному случаю, т.е. на каждом трофическом уровне будем суммировать биомассы одинаковых биологических видов. Тогда имеем:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q + F_0(N_0, N_1) \\ \frac{dN_1}{dt} = N_1 F_1(N_0, N_1, \tilde{N}_2) \\ \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} \right) N_2 = N_2 F_2(N_1, N_2, N_3) \\ \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} \right) N_3 = N_3 F_3(N_2, N_3) \\ N_0(0) = N_0^0, N_1(0) = N_1^0 \\ N_2(a, 0) = N_2^0(a), N_3(a, 0) = N_3^0(a) \\ N_i(0, t) = \int_0^{a_{max}} B_i(a) N_2(a, t) da \end{cases} \quad \text{где } \frac{\partial F_i}{\partial N_j} = \begin{cases} \leq 0, i > j \\ = 0, i = j \\ \geq 0, i \leq j \end{cases}.$$

Для временных, возрастных и пространственных задач имеем всюду уравнение с трофическими функциями типа Оле $w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^k}{w_i^1 + N_i^k}$:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} N_i &= b_i N_i + \sum_{j=1}^m \frac{a_{ij} N^{\sigma_i}}{e_{uo} + a_{ij} N^{\sigma_i}} N_j + Q_i(t), i = \overline{1, m} \\ \frac{d}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} + \sum V_i \frac{\partial}{\partial x_i} - \sum \frac{\partial}{\partial x_i} (D_i \frac{\partial}{\partial x_i}) \end{aligned}$$

с начальными и граничными условиями $N_0(0) = N_0^0$, $N_i(x, a, 0) = N_i^0$, $N_i(x, 0, t) = \int_0^{a_{max}} B_i(a) N_i(x, a, t) da$, $N_i(x, a, t) = 0$ на границе области S , $D_i = D_i(N) > 0$.

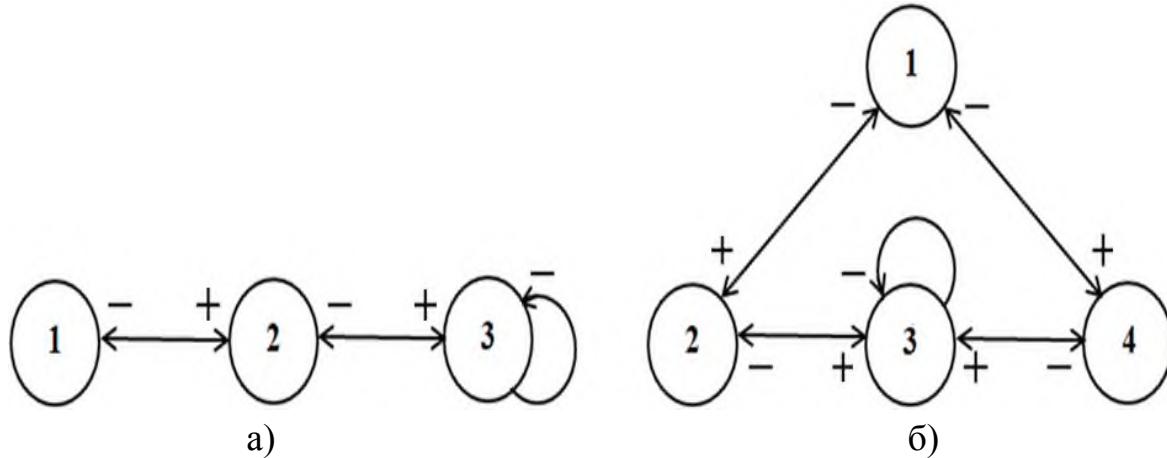
Рассмотрим несколько примеров исследования некоторых биологических сообществ на качественную устойчивость с целью определения качественно устойчивых и качественно неустойчивых структур*.

* 1) М. К. Юнуси, Х. С. Махмадалиев Концептуальная модель садовой экосистемы и ее анализ методами теории качественной устойчивости // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2014. - №1/1. – С. 5-14. ISSN 2074-1847.
 2) М. К. Юнуси (ов) Математические модели управления агроценозами и охраняемыми биологическими популяциями // Дис. на соискание уч. степени д.ф.-м.н., ВЦ АН СССР. - Москва, 1990. – 313 с.
 3) М. Юнуси, С. Гулов, Х. Махмадалиев О применение метода интегральных тождеств по части переменных к задаче сильно анизотропного взрыва типа II / Материалы республиканской научно-теоретической конференции посвященной 80-летию профессора М. Исмати и «20-летию развития естественных, точных математических наук». – Душанбе, 2020 – С. 106-111.

Начнём с рассмотрения следующей трехуровневой системы: «фруктовые деревья – вредители фруктовых деревьев – естественные враги вредителей». Матрица взаимодействия такой системы имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -a_{12} & 0 \\ a_{21} & 0 & -a_{23} \\ 0 & a_{32} & -a_{33} \end{pmatrix},$$

где $a_{ij} > 0$. Произведение пары элементов матрицы А: $(-a_{12})a_{21} < 0$ отражает характер влияния на фруктовые деревья уровней вредителей, а $(-a_{23})a_{32} < 0$ отражает характер влияния на вредных насекомых уровней полезных насекомых. Внутривидовые конкуренции среди насекомых – хищников соответствуют тому, что $-a_{33} < 0$. А соответствующий матрице А ЗОГ, т.е. знаково-ориентированный граф изображён на рисунке 2. а), и они являются качественно устойчивыми.



Легко видеть, что аналогичная схема для хлопкового агроценоза имеет вид.

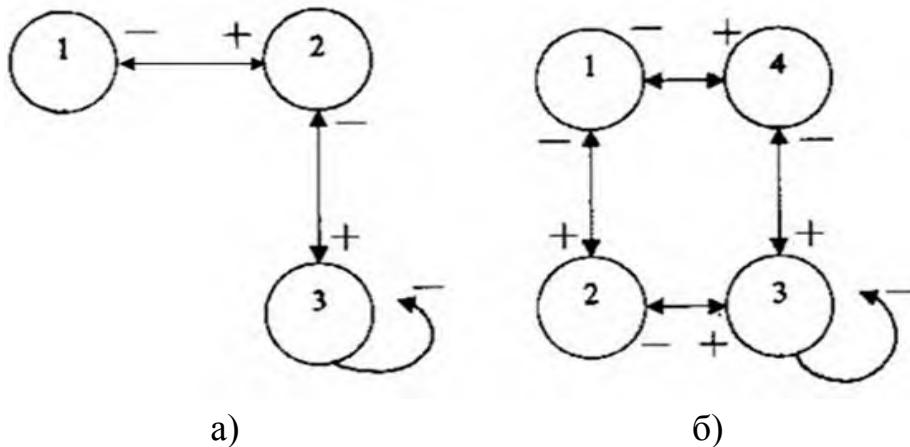


Рисунок 1.1.2. Схожесть качественно устойчивых и качественно неустойчивых биологических структур наших садовых экосистем и агроценозов по Юнуси, 1990.

Рассмотрим сложную агрегированную систему из четырех видов рисунок 2 б). Легко видеть, что выполняются все условия знак-устойчивости. В самом деле, выполнение первого и второго условия проверены; третье условие, т.е.

отсутствие циклов длины более чем два также выполняется. В ЗОГ, согласно условию 5, нарушен «черно-белый» тест. Кроме того, выполняется также и четвертое условие $\det(A) \neq 0$, т.е. определитель матрицы A не равен нулю. Следовательно, матрица сообщества A является качественно устойчивой матрицей, причем существование качественной устойчивости в основном зависит от условия внутривидовой конкуренции среди полезных насекомых.

Теперь рассмотрим сложную агрегированную систему из четырех уровней: «фруктовые деревья – вредители фруктовых деревьев – естественные враги вредителей-возбудители болезней». Соответствующая матрица взаимодействий этого сообщества имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -a_{12} & 0 & -a_{14} \\ a_{21} & 0 & -a_{23} & 0 \\ 0 & a_{32} & -a_{33} & -a_{34} \\ a_{41} & 0 & a_{43} & 0 \end{pmatrix}$$

и для этой матрицы знаково-ориентированный граф изображается в виде рисунка 2 (б). Проверим условия качественной устойчивости 1-4. Легко видеть, что 2-ое условие из-за отсутствия отношения типа (+ +) симбиоза и (- -) конкуренции выполняется, а условие 3 из-за того, что в ЗОГ существует цикл длиной 4, не выполняется. В силу не нарушения «черно-белого» теста условие 5 также не выполняется. 4-ое условие выполняется, так как определитель общей матрицы сообщества не равен нулю. Таким образом, это рассмотренное биологическое сообщество качественно – неустойчиво.

Во втором параграфе для точечных моделей, когда численность популяций зависит только от времени для моделей с учётом временно-возрастных распределений, а также для моделей с учётом временно-возрастных и пространственных распределений математически сформулирована так называемая подготовительная задача защиты фруктовых деревьев. Пусть имеется модельный агроценоз трёх трофических уровней типа «фруктовые деревья», «вредные насекомые» и «полезные насекомые», в котором поступает внешний ресурс (удобрение или вода) со скоростью Q . Биомассы (или численности) соответствующих уровней обозначим через $N_i, i = 0, 1, 2, 3$, где N_0 означает масса внешнего ресурса. В нашей работе мы будем рассматривать модели более общего типа, описывающие состояния системы фруктовых деревьев - «вредные насекомые – полезные насекомые» с учётом её возрастного состава и с учётом пространственных распределений при помощи следующих уравнений*:

* 1) Юнуси, (ов) М.К. Об одной интегро-дифференциальной задачи, связанных с биосистемой "хищник-жертва" / М. К. Юнуси (ов), У. Хайтова // Из в. АН Тадж ССР. Отд. физ.-мат. наук.-№ 3.-с. 68-70.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \quad \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - w_1(N_1) \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} + \sum_{j=1}^2 V_{2j} \frac{\partial N_2}{\partial x_j} = -D_2(a, t) N_2(x, a, t) - \\ - \int_0^\infty w(N_1(x, a, t), \tilde{z}) N_2(x, \tilde{z}, t) d\tilde{z} + \sum_{j=1}^2 d_{2j} \frac{\partial^2 N_2}{\partial x_j^2}, \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} + \sum_{j=1}^2 V_{2j} \frac{\partial N_2}{\partial x_j} = -D_2(a, t) N_2(x, a, t) + \\ + \sum_{j=1}^2 d_{2j} \frac{\partial^2 N_2}{\partial x_j^2}, \quad 0 < t < t_k, 0 < a < \infty, x \in G, \\ N_i|_{t=0} = N_i^0(x, a), \quad 0 \leq a < \infty, i = 0, 1, 2, 3, \quad \left. \frac{\partial N_i}{\partial x_j} \right|_{x_i=0, x_i=L_i} = 0, \\ N_2(x, 0, t) = \int_0^\infty B(a, t) N_2(x, a, t) da, \quad 0 < t < t_k, \\ N_3(x, 0, t) = \int_0^\infty \int_0^\infty K(a, \tilde{z}, t) w(N_2(x, a, t), \tilde{z}) N_3(x, \tilde{z}, t) d\tilde{z} da, \quad x \in \bar{G}, \end{array} \right. \quad (2)$$

$N_i = N_i(x, a, t), i = 2, 3$ – численности вредителей и хищников, $D_i(a, t)$ – коэффициенты смертности $i = 2, 3$; $B(a, t)$ – коэффициент рождаемости вредителей, $w(\cdot)$, $w_i(N)$ – функции трофических связей типа Оле $w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^{k+1}}{w_i^1 + N_i^k}$, $K(\cdot)$ – коэффициент так называемого усвоения, V_{ij} – скорости перемещения, d_{ij} – коэффициенты диффузии; $\bar{G} = G + S$, $G = \{(x_1 x_2) : 0 < x_i < L_i, i = 1, 2\}$, S – граница области G .

Всюду в дальнейшем будем предполагать выполнение **условия (*)**:

1. $N_i = \max_{x \in \bar{G}} N_i(x, a, t), i = 2, 3$ (прежние обозначения сохраним), и в точках максимума выполнена также гипотеза:

2. $\sum_{j=1}^2 d_{ij} \frac{\partial^2 N_i}{\partial x_j^2} = -\delta N_i, \quad m.e. \quad \text{диффузионные обмены происходят пропорционально численности с коэффициентом } \delta > 0.$

Пусть имеют место условие (*), тогда (2) в результате несложных преобразований и в предположении об отсутствии паразитизма, сводим к более простой задаче типа:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, N_i|_{t=0} = N_i^0, i = \overline{0,3}; \\ \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - w_1(N_1) \tilde{N}_2 - m_1 N_1 \\ \frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial \alpha} = k_1 w_1(N_1) M_2 - w_2(M_2) \tilde{M}_3 - m_2 M_2 - \delta M_2, \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial M_3}{\partial \alpha} = k_2 w_2(M_2) M_3 - \varepsilon M_3^2 - m_3 M_3 - \delta M_3, \quad \delta > 0 \\ N_2(0, t) = \int_0^\infty B_2(\xi, t, N_1) M_2(\xi, t) d\xi, \\ N_3(0, t) = \int_0^\infty B_3(\xi, t, \tilde{M}_2) M_3(\xi, t) d\xi, \\ w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^k}{w_i^1 + N_i^k}, \end{array} \right. \quad (3)$$

которая и является предметом нашего исследования в классе агрегированных моделей в областях, где имеется максимум вредителей. Более общая задача, чем (2), имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q - F_0(N_0, N_1), \\ \frac{dN_1}{dt} = N_1 F_1(N_0, N_1, \tilde{N}_2), \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial \alpha} = N_2 F_2(N_1, N_2, \tilde{N}_3), \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial N_3}{\partial \alpha} = N_3 F_3(N_2, N_3), \end{array} \right. \quad (4)$$

$$N|_{t=0} = N_i^0, \quad i = 0, 1, 2, 3. \quad (5)$$

$$N|_{a=0} = \int_0^\infty B_i(N, \xi, t) d\xi, \quad i = 2, 3, \quad 0 \leq t \leq t_k, \quad (6)$$

где $B_i = B_i(N, a, t) \geq 0$ – функция рождаемости насекомых, функции $F_i = F_i(\cdot)$ – соответствующие удельные скорости роста биологических видов агроценоза, $\tilde{N}_i = \tilde{N}_i(t), i = 2, 3$ суммарные численности соответственно вредных и полезных насекомых по тем возрастам, которые вредят на садовых культурах и уничтожают вредителей (для точечных моделей $i = 2, 3, t$ – время, $t \in [0, t_k], t_k = const < \infty$, a – возраст, $0 \leq a < \infty$). Для модельного агроценоза (2) задаются начальные условия.

Сформулируем подготовительную задачу защиты в терминах точечного модельного агроценоза (3,4-6) т. е.

$$N_i(a, t) \equiv N_i(t). \quad (7)$$

Введём $N_i^\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau N_i(t) dt, i = \overline{1,3}$, $\tau > 0$. Пусть N_1^p заданный планируемый уровень биомассы фруктов садовых экосистем (менее которого не должна стать ее средняя биомасса):

$$N_1^\tau \geq N_1^p, \quad N_1^p \in [N_1^{\min}, N_1^{\max}], \quad (8)$$

и рассмотрим неравенства:

$$N_2^\tau \leq N_2^p, \quad N_3^\tau \geq N_3^p, \quad (9)$$

где N_2^p, N_3^p неизвестные положительные числа, N_1^{\min}, N_1^{\max} - неотрицательные константы. Требуется найти N_2^p, N_3^p по заданному значению N_1^p . Если подготовительная задача не имеет решения, то необходимо решить оптимизационную задачу. Математически это состоит во введении членов - $\mu(D)N_2, \alpha\mu(D)N_3 + PN_3$ соответственно в правые части 3-го и 4-го уравнений системы (2-6). Здесь $\mu(D)$ функция «доза-эффект» от применения дозы $D=D(t)$, $P=P(t)$ – биологическое управление, т.е. удельная скорость выпускаемых полезных насекомых на поле. Агротехнические мероприятия будут учтены введением члена $Q = Q(t)$ в правую часть 1-го уравнения (2-6). Предполагается, что параметры управления $u = (Q, P, D) \in U$, где U – допустимое множество (кусочно-непрерывные и ограниченные управлени). Пусть вышесказанные изменения произведены в модельном агроценозе. Тогда, задача оптимального управления модельным агроценозом (2-6) состоит из нахождении такого управления $u^* = u(t) \in U$, для которой функционал стоимости:

$$\left. \begin{aligned} I(u) &= \int_0^{t_k} f^0(N_1, N_2, N_3, u) dt + \varphi(N_1, N_2, N_3, u)|_{t_k} \\ \text{или} \\ I(u) &= \int_0^{t_k} \int_0^\infty f^0(N_1, N_2, N_3, u) da dt + \int_0^\infty \varphi(N_1, N_2, N_3, u) da|_{t_k} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

на решениях задачи (6) (с учётом введенных изменений в правых частях) принимал бы своё наименьшее значение. В функционал $I(u)$ функции $f^0(\cdot)$, $\varphi(\cdot)$ характеризуют суммарный вред (или ущерб) со стороны насекомых вредителей, затраты на производства биологического вида с целью управления и затраты на ядохимикаты и др., причём

$$\left\{ \begin{aligned} f^0(\cdot) &= \sum_{i=1}^3 f_i^0(N) + C_1 P + C_2 D \geq 0 \quad f_i^0(N) \geq 0, \\ \varphi^0(\cdot) &= \sum_{i=1}^3 \varphi_i^0(N) + C_1 P + C_2 D \geq 0 \quad \varphi_i^0(N) \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, \end{aligned} \right.$$

где $C_i = \text{const} > 0$. Функция «доза-эффект» $\mu = \mu(D)$ удовлетворяет следующим условиям:

$$\mu(D) > 0, \quad \frac{d\mu}{dD} > 0, \quad \frac{d^2\mu}{dD^2} \leq 0.$$

Третий параграф посвящён решениям подготовительной задачи в случае, когда модельный агроценоз находится в стационарном режиме. Следуя работам профессора Юнуси, доказывается следующая теорема.

Теорема 1. Пусть взаимодействия между видами агроценоза (2-3), (4) происходит по закону Вольтерра, т.е.

$$\begin{cases} F_0(\cdot) = \alpha_0 N_0 N_1, \\ F_1(\cdot) = k_0 \alpha_0 N_0 - \alpha_1 \tilde{N}_2 - m_1, \\ F_2(\cdot) = k_1 \alpha_1 N_1 - \alpha_2 \tilde{N}_3 - m_2, \\ F_3(\cdot) = k_2 \alpha_2 N_2 - \varepsilon N_3 - m_3, \quad m_i > 0, \quad i = 1,2,3, \end{cases} \quad (11)$$

тогда для того, чтобы имело место соотношение (8) необходимо и достаточно, чтобы имело место (9), причём

$$\begin{cases} N_2^p = \frac{k_0 Q}{\alpha_1 N_1^p} - \frac{m_1}{\alpha_1}, \quad N_3^p = \frac{k_1 \alpha_1}{\alpha_2} N_1^p - \frac{m_2}{\alpha_2}, \\ N_1^{min} = \frac{m_2}{k_1 \alpha_1}, \quad N_1^{max} = \frac{k_0 Q}{m_1}. \end{cases} \quad (12)$$

Заметим, что $N_1^p = \frac{k_0 Q}{m_1}$ достигается только в системе «ресурс садовых культур», а $N_1^p = \frac{m_2}{k_1 \alpha_1}$ в системе «ресурс садовых культур – вредные насекомые». Для существования решения подготовительной задачи управления агроценозами необходимо, чтобы $Q > \frac{m_1 m_2}{k_0 k_1 \alpha_1}$. Здесь же, в общем случае, предложен алгоритм решения рассматриваемой задачи и приведён ряд полезных замечаний.

Четвёртый параграф посвящён нестационарной задаче защиты садовых культур в рамках точечных моделей и в случае, когда взаимодействие между видами происходит по закону Волтерра, доказана теорема о необходимых и достаточных условиях существования решения задачи защиты садовых культур на достаточно большом промежутке времени.

В пятом параграфе рассматриваются задачи защиты садовых культур в случае, когда трофическая функция системы «вредные насекомые–полезные насекомые» для биологической системы «фруктовые деревья – вредители фруктовых деревьев–естественные враги вредителей» является достаточно общей. При этом рассматривается следующая модельная биосистема:

$$\begin{cases} \dot{N}_0 = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \\ \dot{N}_1 = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - \alpha_1 N_1 \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \dot{N}_2 = k_1 \alpha_1 N_1 N_2 - w(N_2) N_3 - m_2 N_2, \\ \dot{N}_3 = k_2 w(N_2) N_3 - m_3 N_3, \\ N_1^\tau \geq N_1^p, \quad N_2^\tau \leq N_2^p, \quad N_3^\tau \geq N_3^p. \end{cases} \quad (13)$$

Здесь $w = w(N)$ трофическая функция взаимодействия вредных и полезных насекомых с обычными свойствами типа Оле:

$$w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^k}{w_i^1 + N_i^k}. \quad (14)$$

Теорема 2. Предположим, что $\frac{1}{t-\tau} \int_{\tau}^t N_1(t) dt \geq N_1^p$ и $w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^k}{w_i^1 + N_i^k} <= \bar{a} < \infty$.

Тогда, для того, чтобы задача планируемого урожая имела решение $N_1^\tau \geq N_1^p$, $N_1^p \in [N_1^{min}, N_1^{max}]$, необходимо и достаточно, чтобы выполнялись условия:

$$\begin{cases} N_0(t) \leq \frac{Q}{\alpha_0 N_1^p}, N_2^\tau \leq N_2^p, \\ N_3^\tau \geq N_3^p, \quad \text{где } N_2^p = \frac{k_0 Q}{\alpha_1 N_1^p} - \frac{m_1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_1 \tau} \ln \frac{N_1(\tau)}{N_1(0)}, \\ N_3^p = \frac{k_1 \alpha_1}{\bar{\alpha}} N_1^p - \frac{m_2}{\bar{\alpha}} - \frac{1}{\bar{\alpha} \tau} \ln \frac{N_2(\tau)}{N_2(0)}, \end{cases} \quad (15)$$

N_1^p - произвольное положительное число из рассматриваемого промежутка $[N_1^{\min}, N_1^{\max}]$.

Далее, в этом параграфе рассматривается точечная модельная биосистема типа (13) в которой для всех биологических видов трофические функции берутся произвольными со свойствами (14) и для неё получены необходимые и достаточные условия существования решения задачи защиты растений в садовых экосистемах.

Шестой параграф посвящён получению необходимых и достаточных условий существования и определения решения задачи защиты растений с учётом возрастной структуры вредных и полезных насекомых, при произвольных трофических функциях. Модельная система при этом имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \\ \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - w_1(N_1) \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} = k_1 w_1(N_1) N_2 - w_2(N_2) \tilde{N}_3 - m_2 N_2, \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial N_3}{\partial a} = k_2 w_2(N_2) N_3 - \varepsilon N_3^2 - m_3 N_3, \\ N_i|_{t=0} = N_i^0, i = \overline{0,3}; \\ N_2(0, t) = \int_0^\infty B_2(\xi, t, N_1) N_2(\xi, t) d\xi, \\ N_3(0, t) = \int_0^\infty B_3(\xi, t, \tilde{N}_2) N_3(\xi, t) d\xi, \end{cases}$$

где $B_2(\cdot)$, $B_3(\cdot)$ являются соответственно коэффициентами рождаемости вредных и полезных насекомых.

Далее, в этом параграфе рассматривается задача оптимального управления, которая связана с проблемой защиты растений садовых экосистем с учетом возрастной структуры у насекомых. Математически эта задача формулируется следующим образом.

