

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
МДТ “ДОНИШГОҶИ ДАВЛАТИИ БОХТАР БА НОМИ НОСИРИ
ХУСРАВ”**

Бо ҳуқуқи дастнавис



УДК: 519:87.59

ҲАСАНЗОДА САМАНДАР ҲАСАН

**АМСИЛАСОЗИИ МАТЕМАТИКИИ ДИНАМИКАИ ЭКОСИСТЕМАИ
МАМНЎЪГОҶИ «БЕШАИ ПАЛАНҒОН»
(БАРОИ ҚИСМАТИ ҚАМИШИЮ БИЁБОНӢ)**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои физикаю
математика 1.1.10. Моделсозии математикӣ, методҳои ададӣ ва комплекси
барномаҳо

Душанбе – 2026

Кори илмӣ дар кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва методикаи таълими информатикаи Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав иҷро гардидааст.

Роҳбарони илмӣ:

Юнуси Маҳмадҷусуф Қамарзода,

доктори илмҳои физикаю математика,
профессор

Мирзоев Сайъло Ҳабибулоевич, доктори
илҳои техникаӣ, дотсент

Муқарризони расмӣ:

Начмиддиниён Асадулло Мирзо - доктори
илмҳои физикаю математика, дотсент,
вакили Маҷлиси намояндагони Маҷлиси
Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон, узви Кумита
оид ба илм, маориф, фарҳанг ва сиёсати
ҷавонон.

Садриддинов Маҳмадӣ Мамудович –
номзади илмҳои физикаю математика,
дотсенти кафедраи математикаи олии
Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи
академик М.Осимӣ.

Муассисаи пешбар:

Институти математика ба номи А.Ҷӯраеви
АМИТ.

Ҳимоя санаи «16» сентябри соли 2026 соати 15:30 дар ҷаласаи шурои
диссертатсионии 6D.КАО-011 назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ки дар
суроғай: 734025, Шаҳри Душанбе, кӯчаи Буни-Ҳисорак, корпуси 17,
аудиторияи 203 ҷойгир аст, баргузор мешавад.

Е-mail: alisher_gaforov@mail.ru; рақами телефони котиби илмӣ
+992900766603.

Бо диссертатсия ва автореферати он тавассути сомонаи <http://www.tnu.tj>.
ва дар китобхонаи илмии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон шинос шудан
мумкин аст.

Автореферат фиристода шудааст «_____» «_____» 2026с.

Котиби илмии шурои диссертатсионии 6D.КАО-011,
номзади илмҳои физикаю математика



Ғафоров А.Б.

Мукаддима

Мубрамияти мавзуи таҳқиқот. Проблемаҳои экологӣ сол то сол умумичаҳонӣ ва объекти сиёсати байналмилалӣ гардида истодаанд. Истифодаи аз ҳад зиёди сарватҳои табиӣ дар дунё ба он оварда расонидааст, ки қисме аз онҳо дар ҳолати бебозгашт ва барқарорнашаванда қарор доранд. Дар системаҳои экологӣ баъзе намуди ҳайвоноти нодир ва наботот камшумор гашта, баъзеашон дар сарҳади нестшавӣ қарор доранд.

Ҳифзи захираҳои табиӣ системаҳои экологӣ, хусусан намудҳои биологии нодир ва нестшаванда дар мамнӯъгоҳҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон аз ҷумлаи муҳимтарин вазифаҳои давлат ва ҷомеаи шаҳрвандӣ ба шумор меравад, ки он дар ҳолатҳои гуногуни ангеаҳои антропогенӣ ба пешгӯӣ ва арзёбии динамикаи популятсияҳо, ҷомеаҳои биологӣ ва системаҳои экологӣ (экосистемаҳо) ниёз дорад. Дар асоси амсилаҳои математикӣ ва компютери сохташуда, гузаронидани озмоишҳо ва таҷрибаҳои бевоситаи илмӣ дар экосистемаҳо бағоят гаронарзиш ва вақти тулониро гирифта, дар аксар маврид ғайриимкон аст. Вобаста ба гуфтаҳои боло, доимо зарурати банақшагирӣ ва гузаронидани намудҳои гуногуни ҷорабиниҳои нигоҳдорӣ ба миён меояд, ки онҳо ба натиҷаҳои пешдиди қарорҳои қабулшаванда алоқаманд мебошанд. Ҳамаи ин далелҳои овардашуда аз мубрамияти мавзуи матраҳшуда шаҳодат медиҳад.

Кори диссертатсионии мазкур дар партави дастуру супоришҳои Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ – Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон ва таҳти фармони № 1445, аз 31.01.2020, эълон гардидани солҳои 2020-2040 «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» иҷро гардидааст. Ин дастуру супоришҳо ҳалли як қатор масъалаҳои муҳимми иқтисодӣ ва экологиро фарогир буда, ба воситаи методҳои асосии математикӣ ҳалли хурро ёфта метавонанд.

Ба ин гуна масъалаҳо дохил мешаванд:

- амсиласозии равандҳои ҳамлу накли нафту газ, ки барои иқтисодиёти миллӣ ва энергетика аҳамияти калидӣ доранд;
- системаи банақшагирӣ ва идоракунии ҷамъоварии ҳосил дар хоҷагиҳои қишлоқ, ки ба таъмини амнияти озуқаворӣ ва рушди кишоварзии устувор мусоидат мекунад;
- таҳияи амсилаҳо барои ҳифз ва нигоҳдории навъҳои нодир, ки зери хатари нестшавандагӣ дар мамнӯъгоҳҳо қарор доранд;
- таҳлили динамикаи обшавии пирахҳо, ки бевосита ба амнияти захираҳои обӣ вобаста аст.

Ҳалли ин масъалаҳо бе истифодаи усулҳои муосири амсиласозии математикӣ, таҳлили омӯрӣ, оптимизатсия ва технологияҳои зеҳни сунъӣ ғайриимкон аст. Маҳз бо роҳи таҳияи амсилаҳои амиқи илмӣ метавон равандҳои мураккаби табиӣ ва иқтисодиро дақиқ пешгӯӣ намуд ва қарорҳои самаранок қабул кард.

Дар амсилаҳои математикии сохташудаи як қатор олимони ватанӣ ва хориҷӣ масъалаҳои дар боло зикршуда дарҷ ёфтаанд. Дар баробари ин, бо

дарназардошти синнусол ва тақсимои фазой амсилаҳои математикӣ бо истифода аз муодилаҳои дифференциалӣ сохта шудаанд.

Ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда дар ҳама кишварҳои дунё аз устувории мамнӯъгоҳҳо вобастагӣ дорад. Пас, барои таҳияи методҳои ҳифзи навъҳои нодир ва нестшаванда зарур аст, ки пешгӯии динамикаи популятсияҳои биологӣ, ҳангоми таъсиррасониҳои антропогенӣ ба масъалаи асосии устувории фаъолияти мамнӯъгоҳҳо табдил дода шавад. Санҷишҳои амалӣ дар низоми амсиласозии математикӣ то имрӯз нишон додаанд, ки навишти баъзе аз масъалаҳо қиматбаҳо ва вақти зиёдеро дар бар гирифта, дар баъзе маврид амалӣ гардонидани онҳо ғайриимкон аст. Пас, ба мо зарур аст, ки таҳияи методҳои гуногуни амсиласозии математикии муосирро оид ба нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда дар сохторҳои системаҳои экологӣ истифода барем. Бо ёрии методҳои таҳияшуда ва амсилаҳои математикӣ имкон пайдо мешавад, ки натиҷаи нақша-чорабиниҳо ва фаъолияти низомҳои экологиро пешгӯӣ намоем. Қайд кардан ба маврид аст, ки ба масъалаи амсиласозии математикии динамикаи популятсияҳои биологӣ қорҳои хеле зиёде аз тарафи олимони ватанӣ ва хориҷӣ рӯйи ҷоп омадаанд: Малтус Т., Ферхюлст П., Лотки А., Одум Ю., Цеффрис К., May R.M., Auslander D.M., Blasio G.D., Brokate M., Chipot M., Gurtin M.E., Gushing J.M., MacCamy R.C., Busenberg S., Iannelli M., Volterra V., Oster G.P. Дар баробари олимони хориҷӣ инчунин олимони замони Шуравӣ Моисеев Н.Н., Свирежев Ю.М., Воинов А.А., Логофет Д.О., Тарко А.М., Алексеев В.В., Лукьянов Н.К., Горстко А.Б., Домбровский Ю.А., Меншуткин В.В., Винберг Г.Г., Новосельцев В.Н., Леонов А.В. ва олимони ватании даврони истиқлолият – Юнусӣ М.К., Илолов М., Комилийн Ф.С., Одинаев Р.Н., Мирзоев С.Х. ва Одинаева С.А. саҳми арзандаи ҳудро гузоштаанд.

“Амсиласозии математикӣ дар соҳаи экология хусусан омӯзиши динамикаи миқдори популятсияи биологӣ таърихи нисбатан дурудароз дошта, дар ин раванд заминаи асосиро амсилаи математикии Т. Малтус, ки ба афзоиши экспоненсиалии аҳолии кураи замин бахшида шудааст гузоштааст. Олими машҳури Белгия П. Ферхюлст бошад онро бо дарназардошти маҳдудияти афзоиши популятсия такмил додааст. Муодилаи логистикӣ Ферхюлст имкон додааст, ки амсилаи классикӣ «даранда-сайд»-и Лотка-Волтерра доир ба таъсири мутақобилаи ду намуд такмил ёфта, дар оянда сабаби инкишофи минбаъдаи ҳудро дар қорҳои илмӣ бисёре аз муҳаққиқони дунё барои соҳаи омӯзиши динамикаи рушди популятсияҳои гуногун ёбад” [2, 6, 22-М].

Дар таҳқиқоти овардашуда самти асосиро таҳаввулоти системаҳои экологӣ — масъалаи устуворӣ ва сифатан устувории амсилаҳои нуқтагӣ ташкил медиҳад. Пас аз қорҳои нахустини олимони амриқой Р. Мей ва К. Цеффрис, меъёрҳои устуворӣ ва сифатан устуворӣ пешниҳоднамудаи онҳо дар таҳқиқоти муаллифони гуногун истифода шуда, такмил низ ёфтаанд.

Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар охири асри гузашта аз тарафи олими шинохтаи тоҷик М.К. Юнусӣ ва З.Дж. Усмонов аввалин шуда таҳқиқи низомҳои дахлдори омӯзиши устувор ва сифатан устувории мамнӯъгоҳҳои

минтақавӣ бо истифода аз амсилаҳои математикӣ вобаста ба синну сол ва тақсимои фазои пешниҳод шуда, дар амал татбиқи худро ёфтаанд.

Дар кори диссертатсионӣ амсилаҳо оид ба ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда дар мамнӯъгоҳи қамишию биёбонӣ дида баромада мешавад, ки ба корҳои М.К. Юнусӣ монанд ва наздиканд, аммо дар муқоиса бо онҳо дар ин ҷо амсилаҳои нисбатан умумӣ — амсилаҳо бо дарназардошти функсияҳои трофикӣ, мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд. Қайд кардан бамаврид аст, ки дар омӯзиши экосистемаҳо вазифаи асосӣ ин муайян намудани устуворӣ буда, дар навбати худ он ба ду қисм тақсим мешавад. Вазифаи якум ин вобаста ба маълумоти бадастомада бартарафкунии хатари устувории мамнӯъгоҳ ва дар фосилаҳои додасуда ҳифзу нигоҳдорӣ саршумори популятсияи навъи «нодир ва нестшаванда» мебошад. Вазифаи дуюм ин дар маҷмӯъ муайян намудани фосилаҳо барои навъҳои нодир ва нестшаванда дар якҷанд теъдоди умумии мамнӯъгоҳҳо мебошад.

Ҳифзи захираҳои табиӣ, хусусан намудҳои нодир биологӣ ва қиматбаҳо, аз ҷумлаи муҳимтарин вазифаҳои инсоният ба шумор меравад, ки он дар ҳолатҳои мухталифи ангеаҳои антропогенӣ ба пешгӯӣ ва арзёбии динамикаи популятсияҳо ва системаҳои экологӣ (экосистемаҳо) ниёз дорад. Гузаронидани озмоишу таҷрибаҳои бевоситаи илмӣ дар экосистемаҳо ва парваришгоҳҳои воқеӣ бағоят гаронарзиш ва тулонӣ ба даст омада, дар аксар маврид ғайриимкон мебошад. Вобаста ба ин, доимо зарурати сохтани амсилаҳои математикӣ оид ба омӯзиши устувории системаҳои экологӣ, банақшагирӣ ва гузаронидани намудҳои гуногуни чорабиниҳои муҳофизатӣ ба миён меояд. Мубрамияти мавзӯи таҳқиқотии ин рисола, пеш аз ҳама, ба масъалаҳои зикршуда ва бо Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон эълон гардидани солҳои 2020-2040 «Бистсолаи омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф» ва як қатор барномаву стратегияҳои дар ин самт қабул гардида, алоқамандии бевосита дорад.

Дарачаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ. Сохтани амсилаҳои математикии арзёбии навъҳои нодир ва нестшаванда (дар мисоли дарранда-сайд) дар системаҳои экологӣ, яке аз масъалаҳои калидӣ буда, бидуни ҳаллу фасли онҳо ба роҳ мондани ҳифзи муҳити онҳо, дар маҷмӯъ, аз имкон берун аст.

Пайдоиш ва ташаккули тасаввуроти замонавӣ оид ба амсиласозии математикӣ барои системаҳои экологӣ бо номи муҳаққиқони хориҷӣ — Малтус Т., Ферхюлст П., Лотки А., Одум Ю., Цеффрис К., May R.M., Auslander D.M., Blasio G.D., Brokate M., Chipot M., Gurtin M.E., Gushing J.M., MacCamy R.C., Busenberg S., Iannelli M., Volterra V., Oster G.P., инчунин бо номи муҳаққиқони россиягӣ ва ватанӣ — Моисеев Н.Н., Свирежев Ю.М., Воинов А.А., Логофет Д.О., Тарко А.М., Алексеев В.В., Лукянов Н.К., Горстко А.Б., Домбровский Ю.А., Меншуткин В.В., Винберг Г.Г., Новосельцев В.Н., Леонов А.В., Юнусӣ М.К., Илолов М., Комилийн Ф.С., Одинаев Р.Н., Мирзоев С.Х. ва Одинаева С.А. ва дигарон алоқаманд аст.

Амсиласозии математикии динамикаи миқдори популятсияи биологӣ таърихи нисбатан тулонӣ дошта, дар ин ҷода аввалин шуда Т. Малтус дар бораи

амсилаи афзоиши экспоненсиалии аҳолии кураи замин сахми худро гузоштааст. Ферхюлст П. бошад онро бо дарназардошти маҳдудияти афзоиши популятсия такмил додааст. Муодилаи логистикии Ферхюлст боиси пайдо шудани амсилаи классикии «даранда-сайд»-и Лотка-Волтерра оид ба таъсири мутақобилаи ду намуд гардида, дар оянда боиси корҳои илмӣ бисёре аз муҳаққиқони соҳаи омӯзиши динамикаи рушди популятсияҳо гардид.

Самти асосиро дар таҳқиқи таҳаввулоти системаҳои экологӣ – масъалаи устуворӣ ва сифатан устувории амсилаҳои нуқтагӣ ташкил мекунад. Пас аз корҳои нахустини Р. Мей ва К. Цеффрис, меёрҳои устуворӣ ва сифатан устуворӣ пешниҳоднамудаи онҳо дар таҳқиқоти муаллифони гуногун истифода шуда, дар оянда онҳоро Д.О. Логофет ва М. Юнусӣ бо меёрҳои нави ҷавобгӯ пурра гардониданд.

Барои популятсияҳои алоҳида нигоҳдошташаванда, бо дарназардошти синну сол ҳайат ва тақсими фазоӣ масъалаҳои гуногуни устувории ҳалҳои статсионарӣ ва ғайрестатсионарӣ мавриди таҳқиқ қарор дода шудааст. Дар таҳқиқоти профессор М. Юнусӣ бошад, масъалаҳои мавҷудияти ҳалҳои классикӣ ва умумикардашуда мавриди омӯзиш қарор гирифта, аз тарафи ӯ бо ёрии қаторҳои Фурье усули ҳалли масъалаҳои математикии мувофиқ пешниҳод гардида, аввалин маротиба масъалаҳои ҳифзи популятсияҳои ҷомеаи системаҳои экологӣ таҳия ва ҳал карда шудаанд.

Мафҳуми потенциали (иктидори) биологӣ аввалин маротиба аз тарафи А. Лотка барои амсилаҳои нуқтагии популятсияҳои алоҳида нигоҳдошташаванда ворид карда шудааст. Барои амсилаҳои умумии системаҳои экологӣ, бо дарназардошти синну сол ва тақсими фазоӣ аз тарафи М. Юнусӣ дар корҳои илмӣ чорӣ ва асоснок карда шудаанд.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва ё мавзӯҳои илмӣ.

Кори диссертсионӣ дар доираи татбиқи фармони Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, №1445, аз 31.01.2020, дар бораи «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» эълон намудани солҳои 2020-2040, Қарорҳои Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон, №503, аз 26.09.2020, «Дар бораи самтҳои афзалиятноки таҳқиқоти илмӣ-техникӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2021-2025», №642, аз 30.12.2019, «Консепсияи иқтисоди рақамӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон», дурнамои нақшаи илмӣ - таҳқиқотии кафедраи технологияи иттилоотӣ ва методикаи таълими информатикаи Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав барои солҳои 2021-2025 иҷро карда шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот сохтани амсилаи математикӣ ва компютерӣ барои таҳқиқ ва пешгӯии динамикаи популятсияҳо, идоракунии нигоҳдории навъҳои нодир нестшаванда ва болобарии самаранокии экосистемаҳои минтақавӣ дар мисоли экосистемаи «Бешаи Палангон» (барои қисмати қамишию биёбонӣ) мебошад.

Вазифаҳои таҳқиқот. Вазифаи таҳқиқот дар диссертатсия аз таҳияи алгоритм барои арзёбии натиҷаи амсиласозии математикии миқдорӣ ва пешгӯии саршумори популятсияҳои биологӣ дар мисоли экосистемаҳои қамишию биёбонӣ мебошад. Барои расидан ба мақсади гузошташуда вазифаҳои асосии зерин ҳаллу ҷасл карда мешаванд:

- омӯзиши асосҳои назариявӣ бо мақсади сохтани амсилаҳои математикӣ барои ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда дар асоси маълумоти ба дастодада барои экосистемаи «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ);

- сохтани амсилаи концептуалӣ барои навъҳои биологӣ мамнӯъгоҳ ва муайян намудани устуворӣ, сифатан устуворӣ ва ноустувории сохтори он;

- бо истифода аз муодилаҳои дифференсиалӣ бо ҳосилаҳои хусусӣ навиштани амсилаи математикӣ барои муайян намудани динамикаи популятсияҳои мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ) бо дарназардошти синну сол ва тақсимооти фазоӣ;

- таҳия ва асоснок намудани вазифаҳои асосии ҳифз ва дар шумораи зарурӣ нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи системаҳои экологии мамнӯъгоҳ дар речаҳои гуногун бо дарназардошти синну сол ва тақсимооти фазоӣ;

- бо истифода аз амсилаҳои сохташуда таҳия ва асоснок кардани «қимати максималӣ» бо тағйир ёфтани қимати фазоӣ, барои ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир нестшавандаи системаи экологии мамнӯъгоҳ;

- сохтани алгоритм барои муайян кардани коэффитсиентҳои амсилаи математикии нуқтагии экосистемаи мамнӯъгоҳи «Бешаи Палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ) вобаста ба бетартиб ҷой доштани алоқаҳои трофикӣ;

- сохтани даста барномаи амалӣ ва гузаронидани як қатор озмоишҳои ҳисоббарорӣ бо экосистемаҳои мушаххас. Пайдо кардани роҳи ҳаллу ҷасли вазифаи ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир нестшавандаи мамнӯъгоҳи «Бешаи Палангон» дар речаҳои гуногуни фаъолият;

- иҷрои таҳлили маълумоти компютери ба дастодада, инчунин, анҷом додани ҳисобу коркарди вазифаҳои банақшагирифташуда оид ба ҳифз ва нигоҳдории навъҳои нодир нестшавандаи системаи экологии «Бешаи Палангон».

Объекти таҳқиқот – системаи экологии мамнӯъгоҳи «Бешаи Палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ)-и вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Предмети таҳқиқот – таҳия ва таҳқиқи амсилаҳои математикӣ барои асоснок кардани масъалаҳои фарқӣ ва сохтани алгоритм бо дарназардошти синну сол ва тақсимооти фазоӣ оид ба ҳифз ва нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи системаи экологии «Бешаи Палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ)-и вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Усулҳои таҳқиқот. Барои ноил шудан ба ҳадафи таҳқиқот муосиртарин назарияи муодилаҳои дифференсиалӣ, сифатан устувор, амсиласозии математикӣ, барномасозии объектгаро, технологияҳои иттилоотӣ ва усулҳои ададӣ, мавриди истифода қарор гирифтаанд.

Навгони илмий таҳқиқот.

1. таҳияи назарияи амсиласозии математикӣ бо истифодаи аз назарияи устуворӣ ва сифатан устувории экосистемаҳои монанд ва муодилаҳои интегралӣ дифференсиалӣ бо ҳосилаҳои хусусӣ ва тартиб додани алгоритмҳои мушаххас барои ҳаллу ҷасли масъалаи ҳифз ва нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи мамнӯъҳои «Бешаи Палангон»;

2. таҳияи амсилаи математикии идоракунии оптималии динамикаи системаи экологии «Бешаи Палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ) бо мақсади масъалаи ҳифз ва нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда;

3. муайян намудани миқдори зарурии захираҳои воридшаванда барои муайян кардани кофӣ будани суботу устуворӣ, дар синфи функсияҳои бо квадрат ҳамгироишаванда баҳо дода шуда, тартиби муодилаҳои интегро-дифференсиалӣ мутобик ба параметрҳои фазоӣ бо мақсади ҳаллу ҷасли масъалаи ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда паст карда шудаанд;

4. барои ҳалли масъалаи мушаххаси ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи мамнӯъҳои «Бешаи Палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ)-и вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон абзори компютерӣ ва озмоишҳои компютерӣ гузаронида шудаанд.

Аҳамияти назариявӣ ва амалии таҳқиқот. Натиҷаҳои, ки дар диссертатсия ба даст оварда шудаанд, миқёси истифодаи таҳқиқоти назариявии амсилаҳои математикӣ, озмоиши ҳисоббарорӣ, таҳлили компютерӣ дар ҳаллу ҷасли масоили интиҳоби фаъолияти самараноки мамнӯъҳои «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ)-и Ҷумҳурии Тоҷикистонро ба таври назаррас васеъ мегардонад. Хулосаҳои назариявии диссертатсия, пешниҳодҳо, инчунин муносибат ва тавсияҳо метавонанд, ба ҳайси абзор барои таҳлили вазифаҳои гузошташуда ва интиҳоби тарзи самараноки ҳаллу ҷасли вазифаи ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда дар речаҳои мухталифи фаъолият мавриди истифода қарор гиранд. Таъбу нашрҳо доир ба амсиласозии ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда дар речаҳои гуногуни фаъолият ва хулосаи онҳо, ки дар диссертатсия мавҷуд мебошанд, ба корхона ва идораҳои, ки соҳаи экологияи Ҷумҳурии Тоҷикистонро ба уҳда доранд, ба ҳайси тавсия пешниҳод карда мешаванд. Усули эҷодшуда имконият медиҳад, ки ҳангоми хондани курсҳои махсус барои донишҷӯёни ихтисосҳои мувофиқи «Амсиласозии математикӣ», «Амсиласозии компютерии системаҳои экологӣ», «Амсиласозии имитатсионии системаҳои экологияи иқтисодӣ», инчунин ҳангоми аз тарафи донишҷӯён навиштани корҳои курсӣ ва корҳои дипломӣ мавриди истифода қарор гирад. Даста барномаҳои амалии сохташуда дорои аҳамияти махсус буда, дар бобати ҳаллу ҷасли масоили интиҳоби истеҳсолоти самаранок ва беҳтар кардани вазъияти системаҳои экологӣ кумак мекунад.

Аҳамияти амалии таҳқиқоти диссертатсионӣ аз инҳо иборат аст:

– натиҷаҳои асосии он аз ҷониби Кумитаи ҳифзи Ҷумҳурии Тоҷикистон барои нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда дар мамнӯъҳои «Бешаи

палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ)-и вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон истифода шудаанд;

– барои мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» сохторҳои устувор ва ноустувор муайян карда шудаанд;

– дар диссертатсия усули умумикардашудаи таҳияи амсилаҳои математикии экосистемаҳои минтақавии намуди умумӣ пешниҳод гардидааст;

– усули эҷодшуда имконият медиҳад, ки бо истифодаи блокҳо, нақшаҳо ва ҷузъҳои таҳияшуда, амсилаҳои компютери мамнӯъгоҳҳо, бо таҳлили дақиқи пешакии онҳо, ба таври фаврӣ тартиб дода шаванд;

– усули муназзамсозии афзорҳои таҳқиқи системаҳои минтақавии экологӣ пешниҳод шудааст.

Дар айни ҳол аз таҳқиқоти диссертатсионӣ донишҷӯёни соли сеюм ва чоруми ихтисоси «Информатика»-и Донишгоҳи миллии Тоҷикистон (ДМТ) ҳангоми омӯзиши курси махсуси «Амсиласозии компютери системаҳои экологӣ» ва донишҷӯёни соли сеюми ихтисоси информатика, системаҳои автоматикунонидашуда, низом ва технологияҳои иттилоотии Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав ҳангоми омӯзиши курси махсус истифода мебаранд.

Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

1. Модели концептуалӣ ва математикии масъалаи ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи экосистемаи «Бешаи Палангон» дар шакли системаи муодилаҳои дифференсиалӣ бо ҳосилаҳои хусусӣ, ки динамикаи популятсияро бо дарназардошти сохтори синнусолӣ ва тақсимои фазоӣ тавсиф менамояд асоснок ва таҳия карда шудааст.

2. Усули таҳқиқи модели математикӣ бо дарназардошти сохтори синнусолӣ, тақсимои фазоӣ ва захираҳои воридшаванда, ки имконият медиҳад ҳолати экосистема ва самаранокии чораҳои ҳифз арзёбӣ карда шавад, пешниҳод ва асоснок карда шудааст.

3. Алгоритмҳои ададӣ ва маҷмӯи барномаҳои компютерӣ барои ҳалли модели пешниҳодшуда, ки пешгӯии динамикаи навъҳои нодир ва нестшавандаро дар экосистемаи «Бешаи Палангон» таъмин менамоянд, таҳия ва татбиқ карда шудаанд.

