

АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
ИНСТИТУТИ МАСЪАЛАҲОИ ОБ, ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ВА ЭКОЛОГИЯ

ВБД: 621.311.21:626/627:519.87 (575.3)

Ба ҳукуқи дастнавис



РАҲМОНОВ Шарифхуча Сайвалиевич
СЕНАРИЯҲОИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИИ ОПТИМИЗАТСИЯИ
ТАВОЗУНИ ЗАХИРАҲОИ ЭНЕРГЕТИКӢ ВА МОДЕЛСОЗИИ
ФАӮОЛИЯТИ ИНШООТҲОИ ГИДРОТЕХНИКИИ ҲАВЗАИ ДАРӢИ
ВАХШ

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии доктори фалсафа (PhD) - доктор аз
рӯйи ихтисоси 6D074400-Сохтмони гидротехникӣ ва иншоот (6D074401-
Сохтмони гидротехникӣ)

Душанбе – 2026

Диссертатсия дар озмоишгоҳи иншооти гидротехникии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ

Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучаббор
доктори илмҳои техникӣ, директори
Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика
ва экологияи Академияи миллии илмҳои
Тоҷикистон

Муқарризи расмӣ

Саидзода Ҷамшед Ҳамроҳ
доктори илмҳои техникӣ, и.в. профессори
кафедари “Масолеҳҳо, технология ва
ташкилии сохтмон”-и Донишгоҳи техникӣ
Тоҷикистон ба номи академик М. С. Осимӣ

Зувайдов Маҳмадулло Маҳмасолиевич
номзади илмҳои техникӣ, мудири кафедраи
“Сохтмон”-и Донишгоҳи давлатии Бохтар
ба номи Носири Хусрав

Муассисаи пешбар

Донишгоҳи давлатии Данғара

Ҳимояи диссертатсия санаи 16 сентябри соли 2026 соати 09:00 дар ҷаласаи шурои диссертатсионии 6D.KOA-059 назди Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон дар суроғай 734025, ш.Душанбе, кӯч. Бофанда, 5/2 баргузор мегардад.

Бо диссертатсия дар китобхонаи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ва дар сомонаи www.imoge.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «_____» _____ соли 2026 фиристода шудааст.

Котиби илмӣ
шурои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техникӣ



Шаймурадов Ф. И.

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзуи таҳқиқот. Муҳимияти мавзуи таҳқиқот дар он ифода меёбад, ки электроэнергетика дар шароити муосири ҷаҳонӣ яке аз омилҳои бунёдӣ ва муайянкунандаи рушди устувори иҷтимоию иқтисодии давлатҳо мебошад. Афзоиши талабот ба энергия, гармшавии глобалӣ, зарурати коҳиш додани партовҳои газҳои гулхонаӣ ва гузариш ба иқтисодиёти камкарбон, ҳамчунин рушди босуръати технологияҳои рақамӣ ва манбаҳои таҷдидшавандаи энергия (аз қабилӣ офтобӣ ва бодӣ) шароити нави стратегӣ барои бахши энергетикаи кишварҳо эҷод менамояд.

Захираҳои бузурги гидроэнергетикӣи Ҷумҳурии Тоҷикистон имкон медиҳанд, ки кишвар ба самти таъмини амнияти энергетикӣ, баланд бардоштани устувори таъминот ва ҷалби сармоягузориҳои дохилӣ ва байналмилалӣ қадамҳои устувор роҳандозӣ намояд. Ворид намудани таҷҳизотҳои муосири захиракунандаи қувваи барқ, баланд бардоштани самаранокии фаъолияти неругоҳи барқии обӣ (НБО) ва ҳамгироии манбаҳои барқароршавандаи энергия (МБЭ) ҳамчун омилҳои таъсиргузор дар камшавии газҳои гулхонагӣ, мустаҳкамсозии устуворӣ ва эътимоднокии низоми энергетикӣ, инчунин баланд бардоштани мавқеи рақобатпазирии кишвар дар бозори ҷаҳонии энергетика арзёбӣ мегарданд.

Ҳамчунин, ҷорӣ намудани низоми устувор ва кам кардани газҳои гулхонагӣ дар соҳаи энергетика, риояи ҳифзи муҳити зист, барои густариш додани лоиҳаҳои «сабз», баланд бардоштани самаранокии истифодаи энергия ва пешбурди технологияҳои камкарбон нақши ҳалкунанда мебошад. Ба ин маънӣ, омӯзиши захираҳои гидроэнергетикӣ, таҳлили имкониятҳои истеҳсол ва тақсимои неруи барқ, инчунин пешгӯиҳои тағйирёбии иқлим барои қабули қарорҳои стратегӣ ва барномарезии устувори бахши энергетика аҳамияти илмӣ ва амалӣ доранд.

Бо ин тавзеҳ, мавзуи таҳқиқот – беҳтар кардани роҳҳои истифода ва оптимизатсияи захираҳои гидроэнергетикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ва дурнамои рушди устувори онҳо – на танҳо ба таҳкими амнияти энергетикӣ ва рушди иқтисодӣ таъсир мерасонад, балки ба таҳияи стратегияи миллии истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ ва мутобиқшавӣ ба иқлим мусоидат мекунад.

Захираҳои ангишт ва гидроэнергетикӣ имкон медиҳанд, ки талаботи дохилӣ ба энергия таъмин шуда, ҳамзамон диверсификатсияи манбаҳои энергетикӣ таъмин гардад. Бо дарназардошти афзоиши талабот ва маҳдудиятҳои захираҳои нафт ва газ, таҳқиқот ба омӯзиши роҳҳои оптималии истифодаи ангишт ва дигар манбаҳои равона шудааст, ки метавонад рушди саноати энергетикӣ, истеҳсолоти кимиёвӣ ва металлургиро дастгирӣ намуда, таъсири мусбӣ ба маҷмуи маҳсулоти дохилӣ (ММД) ва сатҳи зиндагии аҳолиро дошта бошад.

Кори диссертатсионӣ самаранокии энергетикӣи дарёҳои бузурги Тоҷикистонро бо истифода аз қудрати хоси ҷараёни об таҳлил намуда, китъаҳои афзалиятноки сохтмони неругоҳҳои барқӣ обиро муайян ва заминаи илмӣ

банақшагирии рушди саноат ва таъмини амнияти энергетикиро фароҳам месозад. Ҳамзамон, истифодаи моделҳои Snowmelt Runoff Model (SRM) ва Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) барои арзёбии таъсири тағйирёбии иқлим, эрозияи хок ва таҳшиншавӣ ба устувории низоми гидроэнергетикӣ ба таҳқиқот самаранокии воқеии захираҳои об ва хатарҳои экологиро инъикос мекунад. Ин омезиши таҳлилҳои энергетикӣ ва экологӣ заминаи илмӣ барои қабули қарорҳои стратегӣ дар рушди устувори каскадии гидроэнергетика ва оптимизатсияи хароҷот ва иқтисоди неругоҳҳо фароҳам меорад.

Дарачаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ. Омӯзиши фароҳии масъалаҳои мубрам вобаста ба рушди энергетика охири асри XX ва аввали асри XXI оғоз шудааст. Оид ба омӯзиши гидроэнергетика, марказҳои барқу гармидиҳӣ ва манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар таҳқиқотҳои олимони Салигин В. [1], Шветс Н. [2], Wegerich К. [3] Kosowska К. [4], Каримов К. [5], Секретарев Ю. [6], Азимов У. [7], Иванов А. [8] ва Ахророва А. [9] баррасӣ шудаанд. Дурнамои рушди низомҳои савдои квотаҳо барои партовҳои газҳои гулхонаӣ дар таҳқиқотҳои Корытцев М. [10], Мудрецов А. [11], Zhang Z. [12] ва Voemare С. [13] таҳлил гардидаанд. Таҳлили дурнамои истифодаи технологияҳои захиракунии саноатии неруи барқ дар асарҳои Калимуллин Л. [14], Усачева И. [15], Habib А. [16] ва Sahoo S. [17] пешниҳод гардидааст. Инчунин, масъалаҳои муҳими татбиқи технологияҳои гидроэнергетикӣ ва таъсири тағйирёбии иқлим ба иқтисоди гидроэнергетикӣ аз ҷониби олимони Норматов П. [18], Unger-Shayesteh ва дигарон [19], Имомов А. [20], Пулатов Я.Э. [21], Кобулиев З. [22], Фазылов А. [23], Стоцкий К. [24], Петров Г. [25], Наврузов С. [26], Усмонова З. [27], Ахмедов Х. [28], Давлатшоев С. [29], Қурбонализода С. [30], Султонов Ш. [31] ва Гулахмадов А. [32] мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд. Кори диссертатсионии мазкур бо муттаҳид кардани таҳлили ҳамаҷонибаи дарёҳои Тоҷикистон, арзёбии самаранокии энергетикӣ, таъсири тағйирёбии иқлим, эрозия, таҳшинҳо, таҳлили сценариявӣ ва истифодаи усулҳои муносири илмӣ, барои банақшагирии стратегӣ ва устувории низоми гидроэнергетикӣ кишвар заминаи илмӣ ва амалии қавӣ фароҳам меорад, ки онро аз таҳқиқоти пештара фарқкунанда мегардонад.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ. Таҳқиқоти диссертатсионӣ бевосита бо самтҳои афзалиятноки сиёсати давлатӣ ва рушди илмӣ-техникии Ҷумҳурии Тоҷикистон алоқаманд буда, дар доираи самтҳои илмӣ Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон анҷом дода шудааст ба мисоли «Стратегияи рушд ва оптималкунонии мувозинаи захираҳои энергетикӣ. Сценарияи рушди гидро-ангистии энергетикӣ Тоҷикистон» (ҚД 0120ТJ010298) ва «Масоили ташаккулёбӣ ва танзими обовардҳои саҳт дар объектҳои оби Тоҷикистон ва роҳҳои ҳалли он» (ҚД 0120ТJ01029). Инчунин, мутобиқ ба стратегияи миллии ва ҳуҷҷатҳои қонунӣ иҷро гардидааст, аз ҷумла «Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон то соли 2030», «Стратегияи миллии мутобиқшавӣ ба тағйирёбии иқлими Ҷумҳурии Тоҷикистон то соли 2030»,

«Стратегияи миллии оби Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2040», «Стратегияи миллии Ҷумҳурии Тоҷикистон оид ба паст кардани хавфи офатҳои табиӣ барои солҳои 2019-2034», «Стратегияи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаи илм, технология ва инноватсия то соли 2030», «Барномаи давлатии тайёр кардани кадрҳои сатҳи баланди илмӣ барои солҳои 2021-2030», «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф», «Консепсияҳои гузариши Ҷумҳурии Тоҷикистон ба рушди устувор», «Консепсияҳои рушди соҳаҳои комплекси сӯзишворӣ-энергетикии Ҷумҳурии Тоҷикистон», Қонунҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон: «Дар бораи энергетика», «Дар бораи сарфачӯӣ ва самаранокии энергия» ва «Дар бораи истифодаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия». Тадқиқот заминаи илмӣ ва амалии қавӣ барои рушди устувори низоми гидроэнергетикӣ, самаранокии истифодаи захираҳои обӣ ва диверсификатсияи манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар Ҷумҳурии Тоҷикистон фароҳам меорад.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот. Таҳия ва асоснокии усулҳои илмӣ ҳамгирой барои баланд бардоштани самаранокӣ ва устувории низоми энергетикии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар асоси арзёбии маҷмуи захираҳои обию энергетикӣ, таҳлили таъсири тағйирёбии иқлим ва омилҳои табиӣ-иқлимӣ, инчунин ҳамгироии оптималии манбаъҳои гуногуни энергия бо истифода аз моделсозии математикӣ ва таҳияи сценариявиро дар бар мегирад.

Вазифаҳои таҳқиқот. Бо мақсади расидан ба ҳадафи таҳқиқот, дар кори диссертатсионӣ ҳалли маҷмуи вазифаҳои зерин муайян гардидааст:

1. Омӯзиши вазъи комплекси энергетикӣ, нақши гидроэнергетика ва таъсири тағйирёбии иқлим ба захираҳои обӣ ва истеҳсоли неруи барқ.

2. Таҳияи усулҳои баланд бардоштани самаранокӣ ва устувории низоми энергетикии кишвар бо оптимизатсияи кори неругоҳҳои барқи обӣ ва ҳамгироии манбаъҳои барқароршаванда.

3. Арзёбии нақши ангишт, гидроэнергетика ва манбаъҳои барқароршаванда дар таъмини рушди устувори низоми энергетикӣ. Пешниҳодҳои илмӣ-техникӣ барои диверсификатсия ва оптимизатсияи манбаъҳои энергия, баланд бардоштани самаранокӣ ва устувории низоми энергетикӣ.

4. Таҳия ва асоснок намудани дастгоҳи самаранокӣ хунуккунии панелҳои офтобӣ дар асоси пошандаи об дар шакли кубури (турбаи) сӯроҳдор.

5. Таҳлили моделҳои математикӣ ва оптимизатсионӣ барои идоракунии речаи об ва истеҳсоли неруи барқ дар НБО-ҳои Роғун ва Норақ, инчунин омӯзиши таъсири тағйирёбии иқлим ва эрозия ба пойдории низоми гидроэнергетикӣ. Муайянсозии мақонҳои афзалиятнок ва неругоҳҳои ояндадори дарёҳо, таҳлили захираҳои гидроэнергетикӣ ва дурнамоҳои инкишофи неруи барқ дар ҳавзаи дарёи Вахш.

Объекти таҳқиқот. Низоми энергетикии Ҷумҳурии Тоҷикистон бо дарназардошти гидроэнергетика ва дигар манбаъҳои энергия, инчунин таъсири

тағйирёбии иқлим, эрозия ва таҳшин ба захираҳо ва устувории истехсоли неруи барқ дар ҳавзаи дарёи Вахш.

Мавзун таҳқиқот. Асосноккунии илмӣ ва таҳияи сенарияи гидро-ангишт барои оптимизатсияи тавозуни энергетикӣ ва баланд бардоштани амнияти энергетикии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар асоси таҳлили системавӣ, арзёбии иқтисодӣ, моделсозии математикӣ ва дурнамоҳои рушди гидроэнергетика бо назардошти ҷолишҳои иқлимӣ ва экологӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш.

Навгони илмӣ. Дар қор натиҷаҳои нави илмӣ зерин ба даст оварда шудаанд:

1. Бори аввал барои шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳлили муқоисавии системавии захираҳои асосии энергетикӣ (гидроэнергетикӣ, ангишт, маъданӣ ва манбаъҳои барқароршаванда) дар асоси заминаи ягонаи методологии эквиваленти энергетикӣ солана анҷом дода шуда, имкониятҳои воқеии рушди энергетикаи кишвар муайян карда шуданд.