Пусть функции $N_i = N_i(t)$, $i = 0, 1$; $N_i = N_i(a, t)$, $i = 2, 3$ удовлетворяют условиям:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - F_0(N_0, N_1), \\ \frac{dN_1}{dt} = N_1 F_0(N_0, N_1, \tilde{N}_2), \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} = N_2 F_2(N_1, N_2, \tilde{N}_3) - \mu(D) N_2, \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial N_3}{\partial a} = N_3 F_3(N_2, N_3) - \alpha \mu(D) N_3 + P N_3, \\ N_i|_{t=0} = N_i^0, i = \overline{0,3}; \\ N_j(0, t) = \int_0^\infty B_j(N_j, \xi, t) d\xi, j = 2, 3, \end{cases}$$

где $u = (Q, P, D) \in U = \left\{ \begin{array}{l} u = u(t): u_{min} \leq u(t) \leq u_{max} \\ u(t) - \text{кусочно - неперерывная функция} \end{array} \right\}$.

Тогда задача оптимального управления состоит в нахождении такого $u^* \in U$, для которого

$$I(P, D, Q) = \int_0^{t_k} \int_0^\infty f^0(N_1, N_2, N_3, u) da dt + \int_0^\infty \varphi(N_1, N_2, N_3, u) da|_{t_k}$$

принимает свое минимальное значение. Используя принцип максимума для данной задачи, получено необходимое условие минимума для оптимального управления.

В седьмом параграфе исследуются оптимизационные задачи защиты урожая фруктовых деревьев садовых экосистем, формулируется принцип максимума Понtryгина для задачи оптимизации защиты растений в садовых экосистемах:

Теорема 3. Пусть функции $f^0(\cdot), f^1(\cdot), F(\cdot), N(\cdot), B(\cdot)$ достаточно гладкие и для них и для любого $u \in U$ существует единственное решение задачи, тогда для того, чтобы $u^* = u^*(t) \in U$ являлся оптимальным управлением задачи

$$\begin{cases} I(u) = \int_0^{t_k} \int_0^\infty f^0(a, N, u) da dt + \int_0^\infty f^1(a, N_2, u)|_{t_k} da, \\ \partial_{ta} N = F(N, a, t, u_0), 0 < a < \infty, 0 < t < t_k, \\ N(a, 0) = N_0(a), 0 \leq a < \infty, \\ N(0, t) = \int_0^\infty B(N(\xi, t), \xi, t, u_k) d\xi, 0 \leq t \leq t_k, \end{cases}$$

необходимо выполнение неравенства:

$$\int_0^{t_k} \int_0^\infty \left\{ \left[\frac{\partial f^0}{\partial u_0} + \left(\frac{\partial F}{\partial u_0} \right)^* \Psi \right] (u_0 - u_0^*) + \left[\frac{\partial f^0}{\partial u_1} + \left(\frac{\partial F}{\partial u_1} \right)^* \Psi|_{\alpha=0} \right] (u_1 - u_1^*) \right\} da dt \geq 0$$

при всех $u \in U$. Здесь $\Psi = \Psi(a, t)$ является решением сопряженной системы:

$$\begin{cases} (\partial_{ta})^* \Psi = -\frac{\partial H}{\partial N} \\ \Psi(\alpha, t_k) = -\frac{\partial f^1}{\partial N}|_{t_k}, \Psi(\infty, t) = 0, \end{cases}$$

где $H(\cdot) = (F, \phi) + (B, \Psi|_{\alpha=0}) - f^0(\cdot)$.

Восьмой параграф посвящен исследованию решения одной нелинейной задачи, связанной с системой типа «полезные насекомые – вредные насекомые», с учетом возрастного состава и пространственного распределения. Обосновываются соответствующие математические задачи. Математическая модель, описывающая состояния системы «полезные насекомые – вредные насекомые», с учётом ее возрастного состава и с учётом пространственных распределения задаётся при помощи следующих уравнений*:

* 1) Юнуси, (ов) М.К. Об одной интегро-дифференциальной задачи, связанных с биосистемой "хищник-жертва" / М.К. Юнуси (ов), У. Хайтова // Из в. АН Тадж ССР. Отд. физ.-мат. наук.-1985.-№ 3.-с. 68-70.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \quad \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - w_1(N_1) \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} + \sum_{j=1}^2 V_{2j} \frac{\partial N_2}{\partial x_j} = -D_2(a, t) N_2(x, a, t) - \\ - \int_0^\infty w(N_1(x, a, t), \tilde{z}) N_2(x, \tilde{z}, t) d\tilde{z} + \sum_{j=1}^2 d_{2j} \frac{\partial^2 N_2}{\partial x_j^2}, \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} + \sum_{j=1}^2 V_{2j} \frac{\partial N_2}{\partial x_j} = -D_2(a, t) N_2(x, a, t) + \\ + \sum_{j=1}^2 d_{2j} \frac{\partial^2 N_2}{\partial x_j^2}, \quad 0 < t < t_k, 0 < a < \infty, x \in G, \\ N_i|_{t=0} = N_i^0(x, a), \quad 0 \leq a < \infty, i = 0, 1, 2, 3, \quad \left. \frac{\partial N_i}{\partial x_j} \right|_{x_i=0, x_i=L_i} = 0, \\ N_2(x, 0, t) = \int_0^\infty B(a, t) N_2(x, a, t) da, \quad 0 < t < t_k, \\ N_3(x, 0, t) = \int_0^\infty \int_0^\infty K(a, \tilde{z}, t) w(N_2(x, a, t), \tilde{z}) N_3(x, \tilde{z}, t) d\tilde{z} da, \quad x \in \bar{G}, \end{array} \right.$$

$N_i = N_i(x, a, t)$, $i = 2, 3$ – численности вредителей, хищников и паразитов, $D_i(a, t)$ – коэффициенты смертности $i = 2, 3$; $B(a, t)$ – коэффициент рождаемости вредителей, $w(\cdot)$ – функция трофических связей типа Оле; $K(\cdot)$ – коэффициент так называемого усвоения паразитами пищи, V_{ij} – скорости перемещения, d_{ij} – коэффициенты диффузии; $\bar{G} = G + S$, $G = \{(x_1 x_2) : 0 < x_i < L_i, i = 1, 2\}$, S – граница области G .

Предположим выполнение следующих условий (*). Тогда наша задача в результате несложных преобразований сводится к задаче типа без первых и вторых производных, $\frac{\partial N_i}{\partial x_i} = 0$, $\frac{\partial^2 N_i}{\partial x_i^2} \leq 0$ в случае максимума и $\frac{\partial N_i}{\partial x_i} = 0$ и $\frac{\partial^2 N_i}{\partial x_i^2} \geq 0$ в случае минимума. Следовательно, введя члены $\delta_i M_i$ в правых частях задачи, имеем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \quad N_i|_{t=0} = N_i^0, \quad i = \overline{0, 3}; \\ \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - w_1(N_1) \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial a} = k_1 w_1(N_1) M_2 - w_2(M_2) \tilde{M}_3 - m_2 M_2 - \delta M_2, \quad \delta - const > 0, \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial M_3}{\partial a} = k_2 w_2(M_2) M_3 - \varepsilon M_3^2 - m_3 M_3 - \delta M_3, \\ N_2(0, t) = \int_0^\infty B_2(\xi, t, N_1) M_2(\xi, t) d\xi, \\ N_3(0, t) = \int_0^\infty B_3(\xi, t, \tilde{M}_2) M_3(\xi, t) d\xi. \end{array} \right.$$

Далее исследуются вопросы садовой модельной экосистемы с учётом возрастного состава и пространственного распределения, связанные с оптимизацией процесса защиты фруктовых деревьев и их урожая.

Теорема 4. Предположим, что существует функция $w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^{k+1}}{w_i^1 + N_i^k}$, $0 < \max_N \frac{w_i(N_i(a,t))}{N_i(a,t)} \leq b < \infty$, $b = const$, $i = 1, 2$. Тогда, для того чтобы имело место $\frac{1}{\tau} \int_0^\tau N_1(t) dt \geq N_1^P$, $N_1^P \in [N_1^{min}, N_1^{max}]$, необходимо и достаточно, чтобы выполнялись следующие неравенства:

$$\begin{cases} N_0(0) = \frac{Q}{\alpha_0 N_1^p}, 0 \leq t \leq \tau, \\ \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \tilde{N}_2(t) dt \leq N_2^p, \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \tilde{N}_3(t) dt \geq N_3^p, \\ N_2^p \leq \frac{k_0 Q}{\bar{\alpha}_1 N_1^p} - \frac{m_1}{\bar{\alpha}_1} - \frac{1}{\bar{\alpha}_1 \tau} \frac{\ln \tilde{N}_1(\tau)}{N_1(0)}, \\ N_3^p \leq \frac{k_2 \bar{\alpha}_1}{\bar{\alpha}_2} N_1^p - \frac{m_2}{\bar{\alpha}_2} \frac{1}{\bar{\alpha}_2 \tau} \max_\alpha \frac{\ln \tilde{N}_2(\tau)}{N_2(0)}. \end{cases}$$

В девятом параграфе рассматривается общая задача защиты фруктовых деревьев и приводятся новые результаты, связанные с выбором внешних ресурсов. Предполагаются, что они принадлежат классу кусочно-непрерывных функций или функции, интегрируемые с квадратом. Для них доказывается существование планируемого урожая.

1.9.1. Если $Q = Q(t) \in C$, то тогда в качестве Q в решении подготовительной задачи, т.е. в выражениях для N_1^p, N_2^p, N_3^p следует брать $\bar{Q} = \max_t \max_i Q_i(t)$. Действительно, так как

$$\begin{aligned} N_0(t) &= N_0(0) \exp \left(-\alpha_0 \int_0^t N_1(\xi) d\xi \right) + \\ &+ \int_0^t Q(\xi) \exp \left(-\alpha_0 \int_\xi^t N_1(\xi) d\xi \right) d\xi \leq \left[N_0(0) - \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 N_1^p} \right] * \\ &* \exp(-\alpha_0 N_1^p t) + \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 N_1^p} = \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 N_1^p}, 0 \leq t \leq \tau, \end{aligned}$$

то решение подготовительной задачи будет зависеть только от \bar{Q} .

1.9.2. Пусть $Q \in L_2$, тогда

$$\begin{aligned} N_0(t) &\leq N_0(0) \exp(-\alpha_0 N_1^p t) + \sqrt{\int_0^t Q^2 d\xi} \sqrt{\int_0^t \exp(-2\alpha_0 N_1^p (t-\xi)) d\xi} \leq \\ &\leq N_0(0) \exp(-\alpha_0 N_1^p t) + \sqrt{\frac{\int_0^t Q^2 d\xi}{2\alpha_0 N_1^p}} \sqrt{1 - \exp(-2\alpha_0 N_1^p t)} \end{aligned}$$

В силу того, что $\sqrt{1-x} \leq 1 - \frac{x}{2}$, $0 < x < 1$, то, введя обозначение

$\bar{Q} = \sqrt{\frac{\alpha_0}{2} \int_0^t Q^2 d\xi}$, $\bar{N}_1^p = \sqrt{N_1^p}$, $\varphi(t) = N_0(0) - \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 \bar{N}_1^p} e^{-\alpha_0 \bar{N}_1^p t}$ из последнего неравенства, получим $N_0(t) \leq \varphi(t) e^{-\alpha_0 \bar{N}_1^p t} + \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 \bar{N}_1^p}$. Если $\bar{Q}(t) = \bar{Q}(\tau) \exp(-\alpha_0 N_1^{\tau}(\tau - t))$ и $N_0(0) - \frac{\bar{Q}(\tau)}{\alpha_0 \bar{N}_1^p} e^{-\alpha_0 \bar{N}_1^p t}$, то $\varphi(t) \leq 0$ и, следовательно, $N_0(t) \leq \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 \bar{N}_1^p}$ при любом t , $0 \leq t \leq \tau$. Таким образом, решение подготовительной задачи в данном случае будет зависеть от $Q_{max} = \max_t \bar{Q}(t)$ и \bar{N}_1^p .

Во второй главе рассматриваются вопросы создания компьютерных алгоритмов для проведения экспериментов определения параметров защиты фруктовых деревьев садовых экосистем.

В первом параграфе этой главы изучаются вопросы обеспечения необходимого количества воды в проблеме устойчивого развития «водные ресурсы-население» описываемого системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных с интегральным членом на границе области

$$\frac{\partial N_0}{\partial t} + v_0 \frac{\partial N_0}{\partial x} = Q - F_0(N_0, \bar{N}),$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial a} + \sum_{i=1}^2 V_i \frac{\partial N}{\partial x_i} = F(N_0, N) + \sum_{i=1}^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_i(N) \frac{\partial N}{\partial x_i} \right),$$

$$x \in G, 0 < a < \infty, 0 < t \leq t_k$$

$$N_0(x, 0) = N^0_0, \quad N(x, a, 0) = N_0(x, a), x \in \bar{G}, 0 \leq a < \infty,$$

$$N(x, 0, t) = \int_0^{a_{max}} B(N(x, \xi, t)) d\xi,$$

$$N|_s = 0, \text{ или } \left(D_i(N) \frac{\partial N}{\partial x_i} - V_i N|_s = 0 \right),$$

где $B_i(\cdot)$ – коэффициенты рождаемости. На основе данной модели и уравнения Сен

$$\text{Венана получена формула расхода воды } Q(x, t) = c_0 e^{\delta \max(t - \frac{x}{u})} + \sum_{j=1}^{\infty} c_j e^{\alpha_j(t - \frac{x}{u})} \cos \beta_j(t - \frac{x}{u})$$

из которой выбирается необходимое количество воды для функционирования садовой экосистемы.

Во втором параграфе этой главы приводятся алгоритм решения исходной задачи защиты фруктовых деревьев садовых экосистем в случае максимально агрегированной частной задачи для фруктовых деревьев садовых экосистем с обычными пищевыми функциями. Полученная разностная схема решает указанную выше задачу локальным одномерным методом с переменными подходами на каждом уровне временной оси.

$$\begin{cases} \bar{a}_{ij} \bar{Y}_{i+1j} - \bar{C}_{ij} \bar{Y}_{ij} + \bar{b}_{ij} \bar{Y}_{i-1j} = -\bar{f}_{ij}, & t' = t + \frac{\tau}{2} \\ a_{ij} Y_{ij+1} - C_{ij} Y_{ij} + b_{ij} Y_{ij+1} = -f_{ij}, & t' = t + \tau \end{cases}, \quad (16)$$

$$\bar{a}_{ij} = \frac{\tau}{2h_1^2} D, \bar{b}_{ij} = \frac{\tau}{2h_1^2} D, \bar{C}_{ij} = \bar{a}_{ij} + \bar{b}_{ij},$$

$$\bar{f}_{ij} = Y_{ij}, a_{ij} = \frac{\tau}{2h_2^2} D, f_{ij} = \bar{Y}_{ij},$$

$$a_{ij} = \frac{\tau}{2h_2^2} D, b_{ij} = \frac{\tau}{2h_2^2} D, C_{ij} = a_{ij} + b_{ij},$$

для всех $i = \overline{1, N_1}$, $j = \overline{j_0 + 1, N_2}$, $\bar{a}_{0j} = 1$, $\bar{b}_{0j} = 1$, $\bar{a}_{N_1+1j} = 0$, $\bar{b}_{N_1+1j} = 1$,

$$\bar{C}_{0j} = 1 + \frac{h_1^2}{2\tau D}, \bar{C}_{N_1+1j} = 1 + h_1^2 / 2\tau D, \bar{f}_{0j} = \frac{h_1^2}{2\tau D} \bar{Y}_{0j}, \bar{f}_{N_1+1j} = \frac{h_1^2}{2\tau D} \bar{Y}_{N_1+1j}$$

для всех $j = \overline{j_0, N_2 + 1}$, $a_{ij_0} \equiv 1$, $b_{ij_0} \equiv 1$, $C_{ij_0} = 1 + \frac{h^2}{2\tau D}$

$$a_{iN_2+1} \equiv 0, C_{iN_2+1} = 1 + \frac{h_2^2}{2\tau D}, f_{iN_2+1} = \frac{h_2^2}{2\tau D} \bar{Y}_{iN_2+1}, f_{j_0} = \frac{h_2^2}{2\tau D} \bar{Y}_{j_0},$$

$i = \overline{0, N_1 + 1}$. Система (16) решается методом прогонки.

Третий параграф данной главы посвящен вопросам обоснования и создания алгоритмов численного моделирования садовых экосистем для точечных моделей на основе обобщённого метода наименьших квадратов. Здесь же методами компьютерного моделирования экосистем анализируются структуры, свойственные садовым экосистемам, основными уровнями которой служат: фруктовые деревья, вредители фруктовых деревьев, энтомофаги (хищники и паразиты вредителей), а также возбудители болезней. Результаты имеют методологическое и практическое значение при планировании мероприятий биологической борьбы с вредителями садовых экосистем.

Приводится алгоритм численного решения определения биомассы и численности биологических структур садовых экосистем *Хуресон* и *Кушониён* с целью сбора планируемого урожая. На основе схемы полученной в параграфе 1 главы 1 имеем:

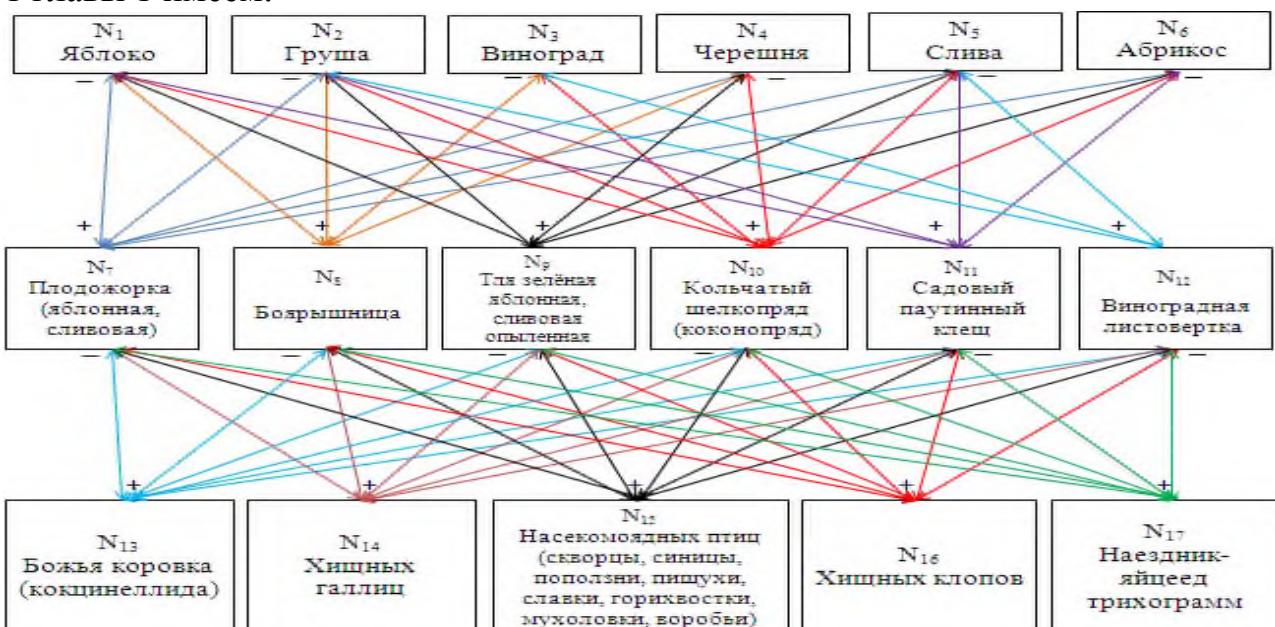


Рис. 2. Общая временная –возрастная схема взаимодействий видов садовых экосистем *Хуресон* и *Кушониён*

Соответствующие уравнения для данной схемы, представленной на рисунки 2. с учётом временного и возрастного состава, можно представить в виде

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - \sum_{i=1}^6 \alpha_i \bar{N}_i N_0, \\ \frac{\partial N_i}{\partial t} + \frac{\partial N_i}{\partial a} = u_i F_i(\cdot), & i = 1, \dots, 17. \end{cases}$$

Написанная заменой переменных типа $t = a + \xi$, $u_i(a, \xi) = N_i(a, a + \xi)$ $i = 2, \dots, 17$ сводится к следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - \sum_{i=1}^6 \alpha_i \bar{N}_i N_0, \\ \frac{\partial u_i}{\partial a} = u_i F_i(\cdot), & i = 1, \dots, 17. \end{cases}$$

Здесь $F_i(\cdot)$ являются трофическими функциями i -го уровня.

Четвёртый параграф данной главы посвящен алгоритму численного решения задачи определения неизвестных коэффициентов садовых экосистем, методом, предложенным Юнуси для биологических популяций

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} N_i &= b_i N_i + \sum_{j=1}^m \frac{a_{ij} N^{\sigma_j}}{b_{uo} + a_{ij} N^{\sigma_j}} N_j + Q_i(t), \quad i = \overline{1, m} \\ \frac{d}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} + \sum V_i \frac{\partial}{\partial x_i} - \sum \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_i \frac{\partial}{\partial x_i} \right). \end{aligned}$$

Мы будем использовать его для садовой экосистемы Хатлонской области Республики Таджикистан.

В пятом параграфе рассматривается метод интегральных тождеств по части переменных, для снижения порядка уравнения, для модельных задач, описываемых состояние биологических систем с учетом временных, возрастных и пространственно-распределённых популяций.

Приведен конкретный пример сильно- огромных вспышек описываемыми рассмотренными уравнениями, описывающий состояние скопленных вредителей.

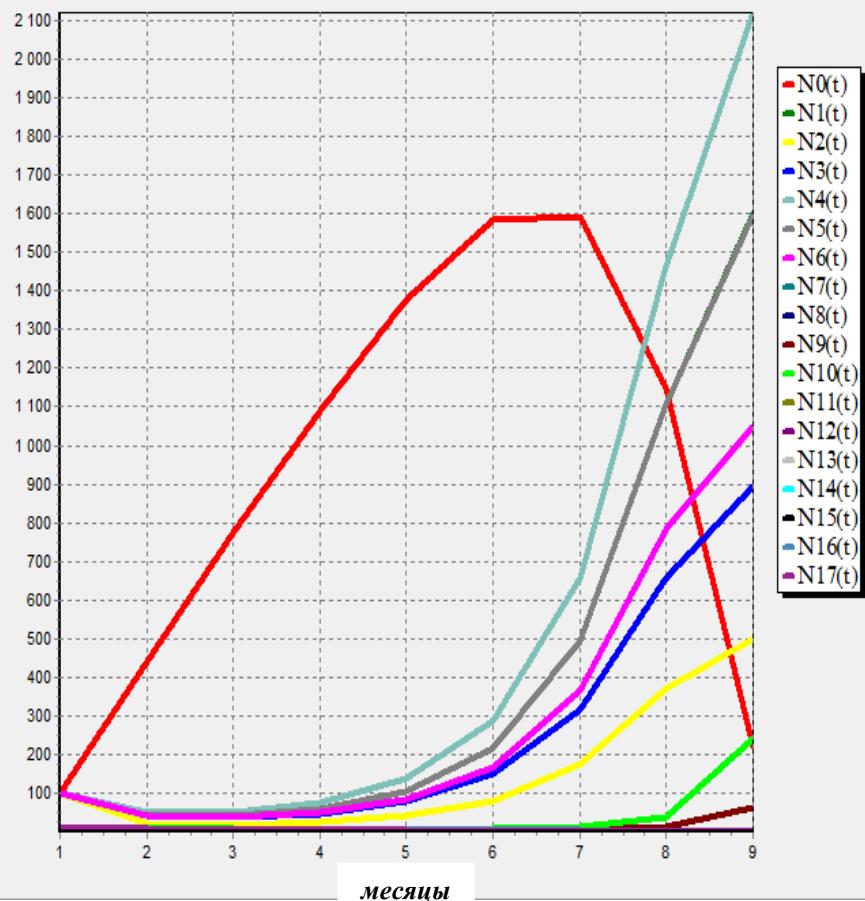
В шестом параграфе приведены результаты вычислительных экспериментов с модельными биологическими системами. Большинство экспериментов проведены для системы хищник – жертва, где жертвой является паутинный клещ, а хищниками – его естественные врачи – энтомофаги. Из анализа численных результатов следует, что они удовлетворительно аппроксимируют натуральные данные.