Эътимоднокии ва асоснокии натиҷаҳои илмӣ бадастомада, хулосаҳо ва тавсияҳои дар диссертатсия овардашуда тавассути таҳқиқоти комплекси сарчашмаҳои зиёди илмӣ олимони ватанӣ ва хориҷӣ тақвият дода шуда, бо методологияи бархӯрди системавӣ, концепсияи илмӣ санҷиши компютерӣ, таъя ба усулҳои назариявӣ амалии таҳқиқот, таҳлили шароити объектҳои таҳқиқшаванда ва натиҷаи озмоишҳо, дар амал тасдиқ шудани принципҳои асосии амсиласозӣ бо истифодаи дастгоҳи назариявии муодилаҳои дифференсиалӣ барои нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи мамнӯъгоҳ, ки ба масъалаҳои таҳқиқшаванда мувофиқанд, инчунин таҷрибаи шахсии диссертант ба ҳайси амсиласоз таъмин карда шудааст.

Мутобиқати диссертатсия бо шиносномаи ихтисоси илмӣ (бо шарҳ ва соҳаи таҳқиқот). Кори диссертатсионӣ мувофиқи бандҳои зерини шиносномаи

ихтисоси илмий 1.1.10 – Моделсозии математикӣ, методҳои ададӣ ва комплекси барномаҳо анҷом дода шудааст:

Банди 1. Коркарди усулҳои нави математикии амсиласозии объектҳо, системаҳо, равандҳо ва ҳодисаҳо.

Банди 2. Инкишоф додани усулҳои таҳлили сифатӣ ва тақрибии таҳқиқи амсилаҳои математикӣ;

Банди 6. Таҳқиқи комплекси масъалаҳои илмӣ-техникӣ ва пойгоҳӣ-татбиқӣ, бо истифода аз технологияҳои муосири амсиласозии математикӣ ва таҷрибагузарониҳои ҳисоббарорӣ.

Банди 7. Коркарди усулҳои нави математикӣ ва алгоритмҳои санҷиши дурустии амсилаҳои математикии объектҳо, системаҳо, равандҳо ва ҳодисаҳо дар асоси додаҳои таҷрибавии воқеӣ.

Банди 9. Коркарди системаи амсиласозии компютерӣ ва тақлидӣ.

Саҳми шахсии доктарабон дарёфти дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот аз он иборат аст, ки диссертатсия аз ҷониби ӯ мустақилона навишта шудааст. Натиҷаҳои бадастовардаи унвонҷӯ, бинобар мавҷудияти алоқамандии миёни натиҷаҳо дар ҷаҳорҷӯбаи таҳқиқоти назариявӣ ва таҳияи амсилаҳои математикиро компютерӣ барои таҳқиқот, пешгӯӣ ва идоракунии динамикаи экосистемаи «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ) ва монанди ин экосистема саҳми муайянеро дар инкишофи назария, пешгӯӣ ва амалияи худкорсозии (автоматикунории) масъалаҳои идоракунии ташкил медиҳанд.

Натиҷаҳои илмӣ дар диссертатсияи мазкур пешниҳодшуда моҳияти илмӣ-амалӣ дошта, дар мамнӯъгоҳҳои мухталиф онҳо зимни ҳалли масоили идоракунии ва коркарди иттилоот истифода шуда метавонанд. Муқаррароти асосии илмӣ ва хулосаҳо асоснок карда шудаанд ва бо амсиласозии математикӣ ва компютерӣ, инчунин бо даста барномаи амалии таҳияшуда, ки дорои санадҳои татбиқ, шаҳодатномаи муаллифии Вазорати рушди иқтисод ва савдои Ҷумҳурии Тоҷикистон Муассисаи давлатии «Маркази миллии патенту иттилоот», № 3272600578.–06.05.2026, Донишгоҳи миллии Тоҷикистон ва Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав мебошанд, тасдиқ гардидаанд.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Дар диссертатсия вазифаи аввалиндараҷа ин сохтани амсилаи математикӣ барои ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ)-и вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон рафта, дар баробари сохтани амсиласозии математикӣ, муназзамсозии фаъолияти динамикаи мамнӯъгоҳ низ ҳаллу фасл ёфтаанд. Дар умум масъалаҳои зерин ҳалли худро ёфтаанд:

1. Амсилаи концептуалӣ вобаста ба муносибати навъҳои биологии мамнӯъгоҳи «Қамишию биёбонӣ»-и вилояти Хатлон ва дар асоси он сохтани амсилаи математикӣ дар шакли муодилаҳои интегро-дифференциалӣ бо дарназардошти синну сол ва тақсмоти фазой сохта шудааст. Тартиби муодилаҳо бо мақсади содагардонии ҳалли масъала нисбат ба амсилаи нуқтагӣ

коҳиш дода шуда, сохтори устуворӣ ва сифатан устувори мамнӯъгоҳ муайян карда шудааст;

2. Диапазонҳои самараноки тағйирёбии теъдод ва саршумори навъҳои нодир ва нестшавандаи биологӣ бо дарназардошти синну сол ва тақсимооти фазоӣ ба даст оварда шуд;

3. Алгоритмҳои устувори миқдорӣ барои ҳалли масъалаҳои гуногуни таҳияшудаи марбут ба ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи пешниҳод ва асоснок карда шудаанд;

4. Мучтамаи барномаҳо барои ҳалли масъалаҳои амсиласозии математикии ҳолати системаи экологии се сатҳи трофикии иборат аз 16 муодила сохта шуда, як қатор озмоишҳои ҳисоббарорӣ барои экосистемаҳои мушаххас бо мақсади пешгӯии ҳолати онҳо доир карда шуд. Ҳалли масъалаи ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир дар речаҳои гуногуни фаъолияти мамнӯъгоҳи «Қамишию биёбонӣ»-и вилояти Хатлон ба даст оварда шуд.

Натиҷаҳои диссертатсия дар чаласаҳои кафедраи «Технологияҳои иттилоотӣ ва методикаи таълими информатика», «Системаҳои автоматикунонидашудаи коркарди ахборот ва шабакаҳои алоқа»-и Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав ва семинарҳои илмӣ кафедраҳои «Информатика» ва «Моделсозии математикӣ»-и Донишгоҳи миллии Тоҷикистон (2013-2024) дар конфронсҳои илмӣ ҳарсолаи ҳайати профессорону устодони Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав (солҳои 2013-2024), дар конфронсҳои илмӣ ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ «Нақши Донишгоҳи давлатии шаҳри Кӯлоб ба номи А.Рудакӣ дар тайёр намудани мутахассисон бахшида ба 70-солагии донишгоҳ» (Кӯлоб, 2015), «Таҳлили компютерӣ, мушкилоти илм ва технология» (Душанбе, 2015), «Рушди илму маориф дар замони муосир» (Қўрғонтеппа, 2016), «Проблемаҳои оҳангӯдозӣ дар Тоҷикистон ва роҳҳои ҳалли он» (Душанбе, 2016), «Муодилаҳои физикию математикии классикӣ ва масъалаҳои гуногуни таҳлили математикӣ» (Душанбе, 2016), «70-солагии таъсисёбии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон» (Душанбе, 2018), «Усули муназзамсозии мамнӯъгоҳи Бешаи палангон» (Душанбе, 2022), «Концептуальная модель редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных заповедников Республики Таджикистан» (Минск, 2023) ва «Технология разработки компьютерного инструментария по прогнозированию и управлению динамики типовых региональных экосистем (на примере заповедника Тигровая балка)» муҳокима ва баррасӣ шудаанд.

Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия. Натиҷаҳои асосии таҳқиқот дар 22 мақолаи илмӣ, аз ҷумла, 8-тои он дар маҷаллаҳои тақризшавандаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон сар шуда аз қори [1–М, 9–М] ба нашр расидаанд. Дар конференсияҳои илмӣ сатҳашон гуногун бошад 13 мақола ва фишурдаи мақола рӯи чоп омадаанд. Инчунин 1-шаҳодатнома дар бораи қайди давлатии барномаи компютерӣ.

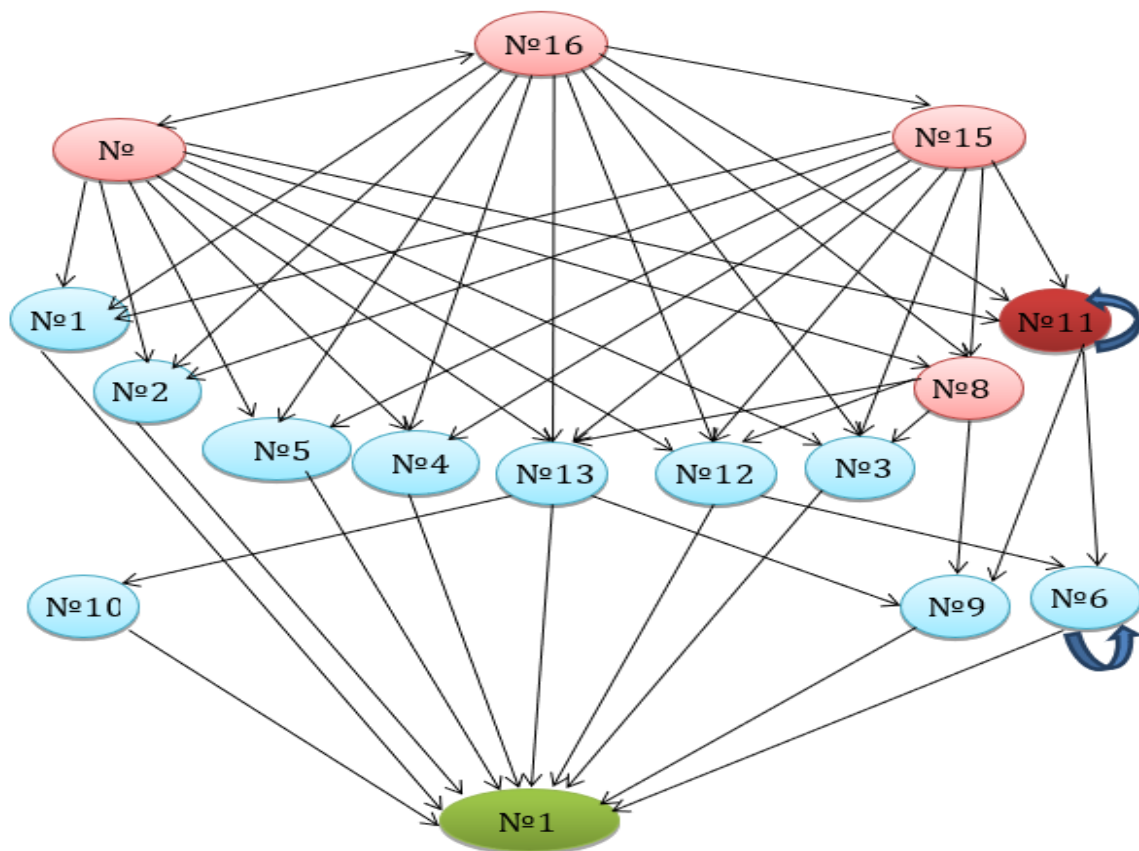
Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз бахшҳои муқаддима, тавсифи умумии таҳқиқот, чор боб, бахши хулосаҳо бо натиҷаҳои асосии

илмий диссертатсия ва тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо, рӯйхати адабиёт бо феҳристи сарчашмаҳои истифодашуда ва феҳристи интишороти илмий доктараби дарёфти дараҷаи илмӣ иборат аст. Ҳаҷми умумии диссертатсия аз 166 саҳифаи матни компютерӣ, ки бо ёрии протсессори матнии Microsoft Word ҳуруфчинигардида, иборат буда, фарогири 4 ҷадвал ва 40 расм аст ва рӯйхати адабиёти истифодашуда 123 номгӯйро ташкил медиҳад.

МУҲТАВОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар **муқаддима** аҳамияти мавзӯи рисолаи интихобгардида асоснок карда шуда, мундариҷаи кор мухтасар тасвир гардида, шарҳи мухтасари натиҷаҳои он оварда шудааст.

Дар **боби якум** диссертатсия масъалаҳои устуворӣ ва сифатан устувории экосистемаи «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ), мавриди омӯзишу баррасӣ қарор дода шудаанд. Дар **параграфи якум** ин боб маълумот дар бораи шароити иқлимӣ, тасвири биологӣ сохтори мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон», сохтани амсилаи концептуалӣ ва риёзӣ, дода шудааст. Дар асоси амсилаи концептуалии умумӣ амсилаи концептуалии мамнӯъгоҳи «Қамишию биёбонӣ» сохта шудааст (расми 1) [2-М, 4-М, 7-М].



Расми 1. Амсилаи концептуалии мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ).

Дар амсилаи концептуалӣ (расми 1) бо N_1 – *биомассаи наботот*, N_2 – *биомассаи оҳуи бухорой*, N_3 – *биомассаи харгӯиҳои тула*, N_4 – *биомассаи бузҳои даштӣ*, N_5 – *биомассаи оҳуи даштӣ*, N_6 – *биомассаи моҳиҳо*, N_7 –

биомассаи гургҳо, N_8 – биомассаи гурбаҳои қамишзорӣ, N_9 – биомассаи мушҳо, N_{10} – биомассаи сангпӯштҳои даштӣ, N_{11} – биомассаи морҳо, N_{12} – биомассаи парандагони қўлҳо, N_{13} – биомассаи парандагони сӯфақўҳҳои биёбонӣ, N_{14} – биомассаи хукҳои гуроз, N_{15} – биомассаи рўбоҳҳо, N_{16} – биомассаи бабрҳои тўронӣ ишора шудаанд.

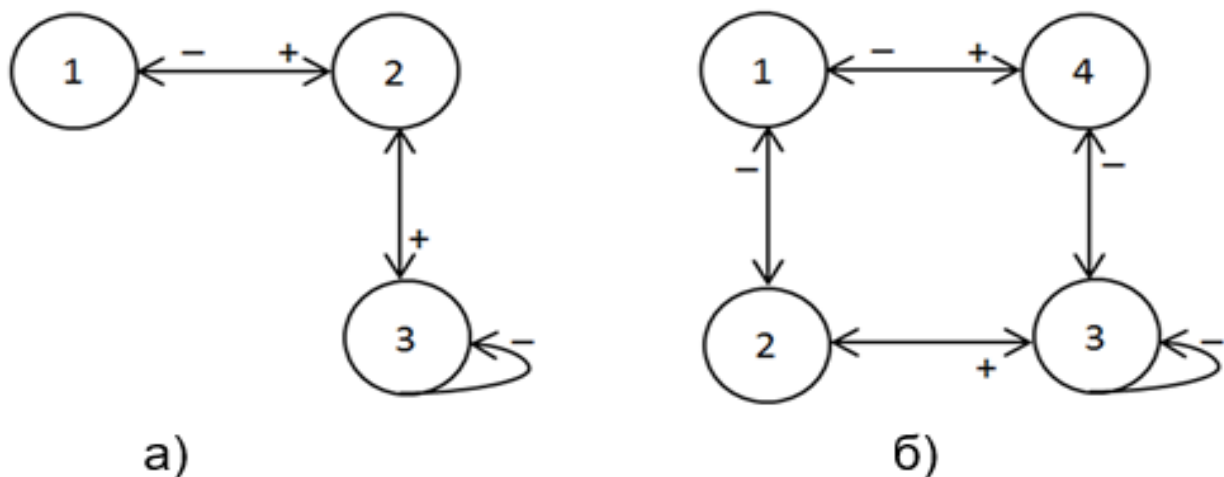
Дар **параграфи дуюм** бошад баҳодиҳии устувории экосистемаи мазкур бо истифода аз усулҳои устуворӣ ва сифатан устуворӣ, таҳқиқ гардидааст.

Таҳлили устувории мамнӯъгоҳ дар асоси муодилаи характеристикӣ дар **параграфи сеюм** ҳамин боб таҳқиқ ёфтааст [2-М, 4-М, 17-М]. “Муодилаи

$$\det(\delta I - A) = 0, A = B_0(0) + \int_0^\infty e^{-\delta\alpha} dB(\alpha), \quad (1)$$

муодилаи характеристикӣ системаҳои экологӣ бо дарназардошти синну сол ва тақсимои фазой буда, бо I – матритсаи воҳидӣ, A – матритсаи ҷомеаи мамнӯъгоҳ, B – матритсаи зиндамони навъҳои мамнӯъгоҳ ишора шудаанд” [2, 3, 2-М, 4-М, 17-М].

Дар асоси амсилаи концептуалии сохташуда (расми 1) ва меъёрҳои устувории сифатии Р. Мей ва К. Джеффрис сифатан устувор ва ноустувор будани мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» (барои қисмати қамишию биёбонӣ)-ро муайян менамоем [4-М, 17-М]:

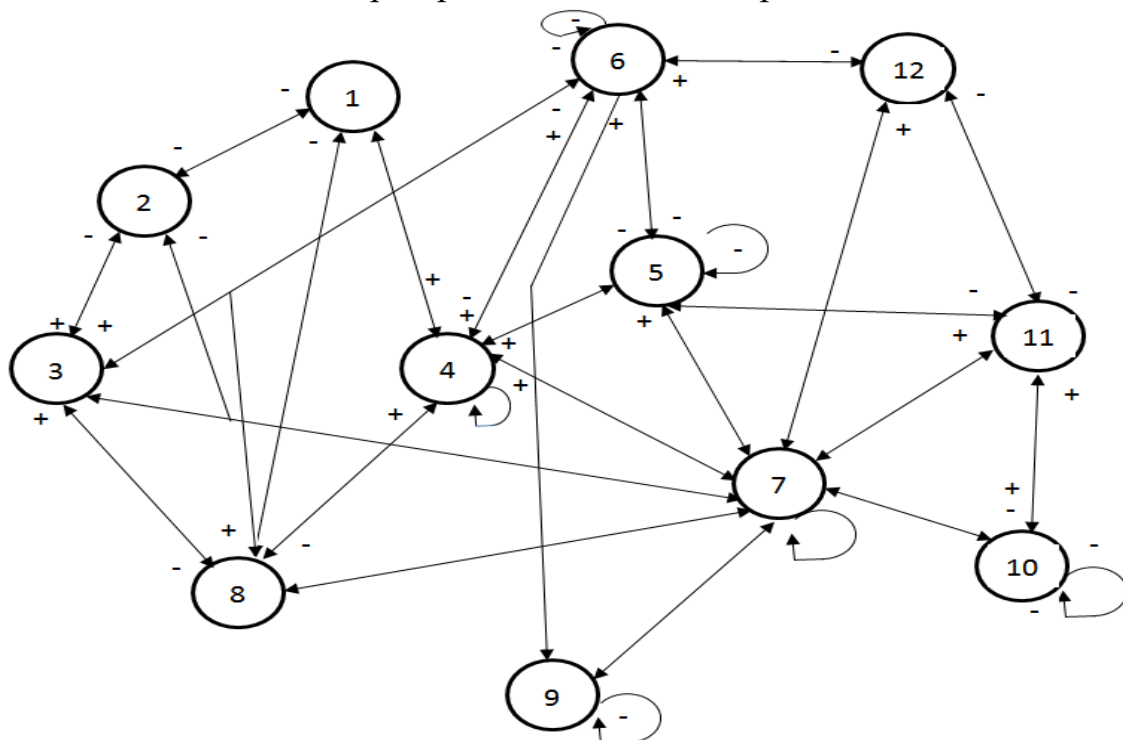


Расми 2.: – а) ГСА-и системаи сесатҳа; б) ГСА-и системаи чорсатҳа

Системаи чорсатҳаи ГСА-и расми 2 (б) овардашударо дар асоси усулҳои овардашуда муқоиса намуда мебинем, ки системаи муттаҳидаи «ҷомеаи растаниҳо-ҳайвоноти гиёҳхӯр-дарандаҳо-хояндаҳо», сифатан устувор намебошад.

Акнун системаи мураккабтарро дида мебароем. Барои экосистемаи бисёрсатҳаи «олами растаниҳо – (1), ҳайвоноти алафхӯр – (2), дарандагон – (3), парандагон – (4), моҳиҳо – (5), хазандагон – (6), ҳашарот – (7), хояндагон – (8), ҳашаротхӯрон – (9), тортанакиақлҳо – (10), обҳокиҳо», граф бо алоқаҳои трофикии дар расми 2. овардашуда, низ шартҳои устуворӣ ва сифатан устуворӣ иҷро намегарданд [5-М, 8-М, 16-М, 17-М]. Агар мо алоқаҳои «рах-рах»-ро миёни навъҳо ба эътибор нагирем, он гоҳ системаи экологии таҳлилшаванда метавонад ба системаи сифатан устувор мубаддал гардад. Аз ин

лиҳоз, барои ба даст овардани сохторҳои устувор ва сифатан устувори ҳаргуна мамнӯъгоҳ ба таври сунъӣ шумораи навъҳои мувофиқ бояд тавре тағйир дода шаванд, ки пайвастагиҳои «рах-рах»-и ГСА аз байн равад.



Расми 3. – : ГСА-и экосистемаи бисёрсатҳа «олами растаниҳо-1, олами алафхӯрҳо-2, дарандагон-3, паррандагон-4, моҳиҳо-5, хазандагон-6, ҳашарот-7, хояндаҳо-8, ҳашаротхӯрҳо-9, тортанакшаклҳо-10, зобҳокиҳо-11, қанотдастон-12»

Системаи экологии бо 10 сатҳи трофикӣ муттаҳидшудаи мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» (1 – *наботот*; 2 – *ҳашарот*; 3 – *калтакалос, агама*; 4 – *миримушон, савсор, муши ҷангалӣ, хомяки хокистаранг, заргӯш*; 5 – *сағур*; 6 – *рӯбоҳ*; 7 – *оҳуи шохдор, бӯзи кӯҳии сибирӣ*; 8 – *хуки ваҳшӣ*; 9 – *гурғ*; 10 – *шағоли рахдор, гурбаи қамишӣ*) низ, бо сабаби мавҷуд будани гиреҳҳои сарбастаи дарозиашон аз ду калон дар граф, сифатан устувор намебошад. [5-М, 8-М, 16-М, 17-М]. Аз ин ҷо бармеояд, ки дар чунин экосистемаҳо дар ҳама гуна шадидтар шудани муносибатҳои дохилӣ миёни намудҳо устуворӣ хос нест. Мисол $(\rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 1, 9 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9, 4 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 5 \rightarrow 4)$. Аммо, дар айни замон, зерсохторҳои ёфт мешаванд, ки сифатан устувор бошанд. Мавҷуд будани сохторҳои сифатан устувор аз фаъолияти бонизоми системаи экологӣ ишора мекунад.

Дар **параграфи чоруми** боби якум барои системаҳои экологии ноустувор усули муназзамсозии сохторҳои биологии ноустувори «Бешаи палангон» пешниҳод гардидааст.

Дар **параграфи панҷум** хулосаи боби якум оварда шудааст.

Дар **боби дуюми** кори диссертатсионӣ, ки аз 7 зербоб иборат аст амсилаи математикии нигоҳдории популятсияҳои биологӣ вобаста аз вақт, синну сол ва

тақсимоти фазой барои мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» (барои қисмати қамишию биёбонӣ) мавриди омӯзишу баррасӣ қарор дода шудааст.

Дар **параграфи якуми** боби дуюм амсилаи нуқтагии вобаста аз вақт, синну сол ва мавқеи фазогӣ барои мамнӯъгоҳи «Қамишию биёбонӣ» дар асоси амсилаи консептуалии овардашуда, сохта шудааст [1-М, 13-М]:

$$\begin{aligned}
\frac{dN_1}{dt} &= Q(t) - \sum_{i=1}^{10} \frac{\alpha_{1i} N_i}{1 + \alpha_{ij}^0 N_i} N_{j-m_1 N_1}; \\
\frac{dN_2}{dt} &= \frac{K_{12} a_{12} N_1 N_2}{1 + a_{12}^0 N_2} - m_2 N_2 - \frac{a_{27} N_2 N_7}{1 + a_{27}^0 N_2} - \frac{a_{215} N_2 N_{15}}{1 + a_{215}^0 N_2} - \frac{a_{216} N_2 N_{16}}{1 + a_{216}^0 N_2}; \\
\frac{dN_4}{dt} &= \frac{K_{14} a_{14} N_1 N_4}{1 + a_{14}^0 N_4} - m_4 N_4 - \frac{a_{47} N_4 N_7}{1 + a_{47}^0 N_4} - \frac{a_{415} N_4 N_{15}}{1 + a_{415}^0 N_4} - \frac{a_{416} N_4 N_{16}}{1 + a_{416}^0 N_4}; \\
\frac{dN_5}{dt} &= \frac{K_{15} a_{15} N_1 N_5}{1 + a_{15}^0 N_5} - m_5 N_5 - \frac{a_{57} N_5 N_7}{1 + a_{57}^0 N_5} - \frac{a_{515} N_5 N_{15}}{1 + a_{515}^0 N_5} - \frac{a_{516} N_5 N_{16}}{1 + a_{516}^0 N_5}; \\
\frac{dN_6}{dt} &= \frac{K_{16} a_{16} N_1 N_6}{1 + a_{16}^0 N_6} - m_6 N_6 - \frac{a_{611} N_6 N_{11}}{1 + a_{611}^0 N_6} - \frac{a_{612} N_6 N_{12}}{1 + a_{612}^0 N_6} - \varepsilon_6 N_6^2; \\
\frac{dN_7}{dt} &= \frac{K_{27} a_{27} N_2 N_7}{1 + a_{27}^0 N_2} + \frac{K_{37} a_{37} N_3 N_7}{1 + a_{37}^0 N_3} + \frac{K_{47} a_{47} N_4 N_7}{1 + a_{47}^0 N_4} + \frac{K_{57} a_{57} N_5 N_7}{1 + a_{57}^0 N_5} + \\
&\quad + \frac{K_{87} a_{87} N_8 N_7}{1 + a_{87}^0 N_8} + \frac{K_{117} a_{117} N_{11} N_7}{1 + a_{117}^0 N_{11}} + \frac{K_{127} a_{127} N_{12} N_7}{1 + a_{127}^0 N_{12}} + \frac{K_{137} a_{137} N_{13} N_7}{1 + a_{137}^0 N_{13}} - \\
&\quad - m_7 N_7 - \frac{a_{167} N_7 N_{16}}{1 + a_{167}^0 N_{16}}; \\
\frac{dN_8}{dt} &= \frac{K_{38} a_{38} N_3 N_8}{1 + a_{38}^0 N_3} + \frac{K_{98} a_{98} N_9 N_8}{1 + a_{98}^0 N_9} + \frac{K_{128} a_{128} N_{12} N_8}{1 + a_{128}^0 N_{12}} + \frac{K_{138} a_{138} N_{13} N_8}{1 + a_{138}^0 N_{13}} - \\
&\quad - m_8 N_8 - \frac{a_{78} N_7 N_8}{1 + a_{78}^0 N_7} - \frac{a_{158} N_{15} N_8}{1 + a_{158}^0 N_{15}} - \frac{a_{168} N_{16} N_8}{1 + a_{168}^0 N_{16}}; \\
\frac{dN_9}{dt} &= \frac{K_{19} a_{19} N_1 N_9}{1 + a_{19}^0 N_9} - m_9 N_9 - \frac{a_{98} N_9 N_8}{1 + a_{98}^0 N_8} - \frac{a_{911} N_9 N_{11}}{1 + a_{911}^0 N_{11}} - \\
&\quad - \frac{a_{913} N_9 N_{13}}{1 + a_{913}^0 N_{13}}; \\
\frac{dN_{10}}{dt} &= -m_{10} N_{10} + \frac{K_{101} a_{101} N_1 N_{10}}{1 + a_{101}^0 N_1} - \frac{a_{1013} N_{10} N_{13}}{1 + a_{1013}^0 N_{10}}; \\
\frac{dN_{11}}{dt} &= \frac{K_{611} a_{611} N_6 N_{11}}{1 + a_{611}^0 N_6} + \frac{K_{911} a_{911} N_9 N_{11}}{1 + a_{911}^0 N_9} - m_{11} N_{11} - \varepsilon_{11} N_{11}^2 - \frac{a_{117} N_{11} N_7}{1 + a_{117}^0 N_{11}} - \\
&\quad - \frac{a_{115} N_{11} N_{15}}{1 + a_{115}^0 N_{15}} - \frac{a_{116} N_{11} N_{16}}{1 + a_{116}^0 N_{16}}; \\
\frac{dN_{12}}{dt} &= \frac{K_{112} a_{112} N_1 N_{12}}{1 + a_{112}^0 N_1} + \frac{K_{612} a_{612} N_6 N_{12}}{1 + a_{612}^0 N_6} - m_{12} N_{12} - \frac{a_{127} N_{12} N_7}{1 + a_{127}^0 N_{12}} - \\
&\quad - \frac{a_{128} N_{12} N_8}{1 + a_{128}^0 N_{12}} -
\end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
\frac{dN_{13}}{dt} &= \frac{K_{1\ 13}a_{1\ 13}N_1N_{13}}{1+a_{1\ 13}^0N_1} + \frac{K_{9\ 13}a_{9\ 13}N_9N_{13}}{1+a_{9\ 13}^0N_9} + \frac{K_{10\ 13}a_{10\ 13}N_{10}N_{13}}{1+a_{10\ 13}^0N_{10}} - m_{13}N_{13} \\
&\quad - \frac{a_{12\ 8}N_{12}N_8}{1+a_{12\ 8}^0N_{12}} - \frac{a_{12\ 15}N_{12}N_{15}}{1+a_{12\ 15}^0N_{12}} - \frac{a_{12\ 16}N_{12}N_{16}}{1+a_{12\ 16}^0N_{12}}; \\
\frac{dN_{14}}{dt} &= \frac{K_{1\ 14}a_{1\ 14}N_1N_{14}}{1+a_{1\ 14}^0N_1} - m_{14}N_{14} - \frac{a_{13\ 7}N_{13}N_7}{1+a_{13\ 7}^0N_{13}} - \frac{a_{13\ 8}N_{13}N_8}{1+a_{13\ 8}^0N_{13}} - \frac{a_{13\ 15}N_{13}N_{15}}{1+a_{13\ 15}^0N_{13}} - \frac{a_{13\ 16}N_{13}N_{16}}{1+a_{13\ 16}^0N_{13}}; \\
\frac{dN_{15}}{dt} &= \frac{K_{2\ 15}a_{2\ 15}N_2N_{15}}{1+a_{2\ 15}^0N_2} + \frac{K_{3\ 15}a_{3\ 15}N_3N_{15}}{1+a_{3\ 15}^0N_3} + \frac{K_{4\ 15}a_{4\ 15}N_4N_{15}}{1+a_{4\ 15}^0N_4} + \frac{K_{5\ 15}a_{5\ 15}N_5N_{15}}{1+a_{5\ 15}^0N_5} \\
&\quad + \frac{K_{8\ 15}a_{8\ 15}N_8N_{15}}{1+a_{8\ 15}^0N_8} + \frac{K_{11\ 15}a_{11\ 15}N_{11}N_{15}}{1+a_{11\ 15}^0N_{11}} + \frac{K_{12\ 15}a_{12\ 15}N_{12}N_{15}}{1+a_{12\ 15}^0N_{12}} \\
&\quad + \frac{K_{13\ 15}a_{13\ 15}N_{13}N_{15}}{1+a_{13\ 15}^0N_{13}} + \frac{K_{14\ 15}a_{14\ 15}N_{14}N_{15}}{1+a_{14\ 15}^0N_{14}} - m_{15}N_{15} - \frac{a_{15\ 16}N_{15}N_{16}}{1+a_{15\ 16}^0N_{15}}; \\
\frac{dN_{16}}{dt} &= \frac{K_{2\ 16}a_{2\ 16}N_2N_{16}}{1+a_{2\ 16}^0N_2} + \frac{K_{3\ 16}a_{3\ 16}N_3N_{16}}{1+a_{3\ 16}^0N_3} + \frac{K_{4\ 16}a_{4\ 16}N_4N_{16}}{1+a_{4\ 16}^0N_4} + \frac{K_{5\ 16}a_{5\ 16}N_5N_{16}}{1+a_{5\ 16}^0N_5} \\
&\quad + \frac{K_{8\ 16}a_{8\ 16}N_8N_{16}}{1+a_{8\ 16}^0N_8} + \frac{K_{11\ 16}a_{11\ 16}N_{11}N_{16}}{1+a_{11\ 16}^0N_{11}} + \frac{K_{12\ 16}a_{12\ 16}N_{12}N_{16}}{1+a_{12\ 16}^0N_{12}} \\
&\quad + \frac{K_{13\ 16}a_{13\ 16}N_{13}N_{16}}{1+a_{13\ 16}^0N_{13}} + \frac{K_{14\ 16}a_{14\ 16}N_{14}N_{16}}{1+a_{14\ 16}^0N_{14}} + \frac{K_{15\ 16}a_{15\ 16}N_{15}N_{16}}{1+a_{15\ 16}^0N_{15}} - m_{16}N_{16} - a_{16\ 7}N_{16}N_7
\end{aligned}$$

Дар муодилаҳои овардашудаи (2) $\frac{d}{dt}$ вобаста ба таҳлил ва баррасӣ масъала метавонад яке аз намудҳои зеринро гирад [8-М, 9-М, 10-М]:

- 1) Агар синну сол ба эътибор гирифта шавад, он гоҳ $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a}$;
- 2) Агар мавқеи ҷойгиршавиро ба назар гирем, он гоҳ

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

Қайд мекунем, ки аз амсилаи (2) дар ҳолати хусусӣ, амсилаи ба таври максималӣ умумикардшудаи сифатан устуворро ҷудо кардан мумкин аст, ки он намуди зеринро доро мешавад:

$$\begin{aligned}
\frac{dN_0}{dt} &= Q + F_0(N_0, N_1), \quad N_0(0) = N_0^0, \\
\frac{dN_1}{dt} &= N_1 F_1 N_0 N_1 \tilde{N}_1, \quad N_1(0) = N_1^0, \\
\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a}\right) N_2 &= N_2 F_2(N_1, N_2, N_3), \quad N_2(a, 0) = N_2^0(a), \\
\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a}\right) N_3 &= N_3 F_3(N_2, N_3), \quad N_3(a, 0) = N_3^0(a). \\
N_2(0, t) &= \int_0^{a_{max}} B_2(a) N_2(a, t) da.
\end{aligned} \tag{3}$$

Қайд кардан зарур аст, дар системаи (3) $F_i = F_i(\cdot)$, $i = \overline{0,3}$ суръати хоси сатҳи функсияҳои трофикии i -юмро нишон медиҳад ва дар навбати худ он бояд шартҳои зеринро қаноат кунонад:

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

Дар параграфи дуюми боби мазкур схемаи фарқӣ барои аппроксиматсиякунонии масъалаи шумораи популятсия бо дарназардошти вақт, синну сол ва тақсимои фазой вобаста ба мавқеи ҷойгиршавӣ дида баромада шуда, популятсияи амсилаи сохта шудааст [1-М, 4-М, 14-М].

$$\begin{cases} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial a} + \sum_j \vartheta_j \frac{\partial N}{\partial x_j} = F_0(a)N + \sum_j K_j \frac{\partial^2 N}{\partial x_j^2}, \quad G = [0 < x_j < L_j], \quad 0 < a \leq a_{max}, \quad 0 < t \leq t_k, \\ N(x, a, 0) = N_0(x, a), \quad 0 \leq x_i \leq L_j, \quad x = (x_1, x_2), \quad x \in G, \quad 0 \leq a \leq a_{max}, \\ N(x, 0, t) = \int_0^{a_{max}} B_0(\xi) N(x, \xi, t) d\xi, \quad \bar{G} = G + \Gamma, \quad 0 \leq t \leq t_k, \quad \Gamma - \text{сарҳади } G, \\ \left. \frac{\partial N}{\partial x} - a_j N \right|_{x_j=(0, L_j)} = 0, \end{cases} \tag{4}$$

Дар системаи (4) $N = N(x, a, t)$ - шумораи популятсияи синну соли а дошта дар нуктаи x дар лаҳзаи вақти t , $F_0 = F_0(a)$ - коэффитсиенти фавт, $B = B(a)$ - коэффитсиенти таваллудкунӣ, $N_0 = N_0(x, a)$ - шумораи популятсия дар лаҳзаи аввали вақт мебошад. Агар мо табдилдиҳии зеринро дохил намоем:

$$a' = a, \quad t' = a + \lambda, \quad \phi(x, a, \lambda) = N(x, a, a + \lambda),$$

$$u(x, a, \tau) = \phi(x, a, \lambda) \exp \left(\int_0^a F_0(\xi) d\xi + \sum_j \vartheta_j \frac{x_j}{2K_j} - \sum_j \frac{\vartheta_j^2 a}{4K_j} \right),$$

он гоҳ ба ҷойи масъалаи (2) масъалаи зеринро ҳосил менамоем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial a} = \sum_j K_j \frac{\partial^2 u}{\partial x_j^2}, \quad 0 \leq x_j \leq L_j, \quad 0 < a \leq a_{\max}, \quad 0 < t \leq t_k \\ u(x, 0, \tau) = \int_0^{a_{\max}} \beta(\xi) u(x, \xi, t) d\xi, \\ \left. \frac{\partial u}{\partial x_j} \right|_{x_j=0}^{x_j=L_j} = 0. \end{array} \right. \quad (5)$$

Агар ҳалли системаи (5) барои мо маълум бошад, он гоҳ бо истифода аз табдилдиҳии дар боло овардашуда, мо метавонем ҳалли масъалаи мазкурро дар шакли зерин ҳосил намоем:

$$N(x, a, t) = u(x, a, t - \alpha) \exp \left(- \int_0^a F_0(\xi) d\xi - \sum_j \vartheta_j \frac{x_j}{2K_j} + \sum_j \frac{\vartheta_j^2}{4K_j} \right). \quad (6)$$

Барои ҳалли масъалаи мазкур, ишораҳои $h = \tau(h_1, h_2) > 0$, $t=a$, $x=x^1$, $p=x^2$ -ро дохил намуда, схемаи фарқии охириноқро ҳосил менамоем.

Барои мухтасар ифода намудан аппроксиматсияи фарқии масъала зарур аст, ки функцияи $Y = Y((x, p, t))$ шартҳои дар поён овардашударо қаноат кунонад [1-M]:

$$\begin{cases} Y_i = A_1 Y, & t = t' + \tau/2, \\ Y_i = A_2 Y, & t = t' + \tau, \end{cases} \quad (x, \gamma, t') \in Q^h, \quad (7)$$

$$Y(x, \gamma, 0) = Y_0 \quad (8)$$

$$\begin{cases} a_0 Y_x = \frac{h_1}{2} b Y_{\bar{t}}, x = 0 \\ a_1 Y_{\bar{x}} = -\frac{h_1}{2} b Y_{\bar{t}}, x = l \end{cases}, t = t' + \tau/2, \quad (9)$$

$$\begin{cases} \bar{a}_0 Y_{\gamma_0} = \frac{h_2}{2} b Y_{t\gamma_0}, & Y_{a=0} = T^h, \quad t = t' + \tau, \\ \bar{a}_1 Y_{\gamma} = \frac{h_2}{2} b Y_t, & \gamma = \gamma_1 \end{cases} \quad (10)$$

$$Y(x, 0, t) = T^h, \quad T^h(x, t) = \sum_{a=0}^{a \rightarrow \max \Sigma} \beta(a) Y(x, a, t) h_3, \quad (11)$$

ки дар ин ҷо

$$a_0 = K(Y)|_{x=0}, a_1 = K(Y)|_{x=l}, \bar{a}_0 = K(Y)|_{p_0}, \bar{a}_1 = K(Y)|_{p_1}.$$

Фарзияи асосиро барои функцияҳо бо гузоришҳои (7) – (11) меорем:

а) ҳамаи функцияҳои K, V_0, β муайян ва нисбат ба тағйирёбандаҳои худ бефосилаанд;

б) $a^0 \leq (a(Y), \bar{a}(Y)) \leq a^1, i = 0, 1$;

в) функцияҳои ихтиёрии маҳдуди K_V ва $|K_V| \leq K_2 < \infty$ дода шуда бошанд;

$$\text{г)} \begin{cases} |a(p) - a(q)| \leq a_2 |p - q|, \\ |\bar{a}(p) - \bar{a}(q)| \leq a_2 |p - q|, \\ a_2 = \text{const} > 0, |p, q| < \infty. \end{cases}$$

Дар **параграфи сеюми** боби дуум баҳои априорӣ барои масъалаи канории фарқӣ дода шудааст.

Теоремаи 2.3.1. Бигузур шартҳои а) ва б) барои функцияҳои бо гузоришҳои дар (7) – (11) овардашуда иҷро шаванд, он гоҳ барои дилҳо ба қадри кифояи хурди $h > 0$ баҳои

$$\begin{cases} \|Y\|_{C(Q^h)} \leq M_1, \|Y\|_{W_2'(Q^h)} \leq M_2, \\ \|Y_{\bar{t}}\|_{L_2(Q^h)} \leq M_3, \|Y_t\|_{L_2(Q^h)} \leq M_4, \end{cases} \quad (12)$$

ҷой дошта метавонад, ки дар он $M_i = \text{const} > 0, i = \overline{1,4}$ аст.

Дар параграфи чоруми боби дуум устуворан наздикшавии ҳалли масъалаи канории фарқӣ ба ҳалли масъалаи дифференсиалӣ баррасӣ гардидааст.

Теоремаи 2.4.1. «Агар шартҳои а) ва б)-и дар параграфи 2.2 овардашуда иҷро гарданд, он гоҳ ҳалли масъалаҳои канории дифференсиалии $V \in C^{4,2}(\overline{Q})$, ҳангоми $\alpha \in \overline{A}$ мавҷудбуда метавонад ва наздикшавии ҳатойи муодилаҳои дифференсиалии фарқӣ дар намуди зерин пешниҳод карда мешавад» [7, 1-М, 3-М]:

$$\psi = \begin{cases} O(\tau + h_1^2 + h_2^2), (x, r, t) \in Q^h, \\ O(\tau(h_1 + h_2) + h_1^2 + h_2^2), (x, r, t) \in \overline{Q}^h \setminus Q^h. \end{cases}$$

Дар **параграфи панҷуми боби** дуум мавҷудияти ҳалли масъалаи канории фарқӣ таҳқиқ гардидааст.

Теоремаи 2.5.1. Фарз мекунем, ки шартҳои а) ва б)-и дар параграфи 2.2 буда иҷро шаванд, он гоҳ кифоя аст, ки $h = (h_1, h_2, \tau)$ ва $\frac{\tau}{h_i} \rightarrow 0, \frac{\tau}{h_1 h_2} \rightarrow 0$ ҳангоми $(h_1, h_2) \rightarrow 0, \tau \rightarrow 0$ будан, масъалаи канории муодилаи фарқии ғайрихаттӣ ҳалли ягоноро доро мешавад.

Дар **параграфи шашуми боби** дуум алгоритми ададии ҳалли масъалаи канории фарқӣ сохта шудааст.

Хулосаи боби дуум дар параграфи ҳафтум оварда шудааст.

Дар боби сеюми диссертатсия амсиласозии математикии ҳифзи популятсияҳои биологии экосистемаи «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ) баррасӣ шудааст.

Дар параграфи якум масъалаи умумии ҳифзи популятсияҳо дида баромада шуда амсилаи математикии онҳо таҳия гардидааст. Барои сохтани амсилаи математикии системаи экологии «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ) ба мо зарур аст, ки гипотезаи В. Волтерро истифода барем. Дар қадами навбатӣ, системаи муодилаҳои дискретии ҳосилшударо ба Δt тақсим намуда, дар вақти $\Delta t \rightarrow 0$ ба ҳудуд мегузарем ва дар натиҷа амсилаи математикии даранда ва сайдро дар намуди системаи муодилаҳои дифференсиалии тартиби 1-уми квази-хаттӣ ҳосил мекунем [7-М, 8-М]:

$$\begin{aligned}\frac{dN_1}{dt} &= \delta N_1 - \alpha N_1 N_2 \\ \frac{dN_2}{dt} &= -mN_2 + k\alpha N_1 N_2\end{aligned}$$

Бо осонӣ дида метавонем, ки системаи муодилаҳои додашударо бо усули Эйлер ҳал намудан имконпазир аст. Барои ин аппроксиматсияи зеринро

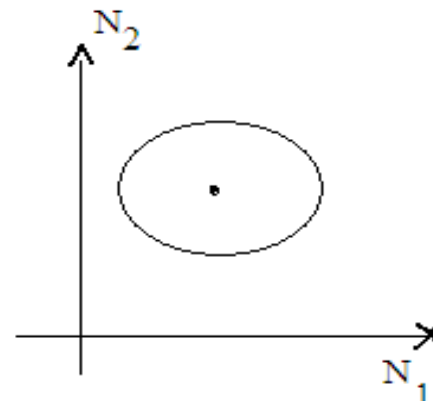
$$\frac{dN_j}{dt} \big|_{t=ih} \approx \frac{N_j(t_i + h) - N_j(t_i)}{h} = \frac{N_{ji+1} - N_{ji}}{h}$$

истифода бурда, формулаҳои рекуррентии зеринро ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned}N_{1i+1} &= h(\delta N_{1i} - \alpha N_{1i} N_{2i}) + N_{1i} \\ N_{2i+1} &= h(-mN_{2i} + k\alpha N_{1i} N_{2i}) + N_{2i}.\end{aligned}$$

Дар асоси системаи муодилаҳои дифференсиалии тартиби якуми дар боло овардашуда ба таври геометрӣ амсилаи «даранда ва сайди ӯ»-ро тасвир мекунем. Қайд кардан лозим аст, ки ҳолати умумии амсилаҳои омӯхташаванда чунин аст [6-М, 9-М]:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = \delta N_1 - \mu(N_1) \cdot N_2 \\ \frac{dN_2}{dt} = -mN_2 + k\mu(N_1) \cdot N_2 \end{cases}$$



Расми 4. Тасвири геометрии амсилаи «даранда ва сайди ӯ».

Қайд кардан лозим аст, ки ҳолати умумии амсилаҳои омӯхташаванда чунин аст:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = \delta N_1 - \mu(N_1) \cdot N_2 \\ \frac{dN_2}{dt} = -mN_2 + k\mu(N_1) \cdot N_2 \end{cases}$$

$\frac{d\mu}{dN} > 0$, $\mu(N) = \frac{\mu_0 \cdot N^p}{\mu_1 + N^p}$, $\mu(N_1)$ - функсияи трофикӣ ва m -коэффитсиенти муриши табиӣ мебошанд.

Акнун ба сохтани амсилаи системаи экологии 3 сатҳаи трофикӣ, ки аз берун захираи N_0 бо суръати Q ворид мегардад, баррасӣ менамоем. Дар ҳолати статсионарӣ биомассаи сесатҳаи трофикии N_i ($i = 1, 2, 3$) —ро бо муодилаҳои Волтерра тавсиф мекунем (N_1 -биомассаи растаниҳо, N_2 -шумораи ҳайвоноти алафхӯр ва N_3 -шумораи дарандагон) [12-М, 16-М, 20-М]:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - f_0(N_0)N_1 \\ \frac{dN_1}{dt} = N_1 f_1(N_0, N_1, N_2) \\ \frac{dN_2}{dt} = N_2 f_2(N_1, N_2, N_3) \\ \frac{dN_3}{dt} = N_3 f_3(N_2, N_3), \\ N_i(0) = N_i^0. \end{cases} \quad (13)$$

Равандро идома дода барои ҳосил намудани амсилаи (13) муодилаҳои балансро барои ҳар як сатҳи трофики дар порчаи Δt сохта, баъд дарозии ин порчаро ба 0 майл кунонда

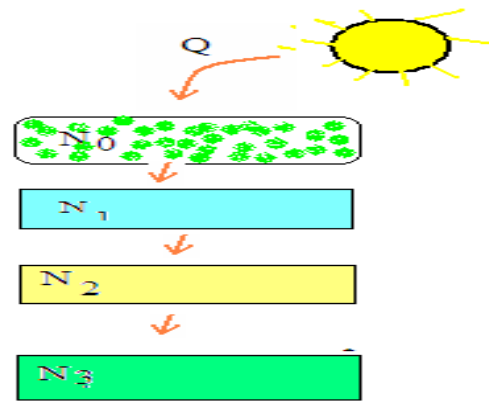
$$N_0(t + \Delta t) - N_0(t) = Q\Delta t - f_0(N_0)N_1 \cdot \Delta t,$$

ҳосил мекунем.

Дар системаи 3.1.1. шартҳои зерин, ки муносибати байни популятсияҳоро ифода мекунад, бояд иҷро гарданд:

Дар системаи (6) шартҳои зерин, ки муносибати байни популятсияҳоро ифода мекунад, бояд иҷро гарданд:

$$\frac{\partial f_i}{\partial N_i} = \begin{cases} \leq 0, i < j, i = 1, 2, 3, \\ = 0, i = j, i = 1, 2, 3, \\ \geq 0, i > j. \end{cases}$$



Расми 5. Тасвири амсилаи системаи экологии иборат аз 3 сатҳи трофики

Масъалаҳои ҳифзи популятсияҳо дар ҳолати статсионарӣ дар **параграфи дуюми** ҳамин боб таҳқиқ ёфтаанд. Акнун амсилаи математикии системаи экологии муайянеро дида бароем, ки иборат аз се сатҳи трофики буда, аз ягон манбаи беруна N_0 бо суръати Q ворид мешаванд. Дар намуди умумӣ биомассаи намудҳои биологиро дар сатҳи трофики мувофиқ ба воситаи N_i , $i = 1, 2, 3$ ишора намуда, зарур мешуморем, ки дар низоми мувозинати қаноаткунонанда бошад [6, 10-M]:

$$\begin{cases} Q + F_0(N_0, N_1) = 0, \\ N_1 \cdot F_1(N_0, N_1, N_2) = 0, \\ N_2 \cdot F_2(N_1, N_2, N_3) = 0, \\ N_3 \cdot F_3(N_2, N_3) = 0, \end{cases} \quad (14)$$

Дар ин ҷо $F_i = F_i(\cdot)$, $i = \overline{0, 3}$ суръати мушаххаси трофикии i – ум буда,

$$\frac{\partial F_i}{\partial N_i} \leq 0,$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial F_i}{\partial N_j} &\leq 0, & \text{ҳангомӣ} & \quad i \leq j \\ \frac{\partial F_i}{\partial N_j} &\geq 0, & \text{ҳангомӣ} & \quad i > j.\end{aligned}\quad (15)$$

Системаи (14)-(15) динамикаи ҳайвонҳои нодир ва нестшавандаро ифода мекунад, бо N_i^τ – қимати миёнаи онҳоро дар интервали τ ишора мекунем:

$$N_i^\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau N_i(t) dt$$

Акнун ба масъалаи ҳифзи ҳайвонҳои нодир ва нестшаванда шуруъ мекунем. Бо $N_i^{\min}$ ва $N_i^{\max}$ қиматҳои сарҳадии шумораи ҳайвонҳои нодир ва нестшавандаи намуди i -умро ишора намуда, зарур мешуморем, ки шарти зерин иҷро гардад:

$$N_i^{\min} \leq N_i^\tau \leq N_i^{\max}. \quad (16)$$

Мо ҳолатеро дида мебароем, ки дар мамнӯъгоҳ ҳамаи намудҳои биологӣ иштирок мекунанд. Ин маънои онро дорад, ки шумораи онҳо ҳама вақт мусбат мебошад, яъне $N = (N_1, N_2, N_3) > 0$. Он гоҳ аз системаи (14) ҳосил мекунем [6-М, 7-М, 20-М]:

$$\begin{cases} Q - \alpha_0 N_0 N_1 = 0, \\ -m_1 + k_0 \alpha_0 N_0 - \alpha_1 N_2 = 0, \\ -m_2 + k_1 \alpha_1 N_1 - \alpha_2 N_3 = 0, \\ -m_3 + k_2 \alpha_2 N_2 - \varepsilon N_3 = 0. \end{cases} \quad (17)$$

Таърифи 3.2.1. Масъалаи ёфтани қиматҳои бузургҳои $N_i^{\min}$ ва $N_i^{\max}$ аз (16), ки иҷрои нобаробарии (14) ва (16) масъалаи нигоҳдории ҳайвонҳои нодир ва зери хатари нестшавии намуди i -юми системаи экологиро таъмин мекунад, низоми статсионарӣ номида мешавад.

Параграфи сеюм ба омӯзиши масъалаҳои ҳифзи популятсияҳо дар ҳолати ғайрестатсионарӣ равона гардидааст. Акнун амсилаи системаи экологии зеринро дида мебароем [6, 6-М]:

$$\begin{cases} \dot{N}_0 = Q + F_0(N_0, N_1), \\ \dot{N}_1 = N_1 \cdot F_1(N_0, N_1, N_2), \\ \dot{N}_2 = N_2 \cdot F_2(N_1, N_2, N_3), \\ \dot{N}_3 = N_3 \cdot F_3(N_2, N_3), \end{cases} \quad (18)$$

Дар амсилаи овардашудаи (18) муносибати мутақобила байни навъҳои мамнӯъгоҳ таҳти қонуни Волтерра қарор гирифта, функсияи $F_i(\cdot)$ ба ёрии формулаи зерин

$$\begin{aligned}F_0 &= -\alpha_0 N_0 N_1, \quad F_1 = k_0 \alpha_0 N_0 - \alpha_1 N_2 - m_1, \\ F_2 &= k_1 \alpha_1 N_1 - \alpha_2 N_3 - m_2, \quad F_3 = k_2 \alpha_2 N_2 - \varepsilon N_3 - m_3,\end{aligned}$$

муайян карда мешавад. Шарти зарурӣ ва кофиягии мавҷудияти ҳалли ҳифзи ҳайвонҳои нодир ва нестшавандаро месозем. Таърифи мафҳуми биомассаи

миёнаи растаниҳо ва шумораи миёнаи навъҳоро вобаста аз вақт τ бо истифода аз формула пешниҳод мекунем [12-М]:

$$N_i^\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau N_i(t) dt, \quad i = 1, 2, 3, \quad \tau > 0 \quad (19)$$

Акнун ба масъалаи ҳифзи ҳайвонҳои нодир ва нестшаванда дар ҳолати ғайриватсионӣ шуруъ мекунем. Бо $N_i^{\min}$ ва $N_i^{\max}$ қиматҳои сарҳадии шумораи ҳайвонҳои нодир намуди i -умро ишора намуда, зарур мешуморем, ки шартҳои зерин иҷро гардад [1-М, 6-М, 7-М, 10-М]:

$$N_i^{\min} \leq N_i^\tau \leq N_i^{\max}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (20)$$

Масъалаи ҳифзи популятсияи i -ум дар ёфтани қиматҳои $N_i^{\min}$ ва $N_i^{\max}$ мебошад, ки иҷрои шартҳои (20) ва ҳангома $j \neq i$ нобаробарии зерин

$$N_i^{\min} \leq N_i^\tau \leq N_i^{\max}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (21)$$

ҳақ бошад.