2. Сенарияи рушди гидро-ангишти низомии энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳия ва аз ҷиҳати илмӣ асоснок гардида, дар асоси моделҳои математикӣ-оптимизатсионӣ ва тақлидӣ речаҳои фаъолияти низомии энергетикӣ, инчунин самаранокии қори неругоҳҳои бузурги барқи обӣ, аз ҷумла НБО-и Роғун, мавриди арзёбии комплексӣ қарор дода шуданд.

3. Маҳдудиятҳои экологӣ ва рушди иҷтимоӣ иқтисодӣ дар шароити кишварҳои кӯҳӣ бо гидроэнергетикаи бартаридошта таҳлил гардида, нишон дода шуд, ки ҳамгироии НБО-и Роғун бо манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва манбаъҳои сӯзишвории истихроҷӣ, устувории шабакаи энергетикӣ, диверсификатсияи сарчашмаҳои энергия ва коҳиши партовҳои карбонро таъмин менамояд. Ҳамчунин, барои баланд бардоштани самаранокии манбаъҳои барқароршавандаи энергия дастгоҳи хунуккунии панелҳои офтобӣ бо истифодаи кубури сӯроҳдор бо кунҷи 45° ва насоси фишори паст таҳия карда шуд.

4. Самаранокии энергетикӣ дарёҳо ва қитъаҳои ояндадори онҳо барои сармоягузорӣ ва тарҳрезии неругоҳҳо асоснок гардида, таъсири эрозия ва таҳшиншавӣ ба устувории низомии гидроэнергетикӣ бо истифодаи моделҳои математикӣ ва технологияҳои GIS арзёбӣ шуд. Нишон дода шуд, ки истифодаи методологияҳои SRM ва MUSLE барои таҳлили ҳавзаҳои кӯҳӣ имконияти қабули қарорҳои устуворро фароҳам меорад. Таъсири тағйирёбии иқлим ба захираҳои обӣ ва иқтидори гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш дар асоси сенарияҳои CMIP5 ва CMIP6 арзёбӣ гардида, муайян карда шуд, ки афзоиши ҳарорат ва тағйирёбии речаи боришот ба сарфи об ва самаранокии НБО таъсир мерасонад.

Нуктаҳои ба ҷимоя пешниҳодшаванда. Барои ҷимоя муқаррароти асосӣ ва натиҷаҳои таҳқиқоти диссертатсионӣ пешниҳод мегарданд:

- таҳлили системавии захираҳои энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон бо истифода аз методологияи эквиваленти солана, сенарияи гидро-ангишт, инчунин моделҳои оптимизатсионӣ-тақлидии фаъолияти низомии энергетикӣ ва арзёбии

самаранокии НБО-и Роғун ва робитаи сиёсати энергетикӣ, маҳдудиятҳои экологӣ ва рушди иқтисодӣ дар кишварҳои кӯҳӣ анҷом дода шудааст.

- ҳамгирии НБО-и Роғун бо манбаъҳои барқароршаванда ва системаҳои интеллектуалии идоракунии нури барқ ва самаранокии шабакаҳо, ҳамгирии ангишт ва нафт бо иқтидори гидроэнергетикӣ ва диверсификатсия, самаранокии энергетикӣ дарёҳо ва қитъаҳои афзалиятнок барои сармоягузорӣ ва тарҳрезии нуругоҳҳо.

- арзёбии эрозия ва таҳшиншавӣ бо моделҳои математикӣ ва GIS, таъсири онҳо ба устувории низоми гидроэнергетикӣ; натиҷаҳои истифодаи моделҳои SRM ва MUSLE чӣ қадар қабули қарорҳои устувор дар нуругоҳҳо; сценарияҳои CMIP5/CMIP6 чӣ қадар муайян намудани тағйирёбии иқлим таъсири он ба самаранокии НБО-ро; ҳамзамон таҳияи дастгоҳи хунуккунии панелҳои офтобӣ бо пошандаи кубури сӯрохдор барои баланд бардоштани самаранокии модулҳои фотоэлектрикӣ.

Аҳамияти назариявӣ ва амалии таҳқиқот. Таҳқиқоти диссертатсия барои шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳлили системавии захираҳои энергетикӣ ва арзёбии устуворӣ ва самаранокии низоми энергетикӣ бо ҳамгирии манбаъҳои гуногуни энергияро фароҳам меорад. Сценарияҳои гидро-ангишти рушди энергетика ва моделҳои оптимизатсионӣ-тақлидии математикии речаи қори низоми энергетикӣ кишвар, аз ҷумла НБО-и Роғун, самаранокии шабака, коҳиши партовҳои карбон ва диверсификатсияи сарчашмаҳои энергияро муайян мекунанд. Навгониҳои илмӣ ба таҳлили робитаи сиёсати энергетикӣ, маҳдудиятҳои экологӣ ва рушди иқтисодӣ, арзёбии эрозия ва таҳшиншавӣ, ҳамчунин таҳияи дастгоҳи хунуккунии панелҳои офтобӣ ва истифодаи GIS ва сценарияҳои CMIP5/CMIP6 нигаронида шудаанд. Таҳқиқот ҳам дар самти назариявии усулҳои моделсозӣ ва оптимизатсияи низоми энергетикӣ ва ҳам дар самти амалӣ, пешниҳодҳои техникаю стратегӣ барои баланд бардоштани устувориву самаранокии истифодаи захираҳои энергияро таъмин менамояд.

Дарҷаи эътимоднокии натиҷаҳои диссертатсия. Натиҷаҳои таҳқиқот бо эътимоднокии баланд арзёбӣ мешаванд, зеро онҳо ба таҳлили системавӣ, моделсозии оптимизатсионӣ-тақлидии математикии низоми энергетикӣ, арзёбии эрозия ва таъсири тағйирёбии иқлим бо истифода аз SRM, MUSLE, GIS ва сценарияҳои CMIP5/CMIP6 асос ёфтаанд. Маълумот аз манбаъҳои расмӣ ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ, усулҳои санҷидашуда ва фарзияҳои асоснок истифода шудаанд. Натиҷаҳо бо таҳқиқоти пешина муқоиса ва апробатсия шудаанд ва мутобиқ ба ҳадаф ва вазифаҳои диссертатсия буда, барои қабули қарорҳои стратегӣ дар рушди устувори энергетика ва гидроэнергетикаи Тоҷикистон асоси илмӣ ва амалӣ медиҳанд.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Диссертатсия ба бандҳои 3,11 низомнома ва шиносномаи ихтисоси илмӣ 6D074401-Соҳтмони гидротехникӣ мутобиқат мекунад:

- 3. Ташкилӣ самтҳои нави ояндабинии ҳолати шиддатнокӣ шаклдигаркунии иншооти гидротехникии тамбагӣ ва бетанбагӣ; тақмили

усулҳои муайянкунии намудҳои гуногуни қувваҳо ба иншоот, гидротехники обӣ, бино ва биноӣ мошинҳои НБО-и барқӣ; асосноккунии роҳҳои эътимодноки ва мустаҳкамии конструксиаи иншооти обӣ нақлиётӣ;

- 11. Эътимоднокии истифодабарӣ иншооти гидротехникӣ, ташкили критерияҳои нави беҳатарӣ, системаҳои нави назоратӣ ва мушоҳидавӣ аз болои иншоотҳо, такмили усулҳои диагностикаи техникӣ ва мониторинги системаи обӣ ва объектҳо.

Номгӯи мавзӯи диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси 6D074400-Сохтмони гидротехникӣ ва иншоот (6D074401-Сохтмони гидротехникӣ) мувофиқат мекунад.

Саҳми шахсии докталаби дараҷаи имлӣ. Муаллиф қорҳои асосии тадқиқотро анҷом намудааст, ки ин қорҳои таҳлили системавии захираҳои энергетикӣ дар Тоҷикистон, таҳияи сенарияи гидро-ангишт ва моделҳои оптимизатсионӣ-тақлидии низоми энергетикӣ, арзёбии ҳамгироии манбаъҳои энергия ва таъсири экологӣ, моделсозӣ ва таҳлили таъсири тағйирёбии иқлим ва эрозия ба устувории низоми гидроэнергетикӣ, ҳамчунин таҳияи дастгоҳи хунуккунии панелҳои офтобиро дарбар мегиранд. Ҳамаи ҳисобҳо, ҷамъбасти натиҷаҳо ва ҳулосабарориҳо аз ҷониби муаллиф шахсан иҷро шудаанд.

Тасвиб ва амалисозӣ. Натиҷаҳои илмии таҳқиқоти диссертатсионӣ дар як қатор конференсияҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ, инчунин дар семинарҳо ва ҷаласаҳои илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон дар солҳои 2022-2026 муҳокима, тасвиб ва мавриди истифода қарор дода шудаанд. Аз ҷумла, натиҷаҳо дар семинару конференсияҳои илмӣ-амалӣ, аз қабili семинари илмӣ-амалӣ оид ба самаранокӣ ва сарфакоронаи неруи барқ (Ҷумҳурии Ҷопон, январ-март 2023), конференсияи байналмилалӣ оид ба қорӣ намудани НБО-ҳои хурд дар Осиёи Марказӣ (Кореяи Ҷанубӣ, октябри 2023), конференсияи байналмилалии «Захираҳои об, инноватсия, захира ва энергиясарфанамоӣ» (Душанбе, октябри 2023), инчунин конференсияи ҷумҳуриявӣ бахшида ба «Даҳсолаи байналмилалии амал “Об барои рушди устувор, 2018-2028”» (Душанбе, апрели 2023) пешниҳод гардидаанд. Ҳамзамон, натиҷаҳои таҳқиқот дар семинарҳои илмии марбут ба омӯзиши барномаҳои LEAP ва WEAP, рушди устувор ва манбаъҳои барқароршавандаи энергия, инчунин масъалаҳои мониторинг ва идоракунии захираҳои об дар кишварҳои Ёзбекистон ва Ҷумҳурии Мардумии Чин (соли 2025) баррасӣ шудаанд. Натиҷаҳои бадастомада дар амалияи илмӣ-таҳқиқотӣ ва таҳияи тавсияҳо барои идоракунии устувори захираҳои об ва энергетикаи барқароршаванда истифода гардида, аҳамияти назариявӣ ва амалӣ доранд.

Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия. Мазмуни асосии диссертатсия дар 22 таълифоти илмӣ, аз ҷумла 12 мақола дар маҷаллаҳои тақризшавандаи феҳристи тавсиянамудаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, 1 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон (№ NJ1682) ва 9 мақола дар маводи конфронсҳои илмии сатҳи гуногун нашр шудаанд.

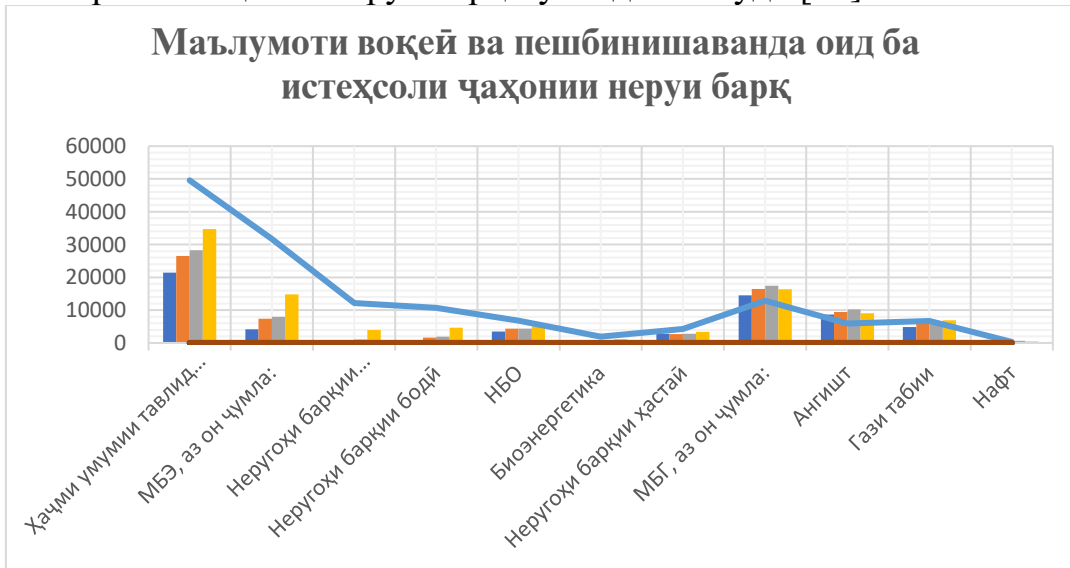
Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Соҳтори диссертатсия аз муқаддима, 4 боб, хулоса, 12 замимаҳо ва рӯйхати адабиёти истифодашуда аз 165 номгӯй иборат аст. Ҳаҷми умумии диссертатсия аз 190 саҳифаи чопӣ иборат буда, 142 саҳифаи он матни асосӣ мебошад. Микдори расмҳо 43 адад ва ҷадвалҳо 35 ададро дар бар мегирад.

МУҲТАВОИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

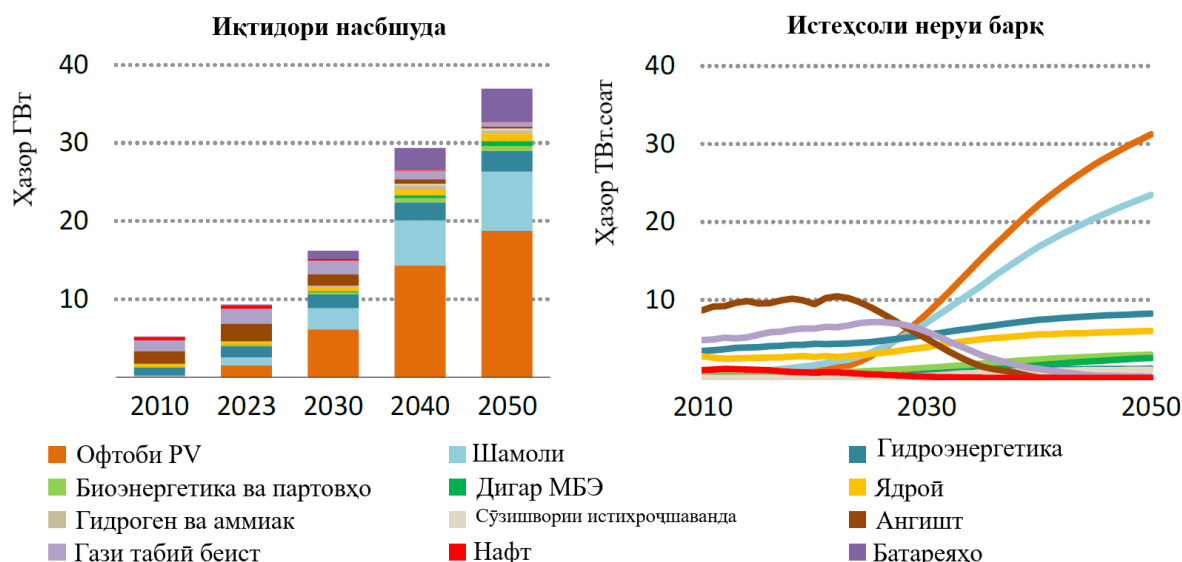
Дар муқаддима ва қисмати муқарраротии кори диссертатсионӣ аҳамияти интиҳоби мавзӯ асоснок карда шуда, сатҳи омӯзиши мавзӯ, алоқамандии он бо стратегияҳо ва барномаҳои илмӣ оварда шудааст. Мақсад ва вазифаҳои таҳқиқот, объект ва усулҳои таҳқиқот муайян карда шуда, наwgониҳои илмӣ ва нуктаҳои асосии ба ҳимоя пешниҳодшаванда оварда шудааст.