Численные эксперименты с общей модели взаимодействия биологических видов садовых экосистем, состоящих из 17 модельных уравнения.

В компьютерных экспериментах 1-4 по оси ординат расположены биомасса или численность биологических видов садовых экосистем, а по оси абсцисс расположено время в сутках или в месяцах.

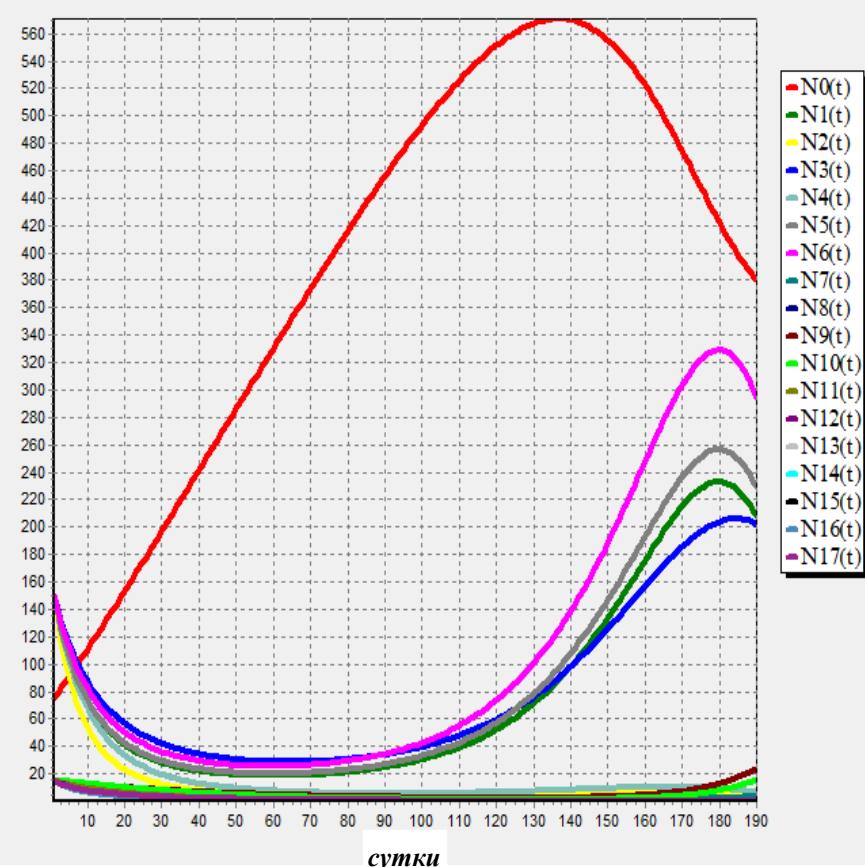
Эксперимент 1

- N0(t)-Ресурс
- N1(t)-Яблоко
- N2(t)-Груша
- N3(t)-Виноград
- N4(t)-Черешня
- N5(t)-Слива
- N6(t)-Абрикос
- N7(t)-Плодожарка
- N8(t)-Боярышница
- N9(t)-Тля
- N10(t)-Колчатый шелкопряд
- N11(t)-Садовый паутинный клещ
- N12(t)-Виноградная листовертка
- N13(t)-Божья коровка
- N14(t)-Хищных галиц
- N15(t)-Насекомоядных птиц
- N16(t)-Хищных клопов
- N17(t)-Наездник-яйцеед трихограмм



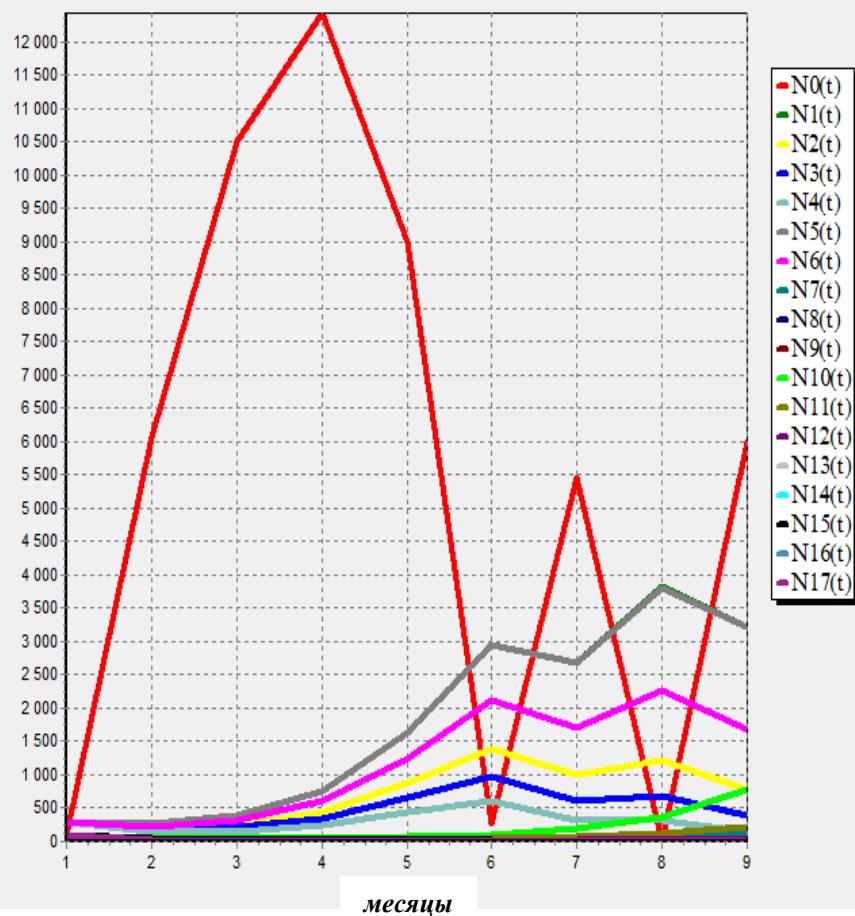
Эксперимент 2

- N0(t)-Ресурс
- N1(t)-Яблоко
- N2(t)-Груша
- N3(t)-Виноград
- N4(t)-Черешня
- N5(t)-Слива
- N6(t)-Абрикос
- N7(t)-Плодожарка
- N8(t)-Боярышница
- N9(t)-Тля
- N10(t)-Колчатый шелкопряд
- N11(t)-Садовый паутинный клещ
- N12(t)-Виноградная листовертка
- N13(t)-Божья коровка
- N14(t)-Хищных галиц
- N15(t)-Насекомоядных птиц
- N16(t)-Хищных клопов
- N17(t)-Наездник-яйцеед трихограмм



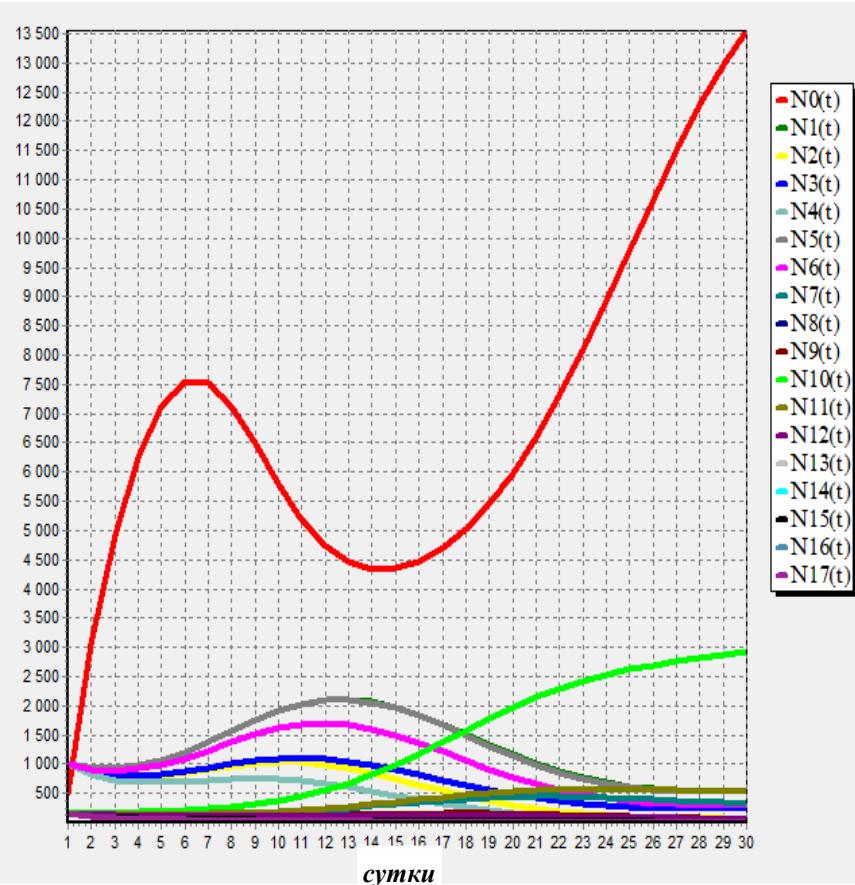
Эксперимент 3

- N0(t)-Ресурс
- N1(t)-Яблоко
- N2(t)-Груша
- N3(t)-Виноград
- N4(t)-Черешня
- N5(t)-Слива
- N6(t)-Абрикос
- N7(t)-Плодожарка
- N8(t)-Боярышница
- N9(t)-Тля
- N10(t)-Колчатый шелкопряд
- N11(t)-Садовый паутинный клещ
- N12(t)-Виноградная листовертка
- N13(t)-Божья коровка
- N14(t)-Хищных галиц
- N15(t)-Насекомоядных птиц
- N16(t)-Хищных клопов
- N17(t)-Наездник-яйцеед трихограмм



Эксперимент 4

- N0(t)-Ресурс
- N1(t)-Яблоко
- N2(t)-Груша
- N3(t)-Виноград
- N4(t)-Черешня
- N5(t)-Слива
- N6(t)-Абрикос
- N7(t)-Плодожарка
- N8(t)-Боярышница
- N9(t)-Тля
- N10(t)-Колчатый шелкопряд
- N11(t)-Садовый паутинный клещ
- N12(t)-Виноградная листовертка
- N13(t)-Божья коровка
- N14(t)-Хищных галиц
- N15(t)-Насекомоядных птиц
- N16(t)-Хищных клопов
- N17(t)-Наездник-яйцеед трихограмм



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основные научные результаты диссертации

Одной из первоочередных задач производителей фруктов в садовых экосистемах является выбор модели эффективного выращивания деревьев и получения урожая фруктов в садах. Эту задачу можно решить созданием инструмента в виде математического моделирования, при этом решить задачу оптимизации защиты урожая фруктов от вредителей и болезней. В то же время требуется решить проблему, от решения которой зависит дальнейшая стратегия в задаче защиты урожая фруктов. В данном диссертационном исследовании решены вопросы математического моделирования и оптимального выбора стратегии защиты величины планируемого урожая - фруктов. Таким образом:

1. Изучены вопросы качественной устойчивости садовых экосистем и выявлены устойчивые и неустойчивые структуры фруктовых биоценозов. [1-А]

2. Построены и обоснованы концептуальные и точечные математические модели садовых экосистем Хурсонского и Кушониянского районов Хатлонской области. [3-А, 5-А, 14-А]

3. Построены и обоснованы математические модели садовых экосистем с учетом временной и возрастной структуры, а также пространственных распределений *с кусочно-непрерывными¹ и интегрируемые с квадратом внешними ресурсами* более реально описывающие процессы агротехнических мероприятий. [7-А]

4. Определены оценки¹ необходимого количества воды для получения эффективного производства фруктов, снижения порядка исходных интегро-дифференциальных уравнений по пространственным параметрам, с целью упрощения решения задачи сбора планируемого урожая. Построена и обоснована математическая модель оптимизационной задачи защиты урожая фруктовых садовых экосистем, связанная с производством фруктов в Республике Таджикистан. [6-А]

5. Разработан алгоритм и создан комплекс программ для получения эффективного производства фруктов в садовых экосистемах Хатлонской области Республики Таджикистан и проведены вычислительные эксперименты. [2-А, 14-А]

6. Проведён анализ полученных компьютерных экспериментов, с целью разработки методологической основы обеспечения сбора и защиты планируемого урожая фруктов для населения. [2-А, 5-А, 14-А]

2. Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты, полученные в диссертации, значительно расширяют масштабы использования теоретического исследования математических моделей и вычислительного эксперимента и компьютерного анализа в решении проблемы выбора эффективного производства фруктов садовых экосистем Республики Таджикистан, могут использоваться в качестве инструментов для анализа поставленных задач и выбора эффективного способа производства фруктов, могут быть использованы при чтении курсов лекций студентам прикладных специальностей: «Математическое моделирование», «Модельная экономика», а также при написании студентами курсовых и дипломных работ. Созданные прикладные программы имеют специфическое практическое значение для решения проблемы выбора эффективного производства и улучшения состояния экологических систем.

1. Курсив – новые результаты после первой защиты.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте РТ и ВАК Министерства образования и науки РФ:

- [1-А] Юнуси М. К. Концептуальная модель садовой экосистемы и ее анализ методами теории качественной устойчивости [Текст] / М. К. Юнуси, **Х. С. Махмадалиев** // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2014. - №1/1. – С. 5-14. ISSN 2074-1847.
- [2-А] Юнуси М. К. Численное моделирование модели садовой экосистемы [Текст] / М. Юнуси, **Х. Махмадалиев** // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2015. - №1/2. – С. 3-9. ISSN 2074-1847.
- [3-А] Юнуси М. К. Исследование садовой модельной экосистемы с учетом возрастного состава и пространственного распределения [Текст] / М. К. Юнуси, **Х. С. Махмадалиев** // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2016. - №1/2. – С. 22-26. ISSN 2413-452X.
- [4-А] **Махмадалиев, Х. С.** Об одной модели применения химического метода борьбы с вредителями садовых экосистем находящейся в стационарном режиме [Текст] / Х. С. Махмадалиев // Вестник Курган-Тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия гуманитарных и экономических наук. – Курган-Тюбе, 2017. - №1/3 . – С. 171-175. ISSN 2309-6764.
- [5-А] Юнуси М. К. Численные алгоритмы и компьютерные эксперименты садовых и естественных экосистем в притурбулентных режимах [Текст] / М. К. Юнуси, Ч. Ганиев, **Х. С. Махмадалиев** // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2018. - №1/4. – С. 35-45. ISSN 2413-452X.
- [6-А] Юнуси М. К. Обоснование проблемы устойчивого развития модельной системы «вода - население» и её использование в управлении каскадными водоемами с ГЭС, садовыми экосистемами и автоматизацией рыбоводства в продовольственной проблеме Республики Таджикистан [Текст] / М. К. Юнуси, С. Ризоев, М. Нематова, **Х. Махмадалиев** // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2020. - №1. – С. 56-78. ISSN 2413-452X.
- [7-А] Юнуси М. К. Решения подготовительных задач для общей задачи управления агроценозами с учетом интегрируемых с квадратом ресурсов [Текст] / Юнуси М.К., **Махмадалиев Х.**, Назаров И., Сангов М.Т. // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2020. - № 2. – С. 89-109. ISSN 2413-452X.
- Статьи, опубликованные в других журналах, изданиях и сборниках:***
- [8-А] Юнуси М. К. Математические модели оценки численности хищников экосистем региональных заповедников Республики Таджикистан [Текст] / М. Юнуси, С. Одинаева, **Х. Махмадалиев**, С. Голов // Вестник Курган-

Тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – Курган-Тюбе, 2016. - №2/2. – С. 34-52. ISSN 2309-6764.

Материалы конференций, тезисы докладов:

- [9-А] **Махмадалиев, X.** Исследование системы типа «полезные насекомые-вредные насекомые» с учетом возрастного состава и пространственного распределения [Текст]/ X. Махмадалиев, М. Юнуси / Материалы научно-теоретической конференции «Роль Кулябского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки в подготовке специалистов», посвященной 70-летию университета – Куляб, 2015. – С. 51-52.
- [10-А] Рахимзода Ф. Задача защиты растений в виде задачи Юнуси с учетом возрастно-пространственных распределений [Текст] / Ф. Рахимзода, С. Гулов, **X. Махмадалиев** / 10-ая Международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии. – Душанбе, 2015. – С. 24.
- [11-А] **Махмадалиев, X.** Структура взаимодействия компонентов садовой экосистемы [Текст] / X. Махмадалиев, М. Юнуси / 10-ая Международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии. – Душанбе, 2015. – С. 48.
- [12-А] Шохсанами Р. Разработки методики регуляризованных экологических систем [Текст] / Шохсанами Ризо, С. Азимов, **X. Махмадалиев** / Программа республиканской научно-практической конференции на тему «Опыт и перспективы использования информационных технологий в экономике». – Душанбе, 2016. – С. 220-222.
- [13-А] **Махмадалиев, X.** Формирование профессионального мировоззрения студентов биологов на основе моделей защиты растений [Текст] / X. Махмадалиев, Р. Одинаев, М. Юнуси / Материалы научно-теоретической конференции «Развитие науки и образования в современном мире», посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан и 50-летию деятельности профессора Санга Холназарова. –Курган-Тюбе, 2016 – С. 221-224.
- [14-А] Ганиев Ч.Т. Алгоритм численных расчетов функционирования экологических систем с учетом возрастных и пространственных связей [Текст] / Ч.Т. Ганиев М. К. Юнуси, **Х. С. Махмадалиев** / «Компьютерный анализ проблем науки и технологии». Материалы XI - международной научно-теоретической конференции, посвященной 70-летию образования Таджикского национального университета и 70-летию доктора физико-математических наук, профессора Юнуси Махмадюсуф Камарзода, – Душанбе, 2018. – С. 83-90.
- [15-А] Юнуси М. К. О применении метода интегральных тождеств по части переменных к задаче сильно анизотропного взрыва типа II [Текст] / Махмадюсуф Юнуси, С. Гулов, **X. Махмадалиев** / Материалы республиканской научно-теоретической конференции посвященной 80-летию профессора М. Исмати и «20-летию развития естественных, точных математических наук». – Душанбе, 2020 – С. 106-111.

**МУАССИСАИ ДАВЛАТИИ ТАЪЛИМИИ
ДОНИШГОХИ ДАВЛАТИИ БОХТАР БА НОМИ НОСИРИ ХУСРАВ**

УДК: 519.87:632.9:634

Бо ҳуқуқи дастнавис

Маҳмадалиев Ҳукмиддин Саймуминович

**ТАҲҚИҚОТИ АМСИЛАҲОИ МАТЕМАТИКИИ ҲИМОЯИ
ДАРАХТҲОИ МЕВАДИҲАНДА ДАР ЭКОСИСТЕМАҲОИ БОҒӢ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои физикаю
математика аз рӯйи ихтисоси 05.13.18 – Амсиласозии математикӣ,
методҳои ададӣ ва мұчтамаи барномаҳо
(ҳимояи тақрорӣ)

Душанбе – 2021

Диссертатсия дар кафедраи информатика ва методикаи таълими информатика (ҳозира кафедраи «Системаҳои автоматикунонидашудаи коркарди ахбор ва шабакаҳои алоқа»)-и Донишгоҳи давлатии Боҳтар ба номи Носири Ҳусрав анҷом дода шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Юнусӣ Маҳмадиосуф Қамарзода, доктори илмҳои физикаю математика, профессор

Мукарризони расмӣ:

Исматӣ Муҳаммадҷон, доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи риёзиёт ва низоми иттилоотӣ дар иқтисодиёти Донишкадаи сайёҳӣ, соҳбкорӣ ва хизмат

Садриддинов Маҳмадӣ Маҳмудович, номзади илмҳои физикаю математика, дотсент, мудири кафедраи математикаи олии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М. С. Осимӣ

Муассисаи тақриздиҳанда: Донишгоҳи технологиي Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия «10» июни соли 2021, соати 10:00 дар ҷаласаи Шӯрои диссертационии 6D.KOA-013 назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон бо сурогаи 734025, ш. Душанбе, кӯчаи Буни-Ҳисорак, бинои 17, аудиторияи 203, баргузор мегардад.

Бо матни пурраи диссертатсия ва автореферати он дар китобхонаи марказии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон бо нишонии 734025, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17 ва инчунин тавассути сомонаи www.tnu.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат санаи «__» _____ соли 2021 фиристода шуд.

Котиби илмии шӯрои
диссертационӣ,
номзади илмҳои физикаю
математика, дотсент

Садуллоев Р. И.

I. ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Муқаддима. Воридшавии фаъоли усулҳои илмӣ ба амалияи истехсолоти мусосири саноатӣ ва кишоварзӣ дар партави Фармонҳои Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, Пешвои миллат, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон хусусияти хоси чомеаи мо гардид ва ба истифодаи математика ҳамчун воситай табдил додани ҳаёти мо такони нав бахшид. Ин дастурҳо маҳсусан ҳангоми баррасии як қатор масъалаҳо зоҳир мешаванд, ки ҳалли онҳо бо эҷоди усулҳои мусосири аз ҷиҳати илмӣ асосноки илми математика дар масоили ҳифз ва ҷамъоварии ҳосили ба нақша гирифташуда дар агресенозҳо ва масъалаҳои ҳифзи намудҳои нодир ва нобудшаванда дар захираҳо, инчунин мушкилоти устувории системаи «Об – аҳолӣ», обшавии пиряҳҳо, гармшавии ҳаво ва дигарҳо масъалаҳо, ки дар ташаккули агресенозҳо, захираҳо, обанборҳо ва дигар объектҳое, ки маҳсусан барои инсоният бениҳоят заруранд, нақши бузург доранд. Татбиқи онҳо бо коркарди усулҳо оид ба ҳалли масъалаи гирифтани ҳосили банақшагирифташуда бо ёрии муҳофизати дараҳтони мевадиҳанда аз ҳашаротҳои заرارрасон бо назардошти талаботҳо оид ба ҳифзи муҳити атроф алоқаманд мебошад. Ҷолиб аст, ки ҳамаи вазифаҳои дар боло зикршуда дар якҷояйӣ бо дигар вазифаҳо (масалан, иқтисодӣ, техникий ва ғайра) бо назардошти тақсимоти вақтӣ, синнусолӣ ва фазоӣ бо муодилаҳои шабеҳ тасвир карда мешаванд.