Дар **параграфи чорум** боби сеюм “шартҳои зарурӣ ва кифоягии мавҷудияти ҳалли масъалаи ҳифзи популятсияҳои ҷудокардашуда дар ҳолати умумӣ дида баромада шудааст. Бигузор $N_i^{\min}$ ва $N_i^{\max}$ - ададҳои мусбат бошанд, ки тағйирёбии ҳудуди мавриди ниёзи баъзе популятсияи ҳайвонотро дар назар дошта бошанд ва функсияи $N = N(x, a, t)$ – шумораи ин популятсия дар нуқтаи $x \in \bar{G}$, синну соли a , $0 \leq a < \infty$ ва лаҳзаи t ($0 \leq t \leq t_k$) бошад. Дар ин ҷо $\bar{G} = G + S$, $G = \{(x_1, x_2): 0 < x_i < L_i, i = \overline{1, 2}\}$, S сарҳади соҳаи G ба ҳисоб меравад.

Фарз мекунем, ки шумораи популятсияҳо муодилаи зеринро қаноат кунанд” [1, 1-М, 6-М, 7-М, 9-М]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial a} + \sum_{i=1}^2 V_i \frac{\partial N}{\partial x_i} = F_0(a)N + \sum_{i=1}^2 D_i \frac{\partial^2 N}{\partial x_i^2}, \quad (22)$$

$$x \in \bar{G}, \quad 0 < a < \infty, \quad 0 < t \leq t_k.$$

бо шартҳои аввала ва сарҳадии

$$\begin{cases} N(x, a, 0) = N_0(x, a), & x \in \bar{G}, \quad 0 \leq a < \infty \\ N(x, 0, t) = \int_0^\infty B_0(\xi) N(x, \xi, t) d\xi, \\ \left. \frac{\partial N}{\partial x_i} - \alpha_i N \right|_{x_i=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial N}{\partial x_i} - \alpha_i N \right|_{x_i=L_i} = 0. \end{cases} \quad (23)$$

Дар ин ҷо V_i ва D_i – ададҳои мусбати додашуда, $\alpha_i = V_i/(2D_i)$, $i = 1, 2$; N_0 , B_0 , F_0 – функсияҳои додашудаи микдорӣ буда, мувофиқан қимати коэффитсиентҳои таваллуд ва фавтро нишон медиҳад.

Шарти масъала. “Масъалаи нигоҳдории популятсияҳо аз пайдо намудани шартҳои иборат мебошад, ки нобаробарии зеринро қаноат кунанд” [2, 6-М, 7-М]:

$$N^{\min} \leq \tilde{N}(x, t) \leq N^{\max}, \quad x \in \bar{G}, \quad 0 < t \leq t_k \quad (24)$$

ва ё

$$N^{\min} \leq \int_G \tilde{N}(x, t) dx \leq N^{\max}, \quad t > 0 \quad (25)$$

дар ин ҷо

$$\tilde{N}(x, t) = \int_0^\infty P(a)N(x, a, t)da, \quad P(a) - \text{функсияи вазнӣ мебошад.}$$

Ба тарзи дигар

$$P(a) \geq 0, \quad 0 \leq a < \infty, \quad \int_0^\infty P(a)da = 1.$$

Таърифи 3.4.1. Ҳолати устувории мувозинатии шумораи ҳайвонот дар системаи экологӣ ҷой дошта метавонад, агар чунин шумораи мусбати ҳайвонҳо N_i^{min} , N_i^{max} ва функсияи вазнии $P(a)$ вучуд дошта башад, ки N саршумори миёнаи популятсияҳо шартҳои амсилаи (24)-ро қонеъ кунад.

Теоремаи зерин исбот карда шудааст.

Теоремаи 3.4.1. Бигузур ҳосилаҳои хусусии зерин мавҷуд бошанд:

$$\frac{\partial \tilde{N}_0}{\partial x_i}, \quad \frac{\partial^2 \tilde{N}_0}{\partial x_1 \partial x_2}, \quad i = 1, 2, \text{ ки дар он ҷо } \tilde{N}_0(x) = \int_0^\infty P(\xi)N_0(x, \xi)d\xi.$$

Он вақт барои устувории популятсияи амсилаҳои (21)–(22) зарур ва кифоя аст, ки решаи ҳақиқии максималии муодилаи

$$\int_0^\infty B_0(\xi)e^{\int_0^\xi F_0(\eta)d\eta - \delta\xi}d\xi = 1 \quad (26)$$

баробари адади $\delta_0 = \sum_{i=1}^2 \frac{V_i^2}{4D_i}$, бошад, яъне $\delta^{max} = \delta^0$ шавад.

Дар **параграфи панҷум** масъалаи ҳифзи намудҳои нодирӣ биологӣи экосистемаи мамнӯъгоҳ бо дарназардошти синну сол, ҳайат ва тақсимои фазоӣ баррасӣ мешавад:

$$\begin{cases} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial a} + \sum_{i=1}^2 v_i \frac{\partial N}{\partial x_i} = F_0(a)N + \sum_{i=1}^2 D_i \frac{\partial^2 N}{\partial x_i^2}, & x \in \bar{G}, \quad 0 < a < \infty, \quad 0 < t \leq t_k \\ N(x, a, 0) = N_0(x, a), & x \in G, \quad 0 \leq a < \infty \\ N(x, 0, t) = \int_0^\infty B_0(\xi)N(x, \xi, t)d\xi, & x \in \bar{G}, \quad 0 \leq t < t_k \\ N|_s = 0, \end{cases} \quad (27)$$

дар ин ҷо $N = (N_1, N_2, \dots, N_m)$, $\bar{G} = G + S$, $G = \{(x_1, x_2): 0 < x_i < L_i, i = 1, 2\}$ ва S – сарҳади соҳаи G мебошад.

Бигузур N_i^{min} ва N_i^{max} – векторҳои мусбат бошанд (як қисми компонентҳои ин векторҳо барои баъзе намудҳо дода мешаванд, қисми дигари онҳо дар натиҷаи ҳалли масъала ёфта мешаванд). Ёфтани шартҳои талаб карда мешавад, ки барои экосистемаи амсилавии (27) иҷро шудани нобаробарии зеринро таъмин менамоянд:

$$N^{min} \leq N(x, a, t) \leq N^{max}. \quad (28)$$

Теоремаи зерин исбот гардидааст.

Теоремаи 3.5.1. Барои он ки нобаробарии (21) ҷой дошта бошад, зарур ва кифоя аст, ки шартҳои $b_{ij}(a) > 0$, $\tilde{b}_{ij}(\delta) < \infty$, $\sum_{i=1}^m \bar{b}_{ij} = 1$, $h = 1$ иҷро шаванд, яъне адади

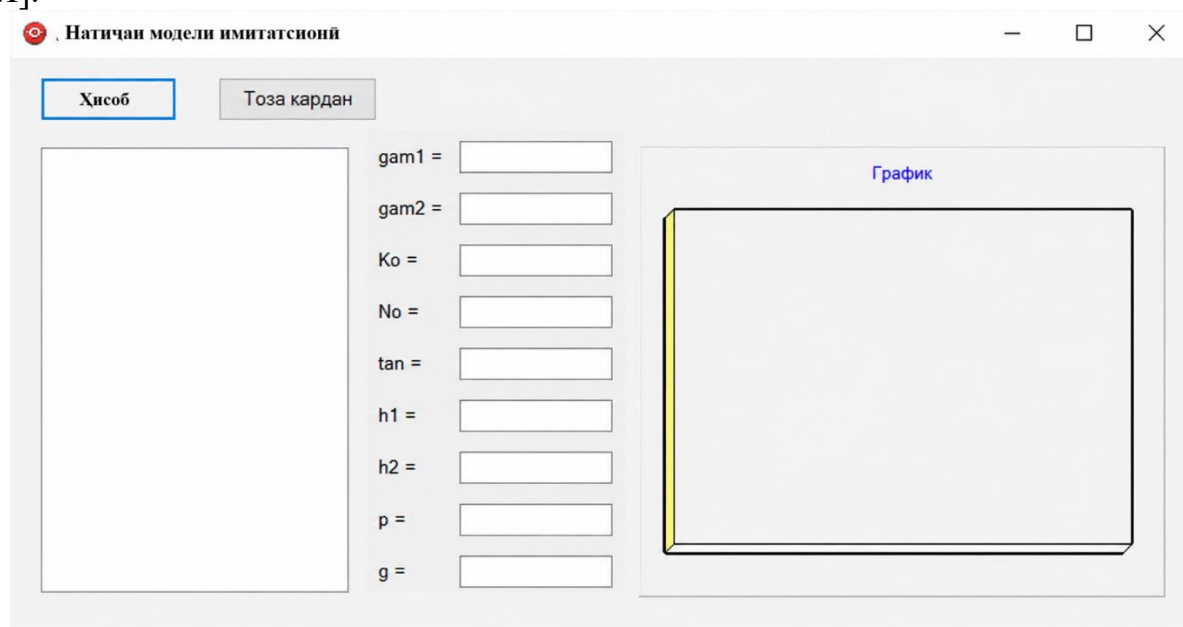
I калонтарин қимати хоси матритсаи умумии зиндамони $\bar{B}$ мебошад.

Параграфи шашум ба масъалаи ҳифзи навъҳои нодир ва нестшавандаи системаи экологии мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» бо дарназардошти синну сол, ҳайат ва тақсимои фазои дар ҳолати ғайрихаттӣ бахшида мешавад.

Дар **параграфи ҳафтум** хулосаи боби 3-юм оварда шудааст.

Дар **боби 4-ум** усули муайянсозии коэффитсиентҳои номаълуми амсилаи математикии равандҳои динамикии экосистемаи мамнӯъгоҳ мавриди таҳлил ва омӯзиш қарор гирифтааст, ки он аз чор параграф иборат аст. Таҳлили мазкур дар асоси маълумоти воқеии мониторинги биологӣ таъя намуда, бо дарназардошти хусусиятҳои экологии минтақа, муносибатҳои байниҳамдигарӣ ва таъсири муҳити зист ба популятсияҳо амалӣ мегардад. Коэффитсиентҳо, ки рақобат, афзоиш ва камшавии шумораи популятсияҳоро муайян месозанд, барои дақиқсозии амсилаи математикӣ аҳамияти хоса доранд. Дар **параграфи якум** алгоритм оид ба муайян намудани қимати коэффитсиентҳои номаълуми амсилаи математикӣ барои мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» сохта шудааст. Ҳамзамон, дастаи барномаи амалӣ барои муайян намудани коэффитсиентҳои матритсаи мамнӯъгоҳ дар **параграфи дуюм** сохта шудааст.

Барномаи корӣ ҳангоми иҷроиши файли иҷрошавандаи **Coefficient.exe**, ки дар суроғаи **D:\ Папка\ Coefitsent.exe** ҷойгир аст, рӯйи кор меояд [9-M, 13-M, 22-M].



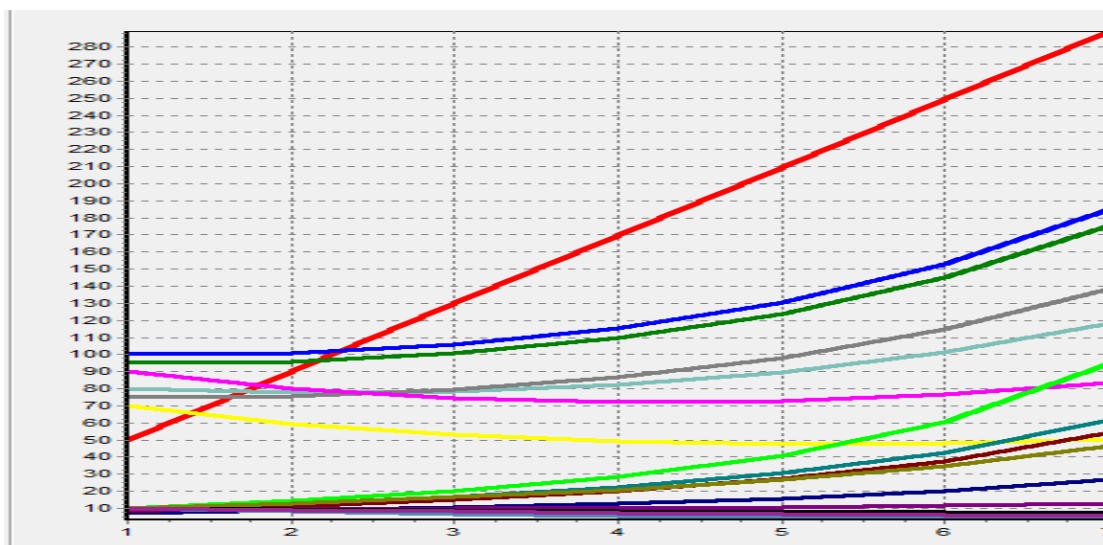
Расми 6. – Намуди умумии формаи экранӣ барои дохилкунии додаҳо.

Дар идома баъзе натиҷаҳои муайяни таҷрибаҳои ҳисоббарории анҷомёфта дар шакли ҷадвалӣ ва графикӣ низ пешниҳод гардидаанд, ки намунаи онҳо дар зер оварда шудаанд.

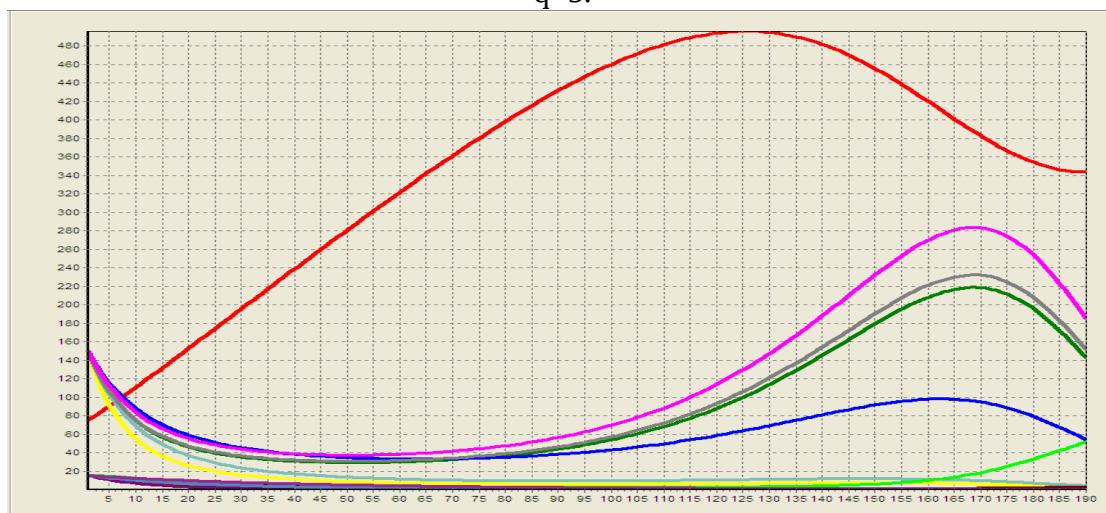
Матритсаи таъсири байниҳамдигарӣ:

$$A = \begin{pmatrix} 0.0 & -0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.09 & 0.0 & -0.6 & -0.01 \\ 0.0 & 0.3 & 0.0 & -0.9 \\ 0.0 & 0.001 & 0.5 & -0.23 \end{pmatrix}.$$

Дар ин озмоиш суръати воридшавии манбаи беруна $Q = 1000$, қимати миёнаи коэффитсиенти фавт ба $-0.1, 0.9, 0.8$ баробар аст. Шумораи ҳайвонҳои алафхӯр, шикоршаванда ва дарранда ба $12.0, 100, 2.0$ ва коэффитсиенти таъсири шикор ба ҳайвонҳои дарранда ба -0.7 баробар мешавад. Пешниҳод намудан мумкин аст, ки қимати шикор -0.5 гирифта шавад, он гоҳ функсияи «асари шикор» шакли хатти логистикиро гирифта, коэффитсиентҳо мутаносибан ба 8 ва 2 гирифта мешавад.



Расми 7. Ҳангоми $\text{Gam1}=0.02, \text{gam2}=2.3, K0=0.0003, N0=500, \text{tau}=0.01, h1=0.1, h2=0.1, p=1, q=5$.



Расми 8. Ҳангоми $\text{Gam1}=0.01, \text{gam2}=1, K0=0.03, N0=500, \text{tau}=0.01, h1=0.1, h2=0.1, p=0.4, q=3$.

Дар параграфи сеюм хулосаи боби чорум оварда шудааст.

Хулосаҳо

1. Натиҷаҳои асосии илмӣ рисола

Амсилаҳои математикии сохташуда ва дар асоси онҳо навишта шудани даста барномаи амалӣ дар забони C++, озмоишҳои гузаронидашуда ва санҷиши дурусти натиҷаҳо барои ҳифзи навъҳои нодир ва нестшаванда бармеояд, ки зарурияти ҳалли ду масъала лозим аст: омодагӣ ва муназзамсозӣ. Масъалаи омодагӣ барои муайян кардани қиматҳои минималии (ё максималӣ) популятсияҳо, ки дар экосистемаи мамнӯъгоҳ дохиланд, ҳал карда мешавад. Шартҳои овардашуда вақте иҷро мегарданд, ки агар теъдоди ҳайвонҳои ҳифзшаванда (яъне нодир ва зери хатар қарордошта) ба фосилаи даркорӣ тааллуқ надошта бошад, он гоҳ масъалаи муназзамсозӣ («шиқори ҳайвонҳо») ё васеъшавии системаи экологӣ, яъне илова кардани навъҳои «нодир ва нестшаванда» ҳал карда мешаванд.

Шартҳои овардашуда замоне иҷроӣ худро меёбанд, ки агар теъдоди ҳайвоноти муҳофизатшаванда (нодиру нестшаванда) ба ҳудуди даркорӣ тааллуқ надошта бошад, он гоҳ масъалаи гирифтани беҳсозӣ («шиқор») ё изофа кардани беҳсозии навъҳои «нодиру нестшаванда» ҳал карда мешаванд.

Аз натиҷаҳои бадастомадаи таҳқиқот дида мешавад, ки баъзеи онҳо характери методӣ дошта, онҳоро метавон ҳангоми лоиҳакашӣ ва ҳифзи навъҳои нодир ва нестшавандаи мамнӯъгоҳҳои минтақавӣ истифода бурд. Ин дастовардҳо имкон медиҳанд, ки дар қадами аввал методи биологии таъсиррасониро ҷоннок намуда, воридкунии намудҳои навро ба роҳ монем ва он метавонад ба таври назаррас ба сохтори биологии системаи экологӣ таъсир расонад. Асосан шикори ҳайвонҳои даранда бештар ба сохтори системаи экологӣ таъсир мерасонад, аммо боиси коҳиш ёфтани теъдоди популятсияи онҳо гашта метавонад. Маълум аст кам шудани дарандагон боиси зиёд шудани баъзе намуди ҳайвонҳои алафхӯр мегарданд.

Дар асоси натиҷаҳои илмӣ бадастомада лозим аст чорабиниҳо чунон роҳандозӣ карда шаванд, ки бар асари тағйир ёфтани сохтори экосистема хусусиятҳои хоси ин сохтор аз нуқтаи назари устуворӣ ва сифатан устуворӣ дар асоси матритсаи таъсири байниҳамдигарӣ боқӣ монад.

Натиҷаҳои илмӣ ва амалии бадастомадаи кори илмиро метавон ҳангоми муайян кардани речаҳои муназзамсозӣ, истифодаи системаҳои табиӣ экологӣ мавриди истифода қарор дод. Дар айни замон навъҳои биологии муайяни экосистемаро «нодир ва нестшаванда» ҳисобида, бояд кӯшиш кард, ки теъдоди муайяни онҳо дар фосилаҳои муайяни додашуда нигоҳ дошта шаванд. Агар шумораи навъи «нодир ва нестшаванда» барои ба даст овардани моҳият дар фосилаи даркорӣ қарор дошта бошад, пас мо метавонем ин навъро нигоҳ дорем,

агар ин навъҳо ба ин шарт ҷавобгӯ набошад, пас мо ба воситаи методи муназзамсозӣ иҷроиши шартҳои вайроншударо таъмин мекунем. Бояд қайд кард, ки методи муназзамсозии теъдоди навъҳои системаи экологӣ бояд ҷунон ба роҳ монда шаванд, ки тағйироти овардашуда дар сохтор на танҳо мубодилаи вайроншударо барқарор намояд, балки хусусиятҳои ин сохторро аз нуқтаи назарияи устуворӣ ва сифатан устуворӣ беҳтар намояд.

Аз таҳлилҳо ва сохторҳои баррасишудаи системаи экологии мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон (қисмати қамишию биёбонӣ)» ба хулосае омадан мумкин аст, ки натиҷаҳои бадастомада дар беҳсозии системаи экологӣ аҳамият калон дошта, онҳоро метавон барои дигар мамнӯъгоҳҳои минтағӣ истифода бурд.

Натиҷаҳои илмӣ бадастомада аз он шаҳодат медиҳанд, ки мамнӯъгоҳҳо бо дарназардошти ҳамаи навъҳои мавҷуда устувор ва сифатан устувор буда наметавонанд. Аммо аз як тараф, набудани сифатнокии устувори экосистема моро бояд ноумед насозад ва сари он андеша ронем, ки бо кадом роҳҳо устувории онро ба даст орем.

Амсилаҳои математикӣ, схемаҳои фарқии ошкор ва хулосаҳо дар иртибот ба амсилаҳои вобаста аз вақт, синну сол ва тақсимооти фазоӣ барои нигоҳдории ҳайвонҳои нодиру нестшаванда, муназзамсозӣ ва мониторинги системаҳои экологӣ хеле зарур мебошанд. Истифодаи хулосаҳои назариявӣ ва амалӣ, имкон медиҳанд, ки ба таври назаррас таҳия ва лоиҳакунонии системаҳои мушаххаси системаҳои экологӣ осон ва босуръат анҷом дода шаванд.

Ҳамин тариқ, натиҷаҳои асосии корро метавон ба таври кӯтоҳ ба тариқи зайл баён кард:

- Амсилаи концептуалии сохташуда (расми 1.1.4) вобаста аз навъҳои умрбасарбарандаи мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» имкон фароҳам овардааст, ки дар асоси меъёрҳои устуворӣ ва сифатан устуворӣ Чеффрис ва Роберт Мэй сохторҳои устувор ва ноустувори мамнӯъгоҳ муайян карда шуда, сохторҳои ноустувор бо истифода аз амсилаҳои муназзамсозӣ танзим карда шаванд [1-М, 6-М];

- Масъалаи математикӣ оид ба нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда дар ҳудуди экосистемаҳо дар речаи статсионарӣ ва ғайриватсионӣ вобаста аз тақсимооти синну сол ва фазо таҳия ва асоснок карда шудааст. Амсилаҳои математикӣ ва дар асоси онҳо абзорҳои компютериӣ сохташударо метавон барои омӯзиш, пешгӯӣ ва идоракунии динамикаи системаҳои экологии минтақавӣ намунавӣ истифода бурд [4-М, 5-М, 7-М].

- Тарзҳои ёфтани коэффитсиентҳои матритсаи мутақобилаи системаи экологии мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон», қисмати қамишию биёбонӣ дар

сурати муташанниҷ будани алоқаҳои трофикӣ муайян карда шуданд [3-М, 8-М];

- Дар забони барномасозии сатҳи баланди C++ даста барномаҳои амалӣ татбиқ ва коркард шуда, як қатор озмоишҳо оид ба экосистемаҳои мушаххас гузаронида шуданд. Ҳалли адабии масъалаи ҳифзи навъҳои нодир ва нестшаванда дар фаъолияти мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон», қисмати қамишию биёбонӣ дар речаҳои гуногун дарёфт карда шуданд [9-М, 12-М].

2. Тавсия оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот

1. Натиҷаҳои таҳқиқот метавонанд ҳангоми таҳияи амсилаҳои математикӣ ва компютери экосистемаҳои минтақавӣ ва системаҳои автоматикунонидашудаи қабули қарорҳо дар идоракунии захираҳои табиӣ истифода шаванд;

2. Амсилаҳои пешниҳодшуда барои таҳлил, пешгӯӣ ва мониторинги ҳолати экосистемаҳо дар шароити тағйирёбии иқлим ва таъсири омилҳои антропогенӣ тавсия карда мешаванд;

3. Натиҷаҳои таҳқиқот метавонанд дар фаъолияти мамнӯъгоҳҳо, заказникҳо, обанборҳо ва дигар объектҳои табиӣ барои назорат ва ҳифзи намудҳои нодир ва нестшаванда истифода шаванд;

4. Воситаҳои алгоритмӣ ва барномаҳои компютери таҳияшуда метавонанд дар ташкили низомҳои автоматикунонидашудаи идоракунии экосистемаҳо ва қабули қарорҳои асоснок татбиқ гарданд;

5. Натиҷаҳои бадастомада метавонанд дар муассисаҳои илмӣ-тадқиқотӣ ва таҳсилоти олӣ ҳангоми гузаронидани таҳқиқоти минбаъда ва омода намудани мутахассисони соҳаи моделсозии математикӣ ва экология истифода бурда шаванд.

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ ДАРАҶАИ ИЛМӢ

а) Мақолаҳое, ки дар нашрияҳои тақризиавандаи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷон шудаанд:

[1-М] Гулов, С.Х. Амсилаи математикии ҳифзи популятсияи биологӣ бо истифодаи схемаи фарқӣ барои экосистемаи қамишию биёбонии «Бешаи палангон» [Матн] / С.Х. Гулов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – Душанбе, 2023. – №1. – С. 57-68. – EDN XSICUQ.

[2-М] Гулов, С.Х. Усули танзими сохторҳои биологии ноустувори мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» [Матн] / С.Х. Гулов, С.Х. Мирзоев, С.О. Одиназода // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – Бохтар, 2022. – №2-3(102). – С. 21-26. – EDN DNTZOJ.

[3-М] Гулов, С.Х. Асоскунии усули омехтаи фарқӣ барои муайянкунии шумораи популятсии моделӣ бо назардошти вақт, синну сол ва мақеи географӣ дар асоси схемаҳои фарқии локалии якченака ва равишҳои тағйирёбанда [Матн] / М.Қ. Юнусӣ, С. Азимов, С.Х. Гулов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – Душанбе, 2020. – №3. – С. 105-113. – EDN XLRQNB.

[4-М] Гулов, С.Х. Исследование идентичности структур максимально агрегированных систем региональных заповедников Республики Таджикистан на основе качественной устойчивости (на примере заповедников «Тигровая балка» и «Дашти-Джум») [Текст] / С. Одинаева, С.Х. Гулов, С. Азимов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2016. – №1-1(192). – С. 35-40. – EDN VZSZVT.