Дар **боби якуми** диссертатсия шароити имрӯзаи соҳаи энергетика ҳамчун яке аз самтҳои калидии рушди иқтисодию иҷтимоии кишварҳо таҳлил шудааст. «Соҳа тақрибан 60%-и истеъмоли ҷаҳонии ангишт ва 40%-и истеъмоли гази табииро дар бар мегирад. Инчунин, нишон дода шудааст, ки тағйироти технологӣ дар электроэнергетика талаботро ба захираҳои маъданию ашёи хом зиёд менамояд» [33]. Расми 1 ва 2 ҳаҷми умумии неруи барқи ҷаҳонӣ ва иқтидори умумии насбшуда ва истеҳсоли неруи барқ аз рӯи манбаҳо нишон медиҳанд.

«Дар шароити ноустувории бозори ҷаҳонии энергетикӣ, ки бо болоравии нархи газ, нафт ва ангишт тавсиф меёбад, тағйироти сохторӣ дар сиёсати энергетикӣ кишварҳо ба назар мерасад. Таҳлилҳо нишон дод, ки афзоиши якбораи нархи газ дар як қатор давлатҳо ба бозгашт ё зиёд гардидани истифодаи ангишт барои истеҳсоли нерӯи барқ мусоидат намуд» [34].

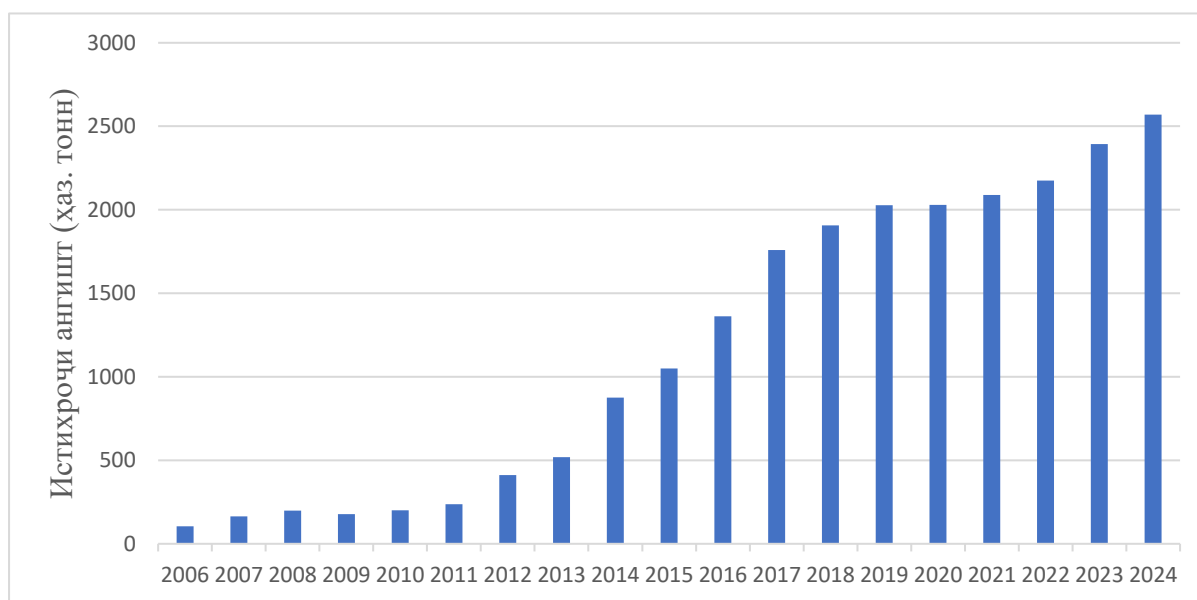


Расми 1. - Ҳаҷми умумии истеҳсоли неруи барқи ҷаҳонӣ (ТВт)



Расми 2. - Иқтидори умумии насбшуда ва истеҳсоли нуруи барқ аз рӯи манбаъҳо дар сценарияи партовҳои сифр (Net Zero Emissions), солҳои 2010–2050

Дар **боби дуюм** масъалаҳои асосии рушди соҳаи энергетика бо дарназардошти шароити табиӣ, иқтисодӣ ва иқлимии Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳлил шудаанд. «Нишон дода шудааст, ки солҳои охир ҳаҷми истихроҷи ангишт дар кишвар ба таври назаррас афзоиш ёфта, ба рушди соҳаи энергетика мусоидат намудааст. Ин раванд боиси зиёд шудани ҳаҷми фурӯш, воридоти молиявӣ ва беҳтар гардидани имкониятҳои сармоягузорию корхонаҳои соҳа гардидааст» [34].



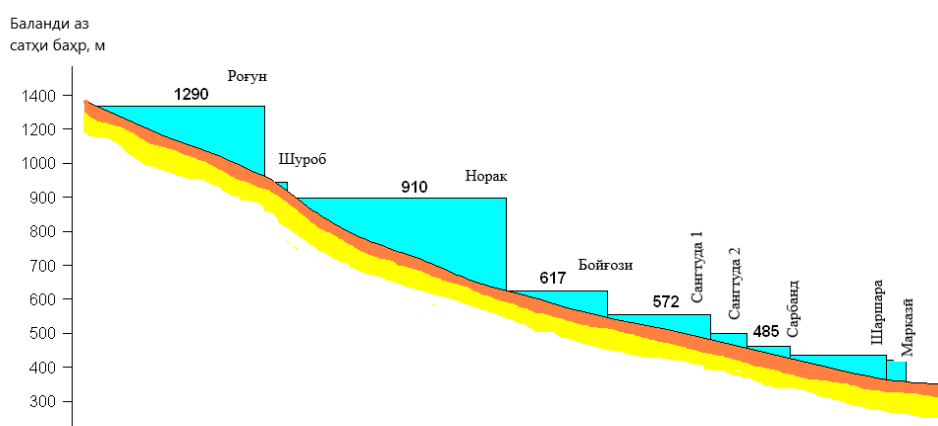
Расми 3. - Истеҳсоли ангишт дар Тоҷикистон дар солҳои 2006–2024

Дар расми 3 ва ҷадвали 1 истеҳсоли ангишт дар Тоҷикистон дар солҳои 2006-2024 ва захираҳои гидроэнергетикии Тоҷикистон бо назардошти категорияҳо нишон дода шудааст.

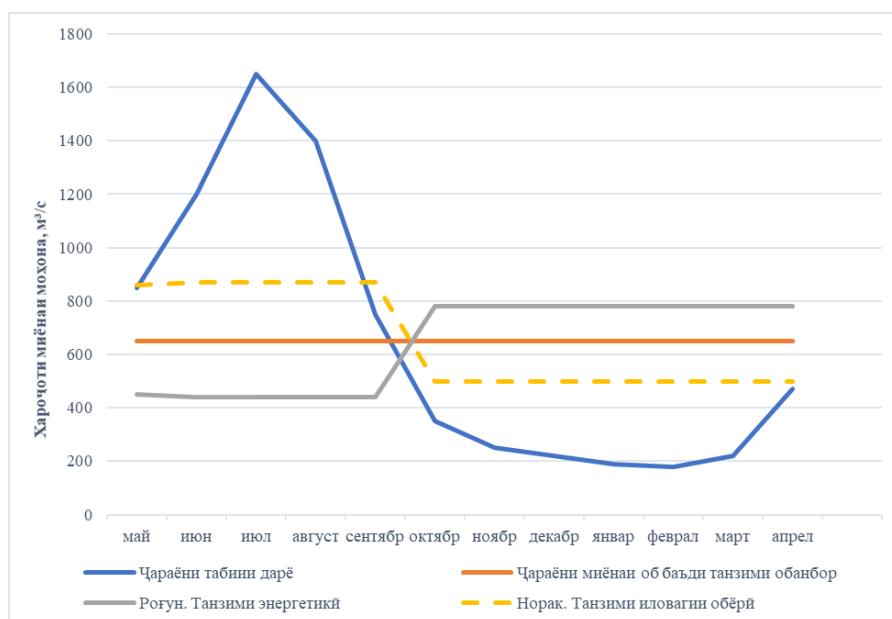
Ҷадвали 1. - Захираҳои гидроэнергетикии Тоҷикистон бо назардошти категорияҳо.

Минтақа	Захираҳои саноатӣ		Захираҳои эҳтимолӣ					
	МВт.с	Э, ТВт.с	Дарёҳои калон		Резиш, L >10км		Резиш L <10км	
			N, МВт.с	ТВт.с	N	МВт.с	Э	Э, ТВт.с
Суғд	1590	13,93	544	13,52	1303	11,4	1288	11,28
НТҚ ва Хатлон	17709	155,13	22744	99,24	974	4,81	16056	40,65
ВМКБ	5884	51,54	6990	1,23	555	2,38	3713	2,53
Ҳамгӣ	25183	220,6	31278	74,0	832	8,61	21057	84,46

Профили тӯлонии силсилаи нурутоҳҳои барқи обии Вахш



Расми 4. - Тасвири нақшаи дарозии силсила дарёи Вахш



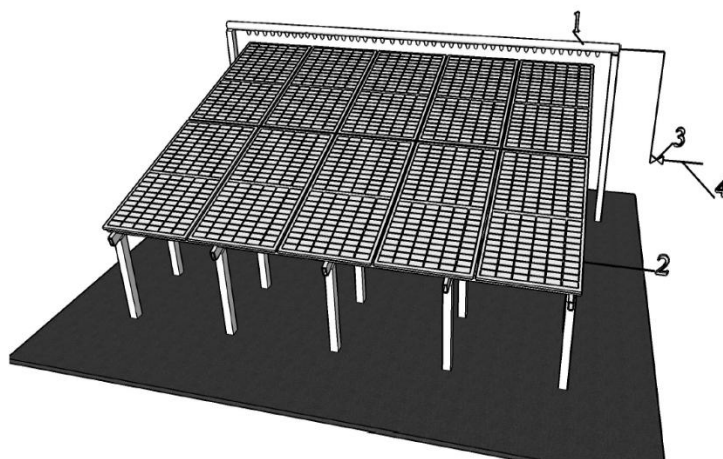
Расми 5. - Танзими силсилаи маҷрои оби обанборҳои Норак ва Роғун дар соли бо обрави миёна

Дар натиҷаи татбиқи чорабиниҳои барномавӣ, дар даврони истиқлолият як қатор неругоҳҳои барқи обии хурд сохта шудааст. Ин нишон медиҳад, ки бахши гидроэнергетикаи хурд тадриҷан ҳамчун унсури муҳими таъмини минтақавии неруи барқ рушд меёбад. Дар ҷадвали 2 рӯйхати НБО-и хурд дар Ҷумҳурии Тоҷикистон нишон дода шудааст.

Ҷадвали 2. - Неругоҳҳои барқи обии хурд (НБО-и хурд) дар Ҷумҳурии Тоҷикистон (шакли пурраи ҷадвал дар замимаи 5-и диссертатсия пешниҳод шудааст)

Вилоят	Шумора	Иқтидор, ҳазор кВт
Хатлон	39	1654
Суғд	82	9044,1
ВМКБ	55	5325
НТМ	129	8836,5
Ҷамағӣ	305	24859,6

Инчунин, дар боби дуум таъсири тағйирёбии иқлим ба самаранокии панелҳои офтобӣ баррасӣ шудааст. «Қайд гардидааст, ки баланд шудани ҳарорати муҳити атроф, махсусан дар фасли тобистон, боиси гармшавии панелҳои офтобӣ ва коҳиш ёфтани самаранокии онҳо мегардад. Ҳарорати номиналии кори панелҳо 25–30 °C буда, зиёд шудани ҳарорат аз ин меъёр ба истеҳсоли неруи барқ таъсири манфӣ мерасонад. Барои паст намудани ҳарорати панелҳо ва баланд бардоштани самаранокии онҳо дастгоҳи махсуси хунуккунӣ таҳия ва пешниҳод шудааст. Система тавассути кубур ва насоси фишори паст дар сатҳи панелҳо қатраҳои майдаи об ҳосил намуда, «борони сунъӣ» ба вучуд меорад. Ин усул ҳарорати панелҳоро то 20-25 °C паст карда, кори самаранокии онҳоро таъмин менамояд» [35]. Дар расми 6 дастгоҳ барои хунук намудани панелҳои офтобӣ нишон дода шудааст.