Муҳофизати ҳосили банақшагирифташудаи экосистемаҳои боғӣ дар ҳамаҷо, тамоми ҳочагиҳои давлатҳои ҷаҳон масъалаи ҳалталаби асосии таъминоти аҳолӣ бо меваҳо шуда истодааст. Аз ин рӯ, коркарди усулҳои муҳофизати ҳосил аз ҳашароти заرارрасон, пешгӯии динамикаи популятсияи биологӣ, иттиҳодияҳо ва экосистемаҳоро ҳангоми дар реҷаҳои гуногун амал кардани экосистемаи боғӣ ва таъсирҳои гуногуни антропогенӣ талаб менамояд. Табиист, ки таҷрибаҳои қобили қабул дар системаҳои амсилаҳозӣ бениҳоят қимат ва вақти зиёдро талаб мекунанд ва аз ҳама асосиаш, бисёр вақт душвор иҷрошаванда мебошанд. Бинобар ин, зарурият ба коркарди усулҳои гуногуни амсилаҳозии математикии равандҳои ҳимояи экосистемаҳои боғӣ пайдо мегардад. Бо ёрии усулҳои коркардашуда ва амсилаҳои математикий пешгӯӣ намудан ва бо роҳи таҷрибай омӯхтани натиҷаҳои чорабинҳои банақшагирифтаванда, ки амалҳои системаҳои экологиро дар бар мегирад ҳангоми таҷрибаҳои бевосита бо онҳо номумкин аст, имконпазир мегардад. Бояд қайд намуд, ки ба масъалаҳои амсилаҳозии математикии динамикаи саршумори популятсияи биологӣ корҳои сершумори олимони ватанӣ ва хориҷӣ бахшида шудааст. Як қатор асарҳои ҷолиби В. Волтерр, А.Т. Лотка, Р.М. Мэй, Ю.М. Свиражев, Д.О. Логофет ва дигар олимонро қайд намудан ҷоиз мебошад. Масъалаҳои устувории системаҳои экологӣ бо назардошти алоқаҳои вақтӣ, синнусолӣ ва фазоӣ асосан омӯхта шудаанд ва ба онҳо интишороти сершумори муҳаққиқони ватанию хориҷӣ бахшида шудаанд. Вазифаи минбаъдаи таҳқиқоти системаҳои мувоғиқ омӯхтани устувории амсилаҳои коркардашудаи математикии соҳторҳои вақтӣ-синнусолӣ ва фазоӣ мебошад, ки мавриди омӯзиши олимони ватанӣ қарор дорад. Вазифаи минбаъдаи омӯзиши системаҳои мувоғиқ аз омӯзиши устувории моделҳои таҳияшудаи математикии соҳторҳои замонавӣ ва фазоӣ иборат аст, ки бори аввал Юнусӣ М. Қ. дар охири

солҳои 70-ум идома дод ва асоснок намуд. Дар асоси ин моделҳо, ӯ инчунин, масъалаҳои идоракуни агросенозҳо ва популатсияҳои биологии муҳофизатшавандаро бо назардошти сохтори вақтӣ-синнусолӣ ва тақсимотҳои фазой пешниҳод ва таҳқиқ кард. Вазифаи умумии идоракуни агросенозҳо ё ба истилоҳ вазифаи муҳофизати растани чунин тартиб дода шудааст: *якчанд сатҳи ҳосили банақшагирифташуда барои биомассаи ҳосили растаниҳо (дар решашо) дода мешавад, барои намудҳои бοқимондаи биосистема бошад (зараррасонҳои растаниҳо, дарандашо ва паразитҳои зараррасон) қиматҳои ҳудудии зараррасонии ҳашаротҳо ва сатҳҳои самаранокии ҳашароти фоидаовар муайян карда мешавад, то ки ҳосили ҷамъоваришиуда аз ҳосили пешбиниишиуда кам набошад.*

Ӯ инчунин шароити зарурӣ ва кофӣ барои мавҷудияти ҳалли масъалаҳои даҳлдорро ба даст овард, ки барои ҳолатҳое ба нақша гирифта шудааст, ки мутобики қонуни Волтерр байни намудҳо ҳамбастагӣ ба амал меояд.

Дар диссертасияи мазкур амсилаҳои муҳофизати ҳосили банақшагирифташудаи дараҳтҳои мевадор наздик ба корҳои профессор Юнусӣ М. Қ. баррасӣ шудаанд. Вале дар ин ҷо, дар фарқият аз онҳо амсилаи математикий бо баҳисобигирии функцияҳои трофикии намуди Оле барои экосистемаҳои боғӣ дида баромада шудаанд. Диссертасия ба таҳияи амсилаҳо ва усулҳои таҳқиқи масъалаҳои муҳофизати ҳосили банақшагирифташуда дар экосистемаҳои боғӣ баҳшида шудааст. Бояд қайд кард, ки дар экосистемаҳои боғӣ муборизаи самараноки интегратсионӣ бар зидди зараррасонҳои дараҳтҳои боғӣ вазифаи асосӣ ба ҳисоб меравад, ки ду вазифаро дар бар гирифтааст. Якум: дар асоси маълумотҳои мавҷуда оид ба агросенози боғӣ, таъсири ибтидоии осеби зараррасонҳо ва сатҳҳои самараноки энтомофагҳо – ҳашаротҳои фоидаовар муайян карда мешавад. Айни замон, ин параметрҳо аз тарафи энтомологҳо аз рӯйи баҳисобигирии гузаронидашуда дар майдони муқарраргардида (одатан дар растаниҳо) муайян карда мешаванд. Натиҷаҳои бадастомада сипас ба қисмҳои экосистемаҳои боғӣ паҳн карда мешаванд. Истифодаи усулҳои мубориза барои кам намудани шумораи зараррасонҳои экосистемаҳои боғӣ вазифаи дуюм шуморида мешавад. Маълум аст, ки ин тарзи муайянкуни параметрҳо асоси усули интегратсионии мубориза барои муҳофизати ҳосили банақшагирифташаванда ба ҳисоб меравад. Табиист, ки аз сабаби норасогӣ ва нодуруст будани маълумот мо манзараи ҳақиқиро дар агросенози боғӣ дида наметавонем. Пас, ду вазифаи зикршудаи расмии раванди ҳимоя: муайян намудани зарари ибтидоии зараррасонандоҳои экосистемаҳои боғӣ ва сатҳҳои самараноки энтомофагҳо-дарандашо ва паразитҳо (дар таҷриба ин вазифаро одатан вазифаи омодагӣ меноманд) ва вазифаи истифодаи заҳрҳои кимиёвӣ бар зидди зараррасонҳо. Ҳамаи ин гуфтаҳо аз мубрам будани мавзӯи диссертасия гувоҳӣ медиҳанд.

Муҳиммияти мавзӯи диссертасия маҳз дар коркарди усулҳои илмии пешгӯикунанда, ки бо муҳофизати ҳосили меваҳои дар боғҳо ва таъмини аҳолии мамлакат бо намудҳои муҳими маҳсулоти озуқа – меваҳо ифода меёбад. Ҳамин тарик, ба вучуд овардани афзори илмӣ барои таҳқиқот ва пешгӯии вазъи системаҳои экологӣ, яке аз масъалаҳои муҳимтарин дар сатҳи давлатӣ

шуморида мешавад. Ҳамзамон, масъалаи муҳим дар истеҳсолоти мусоири кишоварзӣ, масъалаи мӯтадилгардонии истеҳсолот ба ҳисоб меравад. Қайд менамоем, ки истеҳсолоти мӯтадилгардонидашуда - ин ҷидду ҷаҳд барои ноилгардӣ ба натиҷаи беҳтарин бо ҳарочоти камтарин мебошад. Ва ҳамин тарикӣ, аз ин маълум мегардад, ки бо ҳарочоти камтарин бояд истеҳсолро зиёд намуд.

Дараҷаи коркарди масъала. Мағҳуми амсиласозии экосистемаҳои боғӣ ва масъалаҳои мубориза бар зидди заرارрасонҳо дар марҳалаи ҳозира масъалаҳои ниҳоят муҳим оид ба таъминоти аҳолии мамлакат бо меваҳо мебошад. Аммо, айни замон масъалаи пешгӯй намудан ва мӯтадилгардонии равандҳо, ки бо экосистемаҳои боғӣ дар асоси усулҳои математикий алоқаманд мебошанд, нокифоя омӯхташуда ба ҳисоб меравад. Чун натиҷа, илова бар ин масъалаи таҳқиқоти ҷамъоварии ҳосили банақшагирифташаванда ва муҳофизати он аз заرارрасонҳои экосистемаҳои боғӣ вучуд дорад. Ва аз ҳама воситаи қобили қабули ҳалли масъалаи муҳофизат намудани ҳосил истифодаи усулҳои амсиласозии математикий мебошад. Истифодаи усулҳои амсиласозии математикий барои ҳалли масъалаи муҳофизати дараҳтони мевадиҳанда дар экосистемаҳои боғӣ барои Ҷумҳурии Тоҷикистон бениҳоят зарур шуморида мешавад.

Мақсади диссертатсия. Мақсади ин диссертатсия аз таҳияи воситае, ки дар намуди амсилаҳои компьютерӣ дар асоси таҳқиқи амсилаҳои математикии масъалаи муҳофизати дараҳтони мевадиҳанда дар экосистемаҳои боғӣ ва барои интиҳоби усули самараноки истеҳсоли мева бо ёрии амсилаҳои соҳташуда ва мұчтамаи барномаҳо барои дастгирии қабули қарорҳо бо зарбкунандаҳои маҳдудкунанда иборат мебошад. Асоснокнамоии амсиласозии математикий зарурати дастгоҳи коғии самарабахш барои қабули қарорҳо пас аз таҳқиқи рақамӣ ва сифатии экосистемаҳои боғ бо истифода аз барномаҳои компьютерӣ мебошад.

Барои нил гардидан ба мақсади дар диссертатсия гузошташуда **вазифаҳои асосии зеринро** ҳал намудем:

1. Омӯзиши асосҳои назариявӣ бо мақсади соҳтани амсилаи математикии ҳифзи дараҳтони мевадиҳанда дар экосистемаҳои боғи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар асоси маълумоти мавҷуда оид ба боғҳои дараҳтони мевадиҳанда, таснифи заرارрасонҳои онҳо ва ҳашароти фоидаовар.

2. Соҳтани амсилаи сифатан устувори концептуалӣ бо мақсади бунёди фаъолияти доимии экосистемаҳои воқеии боғ ба амсилаҳои математикии мувоғиқ.

3. Амсилаҳои математикии экосистемаҳои боғӣ бо назардошти соҳтори вақтӣ ва синнусолӣ, инчунин тақсимоти фазоӣ бо заҳираҳои берунаи қисман бефосила ва дар мураббаъ интегронидашаванда соҳта ва асоснок карда шудаанд, ки раванди тадбирҳои агротехникиро воқеитар тасвир мекунанд.

4. Баҳодиҳии миқдори зарурии об барои муайян кардани истеҳсоли самараноки мева, кам кардани тартиби муодилаҳои ибтидоии интегро-дифференсиалий аз рӯи бузургихои фазоӣ бо мақсади содда гардонидани ҳалли масъалаи ҷамъоварии ҳосили банақшагирифташуда.

5. Таҳия ва асосноккунии алгоритмҳои ададӣ бо мақсади соҳтани мұчтамаи барномаҳо. Гузаронидани таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ бо маълумотҳои амсилаи экосистемаҳои боғ барои ҳалли вазифаҳои гузошташуда. Таҳлили маълумоти бадастомадаю ҳисобқуниҳои компютерӣ ва дар асоси онҳо таҳияи заминаи методологияи таъмини ҳифзи нақшай ҳосили мева дар экосистемаҳои боғӣ.

Асоси назариявӣ ва методологияи таҳқиқоти диссертатсияро асарҳои олимони ватанӣ ва хориҷӣ ташкил медиҳанд. Ҳамзамон, дастуре супоришҳои Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, Пешвои миллат муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон оид ба бунёди боғҳои дараҳтони мевадиҳанд ва эмин нигоҳ доштани онҳо аз ҳашароти зараррасон ва касалиҳо аҳамияти бунёдӣ доранд.

Аҳамияти назариявии таҳқиқот. Натиҷаҳое, ки дар диссертатсия ба даст оварда шудаанд, миқёси истифодабарии таҳқиқоти назариявии амсилаҳои математикӣ, таҷрибаи ҳисоббарорӣ ва таҳлили компютериро дар ҳалли масъалаи интиҳоби истеҳсоли босамари меваҳои экосистемаҳои боғӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон хело васеъ мегардонанд. Хулосаҳои назариявии диссертатсия ва пешниҳодҳо, инчунин нуқтаи назар ва тавзеҳот метавонанд ҳамчун воситаҳо барои ташхиси вазифаҳои гузошташуда ва интиҳоби усули самараноки истеҳсоли меваҳо истифода шаванд. Интишор оид ба амсиласозии экосистемаҳои боғӣ ва ҷамъбаст кардани онҳо, ки дар диссертатсия дарҷ гардидаанд, ба сифати тавсияҳо барои истеҳсолкунандагони меваҳои боғҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон пешниҳод карда мешаванд. Маводҳои дар диссертатсия ба даст овардашуда метавонанд ҳангоми ҳондани курси лексияҳо ба донишҷӯёни ихтисосҳои амалӣ: «Амсиласозии математикӣ», «Иқтисодиёти амсилавӣ», инчунин ҳангоми навиштани корҳои курсӣ ва дипломӣ аз тарафи донишҷӯён мавриди истифода қарор ёбанд. Истифодаи натиҷаҳои назариявии исботкардашуда барои рушди минбаъдаи босамари амсилаҳои амалӣ, интиҳоби амсилаҳои самараноки истеҳсоли меваҳо ва баҳодиҳии фурӯши онҳо кӯмак мерасонад. Барномаҳои амалии соҳташуда татбиқи амалии ба ҳуд хоси барои ҳалли масъалаи интиҳоби истеҳсоли босамар ва беҳтар гардонидани вазъи системаҳои экологиро доро мебошанд.

Объекти таҳқиқот – экосистемаҳои боғи вилояти Ҳатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Предмети таҳқиқот – коркарди амсилаҳои математикии истеҳсоли самараноки мева бо ёрии усулҳои амсиласозии математикӣ ва таҷрибаи ҳисоббарорӣ.

Усулҳои таҳқиқот. Барои ҳалли вазифаи пешбинишуда дар соҳаи таҳқиқшаванда усулҳои мусоиртарини назарияи муодилаҳои дифференсиалӣ, амсиласозии математикӣ ва озмоишҳои компютерӣ истифода шудаанд. Методологияе, ки дар кори диссертационӣ истифода шудааст, бо оғариниши воситаи амсиласозии математикӣ асос ёфтааст.

Навгониҳои илмии таҳқиқот.

- Назарияи амсиласозии математикӣ дар асоси истифодаи назарияи устувории сифатии экосистемаҳо ва муодилаҳои интегралию дифференсиалий бо ҳосилаҳои хусусии тартиби дуюм истифода шудааст ва алгоритмҳои босамари ҳалли масъалаҳои муҳофизати ҳосили меваҳои тахминшаванд дар экосистемаҳои боғӣ ба вучуд оварда шудааст.
- Амсиласозии математикӣ тибқи методологияи муайян кардани «модел, алгоритм, барнома» дар мисоли экосистемаҳои боғи вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон гузаронида шудааст.
- Баҳо дода шудааст, ки миқдори зарурии об барои муайян кардани истеҳсоли самараноки меваҳо дар синфи функцияҳои интегронидашаванд бо квадрат, тартиби муодилаҳои интегро-дифференсиалий аз рӯи параметрҳои фазоӣ бо мақсади содда кардани ҳалли масъалаи ғункуни ҳосили банақшагирифташуда паст карда мешавад.
- Муҷтамаи барномаҳо барои ҳалли мушкилоти «муҳофизати дараҳтҳои мевадиҳанд дар экосистемаҳои боғӣ» тартиб дода шудааст.
- Таҷрибаҳои компьютерӣ барои экосистемаҳои мушаххаси боғи ноҳияҳои Ҳурросон ва Кӯшониёни вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон гузаронида шуданд.

Нуқтаҳои ба ҳимояи пешниҳодшаванд:

1. Сохтан ва асосноккунии амсилаи концептуалии экосистемаҳои боғи вилояти Хатлон.
2. Коркарди амсилаи математикии экосистемаҳои боғӣ, дар намуди системаи муодилаҳои дифференсиалий бо ҳосилаҳои хусусӣ, дар асоси амсилаи концептуалий.
3. Тавсия ва асосноккунии масъалаи муҳофизати растаниҳо бо ёрии амсилаи мукаммалкардашудаи се сатҳи трофиқидошта дар экосистемаҳои боғи вилояти Хатлон.
4. *Баҳодиҳии миқдори зарурии об барои муайян кардани истеҳсоли самараноки меваҳо дар синфи функцияҳои интегронидашаванд бо квадрат, тартиби муодилаҳои интегро-дифференсиалий аз рӯи параметрҳои фазоӣ бо мақсади содда кардани ҳалли масъалаи ғункуни ҳосили банақшагирифташуда паст карда мешавад. Таҳқиқи роҳҳои ҳалли масъалаҳои оптималии соҳторҳои биологии экосистемаҳои боғӣ.*
5. Таҳияи алгоритмҳо ва муҷтамаи барномаҳои ҳалли ададии амсилаҳои математикии соҳташуда.
6. Натиҷаҳои таҷрибаҳои компьютерӣ ва таҳлили онҳо бо додашудаҳои амсилавӣ.

Саҳми шахсии довталаб оид ба дарёфти дараҷаи илмӣ:

- мустақилона ба даст овардани ҳамаи натиҷаҳои рисола;
- таҳқиқи амсилаҳои математикии соҳташуда;
- омода ва чоп намудани мақолаҳои илмӣ оид ба таҳқиқоти гузаронидашуда ва тасдиқи натиҷаҳои таҳқиқот;
- ҳангоми гузаронидани ҳисобҳои компьютерӣ ва таҳлили натиҷаҳо.

Эътимоднокии натижаҳои диссертатсия. Яке аз вазифаҳои таъхирнапазири истеҳсолкунандагони меваҳо дар экосистемаҳои боғӣ интихоби амсилаи парвариши самараноки дараҳтҳо ва ба даст овардани ҳосили меваҳо аз боғҳо ба ҳисоб меравад. Ин вазифаро бо роҳи ба вучуд овардани восита дар намуди амсиласозии математикӣ ва илова бар ин оптималигардонии муҳофизати ҳосили меваҳо аз заرارрасонҳо ва қасалиҳо ҳал кардан мумкин аст. Ҳамзамон ҳалли муаммое талаб карда мешавад, ки аз ҳалли он стратегияи минбаъда дар масъалаи муҳофизати ҳосили меваҳо вобастагӣ дорад. Дар ин таҳқиқоти диссертационӣ масъалаҳои амсиласозии математикӣ ва интихоби оптималии стратегияи муҳофизати бузургии ҳосили баナқшагирифташаванда – мева ҳал карда шудаанд. Ҳамин тариқ:

1. Масъалаҳои устувории сифатии экосистемаҳои боғӣ омӯхта шудаанд ва соҳтори устувор ва ноустувори биосенозҳои мевагӣ ошкор шудаанд.

2. Амсилаҳои нуқтагӣ ва концептуалии математикии экосистемаҳои боғии ноҳияҳои Ҳурросон ва Кӯшониёни вилояти Ҳатлон соҳта ва асоснок карда шудаанд.

3. Амсилаҳои математикии экосистемаҳои боғӣ бо назардошти соҳтори вақтӣ ва синнусолӣ, инчунин тақсимоти фазоӣ бо захираҳои берунаи қисман бефосила ва дар мураббаъ интегронидашаванда соҳта ва асоснок карда шудаанд, ки раванди тадбирҳои агротехникиро воқеитар тасвир мекунанд.

4. Баҳодиҳии миқдори зарурии об барои муайян кардани истеҳсоли самараноки мева, кам кардани тартиби муодилаҳои ибтидиои интегро-дифференсиалий дар бузургихои фазоӣ бо мақсади содда кардани ҳалли масъалаи ҷамъоварии ҳосили пешбинишуда. Модели математикии масъалаи оптимизатсия оид ба ҳифзи ҳосили экосистемаҳои боғҳои мевадиҳандай марбут ба истеҳсоли мева дар Ҷумҳурии Тоҷикистон соҳта ва асоснок карда шудааст.

5. Алгоритм таҳия ва мұchtамаи барномаҳо барои муайян намудани истеҳсоли самараноки меваҳо дар экосистемаҳои боғи вилояти Ҳатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон соҳта шуда, таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ гузаронида шудаанд.

6. Таҳлили таҷрибаҳои компьютерӣ бо мақсади коркарди асосҳои методологии таъмини ҷамъоварӣ ва ҳифзи ҳосили банақшагирифташавандай меваҳо барои аҳолӣ гузаронида шудааст.

Диссертатсия мутобиқ ба бобҳои зерини шиносномаи ихтисоси 05.13.18 – «Амсиласозии математикӣ, методҳои ададӣ ва мұchtамаи барномаҳо» ичро гардидааст:

1. Коркард ва таҳқиқи усулҳои нави математикии амсиласозии системаи равандҳо ва ҳодисаҳо, ки бо экосистемаҳои боғӣ алоқаманданд, инчунин коркарди амсилаҳои нави концептуалии масъалаи муҳофизати дараҳтҳои мевадиҳандай ва амсиласозии экосистемаҳои боғӣ бо назардошти таркиби синнусолӣ.

2. Коркарди шартҳо, амсилаҳо ва алгоритмҳо, усулҳои таҳқиқоти устувории сифатии экосистемаҳои боғӣ ва асоснок намудани усулҳои ҳалли масъалаҳои муҳофizati дараҳтҳои мевадиҳандай.

3. Сохтани алгоритмҳои ададӣ ва мұchtамаи барномаҳои бо онҳо алоқаманд барои гузаронидани таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ дар речаҳои гуногуни амали экосистемаҳои боғӣ.

Таъииди диссертатсия ва иттилоот оид ба истифодаи натиҷаҳои он.

Натиҷаҳои аз тарафи диссертатсиянавис ба даст овардашуда дар интишороти он оварда шудаанд. Ӯ дар конференсияҳои ҷумҳурияйӣ ва байналмиллалӣ баромад кардааст. Маърӯзаҳо дар он ҷо муҳокима карда шуда, бо баҳои мусбӣ арзёбӣ гардидаанд. Натиҷаҳои таҳқиқотҳо инчунин дар ҳамоишҳо ва семинарҳо: конференсияи илмӣ-назариявии «Нақши Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абӯабдуллоҳи Рӯдакӣ дар тайёр намудани мутахассисон» Бахшида ба 70-солагии Донишгоҳ (Кӯлоб, 2015); конференсияи 10 –уми байналхалқӣ оид ба таҳлили компютерии проблемаҳои илм ва технология (Душанбе, 2015); конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳурияйӣ дар мавзӯи «таҷриба ва дурнамои татбиқи технологияҳои иттилоотӣ дар иқтисодиёт» (Душанбе, 2016); конференсияи илмӣ-назариявии ҷумҳурияйӣ дар мавзӯи «Рушди илму маориф дар замони муосир», бахшида ба 25-солагии Истиколияти давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон ва 50-солагии фаъолияти педагогии доктори илмҳои педагогӣ, профессор, Ҳолназаров Санг (Қўрғонтеппа, 2016); «Таҳлили компютерии масоилҳои илм ва технология», маводи конференсияи XI-ум байналмиллалии илмӣ-назарияйӣ бахшида ба 70-солагии таъсисёбии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон ва 70-солагии доктори илмҳои физикаю математика, профессор Юнусӣ Маҳмадюсӯф Қамарзода (Душанбе, 2018), конференсияи илмии амалии ҷумҳурияйӣ, бахшида ба 80-солагии профессор М. Исматӣ ва “Бистсолаи омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ” – (Душанбе, 2020) муҳокима гардидаанд.

Интишорот. Натиҷаҳои асосии таҳқиқот дар 15 кори илмӣ нашр гардидаанд, ки аз онҳо 7-тоаш дар нашриётҳои аз тарафи КОА-и Федератсияи Россия ва КОА-и Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияшуда мебошанд.

Сохтор ва ҳачми диссертатсия. Рисолаи диссертационӣ аз муқаддима, ду боб, хулоса ва феҳристи адабиёти истифодашуда иборат аст. Ҳачми умумии диссертатсия 115 саҳифаро ташкил медиҳад, аз он ҷумла 26 расм ва 5 ҷадвал, рӯйхати адабиёти истифодашуда 172 номгӯро дарбар мегирад.

II. МУҲТАВОИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

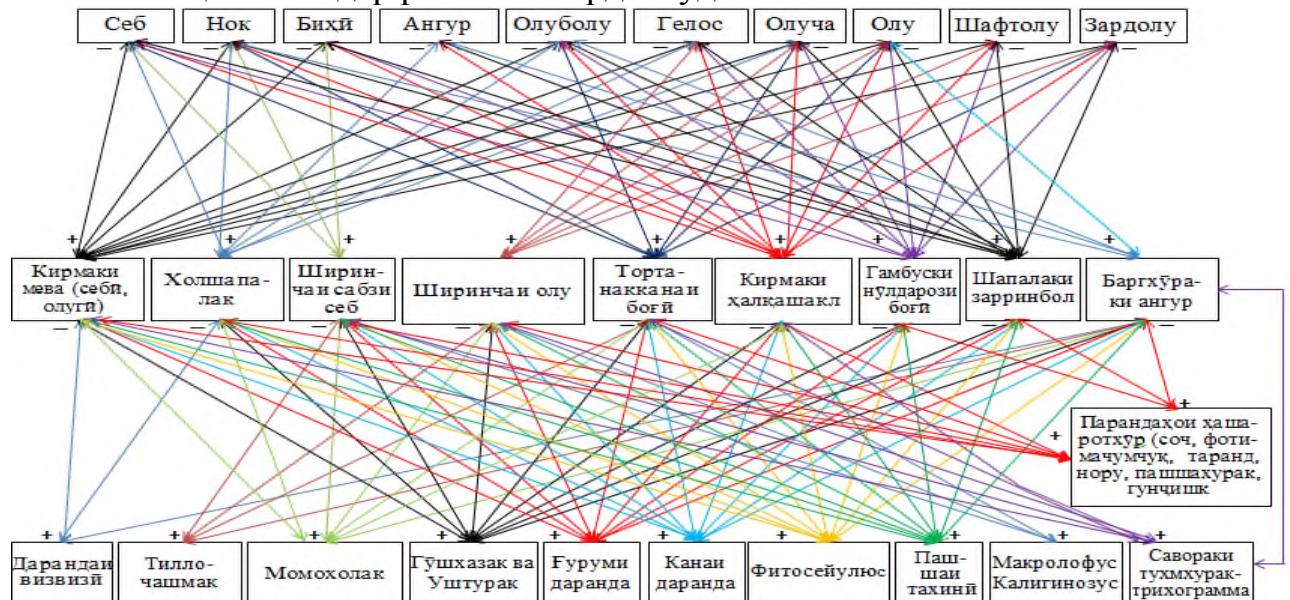
Дар боби якум дар асоси амсилаҳои математикии концептуалӣ ва нуқтагии сохташуда, бо усулҳои устувории сифатӣ, сохторҳои устувор ва ноустувори биологии биосенози боғӣ чудо карда шудаанд, масъалаи муҳофизат дар шакли умумӣ баён шуда, масъалаи муҳофизати омодасозӣ тартиб дода шудааст (яъне муайян намудани ҳудудҳои зарари заرارрасонҳо ва сатҳи самаранокии энтомофагҳо). Шартҳои зарурӣ ва кифоягии ҳалпазирӣ масъалаи омодасозии муҳофизати ніҳолҳо ва масъалаҳои оптималигардонии экосистемаҳои боғӣ ёфта шудаанд.

Дар фасли якум дар асоси маълумоти ҷамъоваришуда аз сарчашмаҳои гуногун^{*} оид ба намудҳои биологии сохторҳои боғӣ дар вилояти Ҳатлон,

* 1) Схема взаимодействий видов по Успенскому, 1970;

2) Схема взаимодействий видов хлопкового агроценоза, по Юнуси, 1990.

амсилаи концептуалии экосистемаҳои бοғӣ шуда, бо усулҳои назарияи устувории сифат сохторҳои экосистемаҳои бοғӣ таҳлил карда мешаванд, ки ба сифати сатҳҳои асосии онҳо: дарахтҳои мевадиҳанда, зараррасонҳои дарахтҳои мевадиҳанда, энтомофагҳо (дaranдаҳо ва паразитҳои зараррасон), инчунин барангезандҳои касалиҳо хизмат мерасонанд. Натиҷаҳои таҳқиқот ҳангоми банақшагирии чорабиниҳо оид ба муборизаи биологии экосистемаҳои бοғ аҳамияти методологӣ доранд. Нақшай умумии таъсири мутақобили сохторҳои экосистемаҳои бοғӣ дар расми 1 оварда шудааст.



Расми 1. Нақшай умумии таъсири мутақобили намудҳои биологии экосистемаҳои бοғии Ҷумҳурии Тоҷикистон

Амсилаи математикии ба нақшай мазкур мутобиқ бо назардошти сохтори синнусолӣ ва вақтӣ ба намуди зерин пешниҳод мегардад:

$$\begin{aligned}
 \frac{dN_0}{dt} &= Q - \sum_{i=1}^6 \alpha_i \bar{N}_i N_0, \\
 \frac{\partial N_1}{\partial t} + \frac{\partial N_1}{\partial a} &= N_1 F_1(N_0, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}), \\
 \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} &= N_2 F_2(N_0, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
 \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial N_3}{\partial a} &= N_3 F_3(N_0, N_8, N_{10}, N_{12}), \\
 \frac{\partial N_4}{\partial t} + \frac{\partial N_4}{\partial a} &= N_4 F_4(N_0, N_7, N_8, N_9, N_{10}), \\
 \frac{\partial N_5}{\partial t} + \frac{\partial N_5}{\partial a} &= N_5 F_5(N_0, N_7, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
 \frac{\partial N_6}{\partial t} + \frac{\partial N_6}{\partial a} &= N_6 F_6(N_0, N_7, N_9, N_{10}, N_{11}), \\
 \frac{\partial N_7}{\partial t} + \frac{\partial N_7}{\partial a} &= N_7 F_7(N_1, N_2, N_4, N_5, N_6, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
 \frac{\partial N_8}{\partial t} + \frac{\partial N_8}{\partial a} &= N_8 F_8(N_1, N_2, N_3, N_4, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}),
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial N_9}{\partial t} + \frac{\partial N_9}{\partial a} &= N_9 F_9(N_1, N_2, N_4, N_5, N_6, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
\frac{\partial N_{10}}{\partial t} + \frac{\partial N_{10}}{\partial a} &= N_{10} F_{10}(N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
\frac{\partial N_{11}}{\partial t} + \frac{\partial N_{11}}{\partial a} &= N_{11} F_{11}(N_1, N_2, N_5, N_6, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
\frac{\partial N_{12}}{\partial t} + \frac{\partial N_{12}}{\partial a} &= N_{12} F_{12}(N_2, N_3, N_5, N_{13}, N_{14}, N_{15}, N_{16}, N_{17}), \\
\frac{\partial N_{13}}{\partial t} + \frac{\partial N_{13}}{\partial a} &= N_{13} F_{13}(N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
\frac{\partial N_{14}}{\partial t} + \frac{\partial N_{14}}{\partial a} &= N_{14} F_{14}(N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
\frac{\partial N_{15}}{\partial t} + \frac{\partial N_{15}}{\partial a} &= N_{15} F_{15}(N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
\frac{\partial N_{16}}{\partial t} + \frac{\partial N_{16}}{\partial a} &= N_{16} F_{16}(N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}), \\
\frac{\partial N_{17}}{\partial t} + \frac{\partial N_{17}}{\partial a} &= N_{17} F_{17}(N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}),
\end{aligned}$$

ки дар ин чо N_0 – массаи манбаъ, N_1 – биомассаи себҳо, N_2 – биомассаи нокҳо, N_3 – биомассаи ангурҳо, N_4 – биомассаи гелосҳо, N_5 – биомассаи олухо, N_6 – биомассаи зардолуҳо, $\bar{N}_i = \int_0^{a_{max}} N_i(a, t) da$ – маҷмӯи биомассаи дараҳтҳои мевадиҳандай истифодабарандай манбаъ аз рӯи синну сол, N_7 – биомассаи кирмаки мева (себӣ, олугӣ), N_8 – биомассаи холшапалак, N_9 – биомассаи ширинча (себӣ, олугӣ), N_{10} – биомассаи кирмаки ҳалқашакл, N_{11} – биомассаи тортанакканай боғӣ, N_{12} – биомассаи баргҳӯраки ангур, N_{13} – биомассаи момохолак, N_{14} – биомассаи ғуруми даранда, N_{15} – биомассаи парандаҳои ҳашаротҳӯр, N_{16} – биомассаи канай даранда, N_{17} – биомассаи савораки тухмҳӯрак-трихограмма, F_i – функсияи трофиқӣ, t – вақт, a – синн, Q – суръати дохилшавии манбаи берунӣ бо массаи $N_0(t)$, N_i . Дар муодилаи (1) лозим аст, ки шартҳои аввала ва сарҳадиро илова намоем:

$$\begin{aligned}
N_i|_{t=0} &= N_i^0 & i = 0, \dots, 17 \\
N_i(0, t) &= \int_0^{a_{max}} B_i(a) N_i(a, t) da & i = 2, \dots, 17.
\end{aligned}$$

дар ин чо $\frac{\partial F_i}{\partial N_j} = \begin{cases} \leq 0, & i > j \\ = 0, & i = j \\ \geq 0, & i \leq j \end{cases}$

Сипас, агар шумораи популятсия танҳо аз вақт вобаста бошад, пас ба сифати оператори тарафи чап

$$\frac{d}{dt}$$

-ро мегирем. Агар шумора ҳанӯз боз аз синну сол вобастагӣ дошта бошад, сипас ба сифати оператори тарафи чап ифодаи зеринро қабул кардан зарур аст:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a};$$

Агар бузургихои фазоӣ низ илова кунем, пас

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} + \sum v_j \frac{\partial}{\partial x_j} - \sum D_j \frac{\partial^2}{\partial x_j^2}$$

мешавад.

Барои бисёр ҳолатҳои амалӣ ва назариявӣ, аз ҷумла барои амсиласозии масъалаи ҳосили ба нақшагирифташуда ва масъалаҳои устувории сифат, аз масъалаи (1) ба ҳолати ҷамъбастшуда, дар ҳар як сатҳи трофики биомассаи ҳамон намудҳои биологиро ҷамъбаст менамоем, гузаштан мувофиқи мақсад аст. Сипас,

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q + F_0(N_0, N_1) \\ \frac{dN_1}{dt} = N_1 F_1(N_0, N_1, \tilde{N}_2) \\ \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} \right) N_2 = N_2 F_2(N_1, N_2, N_3) \\ \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} \right) N_3 = N_3 F_3(N_2, N_3) \\ N_0(0) = N_0^0, N_1(0) = N_1^0 \\ N_2(a, 0) = N_2^0(a), N_3(a, 0) = N_3^0(a) \\ N_i(0, t) = \int_0^{a_{max}} B_i(a) N_2(a, t) da \end{array} \right. \quad \text{дар ин ҷо} \quad \frac{\partial F_i}{\partial N_j} = \begin{cases} \leq 0, i > j \\ = 0, i = j \\ \geq 0, i \leq j \end{cases}$$

Барои масъалаҳои вақтӣ, синнусолӣ ва фазоӣ, дар ҳама ҷо муодила бо функцияҳои трофикий намуди Оле $w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^k}{w_i^1 + N_i^k}$ гирифта шудааст:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} N_i &= b_i N_i + \sum_{j=1}^m \frac{a_{ij} N_i^\sigma}{\sigma_{uo} + a_{ij} N_i^\sigma} N_j + Q_i(t), \quad i = \overline{1, m} \\ \frac{d}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} + \sum V_i \frac{\partial}{\partial x_i} - \sum \frac{\partial}{\partial x_i} (D_i \frac{\partial}{\partial x_i}). \end{aligned}$$

Шартҳои ибтидой ва сарҳадӣ

$$N_0(0) = N_0^0, N_i(x, a, 0) = N_i^0, N_i(x, 0, t) = \int_0^{a_{max}} B_i(a) N_i(x, a, t) da$$

$N_i(x, a, t) = 0$ буда, дар сарҳади соҳаи S , $D_i = D_i(N) > 0$ мешавад.

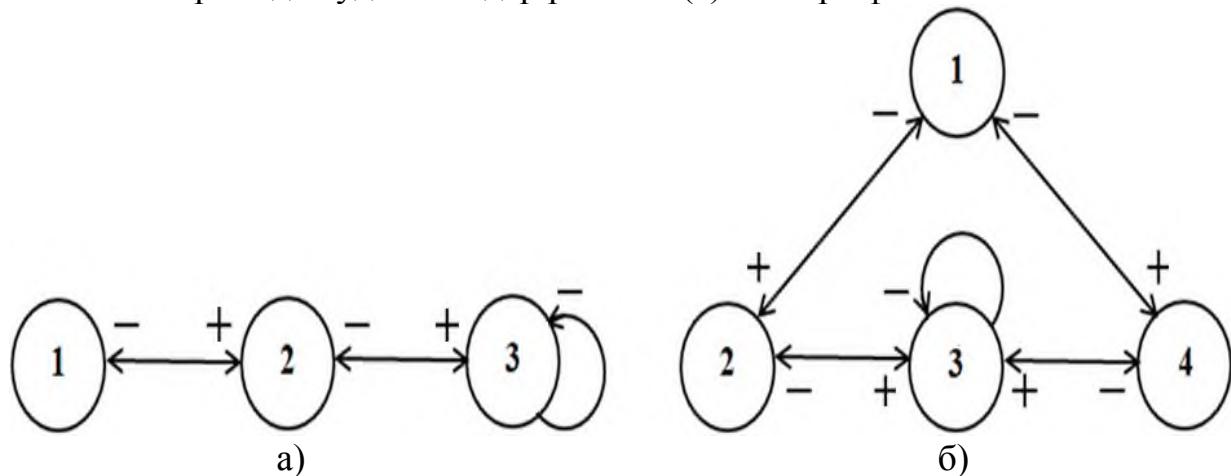
Якчанд мисолҳои таҳқиқоти бâъзе ҷамоаҳои биологиро дар устувории сифатӣ бо мақсади муайян кардани сохторҳои сифатан устувор ва сифатан ноустувор* дидা мебароем.

Аз баррасии системаи сесатҳаи навбатӣ оғоз менамоем: «дараҳтои мевадиҳанда – заرارрасонҳои дараҳтои мевадиҳанда – душманони табиии заرارрасонҳо». Матритсаи якҷоямалкунданаи чунин система шакли зерин дорад:

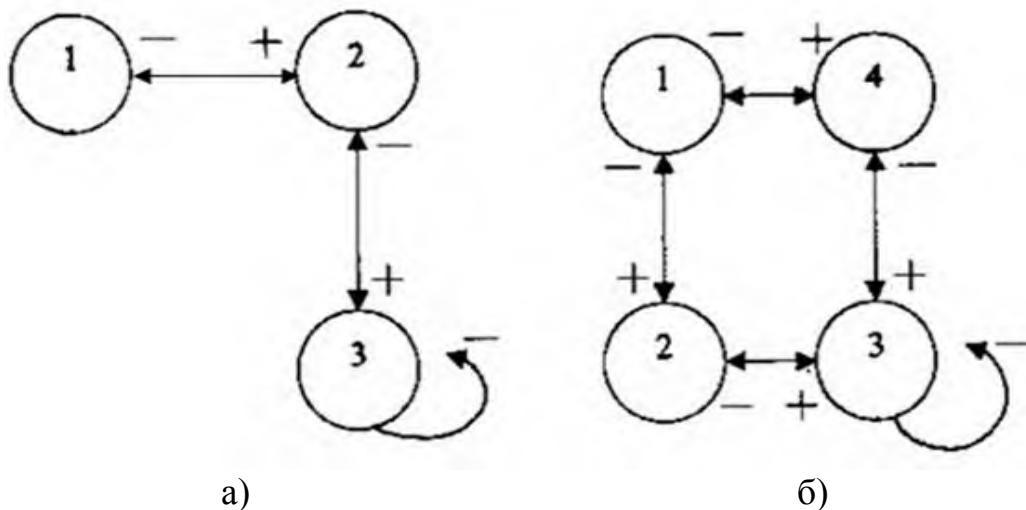
* 1) М. К. Юнуси, Х. С. Махмадалиев Концептуальная модель садовой экосистемы и ее анализ методами теории качественной устойчивости // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2014. – №1/1. – С. 5-14. ISSN 2074-1847.
 2) М. К. Юнуси (ов) Математические модели управления агроценозами и охраняемыми биологическими популяциями // Дис. на соискание уч. степени д.ф.-м.н., ВЦ АН СССР. - Москва, 1990. – 313 с.
 3) М. Юнуси, С. Гулов, Х. Махмадалиев О применение метода интегральных тождеств по части переменных к задаче сильно анизотропного взрыва типа II / Материалы республиканской научно-теоретической конференции посвященной 80-летию профессора М. Исмати и «20-летию развития естественных, точных математических наук». – Душанбе, 2020 – С. 106-111.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -a_{12} & 0 \\ a_{21} & 0 & -a_{23} \\ 0 & a_{32} & -a_{33} \end{pmatrix},$$

ки дар инчо $a_{ij} > 0$. Җуфтҳои ҳосилшуда элементҳои матритсаи А: $(-a_{12})a_{21} < 0$ хусусияти таъсири сатҳи заرارрасонхоро ба дараҳтони мевадиханда инъикос намуда, $(-a_{23})a_{32} < 0$ бошад хусусияти таъсири ҳашаротҳои фоидаоварро ба ҳашаротҳои заرارрасон инъикос менамояд. Рақобатҳои дохилинамудии ҳашаротҳои даранда ба $-a_{33} < 0$ мувофиқат менамояд. Ба матритсаи А графи аломатӣ-нигаронидашуда ГАН дар расми 2 (а) тасвир ёфтааст.



Ба осонӣ дидан мумкин аст, ки нақшай шабеҳ барои агресенози пахта намуди зеринро дорад.



Расми 2. Мувофиқати соҳторҳои биологии сифатан устувор ва сифатан ноустувори экосистемаҳои бодии мо ва агресенози майдони пахта мувофиқи Юнуси, 1990

Системаи мураккаби муттаҳидшудаи чаҳор намуди расми 2 (б)-ро баррасӣ менамоем. Ба осонӣ дидан мумкин аст, ки ҳамаи шартҳои 1-4 иҷро мегарданд. Дар ҳақиқат, иҷроиши шарти якум ва дуюм санчида шудааст; шарти сеюм, яъне даврҳои дарозии аз ду зиёд мавҷуд нест, инчунин иҷро мегарданд. Дар ГАН мувофиқи шарти 5 санчиши «сиёҳу сафед» вайрон шудааст. Файр аз ин, шарти

чорум низ ичро мегардад, $\det(A) \neq 0$ яъне муайянкунандаи матритсаи A ба сифр баробар нест. Пас, матритсаи иттиҳоди A матритсаи сифатан устувор ба ҳисоб меравад, дар баробари ин вучуд доштани устувории сифатӣ асосан аз шартҳои рақобати дохилии байни ҳашароти фоидаовар вобастагӣ дорад.

Акнун системаи агрегии (омехтаи) мураккаби аз чор сатҳ иборатбударо дида мебароем: «дараҳтҳои мевадиҳанда – заرارрасонҳои дараҳтҳои мевадиҳанда – душманони табиии заرارрасонҳо – ангезандоҳои касалӣ». Матритсаи баҳамтаъсиррасонии ин иттиҳоди мувофиқбуда, намуди зерин дорад:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -a_{12} & 0 & -a_{14} \\ a_{21} & 0 & -a_{23} & 0 \\ 0 & a_{32} & -a_{33} & -a_{34} \\ a_{41} & 0 & a_{43} & 0 \end{pmatrix}$$

ва барои ин матритса графи алломатӣ-нигарондашуда намуди дар расми 2 (б) бударо дорад. Шартҳои устувории босифати 1-4-ро месанҷем. Ба осонӣ дидан мумкин аст, ки шарти 2-юм бинобар вучуд надоштани муносибати навъи (+ +) симбиоз ва (- -) рақобатӣ ичро мегардад, шарти 3-юм бошад бинобар он, ки дар ГАН давр бо дарозии 4 аст, ичро намегардад. Бо тақозои вайрон накардани тести «сиёҳу сафед» шарти 5 низ ичро намегардад. Шарти 4-ум ичро мегардад, чунки муайянкунандаи матритсаи умумии иттиҳод ба сифр баробар нест. Ҳамин тарик, ин иттиҳоди биологии дида баромадашуда сифатан ноустувор мебошад.

Дар фасли дуюм барои амсилаҳои нуқтагӣ, ҳангоми танҳо аз вақт вобаста будани саршумори популятсия, барои амсилаҳо бо назардошти тақсимоти вақтӣ-синнусолӣ ва инчунин барои амсилаҳо бо назардошти тақсимоти вақтӣ-синнусолӣ ва фазоӣ масъалаи омодасозии муҳофизати дараҳтҳои мевадиҳанда ба таври математикӣ баён шудаанд. Бигзор агросенози амсилагии се сатҳи трофикии навъи «дараҳтҳои мевадиҳанда», «ҳашароти зарarovar» ва «ҳашароти фоидаовар» мавҷуд бошад, ки ба онҳо манбаи берунӣ (порӯ ё об) бо суръати Q дохил мегардад. Биомассаи (ё саршумори) сатҳҳои мувофиқро бо $N_i, i=0, 1, 2, 3$, ишорат менамоем, ки дар ин ҷо N_0 массаи манбаи беруниро ифода менамояд. Дар корамон мо амсилаҳои навъи умумитарро дида мебароем, ки ҳолати системаи дараҳтҳои мевадиҳанда - «ҳашароти зарarovar» - ҳашароти фоидаовар»-ро бо назардошти таркиби синну сол ва тақсимоти фазоӣ бо ёрии муодилаҳои зерин ифода мешаванд, дида мебароем*:

* 1) Юнуси, (ов) М.К. Об одной интегро-дифференциальной задачи, связанных с биосистемой "хищник-жертва" / М.К. Юнуси (ов), У. Хайтова // Из в. АН Тадж ССР. Отд. физ.-мат. наук.-1985.-№ 3.-с. 68-70.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \quad \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - w_1(N_1) \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} + \sum_{j=1}^2 V_{1j} \frac{\partial N_1}{\partial x_j} = -D_1(a, t) N_2(x, a, t) - \\ - \int_0^\infty w(N_1(x, a, t), \tilde{z}) N_2(x, \tilde{z}, t) d\tilde{z} + \sum_{j=1}^2 d_{1j} \frac{\partial^2 N_2}{\partial x_j^2}, \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} + \sum_{j=1}^2 V_{2j} \frac{\partial N_2}{\partial x_j} = -D_2(a, t) N_2(x, a, t) + \\ + \sum_{j=1}^2 d_{2j} \frac{\partial^2 N_2}{\partial x_j^2}, \quad 0 < t < t_k, 0 < a < \infty, x \in G, \\ N_i|_{t=0} = N_i^0(x, a), \quad 0 \leq a < \infty, i = 0, 1, 2, 3, \\ \frac{\partial N_i}{\partial x_j} - \alpha_i N_i|_{x_i=0} = 0, \quad \frac{\partial N_i}{\partial x_j} + \alpha_i N_i|_{x_i=L_i} = 0, \\ N_2(x, 0, t) = \int_0^\infty B(a, t) N_2(x, a, t) da, \quad 0 < t < t_k, \\ N_3(x, 0, t) = \int_0^\infty \int_0^\infty K(a, \tilde{z}, t) w(N_2(x, a, t), \tilde{z}) N_3(x, \tilde{z}, t) d\tilde{z} da, \quad x \in \bar{G}, \end{array} \right. \quad (2)$$

$N_i = N_i(x, a, t), i = 2, 3$ – саршумори зараррасонхо ва дарандахо, $D_i(a, t)$ – коэффициентхой миқдори фавт $i = 2, 3$; $B(a, t)$ – коэффициенти таваллуди зараррасонхо, $w(\cdot)$, $w_i(N)$ – функцияи алоқаи трофикии намуди $w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^k}{w_i^1 + N_i^k}$, $K(\cdot)$; $K(\cdot)$ – коэффициенти ҳазмкунӣ, V_{ij} – суръати тағирии маҳал, d_{ij} – коэффициентҳои диффузия; $\bar{G} = G + S, G = \{(x_1 x_2) : 0 < x_i < L_i, i = 1, 2\}$, S – сарҳади минтақаи G .

Дар оянда чунин мешуморем, ки **шарти (*)**:

1. $N_i = \max_{x \in \bar{G}} N_i(x, a, t), i = 2, 3$ (қайдҳои қаблиро нигоҳ медорем) ва инчунин, фарзия дар нуқтаҳои максималӣ иҷро мешавад:
2. $\sum_{j=1}^2 d_{ij} \frac{\partial^2 N_i}{\partial x_j^2} = -\delta N_i$, яъне мубодилаи диффузия мутаносибан бо коэффициенти $\delta > 0$ ба амал меояд.