[5-М] Гулов, С.Х. Некоторые вопросы идентичности экосистем региональных заповедников РТ на основе теории графов и качественной устойчивости (на примере экосистем «Дашти Джум», тигровой балки) [Текст] / С.Х. Гулов, С. Азимов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2016. – №1-2(196). – С. 17-22. – EDN WROVMN.

[6-М] Гулов, С.Х. Математические модели оценки численности хищников экосистем региональных заповедников Республики Таджикистан [Текст] / М.К. Юнуси, С.А. Одинаева, Х.С. Махмадалиев, С.Х. Гулов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – Бохтар, 2016. – №2-2(38). – С. 34-52. – EDN ZHDLHL.

[7-М] Гулов, С.Х. О численных расчетах численности биологических популяций заповедника «тигровая балка» [Текст] / М.К. Юнуси, С.Х. Гулов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2015. – №1-2. – С. 42-48. – EDN UVFPHL.

[8-М] Гулов, С.Х. О качественной устойчивости экологических систем «Тигровая балка» [Текст] / М.К. Юнуси, С.Х. Гулов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2014. – №1-2(130). – С. 51-58. – EDN VBXTHN.

[9-М] Гулов, С.Х. Алгоритми муайян кардани коэффитсентҳои амсилаи математикии «Бешаи Палангон» [Текст] / С.Х. Гулов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. Часть 2. – Бохтар, 2025. – №2/4(129). – С. 16-22.

б) Мақолаҳои ки дар дигар нашрияҳо ба таърифи расидаанд:

[10-М] Гулов, С.Х. Концептуальная модель редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных заповедников Республики Таджикистан [Текст] / С.А. Одиназода, С.Х. Мирзоев, С.Х. Гулов / Сборник научных статей, посвящённый 125-летию доктора биологических наук Ивана Николаевича Серганина. ГрГУ им. Янки Купалы. – Минск, 2023. – С. 207-209.

[11-М] Гулов, С.Х. Усули муназзамсозии мамнӯъҳои «Бешаи Палангон» [Матн] / С.Х. Гулов, М.Т. Гулова / Маводи конференсияи илмӣ-амалии байналмилалӣ дар мавзӯи «Таҳлили комплексӣ ва тадқиқҳои он» бахшида ба «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф», 75-солагии корманди шоистаи Тоҷикистон, узви вобастаи АМИТ, доктори илмҳои физикаю математика, профессор И.Қ. Қурбонов ва 70-солагии д.и.ф.-м, профессор Ҷ.С. Сафаров. – Бохтар, 2022. – С. 37-39.

[12-М] Гулов, С.Х. О применении метода интегральных тождеств по части переменных к задаче сильно анизотропного взрыва типа II [Текст] / С.Х. Гулов, М.К. Юнуси, Х.С. Махмадалиев / Материал республиканской научно – теоретической конференции посвящённый 80-летию профессора Н. Исмати и 20-летию развития естественных, точных и математических наук. – Душанбе, 2020. – С. 106-111.

[13-М] Гулов, С.Х. Компьютерные эксперименты для идентичных экосистем «Дашти Джум» и «Тигровой Балки» [Текст] / С. Азимов, С.Х. Гулов, С. Одинаева, М.К. Юнуси, / Материалы IX – международной научно – теоретической конференции, посвященной 70-летию образования Таджикского национального университета и 70-летию доктора физико-математических наук, профессора Юнуси Махмадҷусуф Камарзода (27-28 декабр). – Душанбе, 2018. – С. 35-42.

[14-М] Гулов, С.Х. Метод регуляризации неустойчивых структур сообществ экосистем региональных заповедников Республики Таджикистан описываемыми дифференциальными уравнениями в частных производных [Текст] / С. Азимов, С.Х. Гулов, М.К. Юнуси / Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Неклассические уравнения математической физики и смежные вопросы анализа» (02 апреля). – Душанбе, 2016. – С. 8-9.

[15-М] Гулов, С.Х. О методе регуляризации неустойчивых структур сообществ экосистем региональных заповедников Республики Таджикистан [Текст] / М.К. Юнуси, С. Азимов, С.Х. Гулов / Материалы Республиканской научно-практической конференции «Проблемы металлургии Таджикистана и пути их решения» (29-30 апреля). – Душанбе, 2016. – С. 221-222.

[16-М] Гулов, С.Х. Концептуальное исследование заповедников «Дашти Джум» и «Тигровая Балка» на идентичность по стабильности [Текст] / С. Азимов, С.Х. Гулов, М.К. Юнуси, / Материалы республиканской научно-теоретической конференции на тему «Развитие науки и образования в современное время», посвященной 25-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан и 50-летию педагогической деятельности доктора педагогических наук, профессора С.Х. Холназарова (21-22 октября). – Курган-түбе, 2016. – С. 258-260.

[17-М] Гулов, С.Х. Анализ региональных экосистем на устойчивость с помощью характеристического уравнения Юнуса [Текст] / С. Азимов, С.Х. Гулов, С. Одинаева / 10-ая международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии (30-31 декабрь). – Душанбе, 2015. – С. 21-24.

[18-М] Гулов, С.Х. Задача защиты растений в виде задачи Юнуса с учетом возрастно-пространственных распределений [Текст] / Ф. Рахимзода, С.Х. Гулов, Х. Махмадалиев / 10-ая международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии (30-31 декабрь). – Душанбе, 2015. – С. 24-25.

[19-М] Гулов, С.Х. ЗОГ-ы региональных экосистем Республики Таджикистан по Юнуса [Текст] / С. Азимов, С. Одинаева, С.Х. Гулов, / 10-ая международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии (30-31 декабрь). – Душанбе, 2015. – С. 28-30.

[20-М] Гулов, С.Х. Математическая модель охраны редкого вида типа модели Юнуса с учетом возрастного состава и пространственного распределения (на примере региональных заповедников Республики Таджикистан) [Текст] / С. Одинаева, А. Одинаев, С.Х. Гулов, Ч. Ганиев / 10-ая международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии (30-31 декабрь). – Душанбе, 2015. – С. 76-81.

[21-М] Гулов, С.Х. Об одном методе регуляризации качественно неустойчивых структур региональных заповедников [Текст] / С.Х. Гулов, М.К. Юнуса / Материалы научно-теоретической конференции «Роль Кулябского государственного университета имени Абуабдуллаха Рудаки в подготовке специалистов», посвященной 70-летию университета (17-18 апрель). – Кулоб, 2014. – С. 275-277.

[22-М] Гулов, С. Х. Технология разработки компьютерного инструментария по прогнозированию и управлению динамике типовых региональных экосистем (на примере заповедника Тигровая Балка) / Мирзоев С.Х., Гулов С.Х. / Материалы международной научно-практической конференции на тему «современные проблемы математики и ее преподавания», посвященной «двадцатилетию изучения и развитию естественно-математических и точных дисциплин в сферах науки и образования» (2020-2040 годы) и 35-летию государственной независимости Республики Таджикистан (часть 2). – Бохтар, 2025. – С. 45-48.

Шаҳодатномаи муаллифӣ:

[23-М] Гулов, С.Х. Объектно-ориентированный программный комплекс «Математическое моделирование динамики экосистемы заповедника «Тигровая балка» (для камышовых и пустынных территорий)» Гулов С.Х. // Вазорати Рушди иқтисод ва савдои Ҷумҳурии Тоҷикистон, № 3272600578–06.05.2026.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН
Г О У «Б О Х Т А Р С К И Й Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й У Н И В Е Р С И Т Е Т И М Е Н И
Н О С И Р А Х У С Р А В А»**

На правах рукописи



УДК: 519:87.59

ХАСАНЗОДА САМАНДАР ХАСАН

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ
ЭКОСИСТЕМЫ ЗАПОВЕДНИКА «БЕШАИ ПАЛАНГОН»
(ДЛЯ КАМЫШОВЫХ И ПУСТЫННЫХ ТЕРРИТОРИЙ)**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.10. Математическое моделирование, численные методы и программное обеспечение

Душанбе – 2026

Научная работа выполнена на кафедре информационных технологий и методики преподавания информатики Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава.

Научные руководители: **Юнуси Махмадюсуф Камарзода**, доктор физико-математических наук, профессор;

Мирзоев Сайъло Хабибулович, доктор технических наук, дотсент.

**Официальные
оппоненты:**

Наджмиддиниён Асадулло Мирзо, доктор физико-математических наук, доцент, депутата Маджлиси намояндагон Маджлиси Оли Республики Таджикистан, член Комитета по науке, образованию, культуре и молодежной политике;

Садриддинов Махмади Махмудович - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими.

Ведущая организация: Институт математики имени А. Джураева НАНТ

Защита состоится «16» сентября 2026 года в «15:30» ч. на заседании диссертационного совета 6D.KOA-011 при Таджикском национальном университете по адресу: 734027, г. Душанбе, улица Буни-Хисорак, корпус 17, аудитория №.203.

Е-mail: alisher_gaforov@mail.ru; номер мобильного телефона ученого секретаря +992900766603.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться на сайте www.tnu.tj и в библиотеке Таджикского национального университета.

Автореферат разослан «___» «___» 2026 года.

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



Гафоров А.Б.

Введение

Актуальность темы исследования. Экологические проблемы в последние годы становятся все более глобальными и входят в число приоритетных вопросов международной политики. Чрезмерное использование природных ресурсов в мире привело к тому, что часть из них находится в состоянии безвозвратного и невозполнимого истощения. В экологических системах некоторые редкие виды животных и растений стали малочисленными, а некоторые находятся на грани исчезновения.

Сохранение природных ресурсов экосистем, особенно редких и исчезающих видов в заповедниках Республики Таджикистан, является одной из ключевых задач государства и общества. Для этого необходимо прогнозировать и оценивать динамику популяций, структуры биологических сообществ и функционирование экосистем под влиянием различных антропогенных факторов. Проведение прямых научных экспериментов и испытаний в экосистемах на основе построенных математических и компьютерных моделей является очень затратным и длительным процессом, а во многих случаях – невозможным. Исходя из вышеизложенного, постоянно возникает необходимость в планировании и проведении различных мероприятий по охране природы, которые связаны с результатами принимаемых решений. Все эти факты свидетельствуют о важности затронутой темы.

Данная диссертационная работа выполнена в соответствии с указаниями и поручениями Основателя мира и национального единства – Лидера нации, Президента Республики Таджикистан уважаемого Эмомали Рахмона и в соответствии с приказом №1445 от 31.01.2020 об объявлении 2020–2040 годы «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования». Эти указания и поручения охватывают решение ряда важных экономических и экологических вопросов, которые могут быть решены с помощью основных методов математики.

К таким задачам относятся:

- моделирование процессов транспортировки нефти и газа, которые имеют ключевое значение для национальной экономики и энергетики;
- система планирования и управления сбором урожая в сельском хозяйстве, способствующая обеспечению продовольственной безопасности и устойчивому развитию сельского хозяйства;
- разработка моделей для охраны и сохранения редких видов, находящихся под угрозой исчезновения в заповедниках;
- анализ динамики таяния ледников, что напрямую связано с безопасностью водных ресурсов.

Решение этих задач невозможно без использования современных методов математического моделирования, статистического анализа, оптимизации и технологий искусственного интеллекта. Именно путем разработки глубоких научных моделей можно точно прогнозировать сложные природные и экономические процессы и принимать эффективные решения.

В построенных математических моделях ряда отечественных и зарубежных ученых рассматриваются вышеупомянутые задачи. При этом, с учетом возраста и пространственного распределения, математические модели создаются с использованием дифференциальных уравнений.

Сохранение и охрана редких и исчезающих видов во всех странах мира зависит от устойчивости заповедников. Поэтому для разработки методов защиты редких и исчезающих видов необходимо сделать прогноз динамики биологических популяций с учётом антропогенного воздействия основной задачей устойчивого функционирования заповедников. Практические испытания в системе математического моделирования до настоящего времени показали, что формулировка некоторых задач требует больших затрат и времени, а в некоторых случаях их решение невозможно. Следовательно, нам необходимо применять разработанные современные методы математического моделирования для охраны редких и исчезающих видов в структурах экологических систем. С помощью разработанных методов и математических моделей становится возможным прогнозировать результаты планируемых мероприятий и деятельность экологических систем. Следует отметить, что по вопросу математического моделирования динамики биологических популяций опубликовано большое количество работ отечественных и зарубежных учёных: Р. Мэй, Т. Мальтус, П. Ферхюльст, К. Джеффрис, А. Лотка, Ю. Одум, С.W. Chen, G.T. Orlob, R.A. Park, S.E. Jorgensen, A. Straskraba, D.M. Di Togo, Steele J.H., I. Ikushima, Vollenweider R.A., F. WebbClenn, Volterra V. Помимо зарубежных учёных, значительный вклад внесли советские учёные – Моисеев Н.Н., Свирижев Ю.М., Воинов А.А., Логофет Д.О., Тарко А.М., Алексеев В.В., Лукьянов Н.К., Горстко А.Б., Домбровский Л.В., Меншуткин В.В., Винберг Г.Г., Анисимов С.И., Леонов А.В., а также отечественные учёные периода независимости – Юнуси М.К., Илолов М., Комилийн Ф.С., Одинаев Р.Н., Мирзоев С.Х. и Одинаева С.А. [2-М].

«Математическое моделирование в области экологии, особенно изучение динамики численности биологических популяций, имеет относительно длительную историю. В этом направлении основой стала математическая модель Т. Мальтуса, посвящённая экспоненциальному росту населения Земли. Известный бельгийский учёный П. Ферхюльст усовершенствовал её с учётом ограничений роста популяции. Логистическое уравнение Ферхюльста позволило улучшить классическую модель «хищник-жертва» Лотки-Вольтерры, касающуюся взаимного влияния двух видов, которая в дальнейшем послужила основой для многих научных работ исследователей по динамике различных популяций» [2, 6, 22-А].

В приведённых исследованиях основным направлением является эволюция экологических систем – вопрос устойчивости и качественной устойчивости точечных моделей. После первых работ американских учёных Р. Мэя и К. Джеффриса предложенные ими критерии устойчивости и качественной устойчивости были использованы и доработаны в исследованиях разных авторов.

В Республике Таджикистан в конце прошлого века известные таджикские учёные М.К. Юнуси и З. Дж. Усмонов впервые предложили исследование систем, связанных с устойчивостью и качественной устойчивостью региональных заповедников с использованием математических моделей, учитывающих возраст и пространственное распределение, которые нашли своё практическое применение.

В данной диссертационной работе рассматриваются модели сохранения и охраны редких и исчезающих видов в камышово-пустынном заповеднике, которые близки и схожи к работам М.К. Юнуси, однако в сравнении с ними здесь рассматриваются относительно общие модели – модели с учётом трофических функций. Следует отметить, что в изучении экосистем основная задача – определение устойчивости, которая, в свою очередь, делится на две части. Первая задача – в зависимости от полученных данных устранение угрозы устойчивости заповедника и в заданных интервалах времени охрана и сохранение численности популяции редкого и исчезающего вида. Вторая задача – в целом определение интервалов для редких и исчезающих нескольких видов в заповедниках.

Сохранение природных ресурсов, особенно редких и ценных биологических видов, представляет собой одну из приоритетных задач современного человечества. В условиях различного уровня антропогенной нагрузки эта задача требует прогноза и оценки динамики популяций и функционирования экосистем. Проведение прямых научных экспериментов в экосистемах и питомниках связано с высокой стоимостью, значительными временными затратами и в ряде случаев оказывается практически невозможным. В связи с этим возникает необходимость разработки математических моделей, позволяющих исследовать устойчивость экологических систем, а также планировать и реализовывать различные охранные мероприятия. Актуальность данного исследования определяется, в частности, Указом Правительства Республики Таджикистан о провозглашении 2020–2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования», а также рядом стратегий и программ, направленных на развитие соответствующих научных направлений.

Степень разработанности научной темы. Построение математических моделей оценки редких и исчезающих видов (на примере модели «хищник-жертва») в экологических системах является ключевой задачей, без решения которой организация охраны их среды обитания в целом невозможна.

Возникновение и формирование современных представлений о математическом моделировании экологических систем связано с именами зарубежных исследователей – Т. Мальтуса, П. Ферхюльста, А. Лотки, Ю. Одума, К. Джеффриса, May R.M., Auslander D.M., Blasio G.D., Brokate M., Chipot M., Gurtin M.E., Gushing J.M., MacCamy R.C., Busenberg S., Iannelli M., Volterra V., Oster G.P., а также с именами российских и отечественных учёных — Н.Н. Моисеева, Ю.М. Свирижева, А.А. Войнова, Д.О.

Логофета, А.М. Тарко, В.В. Алексева, Н.К. Лукьянова, А.Б. Горстко, Л.В. Домбровского, В.В. Меншуткина, Г.Г. Винберга, В.Н. Новосельцев, А.В. Леонова, М.К. Юнуси, М. Илолова, Ф.С. Комилиёна, Одинаева Р.Н., Мирзоева С.Х. и Одинаевой С.А.

Математическое моделирование динамики численности биологических популяций имеет относительно долгую историю. В этой области первым внёс свой вклад Т. Мальтус, предложив модель экспоненциального роста населения Земли. П. Ферхюльст усовершенствовал её с учётом ограничений роста популяции. Логистическое уравнение Ферхюльста послужило основой для классической модели «хищник-жертва» Лотки-Вольтерры о взаимном влиянии двух видов, что впоследствии вдохновило многочисленные научные исследования по динамике развития популяций.

Основным направлением в исследовании эволюции экологических систем является проблема устойчивости и качественной устойчивости точечных моделей. После первых работ Р. Мэя и К. Джеффриса, нормы устойчивости и качественной устойчивости, предложенные ими, были использованы в исследованиях различных авторов, а впоследствии Д.О. Логофет и М. Юнуси полностью доработали их, предложив новые подходящие критерии.

Для отдельных популяций, находящихся под охраной, с учетом возрастного и структурного состава, а также пространственного распределения, исследовались различные вопросы устойчивости стационарных и нестационарных решений. В исследованиях профессора М. Юнуси рассматривались вопросы существования классических и обобщённых решений; при этом им был предложен метод решения соответствующих математических задач с помощью рядов Фурье. Впервые именно он разработал и решил задачи сохранения популяций в сообществах экологических систем.

Понятие биологического потенциала (ёмкости) впервые ввел А. Лотка для точечных моделей отдельных охраняемых популяций. Для общих моделей экологических систем с учетом возраста и пространственного распределения это понятие было введено и обосновано М. Юнусием в его научных трудах.

Связь исследования с программами (проектами) и научными темами. Диссертационная работа выполнена в рамках реализации Указа Президента Республики Таджикистан №1445 от 31.01.2020 об объявлении 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования», решений Правительства Республики Таджикистан №503 от 26.09.2020 «О приоритетных направлениях научных и технических исследований в РТ на 2021-2025 годы», №642 от 30.12.2019 «Концепция цифровой экономики в РТ», а также перспективного плана научно-исследовательской работы кафедры информационных технологий и методики преподавания информатики Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава на 2021-2025 годы.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – построение математической и компьютерной модели для исследования и прогнозирования динамики популяций, управления и сохранения редких и исчезающих видов, а также для повышения эффективности региональных экосистем на примере экосистемы «Бешай Палангон» (для камышово-пустынной зоны).

Задачи исследования. Задача исследования – разработка алгоритма для количественного моделирования и прогнозирования численности биологических популяций на примере камышово-пустынных экосистем. Для достижения поставленной цели решаются следующие основные задачи:

- изучение теоретических основ с целью построения математических моделей для сохранения редких и исчезающих видов на основе полученных данных об экосистеме «Бешай Палангон» (камышово-пустынная часть);
- разработка концептуальной модели биологических видов заповедника с целью анализа устойчивости, качественной устойчивости и выявления факторов неустойчивости структуры экосистемы;
- составление математической модели динамики популяций заповедника «Бешай Палангон» (камышово-пустынная часть) на основе дифференциальных уравнений в частных производных с учётом возрастной структуры и пространственного распределения видов;
- постановка и обоснование основных задач по сохранению редких и находящихся под угрозой исчезновения видов экосистемы в необходимых численностях при различных режимах, учитывая возрастные и пространственные характеристики популяций;
- определение и обоснование «максимального значения» пространственного параметра для эффективного сохранения редких и исчезающих видов на основе построенных математических моделей;
- разработка алгоритмов для расчёта коэффициентов точечной математической модели экосистемы заповедника с учётом неупорядоченности трофических связей;
- создание программного комплекса и проведение численных экспериментов на конкретных экосистемах для нахождения решений задач сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов при различных сценариях хозяйственной деятельности;
- проведение анализа результатов компьютерного моделирования, включая расчёты и обработку данных по защите и сохранению редких и исчезающих видов экосистемы «Бешай Палангон».

Объект исследования – экологическая система заповедника «Бешай Палангон» (камышово-пустынная часть) Хатлонской области Республики Таджикистан.

Предмет исследования – разработка и исследование математических моделей для обоснования разностных задач и создание алгоритмов с учетом возраста и пространственного распределения по защите и сохранению редких и

исчезающих видов экосистемы «Бешаи Палангон» (камышово-пустынная часть) Хатлонской области Республики Таджикистан.

Методы исследования. Для достижения цели использованы современные методы теории дифференциальных уравнений, качественной устойчивости, математического моделирования, объектно-ориентированного программирования, информационных технологий и численных методов.

Научная новизна исследования.

- разработка теории математического моделирования с использованием теории устойчивости и качественной устойчивости аналогичных экосистем, а также интегрально-дифференциальных уравнений с частными производными, и создание конкретных алгоритмов для решения задачи защиты и сохранения редких и исчезающих видов заповедника «Бешаи Палангон»;

- разработка математической модели оптимального управления динамикой экологической системы «Бешаи Палангон» (камышово-пустынная часть) с целью защиты и сохранения редких и исчезающих видов;

- определение необходимого объема вводимых ресурсов для оценки достаточности стабильности и устойчивости с использованием функций, интегрируемых по квадрату, а также упрощение системы интегро-дифференциальных уравнений, адаптированных к пространственным параметрам для решения задачи сохранения редких и исчезающих видов;

- для решения конкретной задачи по защите и сохранению редких и исчезающих видов заповедника «Бешаи Палангон» (камышово-пустынная часть) Хатлонской области Республики Таджикистан были разработаны компьютерные инструменты и проведены компьютерные эксперименты.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Результаты диссертации значительно расширяют возможности применения теоретических исследований математического моделирования, численных экспериментов и компьютерного анализа при решении задач выбора эффективного управления деятельностью заповедника «Бешаи Палангон» (камышово-пустынная часть) Республики Таджикистан. Теоретические выводы, предложения, а также методы и рекомендации могут быть использованы как инструменты для анализа поставленных задач и выбора оптимальных способов решения задачи защиты и сохранения редких и исчезающих видов при различных режимах деятельности. Публикации, посвящённые математическому моделированию защиты и сохранения редких и исчезающих видов в различных режимах работы, а также их выводы, представленные в диссертации, предлагаются в качестве рекомендаций организациям и управлениям, ответственным за экологическую сферу Республики Таджикистан. Разработанный метод позволяет использовать его при преподавании специальных курсов для студентов профильных специальностей «Математическое моделирование», «Компьютерное моделирование экологических систем», «Имитационное моделирование экологических и экономических систем», а также при написании курсовых и дипломных работ студентами данных направлений. Созданные прикладные программные

комплексы имеют особое значение и помогают в решении задач выбора эффективного производства и улучшения состояния экологических систем.

Практическая значимость исследования следующие:

- основные результаты исследования применены Комитетом по охране природы Республики Таджикистан для сохранения редких и исчезающих видов в заповеднике «Бешай Палангон» (камышово-пустынная часть) Хатлонской области;

- определены устойчивые и неустойчивые структуры экосистемы заповедника «Бешай Палангон»;

- предложен универсальный метод разработки математических моделей региональных экосистем общего типа;

- разработанный метод позволяет быстро формировать компьютерные модели заповедников с точным предварительным анализом, используя блоки, схемы и разработанные компоненты;

- предложен системный подход к организации инструментов исследования региональных экологических систем.

В настоящее время результаты диссертации используются студентами 3 и 4 курсов направления «Информатика» Таджикского национального университета (ТНУ) при изучении специального курса «Компьютерное моделирование экологических систем», а также студентами 3 курса направления «Информатика, автоматизированные системы и информационные технологии» Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава при изучении аналогичного курса.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработана и научно обоснована концептуальная и математическая модель задачи сохранения редких и исчезающих видов экосистемы государственного природного заповедника «Бешай Палангон» в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая динамику популяций с учетом возрастной структуры и пространственного распределения.

2. Предложен и теоретически обоснован метод исследования математической модели с учетом возрастной структуры, пространственного распределения и поступающих ресурсов, позволяющий оценивать состояние экосистемы и эффективность мероприятий по сохранению редких и исчезающих видов.

3. Разработаны и реализованы численные алгоритмы и комплекс компьютерных программ для решения предложенной математической модели, обеспечивающие прогнозирование динамики редких и исчезающих видов в экосистеме государственного природного заповедника «Бешай Палангон».

Достоверность и обоснованность полученных научных результатов, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации, подтверждены за счёт комплексного исследования многочисленных научных источников отечественных и зарубежных учёных, применения методологии системного подхода, научной концепции компьютерного моделирования, опоры на

теоретические и практические методы исследования, анализа условий исследуемых объектов и результатов экспериментов, практической верификации основных принципов моделирования с использованием теоретического аппарата дифференциальных уравнений для сохранения редких и исчезающих видов в заповеднике, соответствующих предмету исследования, а также за счёт личного опыта диссертанта в качестве разработчика моделей.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности (с пояснением и областью исследования). Диссертационная работа выполнена в соответствии с паспортом научной специальности 1.1.10 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ:

Работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

Пункт 1. Разработка новых математических методов моделирования объектов, систем, процессов и явлений.

Пункт 2. Развитие методов качественного и приближённого исследования математических моделей;

Пункт 6. Комплексное исследование научно-технических и прикладных задач с использованием современных технологий математического моделирования и вычислительного эксперимента;

Пункт 7. Разработка новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности математических моделей объектов, систем;

Пункт 9. Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования.

Личный вклад соискателя учёной степени в исследование заключается в том, что диссертация написана им самостоятельно. Полученные результаты, благодаря взаимосвязи между результатами в рамках теоретических исследований и разработке математических и компьютерных моделей для изучения, прогнозирования и управления динамикой экосистемы «Бешай Палангон» (камышово-пустынная часть) и подобных экосистем внесли значительный вклад в развитие теории, прогнозирования и автоматизации (автоматического управления) задач управления.

Результаты, представленные в данной диссертации, имеют научно-практическую значимость и могут быть использованы в различных заповедниках при решении задач управления и обработки информации. Основные научные положения и выводы обоснованы и подтверждены математическим и компьютерным моделированием, а также разработанным программным комплексом, имеющим акты внедрения и свидетельство автора Министерства экономического развития и торговли Республики Таджикистан, Государственного учреждения «Национальный патентно-информационный центр», № 3272600578 от 06.05.2026, а также подтверждениями Национального университета Таджикистана и Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава.