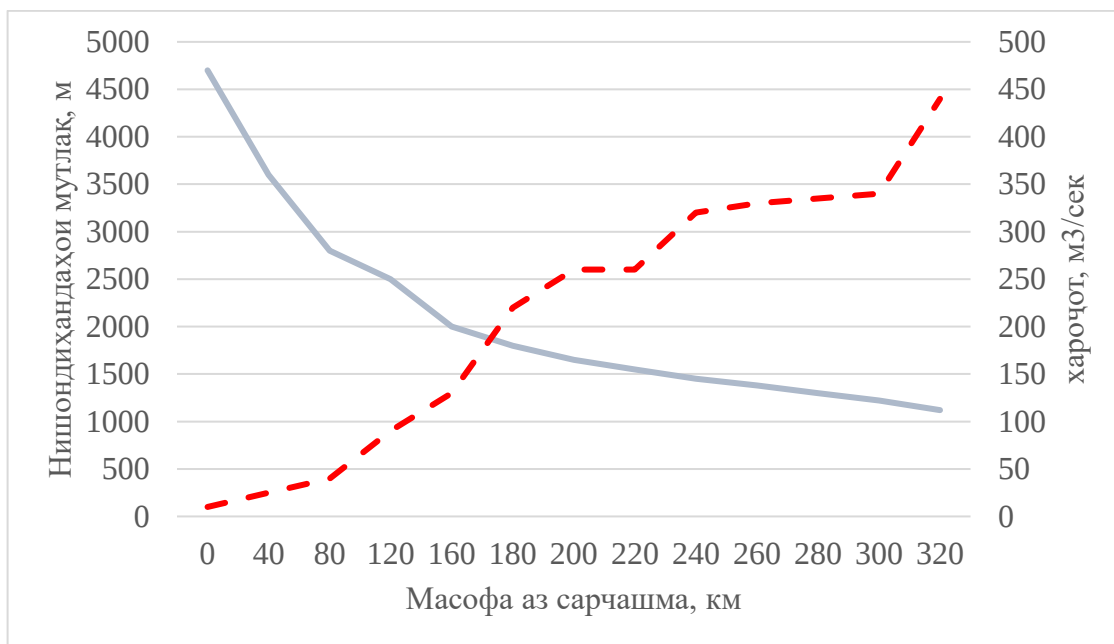


Расми 6 - Дастгоҳ барои хунук намудани панелҳои офтобӣ

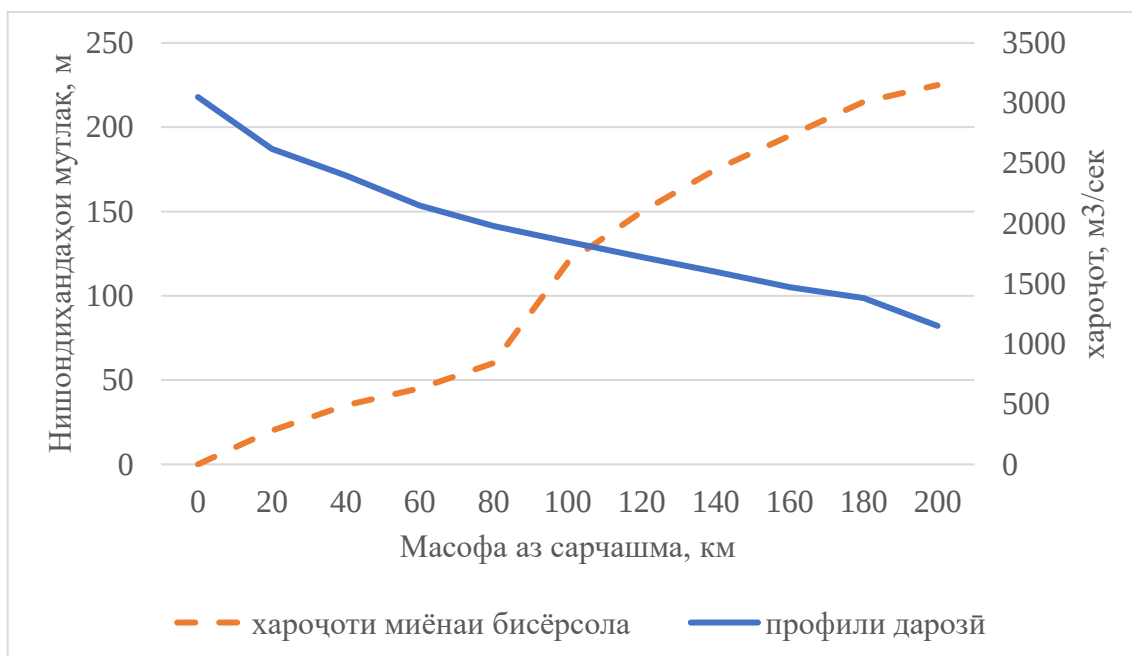
Боби сеюм ба таҳияи моделҳои математикӣ ва имитатсионии беҳтарсозии речаи кори НБО Роғун бахшида шудааст. «Ҳадафи асосии боб таҳқиқ ва арзёбии иқтидори гидроэнергетикӣ дарёҳои бузурги Тоҷикистон, инчунин омӯзиши таъсири равандҳои таҳшиншавӣ ба устувории низоми энергетикӣ мебошад. Дар доираи таҳқиқот захираҳои гидроэнергетикӣ дарёҳои асосии кишвар, нишондиҳандаҳои фаъолияти энергетикӣ ва омилҳои ба вучудорандаи таҳшиншавӣ таҳлил гардидаанд. Ҳамчунин, таъсири равандҳои таҳшиншавӣ ба

фаъолияти иншооти гидроэнергетикӣ арзёбӣ шуда, барои баланд бардоштани устуворӣ ва самаранокии низоми энергетикӣ чораҳои илмӣ ва амалӣ пешниҳод шудаанд» [36].

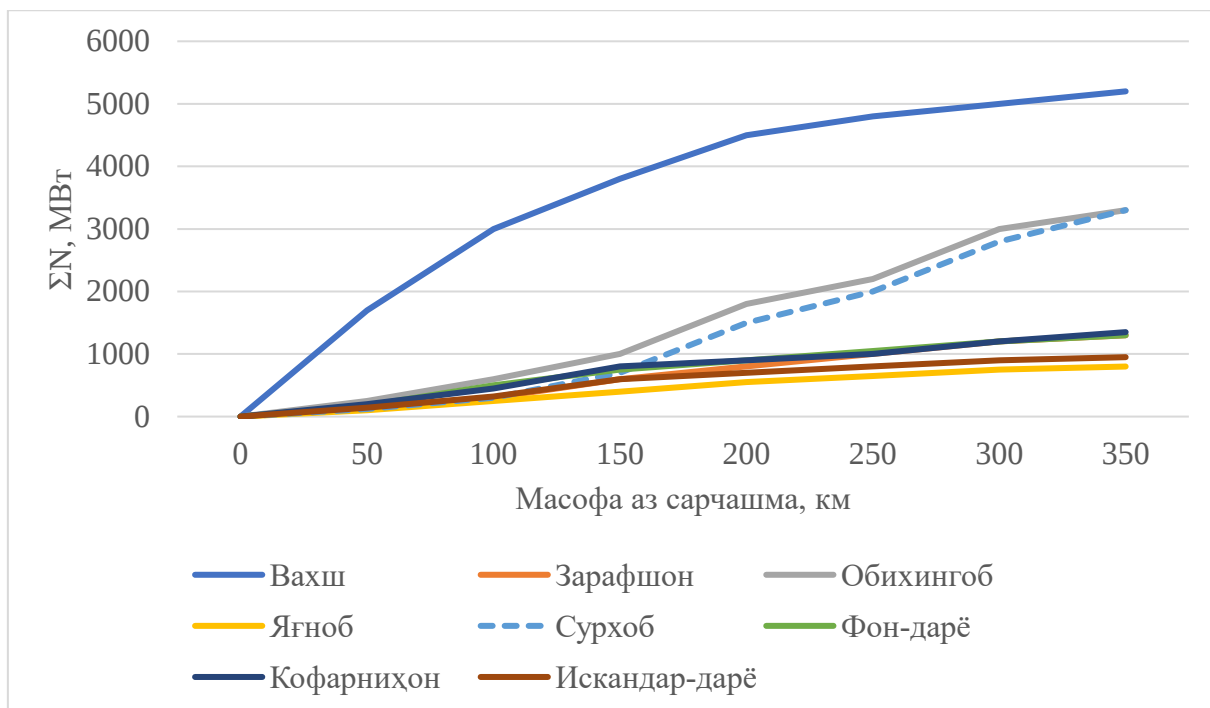
Дар расмҳои 7, 8, 9 ва 10 нақшаҳои истифодабарии энергетикӣ дарёи Сурхоб, истифодабарии энергетикӣ дарёи Обихингов, иқтисоди энергетикӣ ҳамаи дарёҳои калони Тоҷикистон ва самаранокии энергетикӣ дарёҳои бузурги Тоҷикистон нишон дода шудааст.



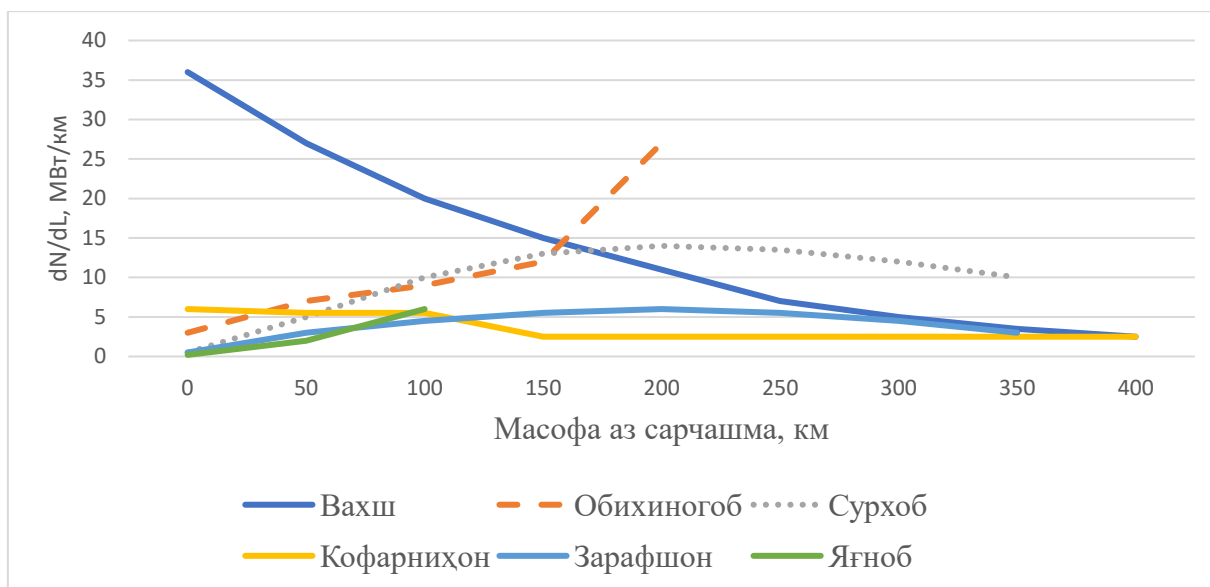
Расми 7. - Нақшаи истифодабарии энергетикӣ дарёи Сурхоб



Расми 8. - Нақшаи истифодабарии энергетикӣ дарёи Обихингов



Расми 9. - Иқтидори энергетикии ҳамаи дарёҳои калони Тоҷикистон



Расми 10. - Самаранокии энергетикии дарёҳои бузурги Тоҷикистон, dN/dL , МВт/км.

Ҷадвали 3. - Арзишҳои самаранокии миёнаи энергетикии дарёҳои Вахш, Обихингоб ва Сурхоб

Дарё	Вахш	Обихингоб	Сурхоб
Dn/dL , МВт/км	14,71	9,97	9,89

Барои ду неругоҳи барқи обие, ки дар ду қитъаи дарё бо самаранокии энергетикии гуногун сохта мешаванд, чунин қабул карда шуд:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = k \quad (1)$$

Агар дарозии қитъаҳои дарё, ки аз ҷониби ҳар ду НБО истифода мешаванд, баробар бошад, хароҷоти сохтмонӣ низ якхела мегардад. Дар ин ҳолат иқтидор

ва арзиши таҷҳизоти неругоҳҳо ба самаранокии энергетикӣ онҳо мутаносиб хоҳад буд.

$$N_1/N_2 = k \quad (2)$$

$$P_1^{\text{таҷҳизот}} / P_2^{\text{таҷҳизот}} = k \quad (3)$$

$$P_1 = P_1^{\text{таҷҳизот}} + P_1^{\text{КСМ}} \quad (4)$$

дар ин ҷо: P_1 ; $P_1^{\text{таҷҳизот}}$; $P_1^{\text{КСМ}}$ – маблағи умумӣ, хароҷоти таҷҳизот ва корҳои сохтмонӣ-монтажӣ (КСМ) барои НБО №1.

Метавон қабул намуд, ки барои ҳар гуна неругоҳи барқӣ обӣ, ҳамчунон ки барои НБО-ҳои аллакай сохташуда ва дар ҳоли сохтмонбудаи дарёи Вахш, хароҷот барои таҷҳизот 30 фоиз, ва барои (КСМ) 70 фоизи арзиши умумии НБО-ро ташкил медиҳанд, яъне:

$$P_1^{\text{таҷҳизот}} = \frac{0.3}{0.7} P_1^{\text{КСМ}} = 0.429 P_1^{\text{КСМ}} \quad (5)$$

Барои НБО №2 низ бо чунин шакл хоҳем дошт:

$$P_2 = P_2^{\text{таҷҳизот}} + P_2^{\text{КСМ}} = P_1^{\text{таҷҳизот}} / k + P_1^{\text{КСМ}} \quad (6)$$

Бо гузоштани арзишҳо ба формулаҳои гирифташуда $P_1^{\text{таҷҳизот}}$, мо ба даст меорем:

$$P_1 / P_2 = \frac{0.429 P_1^{\text{КСМ}} + P_1^{\text{КСМ}}}{0.429 P_1^{\text{КСМ}} / k + P_1^{\text{КСМ}}} = \frac{1.429}{1 + 0.429/k} \quad (7)$$

Яъне арзиши умумии НБО №1 дар:

$$\frac{1.429}{1 + 0.429/k}$$

арзиши умумии НБО №2 як маротиба зиёдтар аст. Аммо:

$$P_i = p_i N_i \quad (8)$$

Дар ин ҷо:

p_i – арзиши хоси сохтмони НБО N_i , дар охир ба шакли зерин ҳисоб карда мешавад:

$$p_1 / p_2 = \frac{1.429}{k(1 + 0.429/k)} = \frac{1.429}{(k + 0.429)} \quad (9)$$

LCOE (Levelized Cost of Electricity) нишондиҳандаи иқтисодист, ки арзиши миёнаи истеҳсоли 1 кВт·соат неруи барқро дар тамоми давраи фаъолияти неругоҳ муайян мекунад. Ин нишондиҳанда ҳамаи хароҷотҳо, аз ҷумла сармоягузорӣ, истифода, нигоҳдорӣ ва ҳаҷми истеҳсоли неруро дар бар гирифта, барои муқоисаи самаранокии иқтисодии лоиҳаҳои энергетикӣ истифода мешавад.

Формулаи умумии LCOE чунин аст:

$$LCOE = \frac{\sum \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (10)$$

ки дар он I_t – сармоягузорӣ, M_t – хароҷоти истифода ва нигоҳдорӣ, F_t – хароҷоти сӯзишворӣ, E_t – ҳаҷми истеҳсоли неру, r – меъёри тахфиф (дисконт) ва n – давраи истифода мебошанд. «Дар муқоиса бо ҳавзаи дарёи Вахш, ки яке аз самараноктарин минтақаҳои рушди гидроэнергетика дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ба ҳисоб меравад, арзиши воҳидии сохтмони неругоҳҳои барқи обӣ ба таври назаррас паст мебошад» [37].