Бигзор шарти (*) амал намояд, он гоҳ (2)-ро дар натиҳаи табдилдиҳихои номураккаб ва бо назардошти мавҷуд набудани паразитизм, ба масъалаи нисбатан соддаи навъи зерин меорем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, N_i|_{t=0} = N_i^0, \quad i = \overline{0,3}; \\ \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - w_1(N_1) \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial a} = k_1 w_1(N_1) M_2 - w_2(M_2) \tilde{M}_3 - m_2 M_2 - \delta_1 M_2, \quad \delta_1 > 0, \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial M_3}{\partial a} = k_2 w_2(M_2) M_3 - \varepsilon M_3^2 - m_3 M_3 - \delta_2 M_3, \quad \delta_2 > 0, \\ N_2(0, t) = \int_0^\infty B_2(\xi, t, N_1) M_2(\xi, t) d\xi, \\ N_3(0, t) = \int_0^\infty B_3(\xi, t, \tilde{M}_2) M_3(\xi, t) d\xi, \\ w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^k}{w_i^1 + N_i^k}, \quad i = 1,2. \end{array} \right. \quad (3)$$

ки ин мавзүи таҳқиқоти мо мебошад, дар синфи моделҳои муттаҳидшуда барои минтақаҳое, ки ҳашароти зааррасон зиёданд. Масъалаи нисбат ба (2) умумитар дар [58] баррасӣ шудааст:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q - F_0(N_0, N_1), \\ \frac{dN_1}{dt} = N_1 F_1(N_0, N_1, \tilde{N}_2), \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} = N_2 F_2(N_1, N_2, \tilde{N}_3), \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial N_3}{\partial a} = N_3 F_3(N_2, N_3), \end{array} \right. \quad (4)$$

$$N|_{t=0} = N_i^0, \quad i = 0,1,2,3, \quad (5)$$

$$N|_{a=0} = \int_0^\infty B_i(N, \xi, t) d\xi, \quad i = 2,3, \quad (6)$$

ки дар ин чо $B_i = B_i(N, a, t) \geq 0$ – функсияи таваллудшавии ҳашаротҳо, функсияҳои $F_i = F_i(\cdot)$ – суръатҳои нисбии мувофиқи афзоиши намудҳои биологии агросеноз, $\tilde{N}_i = \tilde{N}_i(t), i = 2,3$ саршумори умумии мувофиқ ба ҳашаротҳои зааровар ва фоидаовар, аз рӯи он синну соле, ки дар зироатҳои боғӣ зарар меоранд ва зааррасонҳоро нобуд мекунанд (барои амсилаҳои нуқтагӣ $i = 2,3$, t – вақт, $t \in [0, t_k]$, $t_k = const < \infty$, a – синну сол, $0 \leq a < \infty$). Барои агросенози амсилагӣ (2) шартҳои ибтидой дода мешаванд.

Масъалаи омодасозии муҳофизатиро дар истилоҳи агросенози (3-4), амсилаи нуқтагӣ баён менамоем, яъне

$$N_i(a, t) \equiv N_i(t). \quad (7)$$

Сатҳи банақшагирифташавандай додашудаи биомассаи экосистемаҳои меваҳои боғиро дохил менамоем:

$$N_i^\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau N_i(t) dt, \quad i = \overline{1,3}, \quad \tau > 0.$$

Бигузор N_1^p сатҳи банақшагирифташудаи биомассаи меваҳои экосистемаи боғӣ бошад (бояд биомассаи миёнааш аз он кам нашавад):

$$N_1^\tau \geq N_1^p, \quad N_1^p \in [N_1^{\min}, N_1^{\max}]. \quad (8)$$

Нобаробариҳои

$$N_2^\tau \leq N_2^p, \quad N_3^\tau \geq N_3^p \quad (9)$$

-ро дида мебароем. Дар ин ҷо N_2^p, N_3^p ададҳои мусбати номаълум N_1^{\min}, N_1^{\max} – доимиҳои ғайриманфӣ. Ёфтани N_2^p, N_3^p аз рӯи қимати додашуда N_1^p талаб карда мешавад. Агар масъалаи омодасозӣ ҳал надошта бошад, бояд масъалаи оптималгардонӣ ҳал карда шавад. Аз нуқтаи назари математикӣ ин аз дохил намудани аъзоҳо $-\mu(D)N_2, \alpha\mu(D)N_3 + PN_3$ ба тарафҳои рости муодилаҳои 3-юм ва 4-уми системаи (2-6) иборат аст. Дар ин ҷо $\mu(D)$ функтсияи «тъсири миқдор» аз истифодаи миқдори $D=D(t), P=P(t)$ – идоракунии биологӣ, яъне суръати нисбии ҳашароти фоидаовари ба майдон сардодашаванд мебошад. Чораҳои агротехникӣ ҳангоми дохил намудани аъзои $Q = Q(t)$ ба қисми рости муодилаи системаи (2-6) ба ҳисоб гирифта мешаванд. Фарз карда мешавад, ки параметрҳои идоракунӣ $u = (Q, P, D) \in U$, ки дар ин ҷо U – маҷмӯи имконпазири (идоракунии қисман-бефосилагӣ ва маҳдуд) мебошад. Бигузор тағиироти дар боло зикргардида дар амсилаи агросеноз иҷро шуда бошанд. Он гоҳ, масъалаи идоракунии оптималий бо агросенози амсилагӣ (2-6) аз ёфтани чунин идоракунӣ $u^* = u(t) \in U$ иборат аст, ки барои он функсионали арзиш:

$$\left. \begin{aligned} I(u) &= \int_0^{t_k} f^0(N_1, N_2, N_3, u) dt + \varphi(N_1, N_2, N_3, u)|_{t_k} \\ I(u) &= \int_0^{t_k} \int_0^\infty f^0(N_1, N_2, N_3, u) da dt + \int_0^\infty \varphi(N_1, N_2, N_3, u) da|_{t_k} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

дар ҳалли масъалаи (4) (бо назардошти тағииротҳои вориднамуда ба қисмҳои рост) бояд қимати камтаринро қабул намояд. Дар функсиони $I(u)$ функсияҳои $f^0(\cdot), \varphi(\cdot)$ зарари умумӣ (ё талафот)-ро аз тарафи ҳашароти заرارрасон, ҳароҷот барои истеҳсоли навъи биологӣ бо мақсади идора намудан ва ҳароҷот барои заҳроҳи кимиёвӣ ва ғайра ифода намуда, илова бар ин

$$\left\{ \begin{aligned} f^0(\cdot) &= \sum_{i=1}^3 f_i^0(N) + C_1 P + C_2 D \geq 0, \quad f_i^0(N) \geq 0, \\ \varphi^0(\cdot) &= \sum_{i=1}^3 \varphi_i^0(N) + C_1 P + C_2 D \geq 0, \quad \varphi_i^0(N) \geq 0, \quad i = 1, 2, 3, \end{aligned} \right.$$

ки дар ин чо $C_i = const > 0$. Функцияи «тасири миқдор» $\mu = \mu(D)$ шартҳои зеринро қаноат мекунонанд:

$$\mu(D) > 0, \quad \frac{d\mu}{dD} > 0, \quad \frac{d^2\mu}{dD^2} \leq 0.$$

Фасли сеом ба ҳалли масъалаи омодагӣ ҳангоми статсионарӣ будани агросенози амсилагии (2-3), (4) бахшида шудааст. Бо такя ба корҳои профессор Юнусӣ теоремаи зайл исбот гардидааст.

Теорема 1. Бигзор амали якҷоя байни намудҳои агросенозҳои (2-3), (4) аз рӯи қонуни Волтерр амалӣ гардад, яъне

$$\begin{cases} F_0(\cdot) = \alpha_0 N_0 N_1, \\ F_1(\cdot) = k_0 \alpha_0 N_0 - \alpha_1 \tilde{N}_2 - m_1, \\ F_2(\cdot) = k_1 \alpha_1 N_1 - \alpha_2 \tilde{N}_3 - m_2, \\ F_3(\cdot) = k_2 \alpha_2 N_2 - \varepsilon N_3 - m_3, \quad m_i > 0, \quad i = 1, 2, 3, \end{cases} \quad (11)$$

он гоҳ барои он, ки нобаробарии (8) ҷой дошта бошад, зарур ва кифоя аст, ки нобаробариҳои (9) ҷой дошта, дар баробари ин

$$\begin{cases} N_2^p = \frac{k_0 Q}{\alpha_1 N_1^p} - \frac{m_1}{\alpha_1}, \quad N_3^p = \frac{k_1 \alpha_1}{\alpha_2} N_1^p - \frac{m_2}{\alpha_2}, \\ N_1^{\min} = \frac{m_2}{k_1 \alpha_1}, \quad N_1^{\max} = \frac{k_0 Q}{m_1}, \end{cases} \quad (12)$$

бошанд. Қайд мекунем, ки $N_1^p = \frac{k_0 Q}{m_1}$ танҳо дар системаи «манбаи зироати боғӣ» ичро гашта, $N_1^p = \frac{m_2}{k_1 \alpha_1}$ бошад дар системаи «манбаи зироати боғӣ – ҳашароти зараррасон» ичро мегардад. Барои мавҷудияти ҳалли масъалаи омодагии идоракуни агросенозҳо бояд $Q > \frac{m_1 m_2}{k_0 k_1 \alpha_1}$ бошад. Дар ҳамин чо, дар ҳолати умумӣ, алгоритми ҳалли масъалаи баррасишаванда пешниҳод гардида, як қатор мулоҳизаҳои фоиданок оварда шудаанд.

Фасли чорум ба масъалаи ғайристатсионарии муҳофизати зироатҳои боғӣ дар чорҷӯбай амсилаҳои нуқтагӣ ҳангоми ба қонуни (11) итоат кардани тасири мутақобилаи байни намудҳо бахшида шуда, теорема дар бораи шартҳои зарурӣ ва кифоягии мавҷудияти ҳалли масъалаи ҳимояи ҳосили боғҳои маданиӣ, дар фосилаи вақти калон исбот карда шудааст.

Дар фасли панҷум масъалаи муҳофизати зироатҳои боғӣ, дар ҳолате ки функцияи трофикии системаҳои «ҳашароти зараррасон-ҳашароти фоидаовар» барои системаҳои биологии «дараҳтҳои мевадиҳанда – зараррасонҳои дараҳтҳои мевадиҳанда – душманони табиии зараррасонҳо» ба қадри кофӣ умунианд, дида баромада мешавад. Дар ин маврид биосистемаи амсилагии зайл дида баромада мешавад:

$$\begin{cases} \dot{N}_0 = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \\ \dot{N}_1 = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - \alpha_1 N_1 \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \dot{N}_2 = k_1 \alpha_1 N_1 N_2 - w(N_2) N_3 - m_2 N_2, \\ \dot{N}_3 = k_2 w(N_2) N_3 - m_3 N_3, \\ N_1^\tau \geq N_1^p, \quad N_2^\tau \leq N_2^p, \quad N_3^\tau \geq N_3^p, \end{cases} \quad (13)$$

дар инчо $w = w(N)$ функцияи трофикии таъсири мутақобили ҳашаротҳои зааррасон ва фоидаовар бо хосиятҳои муқаррарии

$$w(N) > 0, \quad \frac{dw(N)}{dN} > 0, \quad \frac{d^2w(N)}{dN^2} \leq 0 \quad (14)$$

мебошад.

Теорема 2. Фарз мекунем, ки $\frac{1}{t-\tau} \int_{\tau}^t N_1(t) dt \geq N_1^p$ ва $w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^k}{w_i^1 + N_i^k} \leq \bar{a} < \infty$ бошад. Он гоҳ, барои он ки масъалаи ҳосили банақшагирифташуда ҳалли $N_1^\tau \geq N_1^p$, $N_1^p \in [N_1^{\min}, N_1^{\max}]$, дошта бошад, зарур ва кифоя аст, ки шартҳои зерин ичро гарданд:

$$\begin{cases} N_0(t) \leq \frac{Q}{\alpha_0 N_1^p}, \quad N_2^\tau \leq N_2^p, \\ N_3^\tau \geq N_3^p, \quad \text{где } N_2^p = \frac{k_0 Q}{\alpha_1 N_1^p} - \frac{m_1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_1 \tau} \ln \frac{N_1(\tau)}{N_1(0)}, \\ N_3^p = \frac{k_1 \alpha_1}{\bar{a}} N_1^p - \frac{m_2}{\bar{a}} - \frac{1}{\bar{a} \tau} \ln \frac{N_2(\tau)}{N_2(0)}. \end{cases} \quad (15)$$

N_1^p – адади мусбии ихтиёри аз фосилаи дидабаромадашавандай $[N_1^{\min}, N_1^{\max}]$ мебошад.

Баъдан, дар ин параграф биосистемаи нуқтагии амсилагии навъи (13) баррасӣ мегардад, ки дар он барои ҳамаи намудҳои биологӣ, функцияҳои трофикий – ихтиёри бо хосиятҳои (14) интихоб карда мешаванд ва барои онҳо бошад шартҳои кифоягӣ ва зарурии мавҷудияти ҳалли масъалаи муҳофизати растаниҳо дар экосистемаҳои боғӣ ҳосил карда шудаанд.

Фасли шашум ба ҳосил кардани шартҳои зарурӣ ва кифоягии мавҷудият ва муайян намудани ҳалли масъалаи муҳофизати растаниҳо бо назардошти соҳтори синнусолии ҳашаротҳои зааррасон ва фоидаовар, барои функцияҳои трофикии ихтиёри бахшида шудааст. Системаи амсилагӣ дар ин ҳолат чунин намуд дорад:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \\ \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - w_1(N_1) \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} = k_1 w_1(N_1) N_2 - w_2(N_2) \tilde{N}_3 - m_2 N_2, \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial N_3}{\partial a} = k_2 w_2(N_2) N_3 - \varepsilon N_3^2 - m_3 N_3, \\ N_i|_{t=0} = N_i^0, i = \overline{0, 3}; \\ N_2(0, t) = \int_0^\infty B_2(\xi, t, N_1) N_2(\xi, t) d\xi, \\ N_3(0, t) = \int_0^\infty B_3(\xi, t, \tilde{N}_2) N_3(\xi, t) d\xi, \end{cases}$$

ки дар ин чо $B_2(\cdot)$, $B_3(\cdot)$ мувофиқан коэффицентҳои таваллудшавии ҳашаротҳои зааррасон ва фоидаовар мебошанд.

Баъдан дар ин фасл масъалаи идоракуни оптималий дида баромада мешавад, ки ба масъалаи муҳофизати растаниҳои экосистемаҳои боғӣ бо назардошти соҳтори синну соли ҳашаротҳо алоқаманд ҳисоб меёбад. Аз нуқтаи назари математикий ин масъала бо шакли зерин ифода карда мешавад.

Бигзор функцияҳои $N_i = N_i(t), i = 0, 1; N_i = N_i(a, t), i = 2, 3$ шартҳои зеринро қаноат кунонанд:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - F_0(N_0, N_1), \\ \frac{dN_1}{dt} = N_1 F_0(N_0, N_1, \tilde{N}_2), \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} = N_2 F_2(N_1, N_2, \tilde{N}_3) - \mu(D) N_2, \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial N_3}{\partial a} = N_3 F_3(N_2, N_3) - \alpha \mu(D) N_3 + P N_3, \\ N_i|_{t=0} = N_i^0, i = \overline{0, 3}; \\ N_j(0, t) = \int_0^\infty B_j(N_j, \xi, t) d\xi, j = 2, 3. \end{cases}$$

Дар ин чо $u = (Q, P, D) \in U = \left\{ \begin{array}{l} u = u(t): u_{min} \leq u(t) \leq u_{max} \\ u(t) - \text{функцияи қисман - бефосила} \end{array} \right\}$.

Он гоҳ масъалаи идоракуни оптималӣ аз дарёфти функцияи $u^* \in U$ иборат мебошад, ки барои он

$$I(P, D, Q) = \int_0^{t_k} \int_0^\infty f^0(N_1, N_2, N_3, u) da dt + \int_0^\infty \varphi(N_1, N_2, N_3, u) da|_{t_k}$$

қимати хурдтарини худро соҳиб мегардад. Барои масъалаи мазкур принсипи максимумро истифода бурда, шарти зарурии минимум барои идоракуни оптималӣ ҳосил гардидааст.

Дар фасли ҳафтум масъалаҳои оптималгардонии муҳофизати ҳосили дараҳтҳои мевадиҳандай экосистемаҳои боғӣ ва таҳқиқи онҳо таҳқиқ гардида, принсипи максимуми Понтрягин барои масъалаи оптималгардонии муҳофизати растаниҳо дар экосистемаҳои боғӣ таҳия карда шудааст:

Теоремаи 3. Бигзор функцияҳои $f^0(\cdot), f^1(\cdot), F(\cdot), N(\cdot), B(\cdot)$ ба қадри коғӣ суфта ва барои онҳо инчунин, барои дилҳоҳ $u \in U$ ҳалли ягонаи масъала мавҷуд аст. Барои он, ки бо назардошти муодилаҳои оптималии масъалаҳои $I(u) = \int_0^{t_k} \int_0^\infty f^0(a, N, u) da dt + \int_0^\infty f^1(a, N_2, u)|_{t_k} da$,

$$\begin{cases} \partial_{ta} N = F(N, a, t, u_0), 0 < a < \infty, 0 < t < t_k, \\ N(a, 0) = N_0(a), 0 \leq a < \infty, \\ N(0, t) = \int_0^\infty B(N(\xi, t), \xi, t, u_k) d\xi, 0 \leq t \leq t_k, \end{cases}$$

$u^* = u^*(t) \in U$ бошад, нобаробарии зерин бояд қонеъ карда шавад:

$$\int_0^{t_k} \int_0^\infty \left\{ \left[\frac{\partial f^0}{\partial u_0} + \left(\frac{\partial F}{\partial u_0} \right)^* \Psi \right] (u_0 - u_0^*) + \left[\frac{\partial f^0}{\partial u_1} + \left(\frac{\partial F}{\partial u_1} \right)^* \Psi|_{\alpha=0} \right] (u_1 - u_1^*) \right\} da dt \geq 0$$

барои ҳама $u \in U$ мебошад. Дар ин чо $\Psi = \Psi(a, t)$ ҳалли системаи ҳамҷояшуда аст:

$$\begin{cases} (\partial_{t\alpha})^* \Psi = -\frac{\partial H}{\partial N} \\ \Psi(\alpha, t_k) = -\frac{\partial f^1}{\partial N}|_{t_k}, \Psi(\infty, t) = 0 \end{cases}$$

дар ин чо $H(\cdot) = (F, \phi) + (B, \Psi|_{\alpha=0}) - f^0(\cdot)$ мебошад.

Фасли ҳаштум ба омӯзиши ҳалли як масъалаи ғайрихаттӣ бахшида шудааст, ки бо системаи навъи «ҳашароти фоидаовар – ҳашароти заرارрасон», бо назардошти соҳтори синну сол ва тақсимоти фазоӣ алоқамандӣ дорад. Масъалаҳои математикии мувофиқ асоснок мебошанд. Амсилаи математикӣ, ки ҳолати системаи «ҳашароти фоидаовар – ҳашароти заرارрасон»-ро тасвир мекунад, бо назардошти соҳтори синну соли он ва бо назардошти тақсимоти фазоӣ бо ёрии муодилаҳои зайл* дода мешавад:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \quad \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - w_1(N_1) \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} + \sum_{j=1}^2 V_{1j} \frac{\partial N_1}{\partial x_j} = -D_1(a, t) N_2(x, a, t) - \\ - \int_0^\infty w(N_1(x, a, t), \tilde{z}) N_2(x, \tilde{z}, t) d\tilde{z} + \sum_{j=1}^2 d_{1j} \frac{\partial^2 N_2}{\partial x_j^2}, \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial N_2}{\partial a} + \sum_{j=1}^2 V_{2j} \frac{\partial N_2}{\partial x_j} = -D_2(a, t) N_2(x, a, t) + \\ + \sum_{j=1}^2 d_{2j} \frac{\partial^2 N_2}{\partial x_j^2}, \quad 0 < t < t_k, 0 < a < \infty, x \in G, \\ N_i|_{t=0} = N_i^0(x, a), \quad 0 \leq a < \infty, i = 0, 1, 2, 3, \\ \frac{\partial N_i}{\partial x_j} - \alpha_i N_i|_{x_i=0} = 0, \quad \frac{\partial N_i}{\partial x_j} + \alpha_i N_i|_{x_i=L_i} = 0, \\ N_2(x, 0, t) = \int_0^\infty B(a, t) N_2(x, a, t) da, \quad 0 < t < t_k, \\ N_3(x, 0, t) = \int_0^\infty \int_0^\infty K(a, \tilde{z}, t) w(N_2(x, a, t), \tilde{z}) N_3(x, \tilde{z}, t) d\tilde{z} da, \quad x \in \bar{G}. \end{array} \right.$$

$N_i = N_i(x, a, t)$, $i = 2, 3$ – саршумори заرارрасонҳо ва дарандахо, $D_i(a, t)$ – коэффициенти нобудшавӣ $i = 2, 3$; $B(a, t)$ – коэффициенти таваллудшавии заرارрасонҳо, $w(\cdot)$ – функцияи алоқаҳои трофикиӣ; $K(\cdot)$ – коэффициенти ҳазмкунӣ, V_{ij} – суръати тағирии маҳал, d_{ij} – коэффициентҳои диффузияҳо; $\bar{G} = G + S$, $G = \{(x_1 x_2) : 0 < x_i < L_i, i = 1, 2\}$, S – сарҳади минтақаи G .

Ишораҳоро бе тағирии намуди функцияҳо дохил менамоем:

$$M_i = \max_{x \in \bar{G}} N_i(x, a, t), \quad i = 2, 3 \text{ ё } (M_i = \min_{x \in \bar{G}} N_i(x, a, t), \quad i = 2, 3).$$

Масъалаи мо дар натиҷаи таҷдидҳои номураккаб ба масъалаи навъи бе ҳосилаҳои тартиби якум ва дуюм оварда мешавад, $(\frac{\partial N_i}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial^2 N_i}{\partial x_i^2} \leq 0)$ дар ҳолати максимум ва $(\frac{\partial N_i}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial^2 N_i}{\partial x_i^2} \geq 0)$ дар ҳолати минимум. Аъзоҳои $\delta_i M_i$ – ро ба қисмҳои рости масъала дохил намуда, ҳосил мекунем:

* 1) Юнуси, (ов) М.К. Об одной интегро-дифференциальной задачи, связанных с биосистемой «хищник-жертва» / М.К. Юнуси (ов), У. Хайтова // Изв. АН Тадж ССР. Отд. физ.-мат. наук. - 1985. - №3. - С.68-70.

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, N_i|_{t=0} = N_i^0, i = \overline{0,3}; \\ \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - w_1(N_1) \tilde{N}_2 - m_1 N_1, \\ \frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial a} = k_1 w_1(N_1) M_2 - w_2(M_2) \tilde{M}_3 - m_2 M_2 - \delta M_2, \quad \delta - const > 0, \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} + \frac{\partial M_3}{\partial a} = k_2 w_2(M_2) M_3 - \varepsilon M_3^2 - m_3 M_3 - \delta M_3, \\ N_2(0, t) = \int_0^\infty B_2(\xi, t, N_1) M_2(\xi, t) d\xi, \\ N_3(0, t) = \int_0^\infty B_3(\xi, t, \tilde{M}_2) M_3(\xi, t) d\xi. \end{cases}$$

Баъд аз ин мавзүи экосистемаҳои боғии амсилагӣ бо назардошти сохтори синнусолӣ ва тақсимоти фазоӣ таҳқиқ карда мешавад, ки бо оптималгардондани раванди ҳимояи дараҳтҳои мевадиҳанда ва ҳосили онҳо алоқамандӣ дорад.