Утверждение и внедрение результатов диссертации. В диссертации первоочередной задачей является построение математической модели для охраны и сохранения редких и исчезающих видов заповедника «Бешай

Палангон» (камышово-пустынная часть) Хатлонской области Республики Таджикистан. Наряду с построением математического моделирования также решены вопросы систематизации динамической деятельности заповедника. В целом решены следующие задачи:

1. Построена концептуальная модель, основанная на взаимодействии биологических видов заповедника «Камышово-пустынная часть» Хатлонской области, и на её основе разработана математическая модель в виде интегродифференциальных уравнений с учётом возрастной структуры и пространственного распределения. Порядок уравнений упрощён по сравнению с точечными моделями для облегчения решения задачи, а также определены устойчивые и качественно устойчивые структуры заповедника;

2. Получены эффективные диапазоны изменения численности и количества редких и исчезающих биологических видов с учётом возрастной структуры и пространственного распределения;

3. Предложены и обоснованы количественные устойчивые алгоритмы для решения различных разработанных задач, связанных с охраной и сохранением редких и исчезающих видов;

4. Создан комплекс программ для решения задач математического моделирования состояния экосистемы трёх трофических уровней, состоящей из 16 уравнений, проведён ряд вычислительных экспериментов для конкретных экосистем с целью прогнозирования их состояния. Решена задача охраны редких видов в различных режимах деятельности заповедника «Камышово-пустынная часть» Хатлонской области.

Результаты диссертации были обсуждены и рассмотрены на заседаниях кафедры «Информационные технологии и методика преподавания информатики», «Автоматизированные системы обработки информации и сети связи» Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава, а также на научных семинарах кафедр «Информатика» и «Математическое моделирование» Таджикского национального университета (2013–2024 гг.), на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава (2013–2024 гг.), на республиканских и международных научных конференциях, в том числе: «Роль Кулябского государственного университета имени А. Рудаки в подготовке специалистов, посвящённая 70-летию университета» (Куляб, 2015), «Компьютерный анализ, проблемы науки и технологий» (Душанбе, 2015), «Развитие науки и образования в современный период» (Курган-Тюбе, 2016), «Проблемы моделирования в Таджикистане и пути их решения» (Душанбе, 2016), «Классические физико-математические уравнения и различные задачи математического анализа» (Душанбе, 2016), «70-летие Таджикского национального университета» (Душанбе, 2018), «Метод систематизации заповедника Бешаи Палангон» (Душанбе, 2022), «Концептуальная модель редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных заповедников Республики Таджикистан» (Минск, 2023), а также «Технология разработки компьютерного инструментария для прогнозирования и управления

динамикой типовых региональных экосистем (на примере заповедника Тигровая балка)», где они были обсуждены и рассмотрены.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты исследования опубликованы в 22 научных статьях, из них 8 опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан, [1–А, 9–А]. На различных научных конференциях опубликованы 13 статей и тезисов. Кроме того, получено 1 свидетельство о государственной регистрации компьютерной программы.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из следующих частей: введение, общая характеристика исследования, четыре главы, раздел с выводами, содержащими основные научные результаты диссертации и рекомендации по практическому применению результатов, список литературы с указанием использованных источников и перечень научных публикаций соискателя учёной степени. Общий объём диссертации – 166 страниц компьютерного текста, набранных с помощью текстового процессора Microsoft Word. В работе приведены 4 таблицы и 41 рисунок, а список использованной литературы включает 123 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертации, кратко описано содержание работы и приведён обзор основных результатов.

В **первой главе** диссертации рассматриваются вопросы устойчивости и качественной устойчивости экосистемы «Бешай палангон» (камышовая и пустынная части). В **первом параграфе** этой главы приводятся сведения о климатических условиях, биологическом описании структуры заповедника «Бешай палангон», а также построение концептуальной и математической модели. На основе общей концептуальной модели построена концептуальная модель заповедника «камышовая и пустынная части» (рис. 1.) [2-А, 4-А, 7-А].

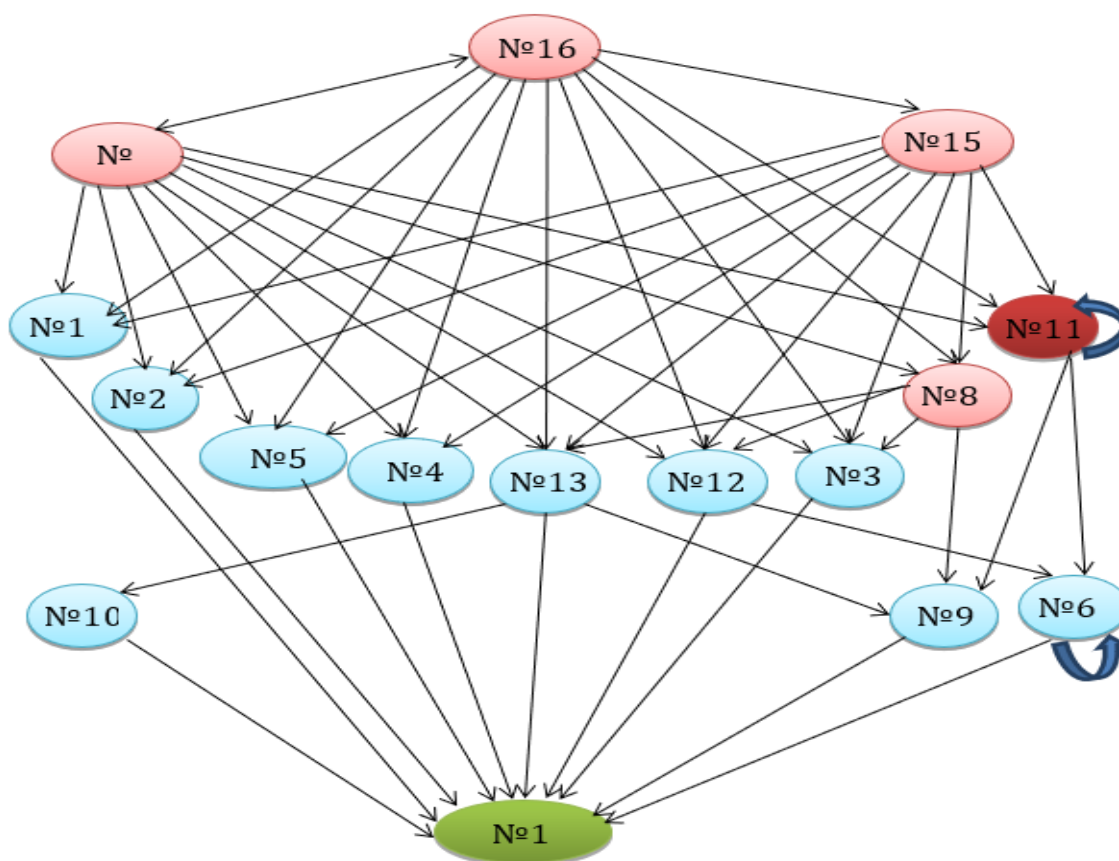


Рисунок 1. Концептуальная модель заповедника «Бешай палангон» (камышовая и пустынная части).

В концептуальной модели (рисунок 1) обозначены: N_1 – биомасса растительности, N_2 – биомасса бухарского оленя, N_3 – биомасса заяц толай, N_4 – биомасса степных козлов, N_5 – биомасса степного оленя, N_6 – биомасса рыб, N_7 – биомасса волков, N_8 – биомасса камышовых котов, N_9 – биомасса мышей, N_{10} – биомасса степных черепах, N_{11} – биомасса змей, N_{12} – биомасса озёрных птиц, N_{13} – биомасса пустынных соколов, N_{14} – биомасса диких кабанов, N_{15} – биомасса лисиц, N_{16} – биомасса туркменских тигров.

Во втором параграфе проводится оценка устойчивости данной экосистемы с использованием методов устойчивости и качественной устойчивости.

Анализ устойчивости заповедника на основе характеристического уравнения рассмотрен в третьем параграфе той же главы. «Характеристическое уравнение с учётом возраста и пространственного распределения имеет вид:

$$\det(\delta I - A) = 0, A = B_0(0) + \int_0^\infty e^{-\delta a} dB(a), \quad (1)$$

где I – единичная матрица, A – матрица популяции заповедника, B – матрица обитания видов заповедника» [2, 3, 2-A, 4-A, 17-A].

На основе построенной концептуальной модели (рисунок 1) и качественных критериев устойчивости Р. Мея и К. Джеффриса определена качественная устойчивость и неустойчивость заповедника «Бешай Палангон» (для камышово-пустынной части) [4-А, 17-А]:

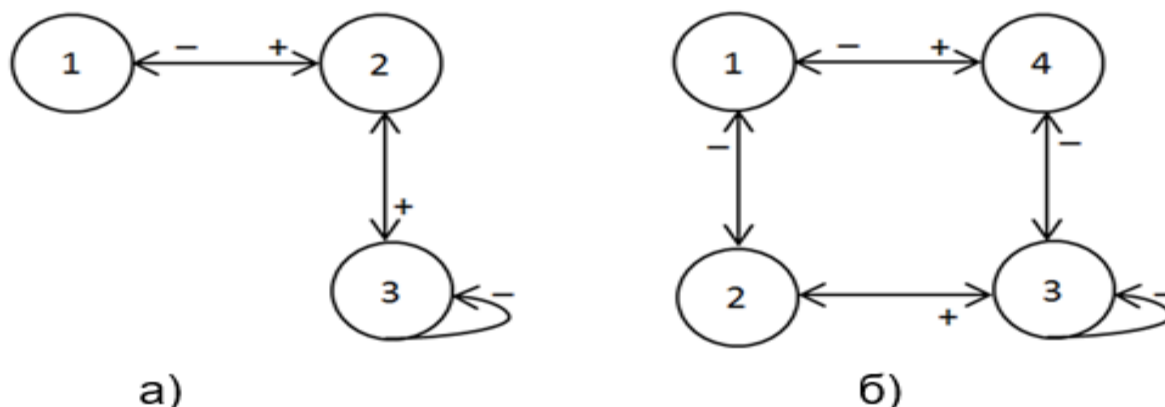


Рисунок 2.: – а) ЗОГ для трехуровневой системы; б) ЗОГ для четырехуровневой системы.

Систему четырехуровневую ЗОГ, показанную на рисунке 2 (б), на основе предложенных методов сравниваем и видим, что объединённая система «Сообщество растений – травоядных животных – хищников – грызунов» не является качественно устойчивой.

Теперь рассмотрим более сложную систему. Для многоуровневой экосистемы *«растительное сообщество (1) – травоядные животные (2) – хищники (3) – птицы (4) – рыбы (5) – пресмыкающиеся (6) – насекомые (7) – грызуны (8) – насекомоядные (9) – паукообразные (10) – земноводные»*, граф с трофическими связями, показанный на рисунке 2, также не удовлетворяет условиям устойчивости и качественной устойчивости [5-А, 8-А, 16-А, 17-А]. Если не учитывать связи типа «ребро–ребро» между видами, то исследуемая экологическая система может превратиться в качественно устойчивую систему. Исходя из этого, для достижения устойчивой и качественно устойчивой структуры любого заповедника необходимо искусственно изменять количество соответствующих видов так, чтобы трофические связи типа «пунктирная линия» в ЗОГ исчезли.

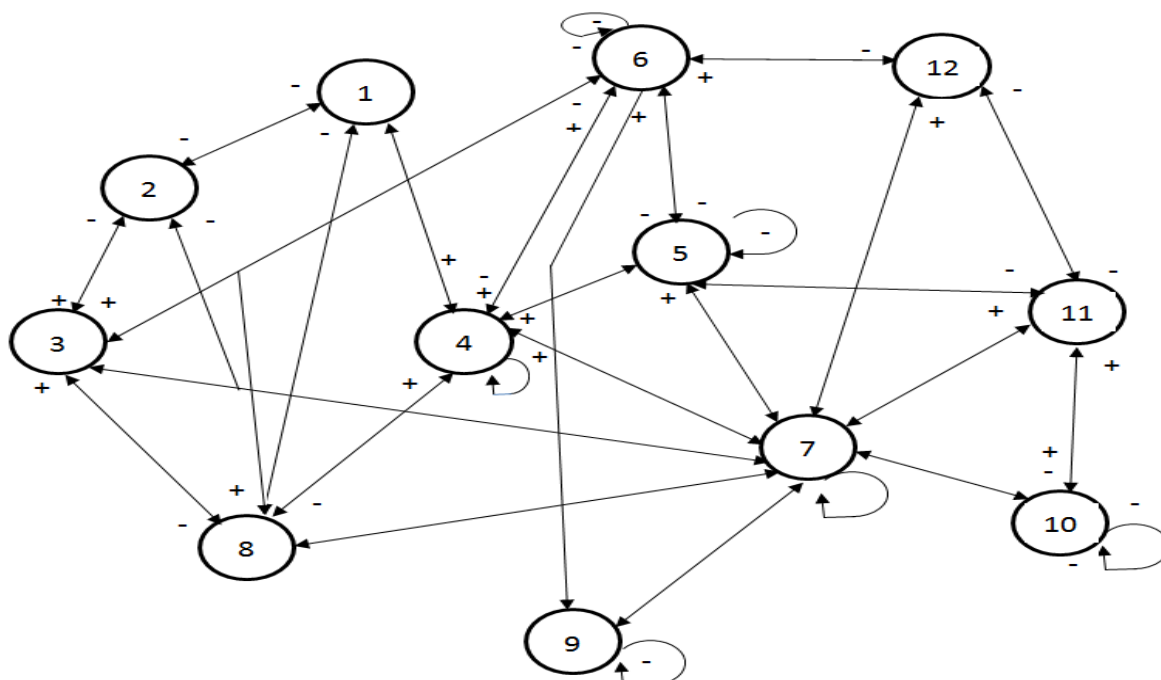


Рисунок 3. – ЗОГ многоуровневой экосистемы «мир растений-1, мир травоядных-2, хищники-3, птицы-4, рыбы-5, пресмыкающиеся-6, насекомые-7, грызуны -8, насекомоядные -9, паукообразные-10, земноводные-11, крылатые-12».

Экологическая система с 10 трофическими уровнями в заповеднике «Бешай Палангон» (1 – *растительность*; 2 – *насекомые*; 3 – *ящерица, агама*; 4 – *летучие мыши, полёвки, лесные мыши, серые хамелеоны, зайцы*; 5 – *сурок*; 6 – *лиса*; 7 – *бухарский олень, сибирский горный козел*; 8 – *кабан*; 9 – *волк*; 10 – *шакалы, камышовая кошка*), также, из-за наличия замкнутых узлов длиной более двух в графе качественно устойчивой не является [5-А, 8-А, 16-А, 17-А]. Из этого следует, что в таких экосистемах при любом усилении внутривидовых связей устойчивость отсутствует. Например, ($\rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 1$, $1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 1$, $1 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$, $1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 1$, $1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 1$, $9 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9$, $4 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 5 \rightarrow 4$). Однако в то же время выявляются подсистемы, которые являются качественно устойчивыми. Наличие таких качественно устойчивых структур свидетельствует о слаженной работе экологической системы.

В четвертом параграфе первой главы для нестабильных экологических систем предложен метод регуляризации нестабильных биологических структур заповедника «Бешай палангон».

В пятом параграфе приведены выводы по первой главе.

Во второй главе диссертационной работы, которая состоит из 7 подразделов, изучается математическая модель сохранения биологических популяций в зависимости от времени, возраста и пространственного распределения для заповедника «Бешай палангон» (для части «камышово-пустынной»).

В первом параграфе второй главы построена точечная модель, зависящая от времени, возраста и пространственного положения для «Камышово-

пустынного» заповедника на основе приведённой концептуальной модели [1-А, 13-А].

$$\begin{aligned}
\frac{dN_1}{dt} &= Q(t) - \sum_{i=1}^{10} \frac{\alpha_{1i} N_i}{1 + \alpha_{ij}^0 N_i} N_{j-m_1 N_1}; \\
\frac{dN_2}{dt} &= \frac{K_{12} a_{12} N_1 N_2}{1 + a_{12}^0 N_2} - m_2 N_2 - \frac{a_{27} N_2 N_7}{1 + a_{27}^0 N_2} - \frac{a_{215} N_2 N_{15}}{1 + a_{215}^0 N_2} - \frac{a_{216} N_2 N_{16}}{1 + a_{216}^0 N_2}; \\
\frac{dN_4}{dt} &= \frac{K_{14} a_{14} N_1 N_4}{1 + a_{14}^0 N_4} - m_4 N_4 - \frac{a_{47} N_4 N_7}{1 + a_{47}^0 N_4} - \frac{a_{415} N_4 N_{15}}{1 + a_{415}^0 N_4} - \frac{a_{416} N_4 N_{16}}{1 + a_{416}^0 N_4}; \\
\frac{dN_5}{dt} &= \frac{K_{15} a_{15} N_1 N_5}{1 + a_{15}^0 N_5} - m_5 N_5 - \frac{a_{57} N_5 N_7}{1 + a_{57}^0 N_5} - \frac{a_{515} N_5 N_{15}}{1 + a_{515}^0 N_5} - \frac{a_{516} N_5 N_{16}}{1 + a_{516}^0 N_5}; \\
\frac{dN_6}{dt} &= \frac{K_{16} a_{16} N_1 N_6}{1 + a_{16}^0 N_6} - m_6 N_6 - \frac{a_{611} N_6 N_{11}}{1 + a_{611}^0 N_6} - \frac{a_{612} N_6 N_{12}}{1 + a_{612}^0 N_6} - \varepsilon_6 N_6^2; \\
\frac{dN_7}{dt} &= \frac{K_{27} a_{27} N_2 N_7}{1 + a_{27}^0 N_2} + \frac{K_{37} a_{37} N_3 N_7}{1 + a_{37}^0 N_3} + \frac{K_{47} a_{47} N_4 N_7}{1 + a_{47}^0 N_4} + \frac{K_{57} a_{57} N_5 N_7}{1 + a_{57}^0 N_5} + \\
&\quad + \frac{K_{87} a_{87} N_8 N_7}{1 + a_{87}^0 N_8} + \frac{K_{117} a_{117} N_{11} N_7}{1 + a_{117}^0 N_{11}} + \frac{K_{127} a_{127} N_{12} N_7}{1 + a_{127}^0 N_{12}} + \frac{K_{137} a_{137} N_{13} N_7}{1 + a_{137}^0 N_{13}} - \\
&\quad - m_7 N_7 - a_{167} N_7 N_{16}; \\
\frac{dN_8}{dt} &= \frac{K_{38} a_{38} N_3 N_8}{1 + a_{38}^0 N_3} + \frac{K_{98} a_{98} N_9 N_8}{1 + a_{98}^0 N_9} + \frac{K_{128} a_{128} N_{12} N_8}{1 + a_{128}^0 N_{12}} + \frac{K_{138} a_{138} N_{13} N_8}{1 + a_{138}^0 N_{13}} - \\
&\quad - m_8 N_8 - \frac{a_{78} N_7 N_8}{1 + a_{78}^0 N_7} - \frac{a_{158} N_{15} N_8}{1 + a_{158}^0 N_{15}} - \frac{a_{168} N_{16} N_8}{1 + a_{168}^0 N_{16}}; \\
\frac{dN_9}{dt} &= \frac{K_{19} a_{19} N_1 N_9}{1 + a_{19}^0 N_9} - m_9 N_9 - \frac{a_{98} N_9 N_8}{1 + a_{98}^0 N_8} - \frac{a_{911} N_9 N_{11}}{1 + a_{911}^0 N_{11}} - \\
&\quad - \frac{a_{913} N_9 N_{13}}{1 + a_{913}^0 N_{13}}; \\
\frac{dN_{10}}{dt} &= -m_{10} N_{10} + \frac{K_{101} a_{101} N_1 N_{10}}{1 + a_{101}^0 N_1} - \frac{a_{1013} N_{10} N_{13}}{1 + a_{1013}^0 N_{10}}; \\
\frac{dN_{11}}{dt} &= \frac{K_{611} a_{611} N_6 N_{11}}{1 + a_{611}^0 N_6} + \frac{K_{911} a_{911} N_9 N_{11}}{1 + a_{911}^0 N_9} - m_{11} N_{11} - \varepsilon_{11} N_{11}^2 - \frac{a_{117} N_{11} N_7}{1 + a_{117}^0 N_{11}} - \\
&\quad - \frac{a_{115} N_{11} N_{15}}{1 + a_{115}^0 N_{15}} - \frac{a_{116} N_{11} N_{16}}{1 + a_{116}^0 N_{16}}; \\
\frac{dN_{12}}{dt} &= \frac{K_{112} a_{112} N_1 N_{12}}{1 + a_{112}^0 N_1} + \frac{K_{612} a_{612} N_6 N_{12}}{1 + a_{612}^0 N_6} - m_{12} N_{12} - \frac{a_{127} N_{12} N_7}{1 + a_{127}^0 N_{12}} - \\
&\quad - \frac{a_{128} N_{12} N_8}{1 + a_{128}^0 N_{12}} - \\
&\quad - \frac{a_{128} N_{12} N_8}{1 + a_{128}^0 N_{12}} - \frac{a_{1215} N_{12} N_{15}}{1 + a_{1215}^0 N_{12}} - \frac{a_{1216} N_{12} N_{16}}{1 + a_{1216}^0 N_{12}};
\end{aligned}
\tag{2}$$

$$\begin{aligned}
\frac{dN_{13}}{dt} &= \frac{K_{1\ 13}a_{1\ 13}N_1N_{13}}{1 + a_{1\ 13}^0N_1} + \frac{K_{9\ 13}a_{9\ 13}N_9N_{13}}{1 + a_{9\ 13}^0N_9} + \frac{K_{10\ 13}a_{10\ 13}N_{10}N_{13}}{1 + a_{10\ 13}^0N_{10}} - m_{13}N_{13} \\
&\quad - \frac{a_{13\ 7}N_{13}N_7}{1 + a_{13\ 7}^0N_{13}} - \frac{a_{13\ 8}N_{13}N_8}{1 + a_{13\ 8}^0N_{13}} - \frac{a_{13\ 15}N_{13}N_{15}}{1 + a_{13\ 15}^0N_{13}} - \frac{a_{13\ 16}N_{13}N_{16}}{1 + a_{13\ 16}^0N_{13}}; \\
\frac{dN_{14}}{dt} &= \frac{K_{1\ 14}a_{1\ 14}N_1N_{14}}{1 + a_{1\ 14}^0N_1} - m_{14}N_{14} - \frac{a_{14\ 7}N_{14}N_7}{1 + a_{14\ 7}^0N_{14}} - \frac{a_{14\ 15}N_{14}N_{15}}{1 + a_{14\ 15}^0N_{14}} \\
&\quad - \frac{a_{14\ 16}N_{14}N_{16}}{1 + a_{14\ 16}^0N_{14}}; \\
\frac{dN_{15}}{dt} &= \frac{K_{2\ 15}a_{2\ 15}N_2N_{15}}{1 + a_{2\ 15}^0N_2} + \frac{K_{3\ 15}a_{3\ 15}N_3N_{15}}{1 + a_{3\ 15}^0N_3} + \frac{K_{4\ 15}a_{4\ 15}N_4N_{15}}{1 + a_{4\ 15}^0N_4} + \frac{K_{5\ 15}a_{5\ 15}N_5N_{15}}{1 + a_{5\ 15}^0N_5} \\
&\quad + \frac{K_{8\ 15}a_{8\ 15}N_8N_{15}}{1 + a_{8\ 15}^0N_8} + \frac{K_{11\ 15}a_{11\ 15}N_{11}N_{15}}{1 + a_{11\ 15}^0N_{11}} + \frac{K_{12\ 15}a_{12\ 15}N_{12}N_{15}}{1 + a_{12\ 15}^0N_{12}} \\
&\quad + \frac{K_{13\ 15}a_{13\ 15}N_{13}N_{15}}{1 + a_{13\ 15}^0N_{13}} + \frac{K_{14\ 15}a_{14\ 15}N_{14}N_{15}}{1 + a_{14\ 15}^0N_{14}} - m_{15}N_{15} - \frac{a_{15\ 16}N_{15}N_{16}}{1 + a_{15\ 16}^0N_{15}}; \\
\frac{dN_{16}}{dt} &= \frac{K_{2\ 16}a_{2\ 16}N_2N_{16}}{1 + a_{2\ 16}^0N_2} + \frac{K_{3\ 16}a_{3\ 16}N_3N_{16}}{1 + a_{3\ 16}^0N_3} + \frac{K_{4\ 16}a_{4\ 16}N_4N_{16}}{1 + a_{4\ 16}^0N_4} + \frac{K_{5\ 16}a_{5\ 16}N_5N_{16}}{1 + a_{5\ 16}^0N_5} \\
&\quad + \frac{K_{8\ 16}a_{8\ 16}N_8N_{16}}{1 + a_{8\ 16}^0N_8} + \frac{K_{11\ 16}a_{11\ 16}N_{11}N_{16}}{1 + a_{11\ 16}^0N_{11}} + \frac{K_{12\ 16}a_{12\ 16}N_{12}N_{16}}{1 + a_{12\ 16}^0N_{12}} \\
&\quad + \frac{K_{13\ 16}a_{13\ 16}N_{13}N_{16}}{1 + a_{13\ 16}^0N_{13}} + \frac{K_{14\ 16}a_{14\ 16}N_{14}N_{16}}{1 + a_{14\ 16}^0N_{14}} + \frac{K_{15\ 16}a_{15\ 16}N_{15}N_{16}}{1 + a_{15\ 16}^0N_{15}} - m_{16}N_{16} - a_{16\ 7}N_{16}N_7.
\end{aligned}$$

В приведённых уравнениях (2) в зависимости от исследования задачи вместо $\frac{d}{dt}$ можно взять один из следующих: [8-М, 9-М, 10-М]:

3) если учитывается возраст, то $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a}$;

4) если учесть местоположение, то

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

Отметим, что от математической модели (2), в частности, можно выделить максимально обобщённую качественную устойчивость модели, которая имеет следующий вид:

$$\frac{dN_0}{dt} = Q + F_0(N_0, N_1), \quad N_0(0) = N_0^0,$$

$$\begin{aligned}
\frac{dN_1}{dt} &= N_1 F_1 N_0 N_1 \tilde{N}_1, \quad N_1(0) = N_1^0, \\
\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a}\right) N_2 &= N_2 F_2(N_1, N_2, N_3), \quad N_2(a, 0) = N_2^0(a), \\
\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a}\right) N_3 &= N_3 F_3(N_2, N_3), \quad N_3(a, 0) = N_3^0(a). \\
N_2(0, t) &= \int_0^{a_{\max}} B_2(a) N_2(a, t) da.
\end{aligned} \tag{3}$$

Следует отметить, что в системе (3) $F_i = F_i(\cdot)$, $i = \overline{0,3}$ показывает собственную скорость уровня i -го трофических функций и в свою очередь должны быть удовлетворены следующие условия:

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

Во втором параграфе рассматривается разностная схема для аппроксимации задачи численности популяции с учётом времени, возраста и пространственного распределения в зависимости от места расположения, а также построена популяционная модель [1-А, 4-А, 14-А].

$$\begin{cases} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial a} + \sum_j \vartheta_j \frac{\partial N}{\partial x_j} = F_0(a)N + \sum_j K_j \frac{\partial^2 N}{\partial x_j^2}, \quad G = [0 < x_j < L_j], \quad 0 < a \leq a_{\max}, \quad 0 < t \leq t_k, \\ N(x, a, 0) = N_0(x, a), \quad 0 \leq x_i \leq L_j, \quad x = (x_i, x_2), \quad x \in G, \quad 0 \leq a \leq a_{\max}, \\ N(x, 0, t) = \int_0^{a_{\max}} B_0(\xi) N(x, \xi, t) d\xi, \quad \bar{G} = G + \Gamma, \quad 0 \leq t \leq t_k, \quad \Gamma - \text{сарахди } G, \\ \frac{\partial N}{\partial x} - a_j N \Big|_{x_j=(0, L_j)} = 0, \end{cases} \tag{4}$$

в системе (4) $N = N(x, a, t)$ – число популяции с возрастом a , находящейся в точке x в момент времени t , $F_0 = F_0(a)$ – коэффициент смертности, $B = B(a)$ – коэффициент рождаемости, $N_0 = N_0(x, a)$ – численность популяции в начальный момент времени. Если мы введём следующую замену:

$$a' = a, \quad t' = a + \lambda, \quad \phi(x, a, \lambda) = N(x, a, a + \lambda),$$

$$u(x, a, \tau) = \phi(x, a, \lambda) \exp \left(\int_0^a F_0(\xi) d\xi + \sum_j \vartheta_j \frac{x_j}{2K_j} - \sum_j \frac{\vartheta_j^2 a}{4K_j} \right),$$

тогда вместо задачи (3) получаем следующую задачу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial a} = \sum_j K_j \frac{\partial^2 u}{\partial x_j^2}, \quad 0 \leq x_j \leq L_j, \quad 0 < a \leq a_{\max}, \quad 0 < t \leq t_k \\ u(x, 0, \tau) = \int_0^{a_{\max}} \beta(\xi) u(x, \xi, t) d\xi, \\ \left. \frac{\partial u}{\partial x_j} \right|_{x_j=0}^{x_j=L_j} = 0. \end{array} \right. \quad (5)$$

Если решение системы (5) нам известно, то используя приведённое выше преобразование, мы можем получить решение данной задачи в следующем виде:

$$N(x, a, t) = u(x, a, t - \alpha) \exp \left(- \int_0^a F_0(\xi) d\xi - \sum_j \vartheta_j \frac{x_j}{2K_j} + \sum_j \frac{\vartheta_j^2}{4K_j} \right). \quad (6)$$

Для решения этой задачи введём обозначения $h = \tau(h_1, h_2) > 0$, $t=a$, $x=x^1$, $p=x^2$, в результате чего получим соответствующую разностную схему.