Бояд қайд намуд, ки дар боби мазкур инчунин, бо мақсади арзёбии таъсири эрозияи хок ва таҳшиншавӣ ба захираҳои гидроэнергетикӣ дар шароити тағйирёбии иқлим, модели MUSLE истифода гардид.

Муодилаи MUSLE чунин ифода мегардад:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (11)$$

Омили эрозионокии боришот (R) таъсири боришотро ба равандҳои эрозияи хок инъикос менамояд ва формулаи ҳисобкунии он чунин аст:

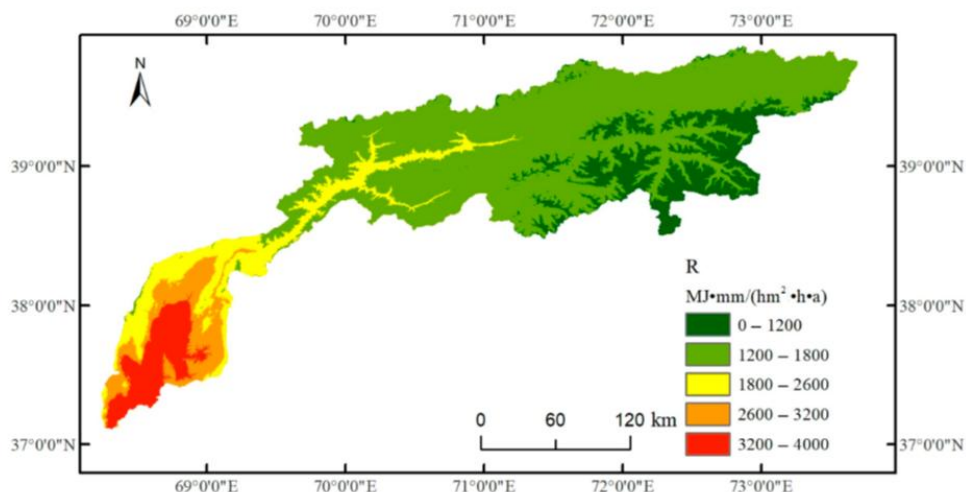
$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10 [(1.5 \times l_g^2 p_i^2 - 0.8188)] \quad (12)$$

Формулаи ҳисобкунии омили K чунин ифода мегардад:

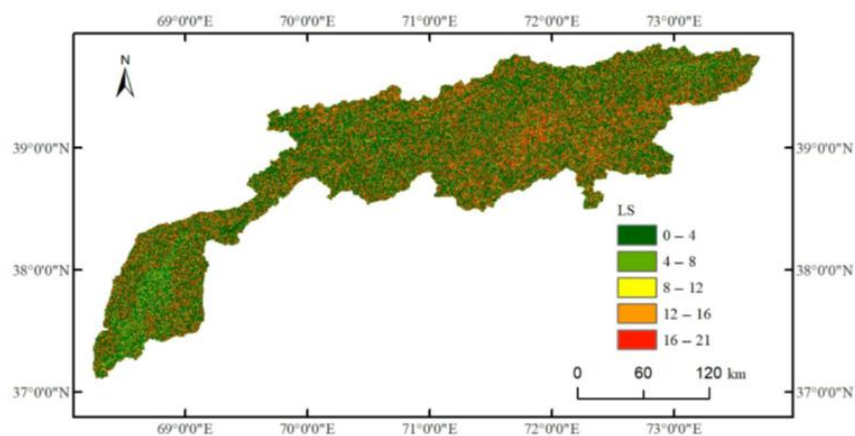
$$K = \{0.2 + 0.3 \times \exp[-0.0256 \times SAN(1 - \frac{SIL}{100})]\} \times (\frac{SIL}{CLA + SIL})^{0.3} \times (1 - \frac{0.25 \times C}{C + \exp(3.72 - 2.95 \times C)}) \times (1 - \frac{0.7 \times SN1}{SN1 + \exp(-5.51 + 22.9 \times SN1)}) \quad (13)$$

Дар ин ҷо:

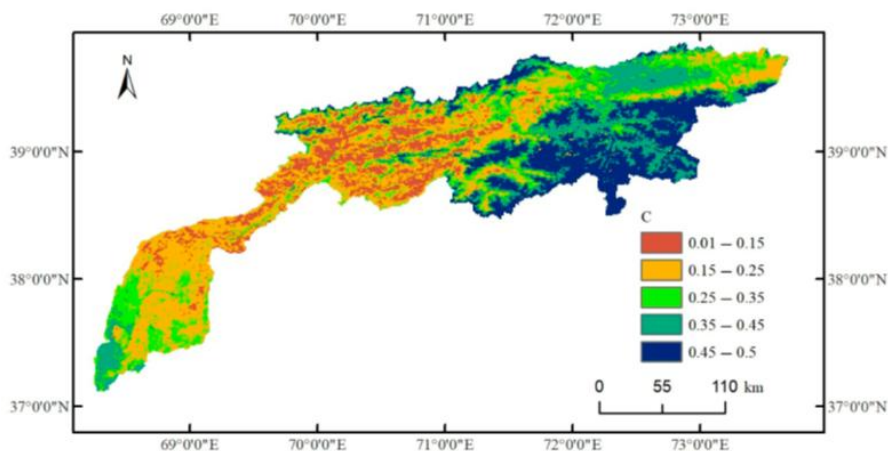
SAN , SIL , CLA ва C мутаносибан ҳиссаи массаи (%) қум, лой, гил ва карбони органикиро дар таркиби хок ифода менамоянд. Ин нишондиҳандаҳо хусусиятҳои гранулометрӣ ва таркиби органикии хокро инъикос карда, ба дараҷаи эрозияшавии он таъсири мустақим мерасонанд.



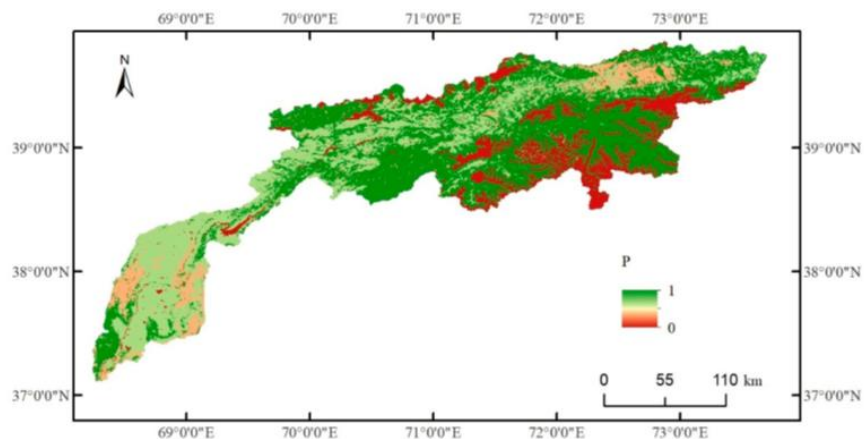
Расми 11. - Тақсими фазоии омили R дар ҳавзаи дарёи Вахш



Расми 12. - Тақсимои фазоии омили LS дар ҳавзаи дарёи Вахш



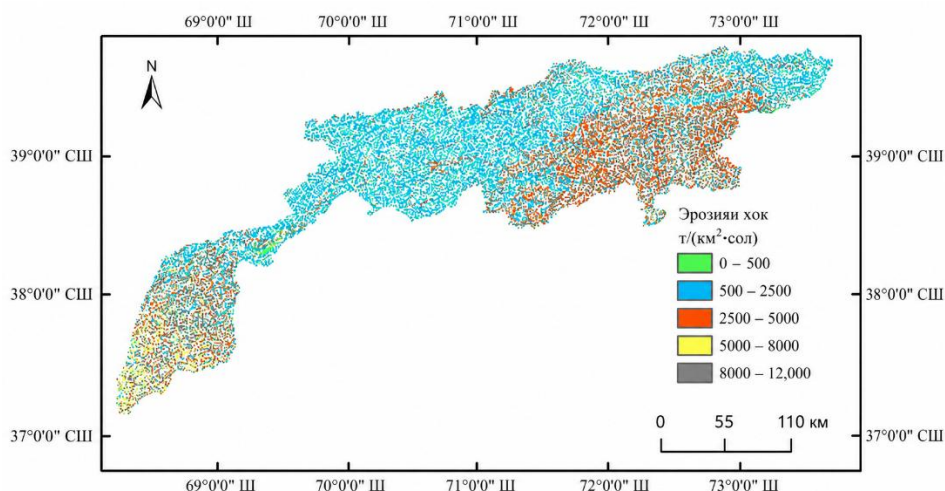
Расми 13. - Тақсимои фазоии омили C дар ҳавзаи дарёи Вахш



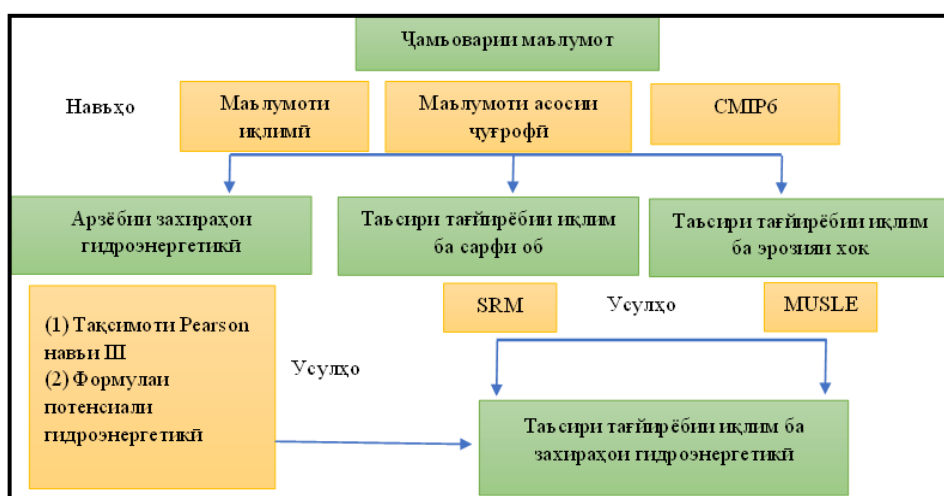
Расми 14. - Тақсимои фазоии омили P дар ҳавзаи дарёи Вахш

«Минтақаҳои дорои арзишҳои баланд (одатан зиёда аз 2600 МҶ·мм/(га·соат·сол)) асосан дар қисматҳои поёноби ҳамвории ҳавзаи дарёи Вахш ҷойгир шудаанд. Ин ҳолат бо шиддати нисбатан баланди боришот ва хусусиятҳои иқлимии минтақаҳои пасткӯҳ вобаста мебошад» [38]. Дар расмҳои 11,12,13 ва 14 тақсимоҳои фазоии омилҳои R, LS, C ва P дар ҳавзаи дарёи Вахш нишон дода шудааст.

Аксари минтақаҳои шарқӣ қиматҳои зиёда аз 0,25 доранд, дар ҳоле ки дар ғарб онҳо асосан камтар аз 0,25 мебошанд. Ин ҳолат нишон медиҳад, ки дар қисматҳои болооби ҳавза фишор ба чораҳои муҳофизати хок ва об бештар мебошад. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки сарчашмаҳои ҳавзаи дарёи Вахш ба эрозияи шадиди хок дучор гардидаанд. Ин ҳолат метавонад боиси афзоиши интиқоли таҳшинҳо гардида, ба ҷамъшавии онҳо дар обанборҳои гидроэнергетикии миёнаоб ва поёноб таҳдиди ҷиддӣ эҷод намояд.



Расми 15. - Тақсими фазоии эрозияи хок дар ҳавзаи дарёи Вахш



Расми 16. - Харитаи роҳи истифодабарии модели MUSLE дар ҳавзаи дарёи Вахш

Бо афзоиши таҳшинҳо ҳаҷми муфиди обанбор кам шуда, сатҳи об паст мегардад. Дар натиҷа фишори об коҳиш ёфта, истеҳсоли неруи барқ маҳдуд мешавад. Ҳисобҳо нишон медиҳанд, ки ҳар 1 м^3 таҳшиншавӣ метавонад то $0,7\text{--}1,0 \text{ м}^3$ ҳаҷми муфиди обанборро коҳиш диҳад.

Дар боби чор усулҳои баҳодиҳии энергиясамаранокии дарёҳои калони Тоҷикистон ва дурнамои рушди комплекси обӣ-энергетикӣ таҳлил шудаанд. «Инчунин дар боби мазкур таъсири тағйирёбии иқлим дар доираи сценарияҳои

иқлимӣ (RCP2.6, RCP4.5 ва RCP8.5) ба захираҳои гидроэнергетикии ҳавзаи дарёи Вахш таҳқиқ шудааст» [39].

«Дар замони муосир, ки бо баланд шудани эҳтиёҷот ба неруи барқ, дигаргуниҳои обу ҳаво ва ҷараёнҳои мушаххаси гидрологӣ тавсиф мешавад, масъалаи истифодаи самаранок ва устувори захираҳои гидроэнергетикӣ аҳамияти бештар пайдо мекунад. Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки дорои захираҳои бузурги обӣ ва иқтисодии назарраси гидроэнергетикӣ мебошад, барои таъмини амнияти энергетикӣ ва рушди устувори иқтисодӣ ба истифодаи оптималии ин захираҳо така мекунад» [40].

Модели математикии танзими мавсимии НБО Роғун. Дар шакли умумӣ ҳисобҳо аз рӯи модели пешниҳодшуда дар шакли ҷадвал иҷро карда мешаванд, ки дар замимаи диссертатсия оварда шудааст.

Ҳаҷми ҷараёни об ба обанбор дар як моҳ (аз рӯи арзишҳои қимати Q), $W_{\text{воридшавӣ}}$, км³.

$$W_{\text{воридшавӣ}} = Q \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot n \quad (14)$$

Дар ин ҷо:

n - шумораи рӯзҳои ҳар моҳҳо

Хароҷоти воқеӣ ё пешбинишудаи об аз тарафи НБО ҳамчун $Q_{\text{НБО}}$, ки меёри миёнаи моҳона бо воҳиди м³/с истифода мегардад, нишон дода шудааст.

Ҳаҷми оби гузашта аз НБО дар тӯли як моҳ (дар асоси қиматҳои маълуми $Q_{\text{НБО}}$), ҳамчун $W_{\text{НБО}}$ бо воҳиди км³ ҳисоб карда мешавад.