Теорема 4. Фарз мекунем, ки функцияи $w_i(N) = \frac{w_i^0 N_i^{k+1}}{w_i^1 + N_i^k}$,

$0 < \max \frac{w_i(N_i(a,t))}{N_i(a,t)} \leq b < \infty$, вуҷуд дорад. $b = const, i = 1, 2$. Сипас, барои он ки он $\frac{1}{\tau} \int_0^\tau N_1(t) dt \geq N_1^P, N_1^P \in [N_1^{min}, N_1^{max}]$ ҷой дошта бошад, зарур ва коғист, ки нобаробарии зерин амалӣ шаванд.

$$\begin{cases} N_o(O) = \frac{Q}{\alpha_o N_1^P}, 0 \leq t \leq \tau, \\ \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \tilde{N}_2(t) dt \leq N_2^P, \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \tilde{N}_3(t) dt \geq N_3^P, \\ N_2^P \leq \frac{k_o Q}{\bar{\alpha}_1 N_1^P} - \frac{m_1}{\bar{\alpha}_1} - \frac{1}{\bar{\alpha}_1 \tau} \frac{\ln \tilde{N}_1(\tau)}{N_1(O)}, \\ N_3^P \leq \frac{k_2 \bar{\alpha}_1}{\bar{\alpha}_2} N_1^P - \frac{m_2}{\bar{\alpha}_2} \frac{1}{\bar{\alpha}_2 \tau} \max_\alpha \frac{\ln \tilde{N}_2(\tau)}{N_2(O)}. \end{cases}$$

Дар фасли нуҳум масъалаи умумии муҳофизати дараҳтони мевадиҳанда ва натиҷаҳои нави марбут ба интиҳоби захираҳои беруна оварда шудаанд. Фарз мекунем, ки онҳо таҳминан ба синфи функцияҳои бефосила ё бо квадрати функция ҳамҷоякардашуда, тааллук доранд. Барои онҳо мавҷудияти ҳосили банақшагирифташуда сабит карда мешавад.

1.9.1. Агар $Q = Q(t) \in C$ -қисман бефосила бошад, пас Q дар ҳалли масъалаи омодагӣ, яъне барои ифодаҳои N_1^p, N_2^p, N_3^p бояд қиматҳои $\bar{Q} = \max_t \max_i Q_i(t)$ гирад. Дар ҳақиқат,

$$\begin{aligned} N_0(t) &= N_0(0) \exp \left(-\alpha_0 \int_0^t N_1(\xi) d\xi \right) + \int_0^t Q(\xi) \exp \left(-\alpha_0 \int_\xi^t N_1(\xi) d\xi \right) d\xi \leq \\ &\leq \left[N_0(0) - \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 N_1^p} \right] \exp(-\alpha_0 N_1^p t) + \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 N_1^p} = \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 N_1^p}, \quad 0 \leq t \leq \tau, \end{aligned}$$

мешавад, он гоҳ ҳалли масъалаи омодагӣ танҳо аз \bar{Q} вобаста хоҳад буд.

1.9.2. Бигзор $Q \in L_2$ бошад, сипас,

$$\begin{aligned} N_0(t) &\leq N_0(0) \exp(-\alpha_0 N_1^p t) + \sqrt{\int_0^t Q^2 d\xi} \sqrt{\int_0^t \exp(-2\alpha_0 N_1^p (t-\xi)) d\xi} \leq \\ &\leq N_0(0) \exp(-\alpha_0 N_1^p t) + \sqrt{\frac{\int_0^t Q^2 d\xi}{2\alpha_0 N_1^p}} \sqrt{1 - \exp(-2\alpha_0 N_1^p t)} \end{aligned}$$

мешавад. Азбаски $\sqrt{1-x} \leq 1 - \frac{x}{2}$, $0 < x < 1$ аст, пас бо гузоштани $\bar{Q} = \sqrt{\frac{\alpha_0}{2} \int_0^t Q^2 d\xi}$, $\bar{N}_1^p = \sqrt{N_1^p}$, $\varphi(t) = N_0(0) - \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 \bar{N}_1^p} e^{-\alpha_0 N_1^p t}$ аз нобаробарии охирон $N_0(t) \leq \varphi(t) e^{-\alpha_0 N_1^p t} + \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 \bar{N}_1^p}$ -ро ҳосил мекунем. Агар $\bar{Q}(t) = \bar{Q}(\tau) \exp(-\alpha_0 N_1^p (\tau-t))$ и $N_0(0) - \frac{\bar{Q}(\tau)}{\alpha_0 \bar{N}_1^p} e^{-\alpha_0 N_1^p t}$ башад, пас $\varphi(t) \leq 0$ ва аз ин рүй, $N_0(t) \leq \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 \bar{N}_1^p}$ барои дилҳоҳ t , $0 \leq t \leq \tau$ мешавад. Ҳамин тавр, ҳалли масъалаи омодагӣ дар ҳолати зерин аз $Q_{max} = \max_t \bar{Q}(t)$ ва \bar{N}_1^p вобаста аст.

Дар боби дуюм масъалаҳои соҳтани алгоритмҳои компьютерӣ барои гузаронидани таҷрибаҳо оид ба муайян кардани параметрҳои муҳофизати дараҳтони мевадиҳӯнда дар экосистемаҳои боғ баррасӣ карда мешаванд.

Дар фасли якуми ин боб масъалаҳои таъмини микдори зарурии об дар масъалаи рушди устувори “захираҳои об – аҳолӣ”, ки тавассути системаи муодилаҳои дифференсиалии ғайриҳаттӣ дар ҳосилаҳои қисмӣ бо аъзоҳои интегралӣ дар сарҳади минтақа тавсиф шудаанд, омӯхта мешаванд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_0}{\partial t} + v_0 \frac{\partial N_0}{\partial x} &= Q - F_0(N_0, \tilde{N}), \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial a} + \sum_{i=1}^2 V_i \frac{\partial N}{\partial x_i} &= F(N_0, N) + \sum_{i=1}^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_i(N) \frac{\partial N}{\partial x_i} \right), \\ x \in G, 0 < a < \infty, 0 < t \leq t_k & \\ N_0(x, 0) = N_0^0, & N(x, a, 0) = N_0(x, a), x \in \bar{G}, 0 \leq a < \infty, \\ N(x, 0, t) = \int_0^{a_{max}} B(N(x, \xi, t)) d\xi, & \\ N|_s = 0, \text{ или } \left(D_i(N) \frac{\partial N}{\partial x_i} - V_i N|_s = 0 \right), & \end{aligned}$$

дар ин ҷо $B_i(\cdot)$ – коэффициенти тавлидшавӣ. Дар асоси ин модел ва муодилаи

$$\text{Сен-Венант, формулаи сарфаи об ба намуди } Q(x, t) = c_0 e^{\delta \max(t - \frac{x}{u})} + \sum_{j=1}^{\infty} c_j e^{\alpha_j(t - \frac{x}{u})} \cos \beta_j(t - \frac{x}{u})$$

ба даст оварда мешавад, ки барои фаъолияти экосистемаҳои боғӣ микдори зарурии об интиҳоб мегардад.

Дар фасли дуюми ин боб алгоритми ҳалли масъалаи аслии муҳофизати дараҳтони мевадиҳӯндаи экосистемаҳои боғӣ дар ҳолати ба таври максималӣ ҷамъ овардани мушахҳасот барои дараҳтони мевадиҳӯндаи экосистемаҳои боғӣ, ки бо вазифаҳои одии ғизой баррасӣ шудаанд, пешниҳод карда шудааст. Схемаи фарқиро истифода бурда масъалаи дар боло овардашударо аз рӯи усули локалии якченака бо равишҳои тафийирёбанд дар ҳар як сатҳи ҳисобкунии тири вакът меёбем:

$$\begin{cases} \bar{a}_{ij} \bar{Y}_{i+1j} - \bar{C}_{ij} \bar{Y}_{ij} + \bar{b}_{ij} \bar{Y}_{i-1j} = -\bar{f}_{ij}, & t' = t + \tau/2, \\ a_{ij} Y_{ij+1} - C_{ij} Y_{ij} + b_{ij} Y_{ij+1} = -f_{ij}, & t' = t + \tau \end{cases} \quad (16)$$

$$\bar{a}_{ij} = \frac{\tau}{2h_1^2} D, \bar{b}_{ij} = \frac{\tau}{2h_1^2} D, \bar{C}_{ij} = \bar{a}_{ij} + \bar{b}_{ij},$$

$$\bar{f}_{ij} = Y_{ij}, a_{ij} = \frac{\tau}{2h_2^2} D, f_{ij} = \bar{Y}_{ij},$$

$$a_{ij} = \frac{\tau}{2h_2^2} D, b_{ij} = \frac{\tau}{2h_2^2} D, C_{ij} = a_{ij} + b_{ij},$$

барои ҳамаи: $i = \overline{1, N_1}$, $j = \overline{j_0 + 1, N_2}$, $\bar{a}_{0j} = 1$, $\bar{b}_{0j} = 1$, $\bar{a}_{N_1+1j} = 0$, $\bar{b}_{N_1+1j} = 1$,

$$\bar{C}_{0j} = 1 + \frac{h_1^2}{2\tau D}, \bar{C}_{N_1+1j} = 1 + h_1^2 / 2\tau D, \bar{f}_{0j} = \frac{h_1^2}{2\tau D} \bar{Y}_{0j}, \bar{f}_{N_1+1j} = \frac{h_1^2}{2\tau D} \bar{Y}_{N_1+1j}$$

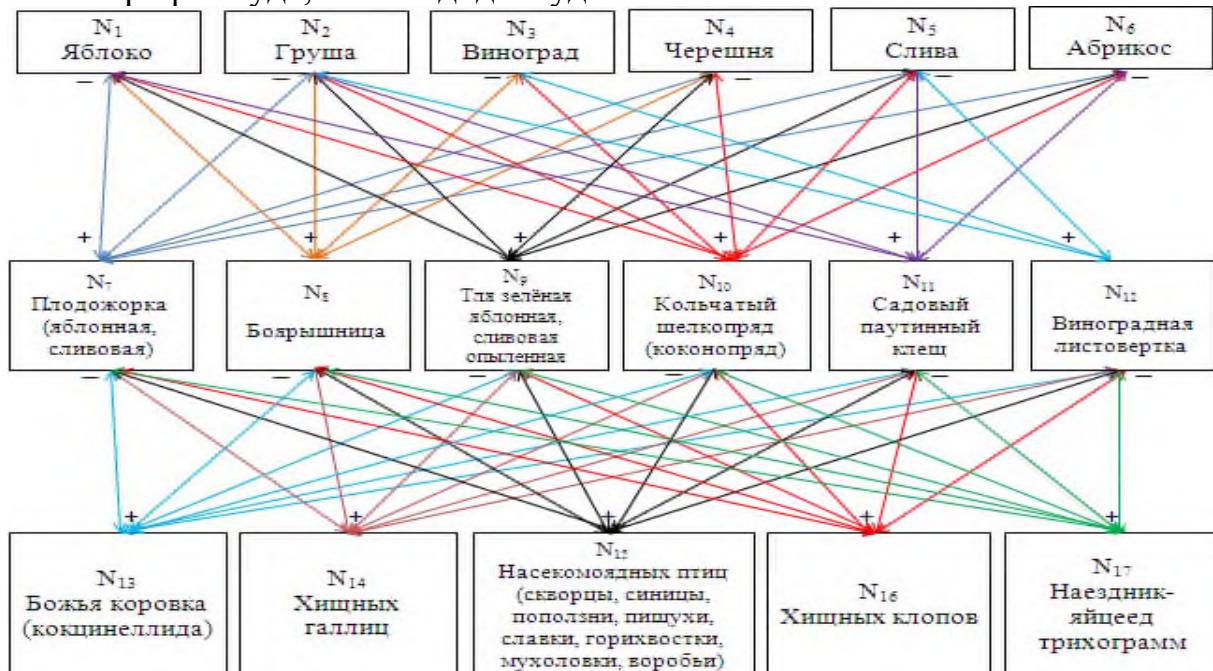
барои ҳамаи: $j = \overline{j_0, N_2 + 1}$, $a_{ij_0} \equiv 1$, $b_{ij_0} \equiv 1$, $C_{ij_0} = 1 + \frac{h^2}{2\tau D}$

$$a_{iN_2+1} \equiv 0, C_{iN_2+1} = 1 + \frac{h_2^2}{2\tau D}, f_{iN_2+1} = \frac{h_2^2}{2\tau D} \bar{Y}_{iN_2+1}, f_{ij_0} = \frac{h_2^2}{2\tau D} \bar{Y}_{ij_0}, i = \overline{0, N_1 + 1}.$$

Системаи (16) бо усули гузарониши фарқӣ ҳал карда мешавад.

Фасли сеюми ин боб ба масъалаҳои асосноккунӣ ва ба вучуд овардани алгоритмҳои амсиласозии адади экосистемаҳои боғӣ барои амсилаҳои нуктагӣ дар асоси усули умумикардашудаи квадратҳои хурдтарин баҳшида шудааст. Дар ин ҷо усулҳои амсиласозии компютерии экосистемаҳо соҳторҳои хоси экосистемаҳои боғиро таҳлил мекунанд, ки сатҳҳои асосии онҳо инҳоянд: дараҳтҳои мевадиҳанда, заرارрасонҳои дараҳтҳои мевадиҳанда, энтомофагҳо (дарандашо ва ҳаромхӯрҳои заرارрасон), инчунин ангезандаҳои касалиҳо иштирик менамоянд. Натиҷаҳо зимины ба нақшагирии чорабиниҳои муборизаи биологӣ бо заرارрасонҳои экосистемаи боғӣ аҳамияти методологӣ ва амалӣ дорад.

Инчунин алгоритми ҳалли адади муайян кардани биомасса ва шумораи соҳторҳои биологии экосистемаҳои боғии «Кушониён» ва «Хурсон» бо мақсади ҷамъоварии ҳосили пешбинишуда дар асоси нақшай дар параграфи 1-и боби 1 гирифташуда, нишон дода шудааст:



Расми 2. Нақшай умумии вақтӣ-синусолии баҳамтаъсироти байни намудҳои экосистемаҳои боғи «Кушониён» ва «Хурсон»

Муодилаҳои мувофиқро барои нақшай мазкур, ки дар расми 2 нишон дода шудааст, бо назардошти таркиби вақт ва синну сол, дар намуди зерин нишон додан мумкин аст:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - \sum_{i=1}^6 \alpha_i \bar{N}_i N_0, \\ \frac{\partial N_i}{\partial t} + \frac{\partial N_i}{\partial a} = u_i F_i(\cdot), & i = 1, \dots, 17. \end{cases}$$

Бо навишти тағийирёбандажои намуди $t = a + \xi$, $u_i(a, \xi) = N_i(a, a + \xi)$ $i = 2, \dots, 17$ ба системаи муодилаҳои дифференсиалӣ оварда шудааст:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - \sum_{i=1}^6 \alpha_i \bar{N}_i N_0, \\ \frac{\partial u_i}{\partial a} = u_i F_i(\cdot), & i = 1, \dots, 17. \end{cases}$$

Дар ин ҷо $F_i(\cdot)$ функцияи трофикии сатҳи i -юм мебошад.

Фасли чоруми ин боб ба алгоритми аддии ҳалли масъалаи муайян кардани коэффицентҳои номаълуми экосистемаҳои боғӣ (бо усули Юнусӣ) ва популатсияҳои биологии он бахшида шудааст

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} N_i &= b_i N_i + \sum_{j=1}^m \frac{a_{ij} N_j^{\sigma_i}}{\epsilon_{uo} + a_{ij} N_j^{\sigma_i}} + Q_i(t), \quad i = \overline{1, m} \\ \frac{d}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} + \sum V_i \frac{\partial}{\partial x_i} - \sum \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_i \frac{\partial}{\partial x_i} \right). \end{aligned}$$

Мо онро барои экосистемаҳои боғии вилояти Ҳатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон истифода ҳоҳем кард.

Дар фасли панҷум усулҳои максимимикунонии шумораи намудҳои биологӣ барои бъзе тағийирёбандажо барои коҳиш додани тартиби муодила, масъалаҳои амсилавӣ, ки ҳолати системаҳои биологиро бо назардошти тақсимоти вақтӣ, синнусолӣ ва фазоии популатсияҳо тавсиф медиҳанд, баррасӣ карда шудаанд.

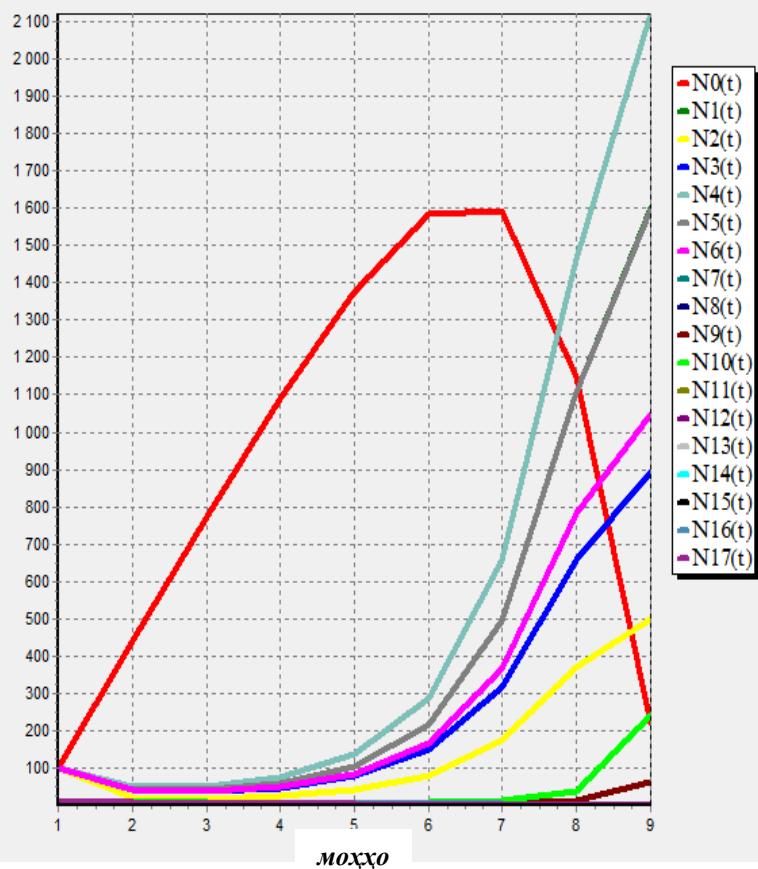
Дар фасли шашум натиҷаҳои таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ бо системаҳои амсилавии биологӣ пешниҳод карда шудаанд. Аксари озмоишҳо барои системаи дарранда - тӯъма, ки тӯъма канай тортанакӣ, даррандагон – душмани табиӣ энтомофагҳо мебошанд, гузаронида шуданд. Аз таҳлили натиҷаҳои ададӣ бармеояд, ки онҳо қиматҳои аслиро қаноатбаҳш аппроксиматсия менамоянд.

Озмоишҳои ададӣ бо амсилай умумии таъсири мутақобили намудҳои биологӣ дар экосистемаи боғӣ, ки аз 17 муодила иборатанд.

Дар озмоишҳои компьютерии 1-4 дар тири ордината биомасса ё ин, ки шумораи намудҳои экосистемаи боғӣ ҷойгир карда шудаанд. Дар тири абсиса бошаад, вақт ба ҳисоби шабонарӯз ё ин, ки ба ҳисоби моҳҳо ҷойгир карда шудааст.

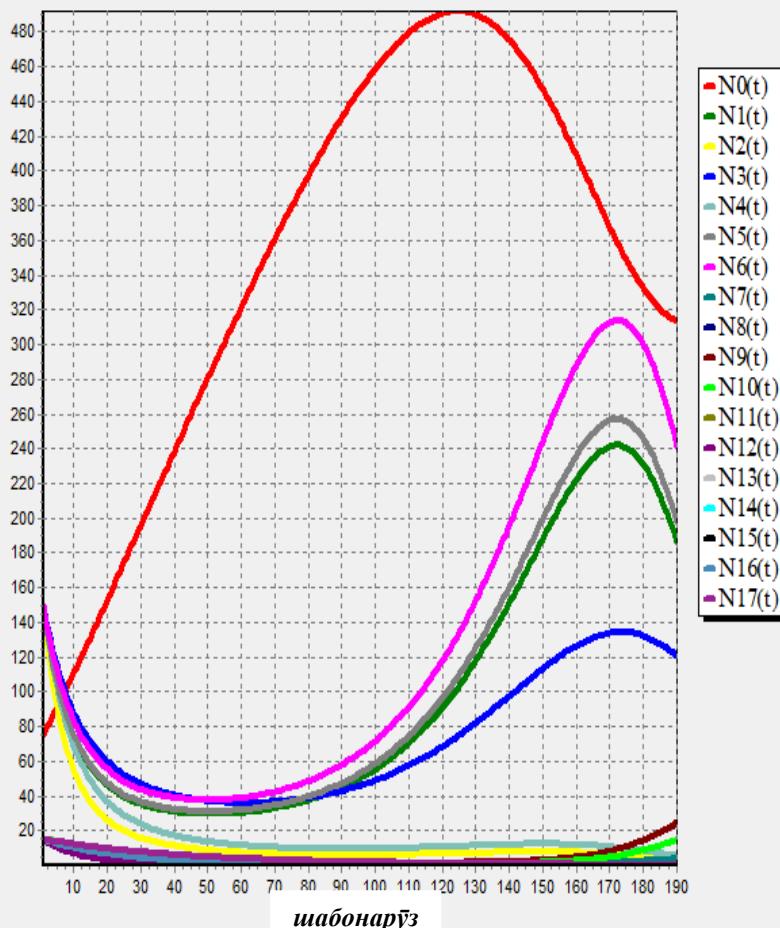
Озмоиши 1

- N0(t)-Манбасъ
- N1(t)-Себ
- N2(t)-Нок
- N3(t)-Ангур
- N4(t)-Гелос
- N5(t)-Олу
- N6(t)-Зардолу
- N7(t)-Кирми мева
- N8(t)-Холшапалак
- N9(t)-Ширинча
- N10(t)-Кирмаки ҳалқашакл
- N11(t)-Тортанакканай бөгүй
- N12(t)-Баргхұраки ангур
- N13(t)-Момохолак
- N14(t)-Фуруми даранда
- N15(t)-Парандахои ҳашаротхұр
- N16(t)-Канаи даранда
- N17(t)-Савораки тухмхұрак-трихограмма



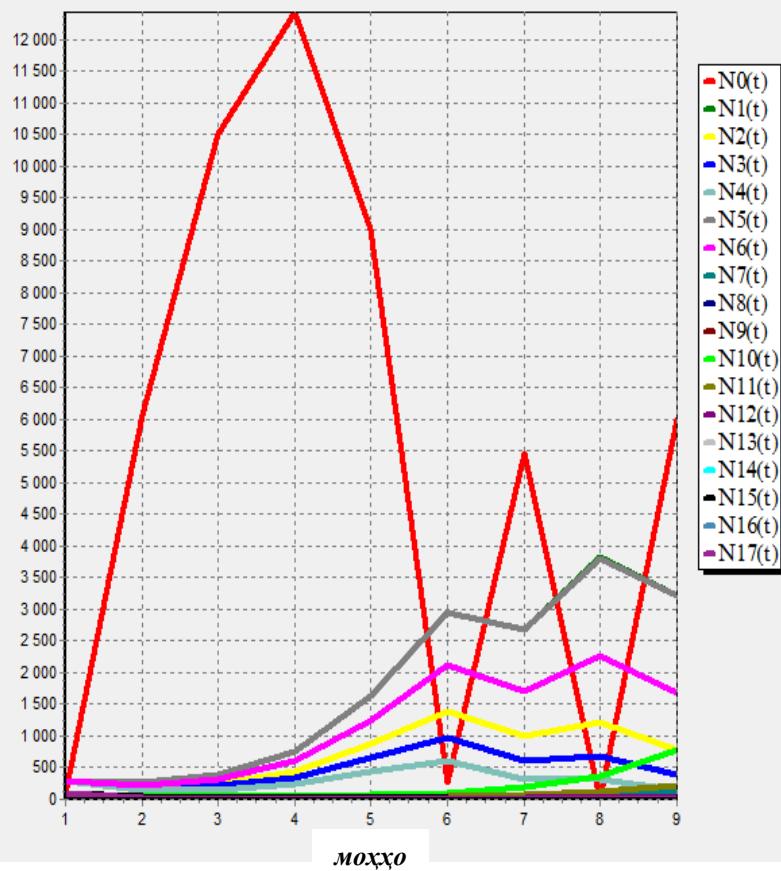
Озмоиши 2

- N0(t)-Манбасъ
- N1(t)-Себ
- N2(t)-Нок
- N3(t)-Ангур
- N4(t)-Гелос
- N5(t)-Олу
- N6(t)-Зардолу
- N7(t)-Кирми мева
- N8(t)-Холшапалак
- N9(t)-Ширинча
- N10(t)-Кирмаки ҳалқашакл
- N11(t)-Тортанакканай бөгүй
- N12(t)-Баргхұраки ангур
- N13(t)-Момохолак
- N14(t)-Фуруми даранда
- N15(t)-Парандахои ҳашаротхұр
- N16(t)-Канаи даранда
- N17(t)-Савораки тухмхұрак-трихограмма