Для того чтобы кратко выразить разностную аппроксимацию рассматриваемой задачи необходимо, чтобы функция $Y = Y((x, p, t)$ удовлетворяла нижеприведённым условиям [1-A]:

$$\begin{cases} Y_i = A_1 Y, & t = t' + \tau/2, \\ Y_i = A_2 Y, & t = t' + \tau, \end{cases} \quad (x, \gamma, t') \in Q^h, \quad (7)$$

$$Y(x, \gamma, 0) = Y_0 \quad (8)$$

$$\begin{cases} a_0 Y_x = \frac{h_1}{2} b Y_{\bar{t}}, x = 0 \\ a_1 Y_{\bar{x}} = -\frac{h_1}{2} b Y_{\bar{t}}, x = l \end{cases}, t = t' + \tau/2, \quad (9)$$

$$\begin{cases} \bar{a}_0 Y_{\gamma_0} = \frac{h_2}{2} b Y_{t\gamma_0}, & Y_{a=0} = T^h, & t = t' + \tau, \\ \bar{a}_1 Y_{\gamma} = \frac{h_2}{2} b Y_t, & \gamma = \gamma_1 \end{cases} \quad (10)$$

$$Y(x, 0, t) = T^h, \quad T^h(x, t) = \sum_{a=0}^{a \leftrightarrow \max \Sigma} \beta(a) Y(x, a, t) h_3 \quad (11)$$

в которых

$$a_0 = K(Y)|_{x=0}, a_1 = K(Y)|_{x=l}, \bar{a}_0 = K(Y)|_{p_0}, \bar{a}_1 = K(Y)|_{p_1}.$$

Приведём основную гипотезу для функций с постановками (7) – (11):

а) Все функции K, V_0, β определены и относительно своих переменных являются непрерывными;

б) выполнены неравенства $a^0 \leq (a(Y), \bar{a}(Y)) \leq a^1, i = 0, 1$;

в) должны быть заданы произвольные ограниченные функции K_V и $|K_V| \leq K_2 < \infty$;

$$\text{г) } \begin{cases} |a(p) - a(q)| \leq a_2 |p - q|, \\ |\bar{a}(p) - \bar{a}(q)| \leq a_2 |p - q|, \\ a_2 = \text{const} > 0, |p, q| < \infty. \end{cases}$$

В третьем параграфе второй главы дана априорная оценка для задачи краевой разностной схемы.

Теорема 2.3.1. Пусть условия а) и б) выполняются для функций с приведёнными подстановками в (6) – (10), тогда для любого достаточно малого значения $h > 0$ имеет место оценка

$$\begin{cases} \|Y\|_{C(Q^h)} \leq M_1, \|Y\|_{W'_2(Q^h)} \leq M_2, \\ \|Y_{\bar{t}}\|_{L_2(Q^h)} \leq M_3, \|Y_t\|_{L_2(Q^h)} \leq M_4, \end{cases} \quad (12)$$

в которой $M_i = \text{const} > 0, i = \overline{1, 4}$.

В четвертом параграфе второй главы рассматривается устойчивое приближение решения краевой разностной задачи к решению дифференциальной задачи.

Теорема 2.4.1. «Если выполняются условия а) и б), приведённые в параграфе 2.2, то решение краевой дифференциальной задачи $V \in C^{4,2}(\bar{Q})$ при $\alpha \in \bar{A}$ может быть существовать и сходимость погрешности разностных уравнений к решению дифференциального уравнения представляется в следующем виде» [7, 1-A, 3-A]:

$$\psi = \begin{cases} O(\tau + h_1^2 + h_2^2), (x, r, t) \in Q^h, \\ O(\tau(h_1 + h_2) + h_1^2 + h_2^2), (x, r, t) \in \bar{Q}^h \setminus Q^h. \end{cases}$$

В пятом параграфе второй главы исследуется существование решения краевой разностной задачи.

Теорема 2.5.1. Предположим, что условия а) и б), приведённые в параграфе 2.2, выполняются. Тогда для единственности решения краевой задачи нелинейного разностного уравнения достаточно, чтобы $h = (h_1, h_2, \tau)$ и $\frac{\tau}{h_i} \rightarrow 0, \frac{\tau}{h_1 h_2} \rightarrow 0$ при $(h_1, h_2) \rightarrow 0, \tau \rightarrow 0$.

В шестом параграфе второй главы разработан численный алгоритм решения краевой задачи разностной схемы.

Выводы по второй главе приведены в седьмом параграфе.

В третьей главе диссертации рассмотрено математическое моделирование охраны биологических популяций экосистемы «Бешай палангон» (камышово-пустынная часть).

В первом параграфе рассмотрена общая задача охраны популяций и разработана математическая модель для неё. Для построения математической модели экологической системы «Бешай палангон» (камышово-пустынная часть) необходимо использовать гипотезу В. Волтера. На следующем шаге полученную систему дискретных уравнений разделим на Δt , затем при $\Delta t \rightarrow 0$

переходим к пределу, и в результате чего получим математическую модель хищника-жертва в виде квазилинейной системы дифференциальных уравнений первого порядка [7-А, 8-А]:

$$\begin{aligned}\frac{dN_1}{dt} &= \delta N_1 - \alpha N_1 N_2, \\ \frac{dN_2}{dt} &= -mN_2 + k\alpha N_1 N_2.\end{aligned}$$

Легко можно увидеть, что данную систему уравнений можно решить с помощью метода Эйлера. Для этого, используя аппроксимацию

$$\frac{dN_j}{dt} \Big|_{t=ih} \approx \frac{N_j(t_i + h) - N_j(t_i)}{h} = \frac{N_{ji+1} - N_{ji}}{h},$$

получаем следующие рекуррентные формулы:

$$\begin{aligned}N_{1i+1} &= h(\delta N_{1i} - \alpha N_{1i} N_{2i}) + N_{1i}, \\ N_{2i+1} &= h(-mN_{2i} + k\alpha N_{1i} N_{2i}) + N_{2i}.\end{aligned}$$

На основе приведённой выше системы дифференциальных уравнений первого порядка геометрически изображаем модель «хищник и его жертва».

Следует отметить, что общий вид исследуемых моделей следующий [6-А, 9-А]:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = \delta N_1 - \mu(N_1) \cdot N_2, \\ \frac{dN_2}{dt} = -mN_2 + k\mu(N_1) \cdot N_2, \end{cases}$$

где $\frac{d\mu}{dN} > 0$, $\mu(N) = \frac{\mu_0 \cdot N^p}{\mu_1 + N^p}$, $\mu(N_1)$ - трофическая функция и m -коэффициент естественной смертности.

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = \delta N_1 - \mu(N_1) \cdot N_2, \\ \frac{dN_2}{dt} = -mN_2 + k\mu(N_1) \cdot N_2, \end{cases}$$

где $\frac{d\mu}{dN} > 0$, $\mu(N) = \frac{\mu_0 \cdot N^p}{\mu_1 + N^p}$, $\mu(N_1)$ - трофическая функция и m -коэффициент естественной смертности.

Рассмотрим построение модели экологической системы, включающей три трофических уровня, в которую из внешней среды поступает ресурс N_0 с интенсивностью Q . В стационарном состоянии биомасса компонентов

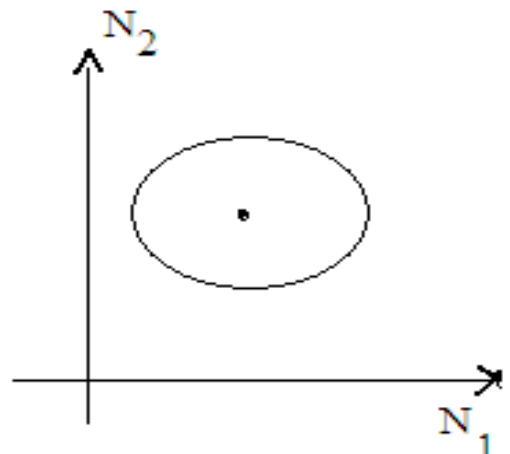


Рисунок 4. Геометрическое изображение модели «хищник и его жертва».

трёхтрофической системы N_i ($i = 1, 2, 3$) описывается уравнениями Вольтерры, где N_1 соответствует биомассе растений, N_2 – численности травоядных животных, а N_3 – численности хищников [12-А, 16-А, 20-А]:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - f_0(N_0)N_1 \\ \frac{dN_1}{dt} = N_1 f_1(N_0, N_1, N_2) \\ \frac{dN_2}{dt} = N_2 f_2(N_1, N_2, N_3) \\ \frac{dN_3}{dt} = N_3 f_3(N_2, N_3), \\ N_i(0) = N_i^0. \end{cases} \quad (13)$$

Продолжая процесс, для получения модели (13) составляем уравнения баланса для каждого трофического уровня на промежутке Δt , а затем устремляем длину этого промежутка к нулю. В результате чего получим

$$N_0(t + \Delta t) - N_0(t) = Q\Delta t - f_0(N_0)N_1 \cdot \Delta t.$$

В системе (13) должны выполняться следующие условия, выражающие взаимосвязь между популяциями:

$$\frac{\partial f_i}{\partial N_i} = \begin{cases} \leq 0, i < j, i = 1, 2, 3, \\ = 0, i = j, i = 1, 2, 3, \\ \geq 0, i > j. \end{cases}$$

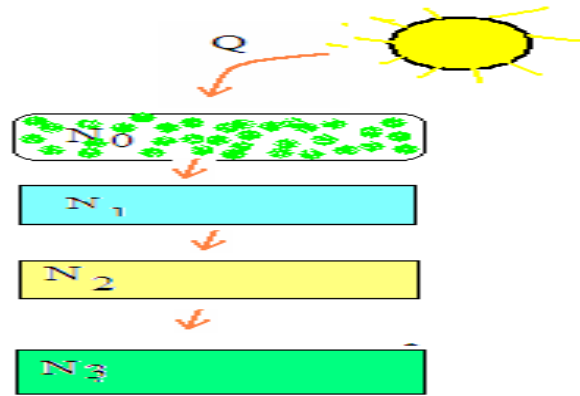


Рисунок 5. Изображение модели экологической системы, состоящей из трёх трофических уровней.

Задачи сохранения популяций в стационарном состоянии исследованы во **втором параграфе** данной главы. Теперь рассмотрим математическую модель некоторой экологической системы, состоящей из трёх трофических уровней, в которую из внешнего источника поступает N_0 со скоростью Q . В общем виде биомассу биологических видов на соответствующем трофическом уровне обозначим через N_i , $i = 1, 2, 3$ и будем считать необходимым, чтобы система находилась в состоянии удовлетворительного равновесия [6, 10-А]:

$$\begin{cases} Q + F_0(N_0, N_1) = 0, \\ N_1 \cdot F_1(N_0, N_1, N_2) = 0, \\ N_2 \cdot F_2(N_1, N_2, N_3) = 0, \\ N_3 \cdot F_3(N_2, N_3) = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Здесь $F_i = F_i(\cdot)$, $i = \overline{0, 3}$ – конкретная скорость i – го трофического уровня и

$$\frac{\partial F_i}{\partial N_i} \leq 0,$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial F_i}{\partial N_j} &\leq 0, \quad \text{при } i \leq j \\ \frac{\partial F_i}{\partial N_j} &\geq 0, \quad \text{при } i > j.\end{aligned}\tag{15}$$

Система (14) – (15) описывает динамику редких и исчезающих животных, а через N_i^τ обозначим их среднее значение на интервале τ .

$$N_i^\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau N_i(t) dt.$$

Теперь приступаем к задаче сохранения редких и исчезающих животных. Через $N_i^{\min}$ и $N_i^{\max}$ обозначим граничные значения численности редких и исчезающих животных i -го вида и считаем необходимым, чтобы выполнялось следующее условие:

$$N_i^{\min} \leq N_i^\tau \leq N_i^{\max}.\tag{16}$$

Рассмотрим ситуацию, когда в заповеднике участвуют все виды биологических организмов. Это означает, что их численность всегда положительна, то есть $N = (N_1, N_2, N_3) > 0$. В этом случае из системы (14) получаем [6-А, 7-А, 20-А]:

$$\begin{cases} Q - \alpha_0 N_0 N_1 = 0, \\ -m_1 + k_0 \alpha_0 N_0 - \alpha_1 N_2 = 0, \\ -m_2 + k_1 \alpha_1 N_1 - \alpha_2 N_3 = 0, \\ -m_3 + k_2 \alpha_2 N_2 - \varepsilon N_3 = 0. \end{cases}\tag{17}$$

Определение 3.2.1. Задача определения значений $N_i^{\min}$ и $N_i^{\max}$ из (16), удовлетворяющих неравенствам (14) и (16), формулируется как задача сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения животных i -го вида в экологической системе в стационарном режиме.

Третий параграф посвящён изучению задач сохранения популяций в нестационарных режимах. Теперь рассмотрим следующую модель экологической системы [6, 6-А]:

$$\begin{cases} \dot{N}_0 = Q + F_0(N_0, N_1), \\ \dot{N}_1 = N_1 \cdot F_1(N_0, N_1, N_2), \\ \dot{N}_2 = N_2 \cdot F_2(N_1, N_2, N_3), \\ \dot{N}_3 = N_3 \cdot F_3(N_2, N_3), \end{cases}\tag{18}$$

В полученной модели (18) взаимодействие между видами заповедника подчинено закону Вольтерры, а функция $F_i(\cdot)$ определяется следующими выражениями [6-А, 7-А, 20-А]:

$$\begin{aligned}F_0 &= -\alpha_0 N_0 N_1, \quad F_1 = k_0 \alpha_0 N_0 - \alpha_1 N_2 - m_1, \\ F_2 &= k_1 \alpha_1 N_1 - \alpha_2 N_3 - m_2, \quad F_3 = k_2 \alpha_2 N_2 - \varepsilon N_3 - m_3.\end{aligned}$$

Сформулируем необходимое и достаточное условие существования решения, описывающего сохранение редких и исчезающих животных видов. Далее введём определение понятия средней биомассы растений и средней численности видов как функций времени τ используя следующую формулу [12-А]:

$$N_i^\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau N_i(t) dt, \quad i = 1, 2, 3, \quad \tau > 0 \quad (19)$$

Теперь перейдём к рассмотрению задачи сохранения редких и исчезающих животных в нестационарных режимах. Обозначим через N_i^{min} и N_i^{max} граничные значения численности редких животных i -го вида и потребуем, чтобы выполнялось следующее условие [1-А, 6-А, 7-А, 10-А]:

$$N_i^{min} \leq N_i^\tau \leq N_i^{max}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (20)$$

Задача сохранения популяции i -го вида заключается в нахождении значений N_i^{min} и N_i^{max} , при которых выполняются условия (19) и для всех $j \neq i$ выполняется следующее неравенство:

$$N_i^{min} \leq N_i^\tau \leq N_i^{max}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (21)$$

В четвёртом параграфе третьей главы «исследуются необходимые и достаточные условия существования решения задачи сохранения изолированных популяций в общем случае. Пусть N_i^{min} и N_i^{max} – положительные числа, учитывающие вариацию численности определённой популяции животных в пределах допустимых границ, а функция $N = N(x, a, t)$ обозначает численность этой популяции в точке $x \in \bar{G}$, возраст которой равен a , $0 \leq a < \infty$, в момент времени t ($0 \leq t \leq t_k$).

Здесь $\bar{G} = G + S$, $G = \{(x_1, x_2): 0 < x_i < L_i, i = \overline{1, 2}\}$, а S – граница области G .

Предположим, что численность популяций удовлетворяет следующему уравнению» [1, 2, 1-А, 6-А, 7-А, 9-А]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial a} + \sum_{i=1}^2 V_i \frac{\partial N}{\partial x_i} = F_0(a)N + \sum_{i=1}^2 D_i \frac{\partial^2 N}{\partial x_i^2}, \quad (22)$$

$$x \in \bar{G}, \quad 0 < a < \infty, \quad 0 < t \leq t_k.$$

с начальными и граничными условиями

$$\begin{cases} N(x, a, 0) = N_0(x, a), & x \in \bar{G}, \quad 0 \leq a < \infty \\ N(x, 0, t) = \int_0^\infty B_0(\xi) N(x, \xi, t) d\xi, \\ \left. \frac{\partial N}{\partial x_i} - \alpha_i N \right|_{x_i=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial N}{\partial x_i} - \alpha_i N \right|_{x_i=L_i} = 0. \end{cases} \quad (23)$$

Здесь V_i и D_i – заданные положительные числа, $\alpha_i = V_i/(2D_i)$, $i = 1, 2$; N_0 , B_0 , F_0 – заданные количественные функции, которые соответственно отражают значения коэффициентов рождаемости и смертности.

Условие задачи. «Задача сохранения популяций заключается в нахождении таких условий, которые удовлетворяют следующему неравенству» [2, 6-A, 7-A]:

$$N^{min} \leq \tilde{N}(x, t) \leq N^{max}, x \in \bar{G}, \quad 0 < t \leq t_k \quad (24)$$

или

$$N^{min} \leq \int_G \tilde{N}(x, t) dx \leq N^{max}, \quad t > 0, \quad (25)$$

где

$$\tilde{N}(x, t) = \int_0^\infty P(a) N(x, a, t) da, \quad P(a) - \text{является весовой функцией.}$$

Иными словами:

$$P(a) \geq 0, \quad 0 \leq a < \infty, \quad \int_0^\infty P(a) da = 1.$$

Определение 3.4.1. Устойчивое состояние равновесия численности животных в экологической системе может иметь место, если существуют такие положительные значения численности животных N_i^{min} , N_i^{max} и весовая функция $P(a)$, при которых средняя численность популяций $\tilde{N}$ удовлетворяет условиям модели (24).

Доказана следующая

Теорема 3.4.1. Пусть существуют следующие частные производные:

$$\frac{\partial \tilde{N}_0}{\partial x_i}, \quad \frac{\partial^2 \tilde{N}_0}{\partial x_1 \partial x_2}, \quad i = 1, 2, \quad \text{где} \quad \tilde{N}_0(x) = \int_0^\infty P(\xi) N_0(x, \xi) d\xi.$$

Тогда для устойчивости популяции моделей (22) – (23) необходимо и достаточно, чтобы действительное максимальное значение корня уравнения

$$\int_0^\infty B_0(\xi) e^{\int_0^\xi F_0(\eta) d\eta - \delta \xi} d\xi = 1 \quad (26)$$

равнялось числу $\delta_0 = \sum_{i=1}^2 \frac{V_i^2}{4D_i}$, то есть $\delta^{max} = \delta^0$.

В пятом параграфе рассматривается задача сохранения редких видов биологической экосистемы заповедника с учётом возраста, состава популяции и пространственного распределения, которая описывается следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial a} + \sum_{i=1}^2 v_i \frac{\partial N}{\partial x_i} = F_0(a)N + \sum_{i=1}^2 D_i \frac{\partial^2 N}{\partial x_i^2}, \quad x \in \bar{G}, \quad 0 < a < \infty, \quad 0 < t \leq t_k \\ N(x, a, 0) = N_0(x, a), \quad x \in G, \quad 0 \leq a < \infty \\ N(x, 0, t) = \int_0^\infty B_0(\xi) N(x, \xi, t) d\xi, \quad x \in \bar{G}, \quad 0 \leq t < t_k \\ N|_S = 0, \end{array} \right. \quad (27)$$

где $N = (N_1, N_2, \dots, N_m)$, $\bar{G} = G + S$, $G = \{(x_1, x_2): 0 < x_i < L_i, i = 1, 2\}$ и S является границей области G .

Пусть N_i^{min} и N_i^{max} являются положительными векторами (некоторая часть компонентов этих векторов для некоторых видов задаются, а другая часть компонентов находятся после решения задачи). Требуется нахождение условий, которые будут обеспечивать для модельной экосистемы (21) выполнение следующих неравенств:

$$N^{min} \leq N(x, a, t) \leq N^{max}. \quad (28)$$

Доказана следующая

Теорема 3.5.1. Для выполнения неравенства (28) необходимо и достаточно, чтобы имели место условия

$$b_{ij}(a) > 0, \tilde{b}_{ij}(\delta) < \infty, \sum_{i=1}^m \overline{b}_{ij} = 1, h = 1,$$

а именно, чтобы значение 1 выступало в качестве наибольшего собственного значения общей матрицы выживаемости.

Шестой параграф посвящён задаче сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов экосистемы заповедника «Бешай палангон» с учётом возраста, состава популяции и пространственного распределения в нелинейных режимах.

В **седьмом параграфе** приведены выводы третьей главы.

В **четвёртой главе** рассматривается метод определения неизвестных коэффициентов математической модели динамики экосистемы заповедника, который состоит из четырёх параграфов. Анализ проводится на основе реальных данных биологического мониторинга, с учётом экологических особенностей региона, взаимодействий между видами и воздействия среды популяций. Коэффициенты, определяющие конкуренцию, рост и сокращение численности популяций, имеют особое значение для уточнения математической модели.

В **первом параграфе** разработан алгоритм определения значений неизвестных коэффициентов математической модели для заповедника «Бешай палангон».

Одновременно, во **втором параграфе** создан пакет прикладных программ программы на языке C++ Builder для определения коэффициентов матрицы заповедника.

Рабочая программа запускается при выполнении исполняемого файла **Coefficient.exe**, который находится по адресу D:\Папка\Coefficient.exe: [9-A, 13-A, 22-A].

Рисунок 6. – Общий вид экранной формы для ввода данных.

Далее приведены некоторые результаты проведённых вычислительных экспериментов в табличной и графической форме, примеры которых представлены ниже.

Матрица взаимодействия:

$$A = \begin{pmatrix} 0,0 & -0,1 & 0,0 & 0,0 \\ 0,09 & 0,0 & -0,6 & -0,01 \\ 0,0 & 0,3 & 0,0 & -0,9 \\ 0,0 & 0,001 & 0,5 & -0,23 \end{pmatrix}.$$

В этом эксперименте скорость поступления внешнего ресурса составляет $Q=1000$, а средние значения коэффициентов смертности равны $-0,1, 0,9, 0,8$. Численность животных травоядных, добываемых и хищников равна $12,0, 100, 2,0$ соответственно, а коэффициент влияния добычи на хищников равен $-0,7$. Можно предложить принять значение коэффициента добычи равным $-0,5$; в этом случае функция «влияние добычи» примет логистическую форму, а коэффициенты будут соответственно равны 8 и 2 .

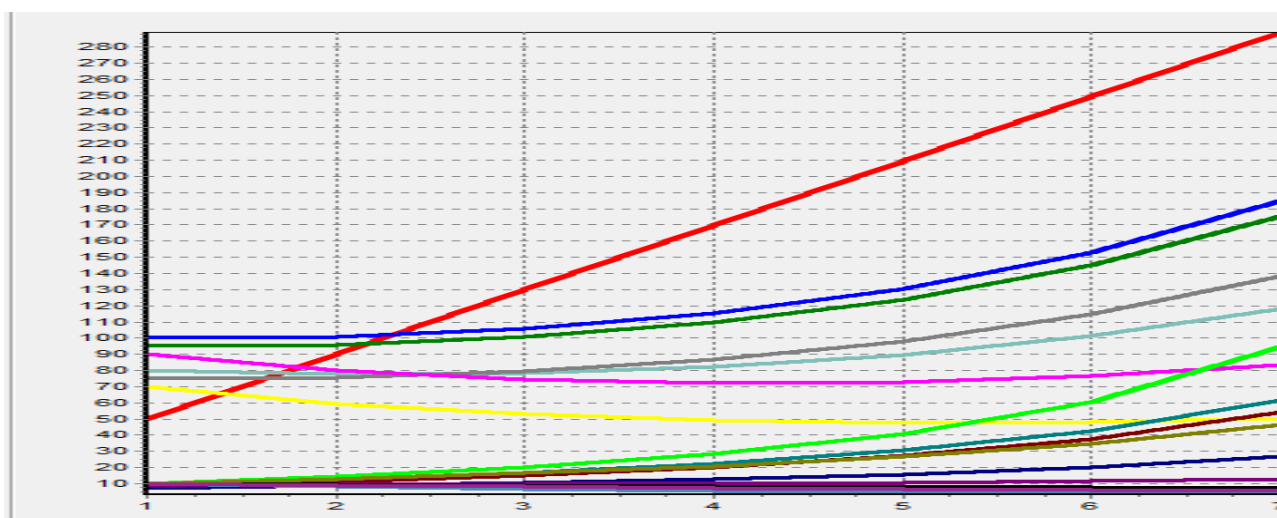


Рисунок 7. При $Gam1=0.02$, $gam2=2.3$, $K0=0.0003$, $N0=500$, $tau=0.01$, $h1=0.1$, $h2=0.1$, $p=1$, $q=5$.