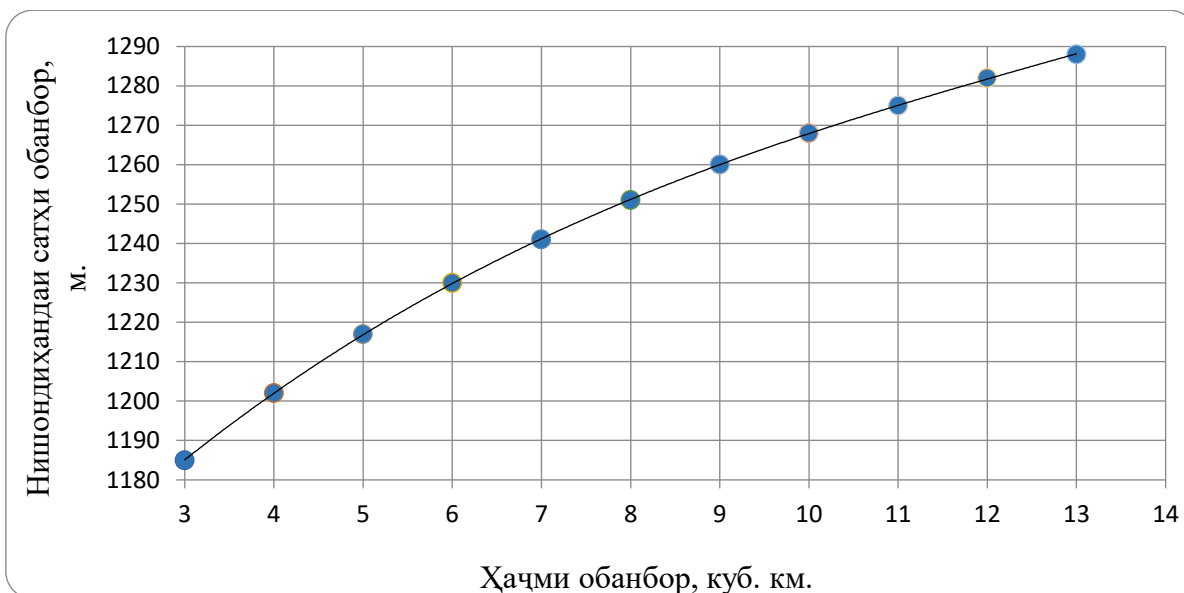
$$W_{\text{НБО}} = Q_{\text{НБО}} \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot n \quad (15)$$

ки дар он: n - инчунин шумораи рӯзҳо дар як моҳ аст.

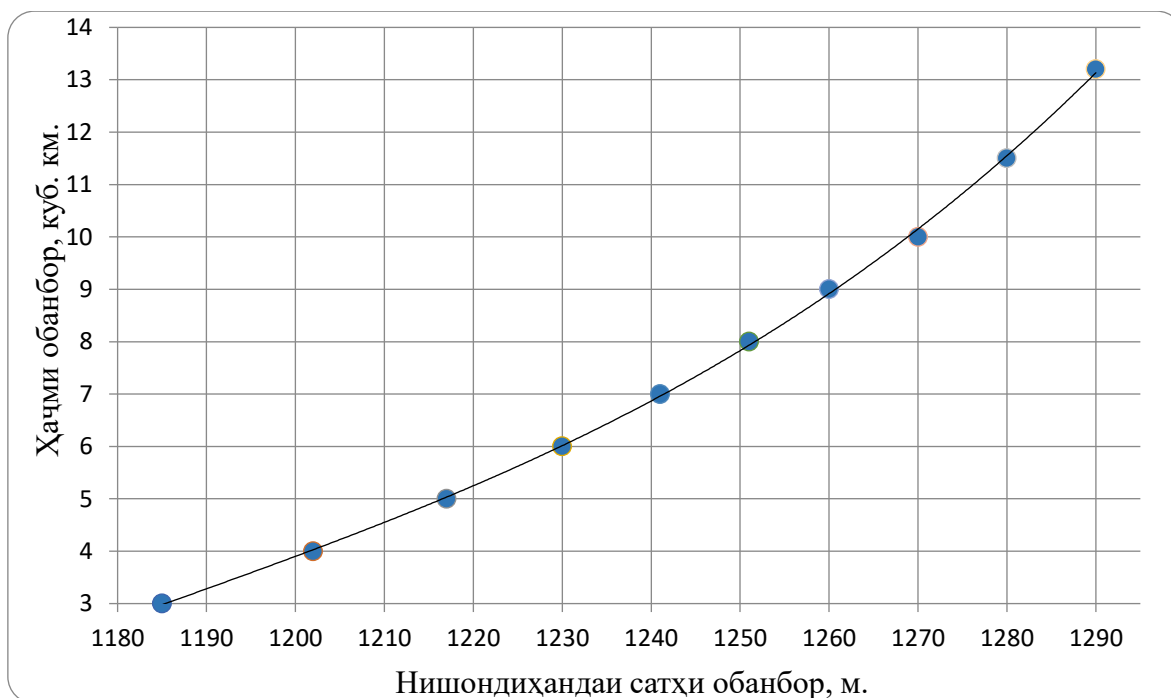
Ҳаҷми миёнаи обанбор ҳамчун $W_{\text{миёнаи интиҳой}}$ ба тариқи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$W_{\text{миёнаи интиҳой}} = (W_{\text{ибтидоӣ}} + W_{\text{интиҳой}}) / 2 \quad (16)$$

Нишондиҳандаҳои аздастрибии об дар натиҷаи ҷараёни оварда шудаанд. Ҳаҷми дастоварии об аз бухоршавӣ ба ченаки км³ ҳисоб карда мешавад. Ин ҳисоб бо така ба вобастагии $H = f(W_v)$, ки дар расми 17 нишон дода шудааст.



Расми 17. - Обанбори НБО-и Роғун. Вобастагӣ: $H=f(W)$



Расми 18. - Обанбори НБО-и Роғун. Вобастагӣ: $W=f(H)$

Ҷадвали 4. - Вобастагии ҳаҷми обанбори Роғун аз нишонаи сатҳи он

H, м	1185	1203	1217	1230	1241	1251	1260	1268	1275	1282	1288	1290
W, км ³	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13,3

Агар мо ин функсияро баръакс табдил диҳем, вобастагии зеринро ҳосил кунем:

$$W = f(H) \quad (17)$$

Аз ин ҷо, бо назардошти он ки:

$$W_{\text{обанбор}} = \int S(H) dH \quad (18)$$

ки дар он: $S(H)$ - майдони сатҳи обанбор, ҳамчун функсияи сатҳи об дар он, вобастагии охириро ба таври возеҳ ба даст овардан мумкин аст:

$$S(H) = \frac{dW_{\text{обанбор}}}{dH} = \frac{d(0,00000241821228785279H^3 - 0,00843530375184813H^2 + 9,85922059165082H - 3859,04622190149)}{dH} = \quad (19)$$

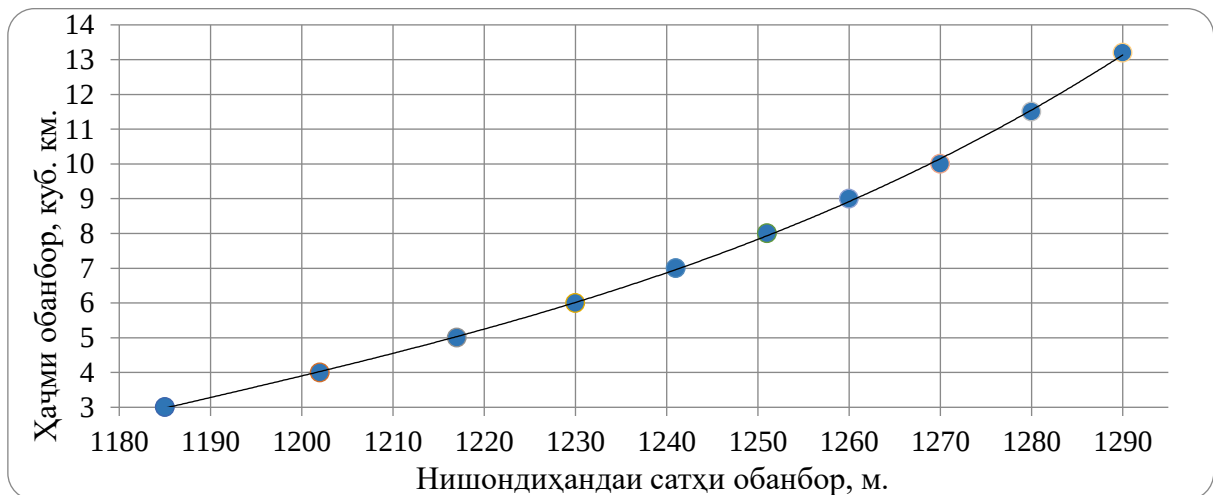
$$0,00000725463686355837 \cdot H^2 - 0,0168706075036963 \cdot H + 9,85922059165082$$

Ҷадвали 5. - Вобастагии майдони сатҳи обанбори Роғун аз нишонаи сатҳи он

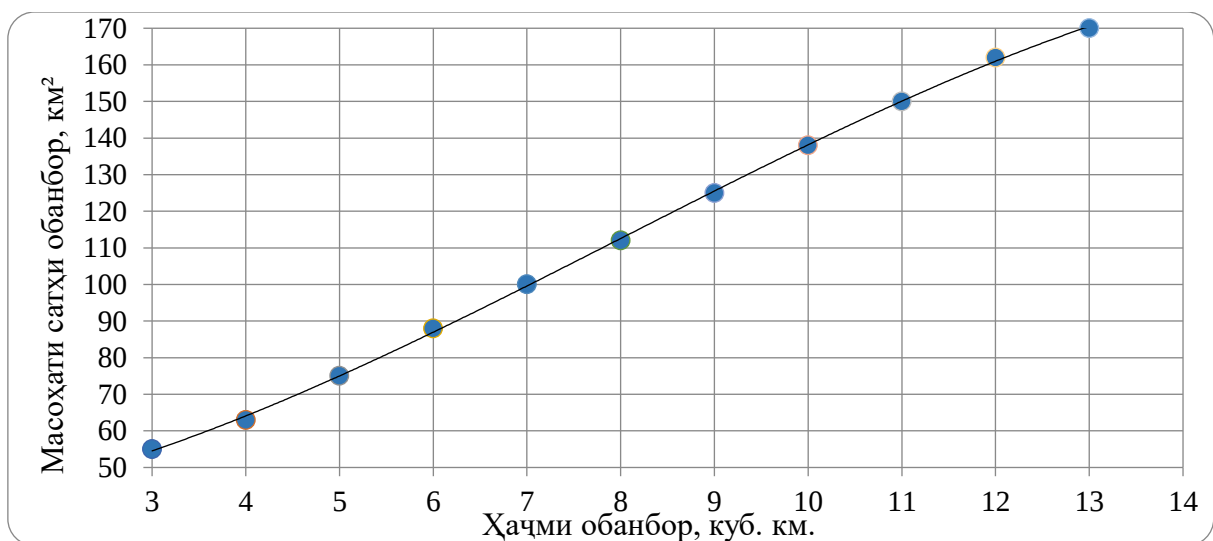
H, м	1180	1200	1220	1240	1260	1280	1290
S, км ²	53,26	61,17	74,88	94,40	119,72	150,84	168,58

Ҷадвали 6. - НБО-и Роғун. Вобастагии $S = f(W)$

W, км ³	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13,3
S, км ²	54,69	62,85	72,45	83,91	95,52	107,60	119,72	131,47	142,51	154,27	164,91	168,58



Расми 19. - Обанбори Роғун. Вобастагӣ: $S=f(H)$



Расми 20. – Обанбори НБО-и Роғун. Вобастагӣ: $S=f(W)$

Дар расмҳои 19 ва 20 вобастагии масоҳат аз фишор ва вобастагии масоҳат аз ҳаҷм нишон дода шудааст.

Тибқи натиҷаҳои ҳосилшуда, талафоти об аз обанбори Роғунро бо истифода аз маълумоти таҳқиқоти дар ҳуҷҷатҳои лоиҳавии техникӣ пешниҳодшуда муайян карда шавад.

Ҳисоби талафот бо формулаи зерин сурат мегирад:

$$P_{\text{бухоршавӣ}} = S \cdot t_{\text{талафот}} \cdot 10^{-6} \quad (20)$$

Дар ин ҷо S:

$$S = -0,0377792687 (W_{\text{давомнокии миёна}})^3 + 1,0055598849 (W_{\text{давомнокии миёна}})^2 + 3,1891993856 W_{\text{давомнокии миёна}} + 36,7031932722.$$

Пас аз ин арзишҳои натиҷаи миёнаи ҳаҷми обанбор дар як моҳ ҳисоб карда мешаванд, $W_{\text{ҳисоби миёна}}$

$$W_{\text{ҳисоби миёна}} = W_{\text{давомнокии миёна}} - P_{\text{полоиш}} - P_{\text{бухоршавӣ}} \quad (21)$$

Ҳаҷми партофтани ҳолӣ/беҳуда бо шартҳои зерин ҳисоб карда мешавад:

- Агар $W_{\text{ҳисоби миёна}}$ камтар аз ҳаҷми пурраи обанбор:

$$W_{\text{ҳисоби миёна}} < 13,3 \text{ км}^3 \quad (22)$$

$$\text{ба } P_{\text{беҳуда}} = 0$$

- Агар $W_{\text{ҳисоби миёна}}$ аз ҳаҷми пурраи обанбор калонтар аст:

$$W_{\text{ҳисоби миёна}} > 13,3 \text{ км}^3 \quad (23)$$

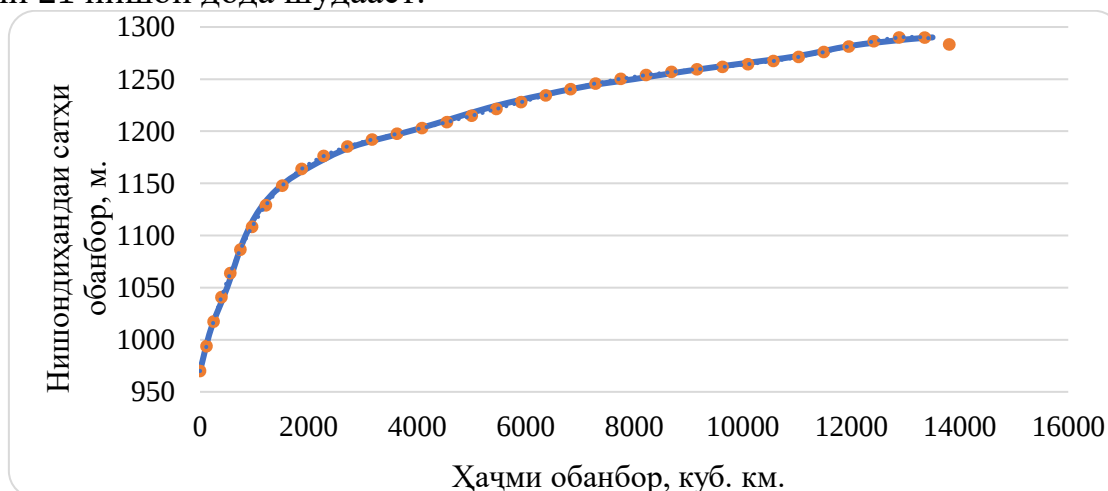
$$\text{ба } P_{\text{беҳуда}} = W_{\text{ҳисоби миёна}} - 13,3$$

Аз рӯи ин арзишҳои мувофиқи $P_{\text{полоиш}}$ барои хароҷоти миёнаи якмоҳаи беҳуда, $Q_{\text{беҳуда}}$, аз рӯи вобастагӣ ҳисоб карда мешаванд:

$$Q_{\text{беҳуда}} = P_{\text{полоиш}} \cdot \frac{10^0}{86400 \cdot n} \quad (24)$$

дар қуҷо: n - шумораи рӯзҳо дар як моҳ.