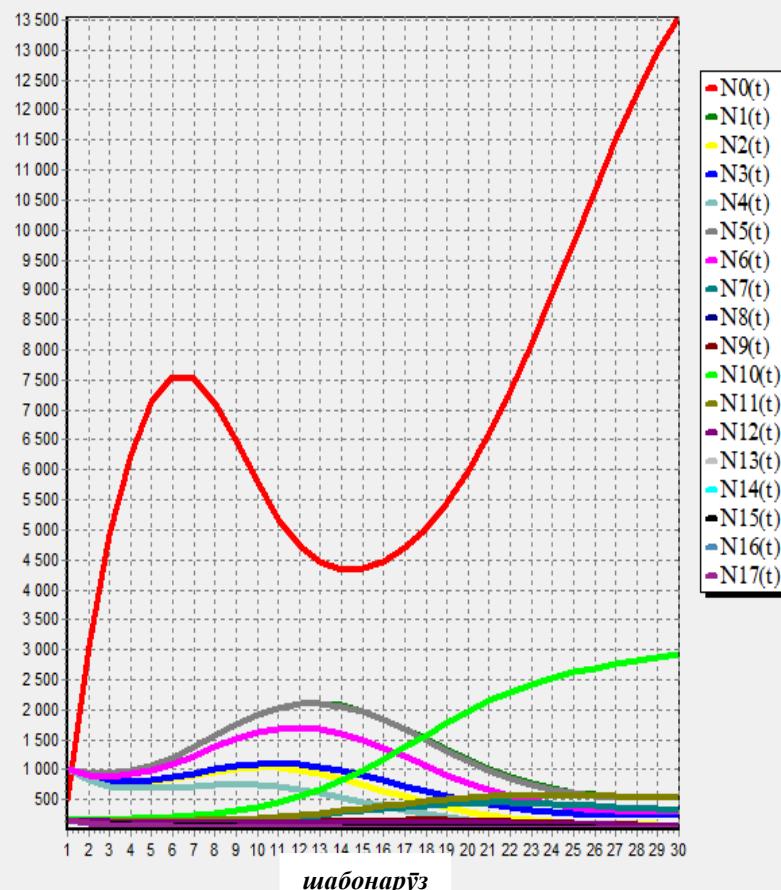
Озмоиши 3

- N0(t)-Манбазъ
- N1(t)-Себ
- N2(t)-Нок
- N3(t)-Ангур
- N4(t)-Гелос
- N5(t)-Олу
- N6(t)-Зардолу
- N7(t)-Кирми мева
- N8(t)-Холшапалак
- N9(t)-Ширинча
- N10(t)-Кирмаки ҳалқашакл
- N11(t)-Тортанакканай бөй
- N12(t)-Баргхұраки ангур
- N13(t)-Момохолак
- N14(t)-Фуруми даранда
- N15(t)-Парандахои ҳашаротхұр
- N16(t)-Канаи даранда
- N17(t)-Савораки тухмхұрак-трихограмма



Озмоиши 4

- N0(t)-Манбазъ
- N1(t)-Себ
- N2(t)-Нок
- N3(t)-Ангур
- N4(t)-Гелос
- N5(t)-Олу
- N6(t)-Зардолу
- N7(t)-Кирми мева
- N8(t)-Холшапалак
- N9(t)-Ширинча
- N10(t)-Кирмаки ҳалқашакл
- N11(t)-Тортанакканай бөй
- N12(t)-Баргхұраки ангур
- N13(t)-Момохолак
- N14(t)-Фуруми даранда
- N15(t)-Парандахои ҳашаротхұр
- N16(t)-Канаи даранда
- N17(t)-Савораки тухмхұрак-трихограмма



ХУЛОСА

1. Натицаҳои асосии илмии диссертатсия

Яке аз масъалаҳои аввалиндарачаи истеҳсолкунандагони мева дар экосистемаҳои боғдорӣ интихоби амсилаи самаранок парвариши дараҳтон ва ҷамъоварии мева дар боғҳо мебошад. Ин масъаларо бо роҳи соҳтани дастгоҳе дар шакли амсиласозии математикӣ, ҳангоми ҳалли масъалаи оптимизатсия хифзи зироатҳои мевагӣ аз ҳашарот ва қасалиҳо ҳал кардан мумкин аст. Дар айни замон, масъалаеро ҳал кардан лозим аст, ки стратегияи минбаъда дар хифзи ҳосили мева ба ҳалли он вобаста бошад. Дар таҳқиқоти ин диссертационӣ масъалаҳои амсиласозии математикӣ ва интихоби оптималии стратегияи хифзи арзиши ҳосили ба нақша гирифташуда – мева ҳал карда шудаанд. Ҳамин тариқ:

1. Масъалаҳои устувории сифатии экосистемаҳои боғ омӯхта шуда, соҳторҳои устувор ва ноустувори биосенозҳои мевагӣ муайян карда шуданд. [1-А]

2. Амсилаҳои концептуалӣ ва дақиқи математикии экосистемаҳои боғи ноҳияҳои Ҳурросон ва Кӯшониёни вилояти Ҳатлон соҳта ва асоснок карда шуданд. [3-А, 5-А, 14-А]

3. Амсилаҳои математикии экосистемаҳои боғӣ бо назардошти соҳтори вақтӣ ва синнусолӣ, инчунин тақсимоти фазоӣ бо заҳираҳои берунаи қисман бефосила ва дар мураббаъ интегронидашаванд соҳта ва асоснок карда шудаанд, ки раванди тадбирҳои агротехникиро воқеитар тасвир мекунанд. [7-А]

4. *Баҳодиҳии миқдори зарурии об барои муайян кардани истеҳсоли самараноки мева, кам кардани тартиби муодилаҳои ибтидоии интегралию дифференсиалиӣ дар бузургихои фазоӣ бо мақсади содда кардани ҳалли масъалаи ҷамъоварии ҳосили пешбинишуда.* Модели математикии масъалаи оптимизатсия оид ба ҳифзи ҳосили экосистемаҳои боғҳои мевадиҳандай марбут ба истеҳсоли мева дар Ҷумҳурии Тоҷикистон соҳта ва асоснок карда шудааст. [6-А]

5. Алгоритм таҳия ва мұктамай барномаҳо оид ба муайян намудани истеҳсоли самараноки мева дар экосистемаҳои боғии вилояти Ҳатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон соҳта шуда, таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ гузаронида шуданд. [2-А, 5-А, 14-А]

6. Таҳлили таҷрибаҳои компьютерии бадастомада бо мақсади таҳияи заминай методологии таъмини ҷамъоварӣ ва ҳифзи ҳосили меваҳои банақшагирифташуда барои аҳолӣ гузаронида шуд. [2-А, 5-А, 14-А]

2. Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натицаҳо

Натицаҳое, ки дар диссертатсия ба даст оварда шудаанд, миқёси истифодабарии таҳқиқоти назариявии амсилаҳои математикӣ, таҷрибаи ҳисоббарорӣ ва таҳлили компьютериро дар ҳалли масъалаи интихоби истеҳсоли босамари меваҳои экосистемаҳои боғӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон хело васеъ мегардонанд, метавонанд ҳамчун воситаҳо барои ташхиси вазифаҳои гузошташуда ва интихоби усули самараноки истеҳсоли меваҳо истифода шаванд, ҳангоми хондани курси лексияҳо ба донишҷӯёни ихтисосҳои амалий: «Амсиласозии математикӣ», «Иқтисодиёти амсилавӣ», инчунин зимни навиштани корҳои курсӣ ва дипломӣ аз тарафи донишҷӯён мавриди истифода қарор ёбанд. Барномаҳои амалии соҳташуда татбиқи амалии ба худ ҳоси барои ҳалли масъалаи интихоби истеҳсоли босамар ва беҳтар гардонидани вазъи системаҳои экологиро доро мебошанд.

(Натицаҳои курсиви п.3,4 ин натицаҳои нави баъди ҳимояи яқум мебошанд.)

РЎЙХАТИ МАҚОЛАҲОИ УНВОНҶӮИ ДАРАЧАИ ИЛМИ

*Мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои расмии тавсиянамудаи КОА-и назди
Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва КОА-и Вазорати маориф ва илми
Федератсияи Русия ба табъ расидаад:*

- [1-А] Юнуси М. К. Концептуальная модель садовой экосистемы и ее анализ методами теории качественной устойчивости [Матн] / М. К. Юнуси, **Х. С. Махмадалиев** // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2014. - №1/1. – С. 5-14. ISSN 2074-1847.
- [2-А] Юнуси М. К. Численное моделирование модели садовой экосистемы [Матн] / М. Юнуси, **Х. Махмадалиев** // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2015. - №1/2. – С. 3-9. ISSN 2074-1847.
- [3-А] Юнуси М. К. Исследование садовой модельной экосистемы с учетом возрастного состава и пространственного распределения [Матн] / М. К. Юнуси, **Х. С. Махмадалиев** // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2016. - №1/2. – С. 22-26. ISSN 2413-452X.
- [4-А] **Махмадалиев, Х. С.** Об одной модели применения химического метода борьбы с вредителями садовых экосистем находящейся в стационарном режиме [Матн] / Х. С. Махмадалиев // Вестник Курган-Тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия гуманитарных и экономических наук. – Курган-Тюбе, 2017. - №1/3 . – С. 171-175. ISSN 2309-6764.
- [5-А] Юнуси М. К. Численные алгоритмы и компьютерные эксперименты садовых и естественных экосистем в притурбулентных режимах [Матн] / М. К. Юнуси, Ч. Ганиев, **Х. С. Махмадалиев** // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2018. - №1/4. – С. 35-45. ISSN 2413-452X.
- [6-А] Юнуси М. К. Обоснование проблемы устойчивого развития модельной системы «вода - население» и её использование в управлении каскадными водоемами с ГЭС, садовыми экосистемами и автоматизацией рыбоводства в продовольственной проблеме Республики Таджикистан [Матн] / М. К. Юнуси, С. Ризоев, М. Нематова, **Х. Махмадалиев** // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2020. - №1. – С. 56-78. ISSN 2413-452X.
- [7-А] Юнуси М. К. Решения подготовительных задач для общей задачи управления агроценозами с учетом интегрируемых с квадратом ресурсов [Матн] / Юнуси М.К., **Махмадалиев Х.**, Назаров И., Сангов М.Т. // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2020. - № 2. – С. 89-109. ISSN 2413-452X.

*Мақолаҳое, ки дар дигар маҷаллаҳо, нашириҳо ва
маҷмӯаҳо ба табъ расидаанд:*

- [8-А] Юнуси М. К. Математические модели оценки численности хищников экосистем региональных заповедников Республики Таджикистан [Матн] /

М. Юнуси, С. Одинаева, **Х. Махмадалиев**, С. Гулов // Вестник Курган-Тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – Курган-Тюбе, 2016. - №2/2. – С. 34-52. ISSN 2309-6764.

Маводҳои конфронсҳо, тезиси баромадҳо:

- [9-А] **Махмадалиев, Х.** Исследование системы типа «полезные насекомые-вредные насекомые» с учетом возрастного состава и пространственного распределения [Матн] / Х. Махмадалиев, М. Юнуси / Материалы научно-теоретической конференции «Роль Кулайбского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки в подготовке специалистов», посвященной 70-летию университета – Кулайб, 2015. – С. 51-52.
- [10-А] Раҳимзода Ф. Задача защиты растений в виде задачи Юнуси с учетом возрастно-пространственных распределений [Матн] / Ф. Раҳимзода, С. Гулов, **Х. Махмадалиев** / 10-ая Международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии. – Душанбе, 2015. – С. 24.
- [11-А] **Махмадалиев, Х.** Структура взаимодействия компонентов садовой экосистемы [Матн] / Х. Махмадалиев, М. Юнуси / 10-ая Международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии. – Душанбе, 2015. – С. 48.
- [12-А] Шоҳсанами Р. Разработки методики регуляризованных экологических систем [Матн] / Шоҳсанами Ризо, С. Азимов, **Х. Махмадалиев** / Программа республиканской научно-практической конференции на тему «Опыт и перспективы использования информационных технологий в экономике». – Душанбе, 2016. – С. 220-222.
- [13-А] **Махмадалиев, Х.** Формирование профессионального мировоззрения студентов биологов на основе моделей защиты растений [Матн] / Х. Махмадалиев, Р. Одинаев, М. Юнуси / Материалы научно-теоретической конференции «Развитие науки и образования в современном мире», посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан и 50-летию деятельности профессора Санга Холназарова. –Курган-Тюбе, 2016 – С. 221-224.
- [14-А] Ганиев Ч.Т. Алгоритм численных расчетов функционирования экологических систем с учетом возрастных и пространственных связей [Матн] / Ч.Т. Ганиев М. К. Юнуси, **Х. С. Махмадалиев** / «Компьютерный анализ проблем науки и технологии». Материалы XI - международной научно-теоретической конференции, посвященной 70-летию образования Таджикского национального университета и 70-летию доктора физико-математических наук, профессора Юнуси Махмадюсуп Камарзода, – Душанбе, 2018. – С. 83-90.
- [15-А] Юнуси М. К. О применение метода интегральных тождеств по части переменных к задаче сильно анизотропного взрыва типа II [Матн] / Махмадюсуп Юнуси, С. Гулов, **Х. Махмадалиев** / Материалы республиканской научно-теоретической конференции посвященной 80-летию профессора М. Исмати и «20-летию развития естественных, точных математических наук». – Душанбе, 2020 – С. 106-111.

АННОТАЦИЯ

диссертации Махмадалиева Хукмиддина Саймуминовича на тему «Исследование математических моделей защиты фруктовых деревьев в садовых экосистемах» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Ключевые слова: модель, концептуальное моделирование, математическое моделирование, компьютерное моделирование, компьютерные эксперименты, программа, трофическая функция, численность популяций, динамики биологических популяций, растений, хищники, садовых экосистем, вредные насекомые, полезные насекомые, энтомофаги.

Объект исследования: садовые экосистемы Хатлонской области Республики Таджикистан.

Предмет исследования: разработка математических моделей эффективного производства фруктов с помощью методов математического моделирования и вычислительного эксперимента.

Цель исследования: разработка инструмента типа компьютерных моделей на основе исследования математической модели задачи защиты фруктовых деревьев в садовых экосистемах и для выбора эффективного способа производства фруктов, с помощью созданных моделей и комплекса программ для поддержки принятия решений с ограничительными множителями. Мотивацией использования математического моделирования является наличие достаточно эффективного аппарата для принятия решений после количественного и качественного исследования садовых экосистем с помощью компьютерных программ.

Экспериментальная база исследования: конкретных садовых экосистем Хурсонского и Кушониянского районов Хатлонской области Республики Таджикистан.

Методы исследования: Для решения поставленных задач в исследуемой области применялись самые современные методы теории дифференциальных уравнений, математического моделирования и компьютерных экспериментов. Методология, используемая в диссертационной работе, основана на создании инструмента математического моделирования.

Аппаратура: персональные компьютеры типа intel core i5, различные сервера.

Полученные результаты и их научная новизна: Развита теория математического моделирования на основе использования теории качественной устойчивости экосистем и интегрально-дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка и созданы эффективные алгоритмы решения задачи защиты предполагаемого урожая фруктов в садовых экосистемах. Осуществлено математическое моделирование согласно методологии определения «модель, алгоритм, программа» на примере садовых экосистем Хатлонской области Республики Таджикистан. Оценено необходимое количество воды для определения эффективного производства фруктов в классе интегрируемых с квадратом функций, понижен порядок исходных интегро-дифференциальных уравнений по пространственным параметрам с целью упрощения решения задачи сбора планируемого урожая. Составлен комплекс программ решения задачи «защиты фруктовых деревьев в садовых экосистемах». Проведены компьютерные эксперименты для конкретных садовых экосистем Хурсонского и Кушониянского районов Хатлонской области Республики Таджикистан.

Область применения: конструирование, моделирование, принятие управлеченческих решений, научное исследование, вычислительные, экспертные и учебные задачи.

АННОТАЦИЯ

диссертатсияи Махмадалиев Ҳукмиддин Саймуминович дар мавзӯи «Таҳқиқоти амсилаҳои математикии ҳимояи дараҳтҳои мевадиҳанда дар экосистемаҳои боғӣ» барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои физикаю математика аз рӯи ихтисоси 05.13.18 – Амсиласозии математикӣ, методҳои ададӣ ва мұчтамаи барномаҳо

Калимаҳои калидӣ: амсила, амсиласозии концептуалӣ, амсиласозии математикӣ, амсиласозии компьютерӣ, озмоишҳои компьютерӣ, барнома, функцияи трофикий, саршумори популяция, динамикаи популятсияи биологӣ, растаниҳо, дарандашо, экосистемаи боғӣ, ҳашароти заرارрасон, ҳашароти фоидаовар, энтомофагҳо.

Обекти таҳқиқот: Экосистемаҳои боғии вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Мавзӯи таҳқиқот: Таҳқиқоти амсилаҳои математикии ҳимояи дараҳтҳои мевадиҳанда дар экосистемаҳои боғӣ.

Ҳадафи таҳқиқот: аз таҳияи воситае дар намуди амсилаҳои компьютерӣ дар асоси таҳқиқи амсилаҳои математикии масъалаи муҳофизати дараҳтони мевадиҳанда дар экосистемаҳои боғӣ ва барои интихоби усули самараноки истехсоли мева бо ёрии амсилаҳои соҳташуда ва мұчтамаи барномаҳо барои дастгирии қабули қарорҳо бо зарбқунандаҳои маҳдудқунанда иборат мебошад. Асоснокнамоии амсиласозии математикӣ зарурати дастгоҳи кофии самарабахш барои қабули қарорҳо пас аз таҳқиқи ракамӣ ва сифатии экосистемаҳои боғ бо истифода аз барномаҳои компьютерӣ мебошад.

Пойгоҳи озмоиши таҳқиқот: боғҳои мушаххаси экосистемаҳои ноҳияҳои Ҳурросон ва Кӯшониёни вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Усулҳои таҳқиқот: барои ҳалли вазифаи пешбинишуда дар соҳаи таҳқиқшаванда усулҳои мусоиртари ни назарияи муодилаҳои дифференсиалии амсиласозии математикӣ ва озмоишҳои компьютерӣ истифода шудаанд. Методологияе, ки дар кори диссертатсия истифода шудааст, ба оғариниши воситаи амсиласозии математикӣ асос ёфтааст.

Сахтафзор: компьютери фардии intel core i5, серверҳои гуногун.

Натиҷаҳои ҳосилшуда ва навғониҳои илмии таҳқиқот: Назарияи амсиласозии математикӣ дар асоси истифодаи назарияи устувории сифатии экосистемаҳо ва муодилаҳои интегралию дифференсиалий бо ҳосилаҳои хусусии тартиби дуюм истифода шудааст ва алгоритмҳои босамари ҳалли масъалаҳои муҳофизати ҳосили меваҳои таҳминшаванда дар экосистемаҳои боғӣ ба вучуд оварда шудааст. Амсиласозии математикӣ тибқи методологияи муайян кардани «модел, алгоритм, барнома» дар мисоли экосистемаҳои боғи вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон гузаронида шудааст. Баҳо дода шудааст, ки микдори зарурии об барои муайян кардани истехсоли самараноки меваҳо дар синфи функцияҳои интегронидашаванда бо квадрат, тартиби муодилаҳои интегро-дифференсиалий аз рӯи параметрҳои фазоӣ бо мақсади содда кардани ҳалли масъалаи ғункуни ҳосили банақшагирифтшуда паст карда мешавад. Мұчтамаи барномаҳо барои ҳалли мушкилоти «муҳофизати дараҳтҳои мевадиҳанда дар экосистемаҳои боғӣ» тартиб дода шудааст.

Таҷрибаҳои компьютерӣ барои экосистемаҳои мушаххаси боғи ноҳияҳои Ҳурросон ва Кӯшониёни вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон гузаронида шуданд.

Соҳаи истифода: лоиҳакашӣ, амсиласозӣ, қабули қарорҳои идоракунӣ, таҳқиқоти илмӣ, масъалаҳои ҳисоббарорӣ, ташхис ва таълимӣ.

ANNOTATION

of Mahmadaliev Hukmuddin Saimuminovih dissertation on theme «the research of mathematical models of the fruit trees protection in the garden ecosystems» in candidacy for a scientific degree of the candidate of physical and mathematical science on specialty 05. 13. 18 – Mathematical modeling, numerical methods and program complexes

Key words: model, conceptual modeling, mathematical modeling, computer modeling, computer tests, program, trophic function, quantity of population, dynamics of biological population, plants, predators, garden ecosystems, harmful insects, useful insects, entomophagy.

Researches object: garden ecosystems of Khatlon region of the Republic of Tajikistan.

Research subject: mathematical models development of fruit effective production with the help of mathematical modeling methods and calculating experiments.

Purpose of the research: development of a tool such as computer models based on the study of a mathematical model of the problem of protecting fruit trees in garden ecosystems and for choosing an effective method of fruit production, using the created models and a set of programs to support decision-making with limiting factors.

The motivation for using mathematical modeling is the presence of a sufficiently effective apparatus for making decisions after quantitative and qualitative research of garden ecosystems using computer programs.

Experimental research base: particular garden ecosystems of Khuroson and Kushoniyon districts of Khatlon region of the Republic of Tajikistan.

Research methods: To solve the tasks in the research area, the most modern methods of the theory of differential equations, mathematical modeling and computer experiments were used. The methodology used in the thesis is based on the creation of a mathematical modeling tool.

Equipment: personal computers type intel core i5, different servers.

The results obtained and their scientific novelty: The theory of mathematical modeling was developed based on the use of the theory of the qualitative stability of ecosystems and integral-differential equations with partial derivatives of the second order, and effective algorithms were created for solving the problem of protecting the expected fruit yield in garden ecosystems. Mathematical modeling has been carried out according to the methodology for determining "Model, algorithm, program" on the example of garden ecosystems of Khatlon region of the Republic of Tajikistan. The required amount of water is estimated to determine the effective production of fruit in the class of square-integrable functions, the order of the initial integro-differential equations in spatial parameters is lowered in order to simplify the solution of the problem of collecting the planned harvest. The required amount of water is estimated to determine the effective production of fruit in the class of square-integrable functions, the order of the initial integro-differential equations in spatial parameters is lowered in order to simplify the solution of the problem of collecting the planned harvest. Compiled a set of programs for solving the problem of "protecting fruit trees in garden ecosystems". Computer experiments have been carried out for specific garden ecosystems of the Khuroson and Kushoniansky districts of the Khatlon region of the Republic of Tajikistan.

Application domain: constructing, modeling, management, calculable, expert, and educational problems.