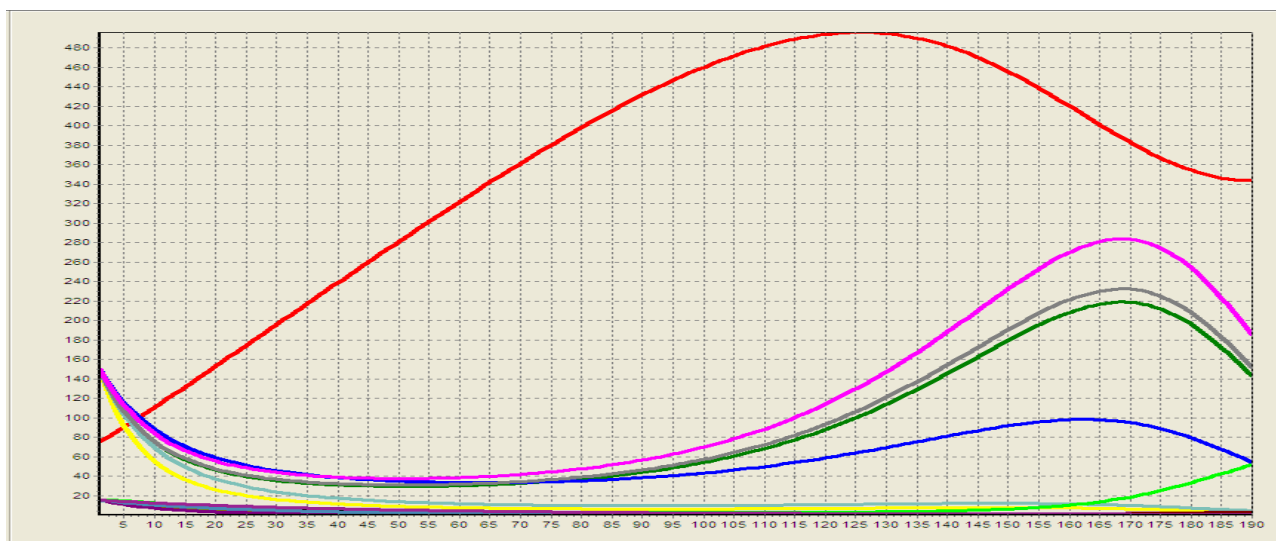


Рисунок 8. При $\text{Gam1}=0.01$, $\text{gam2}=1$, $K0=0.03$, $N0=500$, $\text{tau}=0.01$, $h1=0.1$, $h2=0.1$, $p=0.4$, $q=3$.

В третьем параграфе приведены выводы четвёртой главы.

Заключение

1. Основные научные результаты диссертации

На основе построенных математических моделей и разработанной по ним программы на C++ Builder, а также с учётом проведённых мероприятий по охране отдельных видов (исчезающих и находящихся под угрозой), следует необходимость решения двух типов задач: подготовительной и оптимизационной.

Подготовительная задача направлена на определение экстремальных значений численности популяций, входящих в экосистему заповедника. Если условия для её решения не выполняются, возникает необходимость постановки оптимизационной задачи, то есть требуется определить оптимальные параметры «охоты» хищников (или их жертв).

Перечисленные выше условия выполняются в случае, когда численность охраняемых животных (исчезающих и находящихся под угрозой) не имеет ярко выраженной территориальной привязки. Тогда решаются задачи оптимизации «охоты» либо задачи по оптимальному увеличению численности ценных видов.

Анализ полученных результатов позволяет сделать ряд методологических выводов, которые могут иметь значение при проектировании заповедников и организации охраны редких видов в заповедниках и заказниках. Эти выводы дают возможность на первом этапе активизировать методы биологического регулирования и организовать введение новых видов. Такие способы значительно имеют влияние на всю структуру экологической системы.

В основном упорядочение численности плотоядные проявляется на положение экосистемы, тем не менее экстремальное уменьшение их численности может повлечь к снижению популяций регулируемой ими конкурентами.

Очевидно, что убывание числа хищников часто порождает увеличение численности определенных видов травоядных животных.

Исходя из научных выводов требуется сформировать меры таким образом, чтобы в результате преобразований строения экологической системы её характерные особенности с позиции устойчивости и качественной устойчивости сохранялись на основе матрицы взаимного воздействия.

Научные достижения и исследовательские выводы научной работы могут иметь место при проектировании стратегий по повышению качества экологической системы.

Тем не менее требуется принимать во внимание, что некоторые биологические виды экологической системы включены к «ценным», и необходимо содействовать их численность на конкретном уровне в определенных пространствах.

Предположим, что численность подобного рода видов удовлетворяет требуемым стандартам, их защита осуществляется естественным образом. При условии отступлений от стандарта применяются методы оптимизации, способствующие восстановить нарушенные требования.

Применение теоретических и практических результатов носит универсальный характер и позволяет значительно упростить и ускорить разработку и проектирование конкретных экологических систем.

Таким образом, основные результаты работы можно кратко изложить следующим образом:

- Построенные концептуальные модели (рисунок 1), основанные на видах с длительным жизненным циклом заповедника «Бешай палангон», позволили на основе критериев устойчивости и качественной устойчивости определить устойчивые и неустойчивые структуры заповедника по методам Джеффриса и Роберта Мэя. При этом неустойчивые структуры были регуляризованы с помощью регуляризованных моделей [1-А, 6-А];

- Математическая задача сохранения редких и исчезающих видов в пределах экосистем в стационарном и нестационарном режимах, в зависимости от возрастного-пространственного распределения, была разработана и обоснована. Математические модели и на их основе компьютерные обзоры могут быть использованы для изучения, прогнозирования и управления динамикой региональных экологических систем [4-А, 5-А, 7-А];

- Были определены способы нахождения коэффициентов матрицы взаимосвязей экологической системы заповедника «Бешай палангон», в частности в камышово-пустынной части, при наличии напряжённых трофических связей [3-А, 8-А];

- В среде C++ разработан комплекс прикладных программ, проведён ряд экспериментов с конкретными экосистемами. Получены численные решения задачи сохранения редких видов в деятельности заповедника в различных режимах [9-А, 12-А].

2. Рекомендации по практическому применения показателей диссертации

1. Результаты исследования могут быть использованы при разработке математических и компьютерных моделей региональных экосистем, а также автоматизированных систем принятия решений в управлении природными ресурсами;

2. Предложенные модели рекомендуется применять для анализа, прогнозирования и мониторинга состояния экосистем в условиях изменения климата и воздействия антропогенных факторов;

3. Результаты исследования могут быть использованы в деятельности заповедников, заказников, водохранилищ и других природных объектов для контроля и сохранения редких и исчезающих видов;

4. Разработанные алгоритмы и программные средства могут найти применение при создании автоматизированных систем управления экосистемами и поддержки принятия обоснованных решений;

5. Полученные результаты могут быть использованы в научно-исследовательских учреждениях и высших учебных заведениях при проведении дальнейших исследований и подготовке специалистов в области математического моделирования и экологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Одинаева, С.А. Математическое моделирование оценки численности хищников в экосистемах горных заповедников: на примере заповедника «Дашти-Джум»: диссертация кандидата физико-математических наук: 14.11.2012 / Одинаева С.А. – Душанбе, 2012. – 105 с.
2. Мирзоев, С.Х. Математическое моделирование динамики экосистемы горного заповедника: На примере заповедника «Дашти-Джум»: диссертация кандидата физико-математических наук: 27.12.2002 / С.Х. Мирзоев – Душанбе, 2002. – 93 с.
3. Одинаева С.А. Математическое моделирование оценки численности хищников в экосистемах горных заповедников: на примере заповедника «Дашти-Джум»: автореф. диссертация кандидата физико-математических наук: 14.11.2012 / С.А. Одинаева – Душанбе, 2012. – 25 с.
4. Одинаева, С.А. Математические модели оценки численности хищников экосистем (на примере заповедника «Дашти-Джум») / С.А. Одинаева // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе 2011. – № 1 (65). – С. 7-19.
5. Одинаев, Р.Н. Исследование математической модели задачи защиты растений. [Текст] / Р.Н. Одинаев, М. Юнуси. / Монография. – Душанбе: Издательство ООО «Сармад-Компания», 2013. – 110 с.
6. Махмадалиев Х.С. Исследование математических моделей защиты фруктовых деревьев в садовых экосистемах: автореф. диссертация кандидата физико-математических наук: 10.06.2021 / Х.С. Махмадалиев – Душанбе, 2021. – 64 с.
7. Азимов, С.Д. Численные расчёты региональных заповедников / С. Одинаева, С. Азимов // Вестник Таджикского национального университета (научный журнал). – Душанбе, 2015. – №1/3(134). С. 33.
8. Указ Президента Республики Таджикистан Об объявлении 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования». – Душанбе, 2020. – №1445.

ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ

а) Статьи, опубликованные в рецензируемых изданиях КОА при Президенте Республики Таджикистан:

[1-А] Гулов, С.Ҳ. Амсилаи математикии ҳифзи популятсияи биологӣ бо истифодаи схемаи фарқӣ барои экосистемаи қамишию биёбонии «Бешаи палангон» [Матн] / С.Ҳ. Гулов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – Душанбе, 2023. – №1. – С. 57-68. – EDN XSICUQ.

[2-А] Гулов, С.Ҳ. Усули танзими сохторҳои биологии ноустувори мамнуъгоҳи «Бешаи палангон» [Матн] / С.Ҳ. Гулов, С.Ҳ. Мирзоев, С.О. Одиназода // Вестник Бохтарского государственного университета имени

Носира Хусрава. Серия естественных наук. Душанбе, 2022. – №2-3(102). – С. 21-26. – EDN DNTZOJ.

[3-A] Гулов, С.Х. Асоскунии усули омехтаи фарқӣ барои муайянкунии шумораи популятсии моделӣ бо назардошти вақт, синну сол ва мақеи географӣ дар асоси схемаҳои фарқии локалии якченака ва равишҳои тағйирёбанда [Матн] / М.Қ. Юнусӣ, С. Азимов, С.Х. Гулов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – Душанбе, 2020. – №3. – С. 105-113. – EDN XLRQHB.

[4-A] Гулов, С.Х. Исследование идентичности структур максимально агрегированных систем региональных заповедников РТ на основе качественной устойчивости (на примере заповедников «Тигровая балка» и «Дашти-Джум») [Текст] / С. Одинаева, С.Х. Гулов, С. Азимов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2016. – №1-1(192). – С. 35-40. – EDN VZSZVT.

[5-A] Гулов, С.Х. Некоторые вопросы идентичности экосистем региональных заповедников РТ на основе теории графов и качественной устойчивости (на примере экосистем «Дашти Джум», тигровой балки) [Текст] / С.Х. Гулов, С. Азимов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2016. – №1-2(196). – С. 17-22. – EDN WROVMN.

[6-A] Гулов, С.Х. Математические модели оценки численности хищников экосистем региональных заповедников Республики Таджикистан [Текст] / М.К. Юнуси, С.А. Одинаева, Х.С. Махмадалиев, С.Х. Гулов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – Бохтар, 2016. – №2-2(38). – С. 34-52. – EDN ZHDLHL.

[7-A] Гулов, С.Х. О численных расчетах численности биологических популяций заповедника «тигровая балка» [Текст] / М.К. Юнуси, С.Х. Гулов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2015. – №1-2. – С. 42-48. – EDN UVFPHL.

[8-A] Гулов, С.Х. О качественной устойчивости экологических систем «Тигровая балка» [Текст] / М.К. Юнуси, С.Х. Гулов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанб, 2014. – №1-2(130). – С. 51-58. – EDN VBXTNN.

[9-A] Гулов, С.Х. Алгоритми муайян кардани коэффитсентҳои амсилаи математикии «Бешаи Палангон» [Текст] / С.Х. Гулов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. Часть 2. – Бохтар, 2025. – №2/4(129). – С. 16-22.

б) Статьи, опубликованные в других изданиях:

[10-A] Гулов, С.Х. Концептуальная модель редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных заповедников Республики Таджикистан [Текст] / С.А. Одиназова, С.Х. Мирзоев, С.Х. Гулов / Сборник научных статей, посвящённый 125-летию доктора биологических наук Ивана Николаевича Серганина. ГрГУ им. Янки Купалы. – Минск, 2023. – С. 207-209.

[11-А] Гулов, С.Х. Усули муназзамсозии мамнӯъгоҳи «Бешаи Палангон» [Матн] / С.Х. Гулов, М.Т. Гулова / Маводи конференсияи илмӣ-амалии байналмиллалӣ дар мавзӯи «Таҳлили комплексӣ ва тадқиқҳои он» бахшида ба «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф», 75-солагии корманди шоистаи Тоҷикистон, узви вобастаи АМИТ, доктори илмҳои физикаю математика, профессор И.К. Курбонов ва 70-солагии д.и.ф.-м, профессор Ҷ.С. Сафаров. – Бохтар, 2022. – С. 37-39.

[12-А] Гулов, С.Х. О применении метода интегральных тождеств по части переменных к задаче сильно анизотропного взрыва типа II [Текст] / С.Х. Гулов, М.К. Юнуси, Х.С. Махмадалиев / Материал республиканской научно-теоретической конференции посвященный 80-летию профессора Н. Исмат и 20-летию развития естественных точных математических наук. – Душанбе, 2020. – С. 106-111.

[13-А] Гулов, С.Х. Компьютерные эксперименты для идентичных экосистем «Дашти Джум» и «Тигровой Балки» [Текст] / С. Азимов, С.Х. Гулов, С. Одинаева, М.К. Юнуси, / Материалы IX – международной научно – теоретической конференции, посвященной 70-летию образования Таджикского национального университета и 70-летию доктора физико-математических наук, профессора Юнуси Махмадҷусуф Камарзода (27-28 декабр). – Душанбе, 2018. – С. 35-42.

[14-А] Гулов, С.Х. Метод регуляризации неустойчивых структур сообществ экосистем региональных заповедников Республики Таджикистан описываемыми дифференциальными уравнениями в частных производных [Текст] / С. Азимов, С.Х. Гулов, М.К. Юнуси / Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Неклассические уравнения математической физики и смежные вопросы анализа» (02 апреля). Душанбе, 2016. – С. 8-9.

[15-А] Гулов, С.Х. О методе регуляризации неустойчивых структур сообществ экосистем региональных заповедников Республики Таджикистан [Текст] / М.К. Юнуси, С. Азимов, С.Х. Гулов / Материалы Республиканской научно-практической конференции «Проблемы металлургии Таджикистана и пути их решения» (29-30 апреля). – Душанбе, 2016. – С. 221-222.

[16-А] Гулов, С.Х. Концептуальное исследование заповедников «Дашти Джум» и «Тигровая Балка» на идентичность по стабильности [Текст] / С. Азимов, С.Х. Гулов, М.К. Юнуси, / Материалы республиканской научно-теоретической конференции на тему «Развитие науки и образования в современное время», посвященной 25-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан и 50-летию педагогической деятельности доктора педагогических наук, профессора С.Х. Холназаров (21-22 октября). – Курган-түбе, 2016. – С. 258-260.

[17-А] Гулов, С.Х. Анализ региональных экосистем на устойчивость с помощью характеристического уравнения Юнуси [Текст] / С. Азимов, С.Х. Гулов, С. Одинаева / 10-ая международная конференция по компьютерному

анализу проблем науки и технологии (30-31 декабрь). – Душанбе, 2015. – С. 21-24.

[18-А] Гулов, С.Х. Задача защиты растений в виде задачи Юнуса с учетом возрастнo-пространственных распределений [Текст] / Ф. Рахимзода, С.Х. Гулов, Х. Махмадалиев / 10-ая международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии (30-31 декабрь). – Душанбе, 2015. – С. 24-25.

[19-А] Гулов, С.Х. ЗОГ-ы региональных экосистем Республики Таджикистан по Юнуси [Текст] / С. Азимов, С. Одинаева, С.Х. Гулов, / 10-ая международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии (30-31 декабрь). – Душанбе, 2015. – С. 28-30.

[20-А] Гулов, С.Х. Математическая модель охраны редкого вида типа модели Юнуса с учетом возрастного состава и пространственного распределения (на примере региональных заповедников Республики Таджикистан) [Текст] / С. Одинаева, А. Одинаев, С.Х. Гулов, Ч. Ганиев / 10-ая международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии (30-31 декабрь). – Душанбе, 2015. – С. 76-81.

[21-А] Гулов, С.Х. Об одном методе регуляризации ачественно неустойчивых структур региональных заповедников [Текст] / С.Х. Гулов, М.К. Юнуси / Материалы научно-теоретической конференции «Роль Кулябского государственного университета имени Абуабдуллаха Рудаки в подготовке специалистов», посвященной 70-летию университета (17-18 апрель). – Кулоб, 2014. – С. 275-277.

[22-А] Гулов, С. Х. Технология разработки компьютерного инструментария по прогнозированию и управлению динамики типовых региональных экосистем (на примере заповедника Тигровая Балка) / Мирзоев С.Х., Гулов С.Х. // Материалы международной научно-практической конференции на тему «современные проблемы математики и ее преподавания», посвященной «двадцатилетию изучения и развитию естественно-математических и точных дисциплин в сферах науки и образования» (2020-2040 годы) и 35-летию государственной независимости Геспублики Таджикистан (часть 2), Бохтар, 2025.— С.45-48.

Свидетельство о государственной регистрации компьютерной программы для ЭВМ:

[23-А] Гулов, С.Х. Объектно–ориентированный программный комплекс «Математическое моделирование динамики экосистемы заповедника «Тигровая балка» (для камышовых и пустынных территорий)» Гулов С.Х. // Вазорати Рушди иқтисод ва савдои Ҷумҳурии Тоҷикистон, № 3272600578–06.05.2026.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Ҳасанзода Самандар Ҳасан дар мавзуи «Амсиласозии математикии динамикаи экосистемаи мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» (барои қисмати қамишию биёбонӣ)» барои дарёфти дараҷаи илмии номзоди илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси

1.1.10. Моделсозии математикӣ, методҳои ададӣ ва мучтамаи барномаҳо

Калимаҳои калидӣ: амсиласозӣ, амсилаи математикӣ, алгоритм, барнома, компютер, афзор, популятсия, синну сол, фазо, иқтидор, миқдор, массаи биологӣ, экосистемаи минтақавӣ, динамика, устуворӣ, мамнӯъгоҳ, растанӣ, ҳайвон, идентификация, верификация, озмоиш, сценария.

Ҳадафи таҳқиқот сохтани амсилаи математикӣ ва компютерӣ барои таҳқиқ ва пешгӯии динамикаи популятсияҳо, идоракунии нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда ва барои болобарии самаранокии экосистемаҳои минтақавии дар мисоли экосистемаи «Бешаи палангон» (барои қисмати қамишию биёбонӣ) мебошад.

Объекти таҳқиқот: системаи экологии мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ)-и вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Мавзуи таҳқиқот – таҳия ва таҳқиқи амсилаҳои математикӣ барои асоснок кардани масъалаҳои фарқӣ ва сохтани алгоритм бо дарназардошти синну сол ва тақсими фазоӣ оид ба ҳифз ва нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи системаи экологии «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ)-и вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Усулҳои таҳқиқот: Барои ноил шудан ба ҳадафи таҳқиқот аз муосиртарин назарияи муодилаҳои дифференциалӣ, сифатан устувор, амсиласозии математикӣ, барномасозии объектгаро, технологияҳои иттилоотӣ ва усулҳои ададӣ, мавриди истифода қарор гирифтаанд.

Навгонии илмӣ натиҷаҳои таҳқиқоти диссертатсия иборат аст аз:

– таҳияи назарияи амсиласозии математикӣ бо истифода аз назарияи устуворӣ ва сифатан устувории экосистемаҳои монанд ва муодилаҳои интегралӣ дифференциалӣ бо ҳосилаҳои хусусӣ ва тартиб додани алгоритмҳои мушаххас барои ҳалли масъалаи ҳифз ва нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи мамнӯъгоҳи «Бешаи Палангон»;

– таҳияи амсилаи математикии идоракунии оптималии динамикаи системаи экологии «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ) бо мақсади масъалаи ҳифз ва нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда;

– муайян намудани миқдори зарурии захираҳои воридшаванда барои муайян кардани кофӣ будани суботу устуворӣ, дар синфи функцияҳои бо квадрат ҳамгироишаванда баҳо дода шуда, тартиби муодилаҳои интегро-дифференциалӣ мутобиқ ба параметрҳои фазоӣ бо мақсади ҳалли масъалаи ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшаванда паст карда шудаанд;

– барои ҳалли масъалаи мушаххаси ҳифзу нигоҳдории навъҳои нодир ва нестшавандаи мамнӯъгоҳи «Бешаи палангон» (қисмати қамишию биёбонӣ)-и вилояти Хатлони Ҷумҳурии Тоҷикистон афзори компютерӣ пешниҳод ва озмоишҳои компютерӣ гузаронида шудаанд.

Дараҷаи татбиқ: натиҷаҳои таҳқиқот дар Институти зоология ва паразитологияи АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон, Муассисаи давлатии «Худудҳои табиӣ махсусҳифзшавандаи назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон» татбиқ гардида, аз рӯи онҳо дар Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав, Донишгоҳи миллии Тоҷикистон ва Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ ба донишҷӯён курсҳои махсус хонда мешавад.

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

АННОТАЦИЯ

диссертации Хасанзода Самандар Хасан на тему «Математическое моделирование динамики экосистемы заповедника «Бешай палангон» (камышово-пустынная часть)» на саискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.10. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Ключевые слова: моделирование, математическая модель, алгоритм, программа, компьютер, инструмент, популяция, возраст, пространство, потенциал, количество, биомасса, региональная экосистема, динамика, устойчивость, заповедник, растения, животные, идентификация, верификация, эксперимент, сценарий.

Цель исследования. Создание математической и компьютерной модели для изучения и прогнозирования динамики популяций, управления и сохранения редких и исчезающих видов, а также повышения эффективности региональных экосистем на примере экосистемы заповедника «Бешай палангон» (камышово-пустынная часть).

Объект исследования. Экологическая система заповедника «Бешай палангон» (камышово-пустынная часть) Хатлонской области Республики Таджикистан.

Предмет исследования. Разработка и исследование математических моделей для обоснования разностных задач и построения алгоритмов с учётом возраста и пространственного распределения, касающихся охраны и сохранения редких и исчезающих видов экосистемы «Бешай палангон» (камышово-пустынной части) Хатлонской области Республики Таджикистан.

Методы исследования. Для достижения цели исследования применялись современные теории дифференциальных уравнений, качественной устойчивости, математического моделирования, объектно-ориентированного программирования, информационные технологии и численные методы.

Научная новизна результатов диссертационного исследования состоит в следующем:

- разработка теории математического моделирования на основе теории устойчивости экосистем и интегрально-дифференциальных уравнений с частными производными, создание конкретных алгоритмов для решения задач охраны и сохранения редких и исчезающих видов заповедника «Бешай палангон»;
- разработка математической модели оптимального управления динамикой экосистемы «Бешай палангон» (камышово-пустынной части) с целью задачи охраны и сохранения редких и исчезающих видов;
- определение необходимого количества вводимых ресурсов для оценки достаточности стабильности и устойчивости в классе функций суммируемым с квадратом, а также приведение системы интегро-дифференциальных уравнений в соответствие с пространственными параметрами с целью решения задачи охраны и сохранения редких и исчезающих видов;
- для решения конкретной задачи охраны и сохранения редких и исчезающих видов заповедника «Бешай палангон» (камышово-пустынная часть) Хатлонской области Республики Таджикистан предложено программное обеспечение и проведены компьютерные эксперименты.

Степень внедрения. Результаты исследования внедрены в Институте зоологии и паразитологии НАНТ, Государственном учреждении «Особо охраняемые природные территории при Правительстве РТ». По результатам диссертации читаются специальные курсы для студентов в Бохтарском государственном университете имени Н. Хусрава, Таджикском национальном университете и Международном университете туризма и предпринимательства.

Сфера применения. Проектирование, моделирование, принятие управленческих решений, научные исследования, вычислительные задачи, диагностика и образование.

ANNOTATION

of the dissertation by Hasanzoda Samandar Hasan entitled «Mathematical Modeling of the Dynamics of the Ecosystem of the «Beshai Palangon» Nature Reserve (Reed–Desert Part)» submitted for the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences in the specialty

1.1.10. Mathematical Modeling, Numerical Methods, and Software Systems

Key words: modeling, mathematical model, algorithm, program, computer, tool, population, age, space, potential, quantity, biomass, regional ecosystem, dynamics, stability, nature reserve, plants, animals, identification, verification, experiment, scenario.

Purpose of the study. To develop mathematical and computer models for studying and forecasting population dynamics, managing and conserving rare and endangered species, and improving the efficiency of regional ecosystems, using the ecosystem of the «Beshai Palangon» Nature Reserve (reed–desert part) as a case study.

Object of the study. The ecological system of the «Beshai Palangon» Nature Reserve (reed–desert part) of the Khatlon Region of the Republic of Tajikistan.

Subject of the study. The development and investigation of mathematical models for substantiating difference problems and constructing algorithms that take into account age structure and spatial distribution, related to the protection and conservation of rare and endangered species of the ecosystem of the «Beshai Palangon» Nature Reserve (reed–desert part) of the Khatlon Region of the Republic of Tajikistan.

Research methods. To achieve the objectives of the study, modern theories of differential equations, qualitative stability theory, mathematical modeling, object-oriented programming, information technologies, and numerical methods were employed.

Scientific novelty of the dissertation results consists in the following:

- development of a theory of mathematical modeling based on ecosystem stability theory and integro-differential equations with partial derivatives, as well as the creation of specific algorithms for solving problems of protection and conservation of rare and endangered species of the «Beshai Palangon» Nature Reserve;
- development of a mathematical model for optimal control of the dynamics of the ecosystem of the «Beshai Palangon» Nature Reserve (reed–desert part) aimed at solving problems of protection and conservation of rare and endangered species;
- determination of the required amount of introduced resources to assess the sufficiency of stability and sustainability in the class of square-integrable functions, as well as adapting the system of integro-differential equations to spatial parameters in order to solve problems of protection and conservation of rare and endangered species;
- proposal of software tools and implementation of computer experiments to solve specific problems of protection and conservation of rare and endangered species of the «Beshai Palangon» Nature Reserve (reed–desert part) of the Khatlon Region of the Republic of Tajikistan.

Degree of implementation. The research results have been implemented at the Institute of Zoology and Parasitology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, as well as at the State Institution «Specially Protected Natural Areas under the Government of the Republic of Tajikistan». Based on the dissertation results, specialized courses are taught to students at Bokhtar State University named after N. Khusrav, Tajik National University, and the International University of Tourism and Entrepreneurship.

Field of application. Design, modeling, managerial decision-making, scientific research, computational tasks, diagnostics, and education.