Ҳамаи ин имкон медиҳад, ки сатҳи мушаххаси (нишонаи) об дар обанбор ба ҳисоби миёна дар як моҳ ҳисоб карда шавад. Вобастагии лоиҳавӣ: $H = f(W)$ дар расми 21 нишон дода шудааст.



Расми 21. - Обанбори НБО-и Роғун. Вобастагӣ: $H=f(W)$ барои обанбор

Ин хати қач ба тамоми ҳаҷми обанбори НБО Роғун, аз ҷумла ҳаҷми истифоданашуда ва ғойданоки об дахл дорад. Бо мақсади танзими кори неругоҳ, модели таҳиягардида танҳо ҳаҷми муфиди обанборро ба ҳисоб мегирад, бинобар ин барои муайян намудани сатҳи об усули дақиқтар истифода мешавад.

Арзишҳои коэффитсиенти A ($= 9,81$ н) дар вобастагии умумӣ барои ҳисоб кардани истеҳсоли неруи барқ нишон дода шудааст:

$$\mathcal{E} = A \cdot Q \cdot H \quad (25)$$

ки то гузаронидани таҳқиқоти табиӣ дар ҳуди НБО-и Роғун, ба монанди НБО-и Норақ қабул шудааст:

$$A = 10,37901 - 0,00672 \cdot H_{\text{брутто}} \quad (26)$$

Ба монанди НБО-и Норақ арзишҳои ҳадди имконпазири кавитатсия ва қобилияти гузариши арзиши хароҷоти об тавассути НБО ҳисоб карда шудаанд:

$$Q_{\text{МАХ}} = 0,00003869 \cdot (H_{\text{брутто}})^4 - 0,03529695 \cdot (H_{\text{брутто}})^3 + 11,92065309 \cdot (H_{\text{брутто}})^2 - 1765,53505094 \cdot (H_{\text{брутто}}) + 98141,08410839 \quad (27)$$

Баъд аз ин истеҳсоли неруи барқ дар як моҳ ҳисоб карда мешавад:

$$\mathcal{E} = A \cdot Q_{\text{НБО}} \cdot H_{\text{брутто}} \quad (28)$$

Моделсозии таъсири тағйирёбии иқлим ба сарфи об ва банақшагирии иқтидори обанборҳоро барои таъмини устувории таъминоти энергетикӣ.

«Ҳамзамон, дар боби мазкур барои ҳисоббарорӣ модели рақамии релеф (DEM) бо тақсимои қитъаҳо ба фосилаи 20 км истифода гардид. Иқтидори назариявӣ бо дарназардошти фарқияти баландии байни буришҳои болооб ва поёноб ва инчунин ҳаҷми миёнаи солонаи сарфи об муайян карда шуда, аз рӯи формулаи зерин ҳисоб карда мешавад» [41]:

$$E_{TRWater} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H \cdot t \quad (29)$$

ки дар он:

$E_{TRWater}$ – иқтидори назариявии гидроэнергетикӣ дарё (J); ρ – зичии об (дар таҳқиқоти мазкур 1,0 кг/л қабул гардидааст); g – шитоби афтиши озод (9,8014 м/с², мутобиқи қонуни ҷозибай умумичаҳонӣ, соли 1979, барои арзи 39° ҳисоб шудааст); Q – ҳаҷми миёнаи солонаи сарфи об (м³/с); ΔH – фарқияти баландии байни қитъаҳои буриши болооб ва поёноб (м); t – давомнокии вақт (8760 соат дар як сол).

Бо дарназардошти он ки дар ҳавзаи дарёи Вахш саҳми сарфи барфоб дар ташаққули маҷрои умумии об хеле баланд мебошад, барои моделсозии равандҳои гидрологӣ дар шароити сенарияҳои гуногуни иқлимӣ модели гидрологии SRM истифода гардид.

«Моделҳои SRM як модели концептуалии «дараҷа-рӯз» (degree-day) буда, масоҳати бо барф пӯшонидашударо ҳамчун яке аз нишондиҳандаҳои асосии воридотӣ ба инобат мегирад. Муодилаи асосии он тибқи формулаи (30) ифода мегардад» [42].

$$Q_{n+1} = [C_{sn} \cdot a_n(T_n + \Delta T_n)S_n + c_{Rn}P_n] \frac{A \cdot 10,000}{86,400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} \quad (30)$$

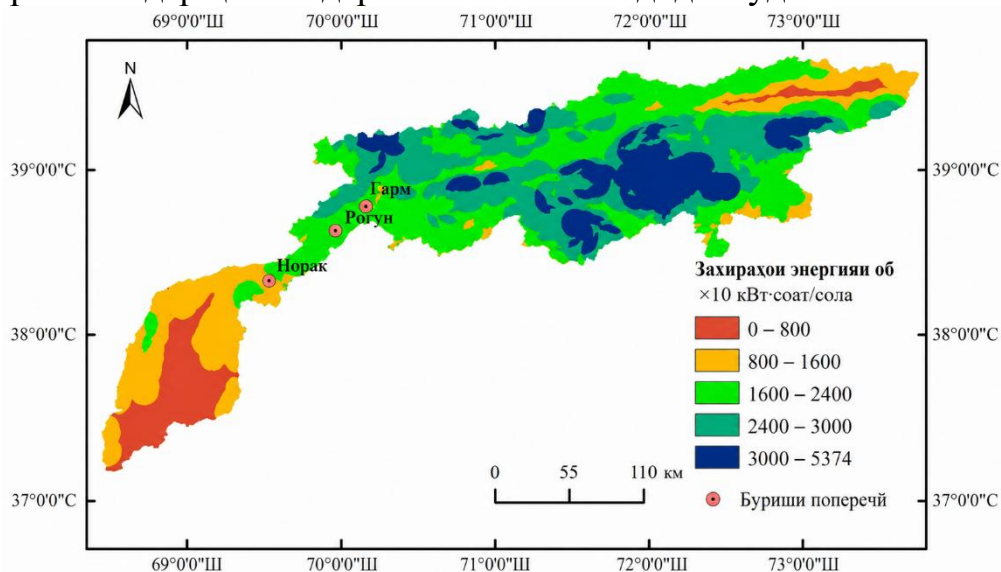
ки дар он:

Q – ҳаҷми миёнаи шабонарӯзии сарфи об ($\text{м}^3/\text{с}$);

C – коэффисиенти сарф, ки талафотро ҳамчун нисбати сарф ба боришот (runoff/precipitation) ифода мекунад; C_s – коэффисиенти сарфи барфоб; C_r – коэффисиенти сарфи оби боронӣ; a – омили «дараҷа-рӯз», ки умқи обшавии барфро аз ҳисоби як дараҷа-рӯз нишон медиҳад ($\text{см} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{рӯз}^{-1}$); ΔT – ислоҳи ҳарорат (экстраполятсия) аз истгоҳи мушоҳидавӣ ба баландии миёнаи гипсометрии ҳавза ё минтақаи баландию релефӣ ($^\circ\text{C}$); S – ҳиссаи масоҳати бо барф пӯшонидашуда нисбат ба масоҳати умумӣ; P – миқдори боришоте, ки дар ташаккули сарфи об иштирок мекунад; A – масоҳати ҳавза ё минтақаи баландию релефӣ (км^2); k – коэффисиенти коҳиш (recession coefficient), ки пастшавии сарфи обро дар давраҳои беобшавии барф ва бе боришот тавсиф менамояд; n – пайдарҳамии рӯзҳо дар давраи ҳисобкунии сарф.

Ифодаи $\frac{10,000}{86,400}$ барои табдили воҳидҳо аз $\text{см}/\text{км}^2/\text{рӯз}$ ба $\text{м}^3/\text{с}$ истифода бурда мешавад.

Бо дарназардошти таъсири назарраси тағйирёбии иқлим дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, низоми моделсозӣ дар кори диссертатсионии мазкур барои се сценарияи концентратсияи намояндагии партовҳо - RCP2.6, RCP4.5 ва RCP8.5 - татбиқ гардид. Барои ин дурнамои иқлимии маҷмӯаи моделҳои байналмилалӣ SMIP5 истифода шуд. Дар расми 22 тақсими фазоии захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш нишон дода шудааст.



Расми 22. - Тақсими фазоии захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш

Таҳлили омори нишон медиҳад, ки аксарияти ҳудудҳо дорои иқтидори назарраси энергетикӣ мебошанд ва беш аз 90 фоизи масоҳати ҳавза зиёда аз 100 млрд кВт·соат дар як сол имконияти истеҳсоли неру доранд.

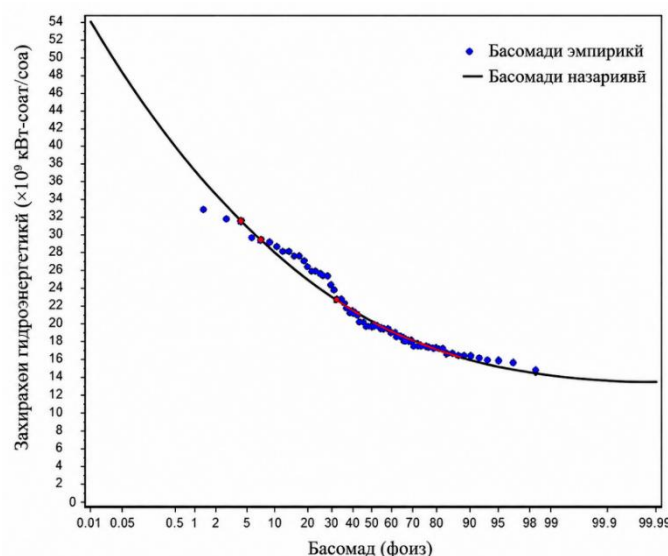
Ҷадвали 6. - Ҳисоббарори захираҳои гидроэнергетикӣ дар қитъаҳои намунавии гидрологӣ

Ном	Фарқияти баландӣ (м) аз сатҳи баҳр	Ҳаҷми миёнаи солонаи сарфи об ($\text{м}^3/\text{с}$)	Захираҳои гидроэнергетикӣ ($\times 10^8$ кВт·соат/сол)
Ғарм	2007	321,92	554,65
Роғун	2036	645,00	1127,37
Норак	1413	650,05	788,53

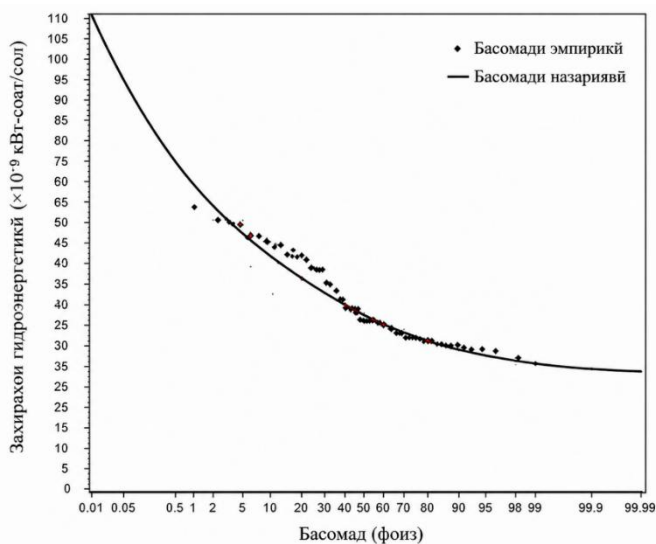
Таҳлили омории маълумоти миёнасолаи давраи солҳои 1976-1985 натиҷаҳои зеринро нишон дод. Тақсими дохилсолонаи захираҳои гидроэнергетикӣ ҳеле номутавозин мебошад. Қиматҳои пасттарин дар моҳҳои январ–март ба қайд гирифта шуда, мутаносибан $6,03 \times 10^8$; $12,24 \times 10^8$ ва $8,58 \times 10^8$ кВт·соатро ташкил медиҳанд, ки барои ҳар як қитъа тақрибан 2,77% ҳаҷми солоноро дар бар мегирад.

Баръакс, баландтарин нишондиҳандаҳо дар моҳи июн мушоҳида мешаванд - $47,83 \times 10^8$; $97,04 \times 10^8$ ва $68,02 \times 10^8$ кВт·соат, ки ба ҳисоби миёна 21,96% аз ҳаҷми умумии солоноро ташкил медиҳанд.

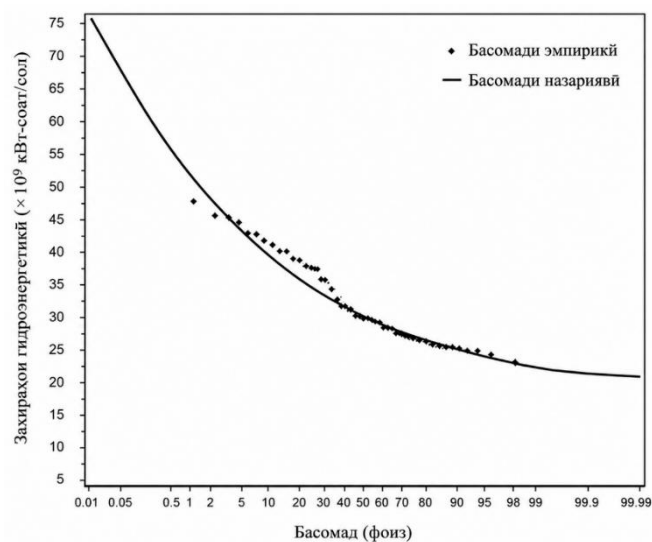
Дар маҷмӯъ, ба давраи серобӣ (май–сентябр) 75,13% ҳаҷми умумии захираҳои гидроэнергетикӣ рост меояд, дар ҳоле ки ҳафт моҳи боқимонда танҳо 24,87%-ро дар бар мегиранд. Ин ҳолат зарурати танзими мавсимии захираҳои об ва банақшагирии иқтидори обанборҳоро барои таъмини устувории таъминоти энергетикӣ дар фасли камобӣ нишон медиҳад. Расмҳои 23, 24, 25 ва 26 тақсими эҳтимолии захираҳои гидроэнергетикӣ, хусусиятҳои тақсими захираҳои гидроэнергетикӣ дар давоми сол, моделсозии сарфи об дар қитъаи гидрологии Ғарм дар асоси модели SRM ва муқоисаи сарфи воқеӣ ва моделсозии шудаи шабонарӯзӣ бо истифода аз диаграммаҳои пароканда (scatter plot) инъикос намоянд.



(А) Дидбонгоҳи Ғарм

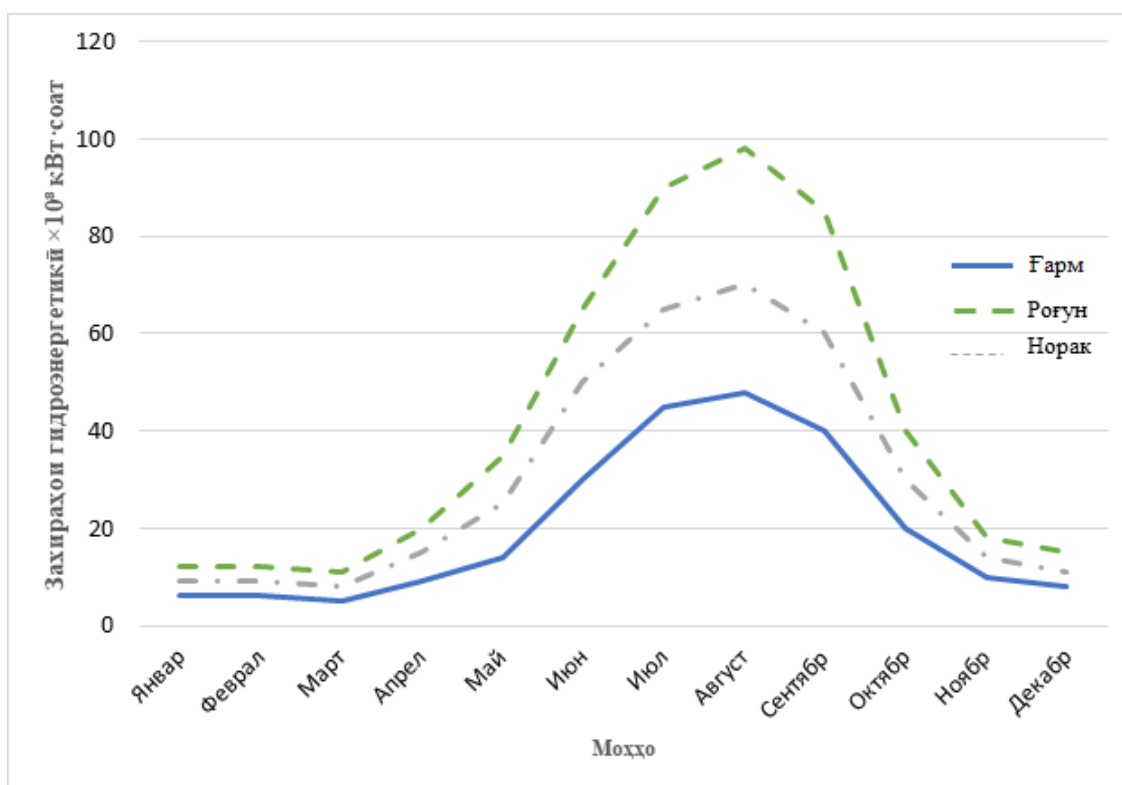


(Б) Дидбонгоҳи Роғун



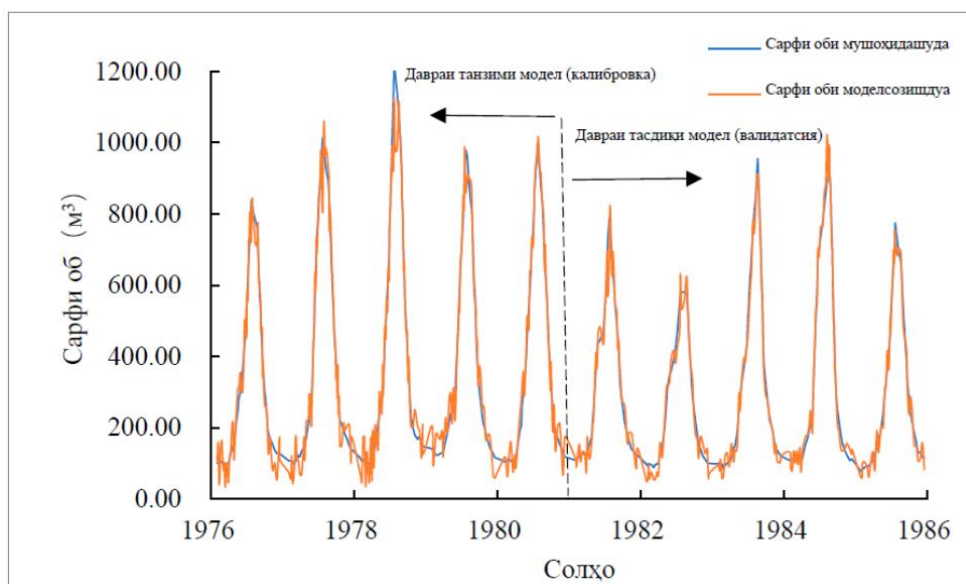
(В) Дидбонгоҳи Норак

Расми 23. - Тақсимои эҳтимолии захираҳои гидроэнергетикӣ

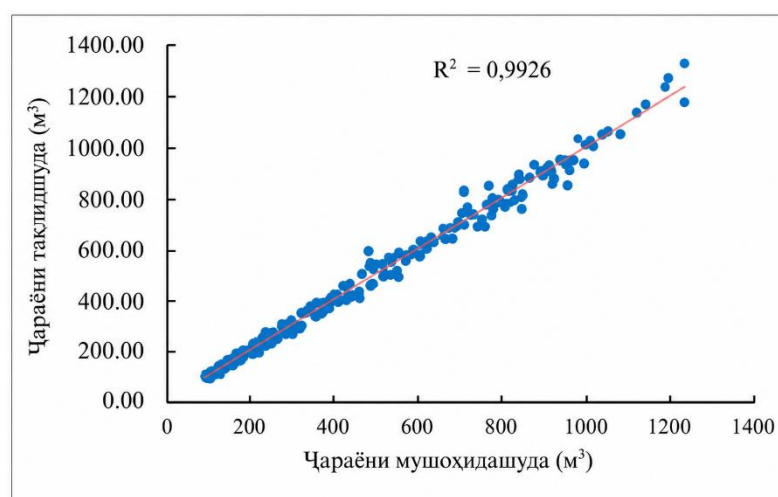


Расми 24. - Хусусиятҳои тақсимои захираҳои гидроэнергетикӣ дар давоми сол

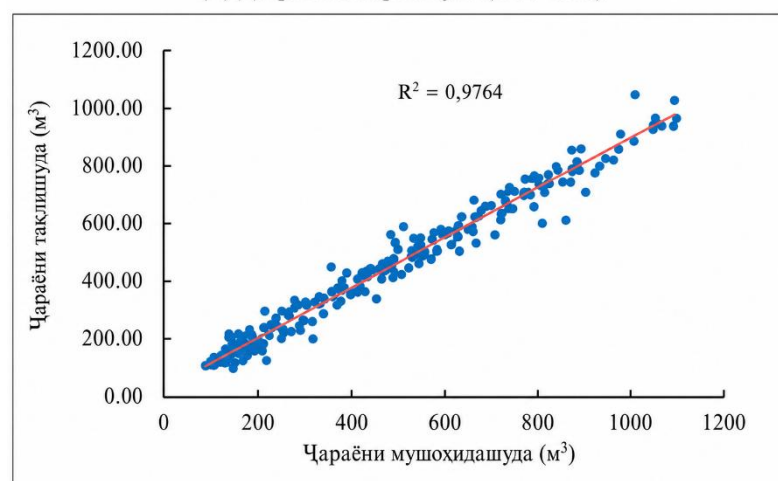
Мувофиқати баланди байни маълумоти мушоҳидашуда ва натиҷаҳои моделсозӣ ҳам дар марҳилаи танзим (калибровка) ва ҳам дар марҳилаи санҷиш (валидатсия) ба назар мерасад.



Расми 25. - Моделсозии сарфи об дар қитъаи гидрологии Ғарм дар асоси модели SRM



(A) Давраи калибрченкунӣ (1976–1980)



(B) Давраи тасдиқкунӣ (1981–1985)

Расми 26. - Муқоисаи сарфи воқеӣ ва моделсозиишудаи шабонарӯзӣ бо истифода аз диаграммаҳои пароканда (scatter plot)

Қиматҳои баланди R^2 ва NSE ($>0,97$) далели мувофиқати хеле хуби модел бо маълумоти воқеӣ буда, қобилияти он барои моделсозии сарфи об дар шароити тағйирёбии иқлимиро тасдиқ менамоянд.

Тағйирёбии нишондиҳандаҳои иқлимӣ – ҳарорати максималӣ ($T_{\text{макс}}$), ҳарорати минималӣ ($T_{\text{мин}}$), ҳарорати миёна ($T_{\text{миёна}}$) ва боришот (P) – барои минтақаи таҳқиқот нисбат ба давраи моделсозӣ дар ҷадвали 7 пешниҳод гардидааст.

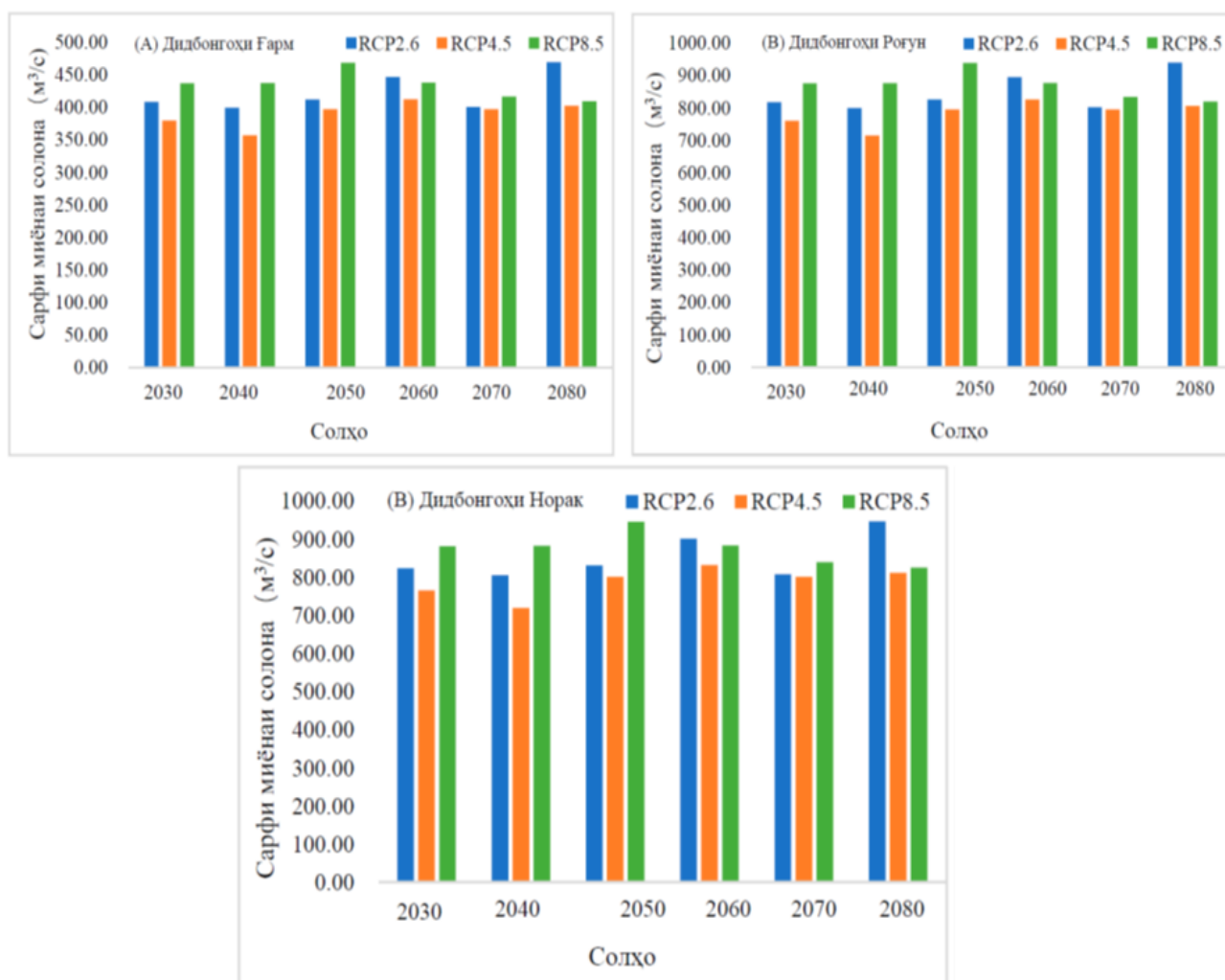
Ҷадвали 7. Қиматҳои тағйирёбии сценарияҳои иқлимӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш нисбат ба давраи асосӣ (1976–1986)

Нишондиҳанда	Сценария	2030	2040	2050	2060	2070	2080
$T_{\text{макс}} (^{\circ}\text{C})$	RCP2.6	0,19	0,18	0,33	0,46	0,44	0,27
	RCP4.5	0,20	0,28	0,36	0,52	0,62	0,61
	RCP8.5	0,21	0,51	0,76	0,83	1,19	1,40
$T_{\text{мин}} (^{\circ}\text{C})$	RCP2.6	0,22	0,22	0,35	0,40	0,44	0,27
	RCP4.5	0,26	0,32	0,33	0,50	0,49	0,51
	RCP8.5	0,19	0,46	0,63	0,70	1,04	1,15
$T_{\text{миёна}} (^{\circ}\text{C})$	RCP2.6	0,21	0,20	0,34	0,43	0,44	0,27
	RCP4.5	0,23	0,30	0,35	0,51	0,56	0,56
	RCP8.5	0,20	0,49	0,69	0,76	1,12	1,28
P (мм)	RCP2.6	6,67	5,96	6,97	9,60	6,06	11,41
	RCP4.5	6,27	3,79	8,18	9,86	8,16	8,75
	RCP8.5	8,19	8,22	10,44	8,25	6,72	6,21

Афзоиши миёнасолаи ҳарорат дар доираи $0,31\text{--}0,82^{\circ}\text{C}$ арзёбӣ шуда, боришот низ ба ҳисоби миёна тақрибан 8 мм зиёд мегардад.

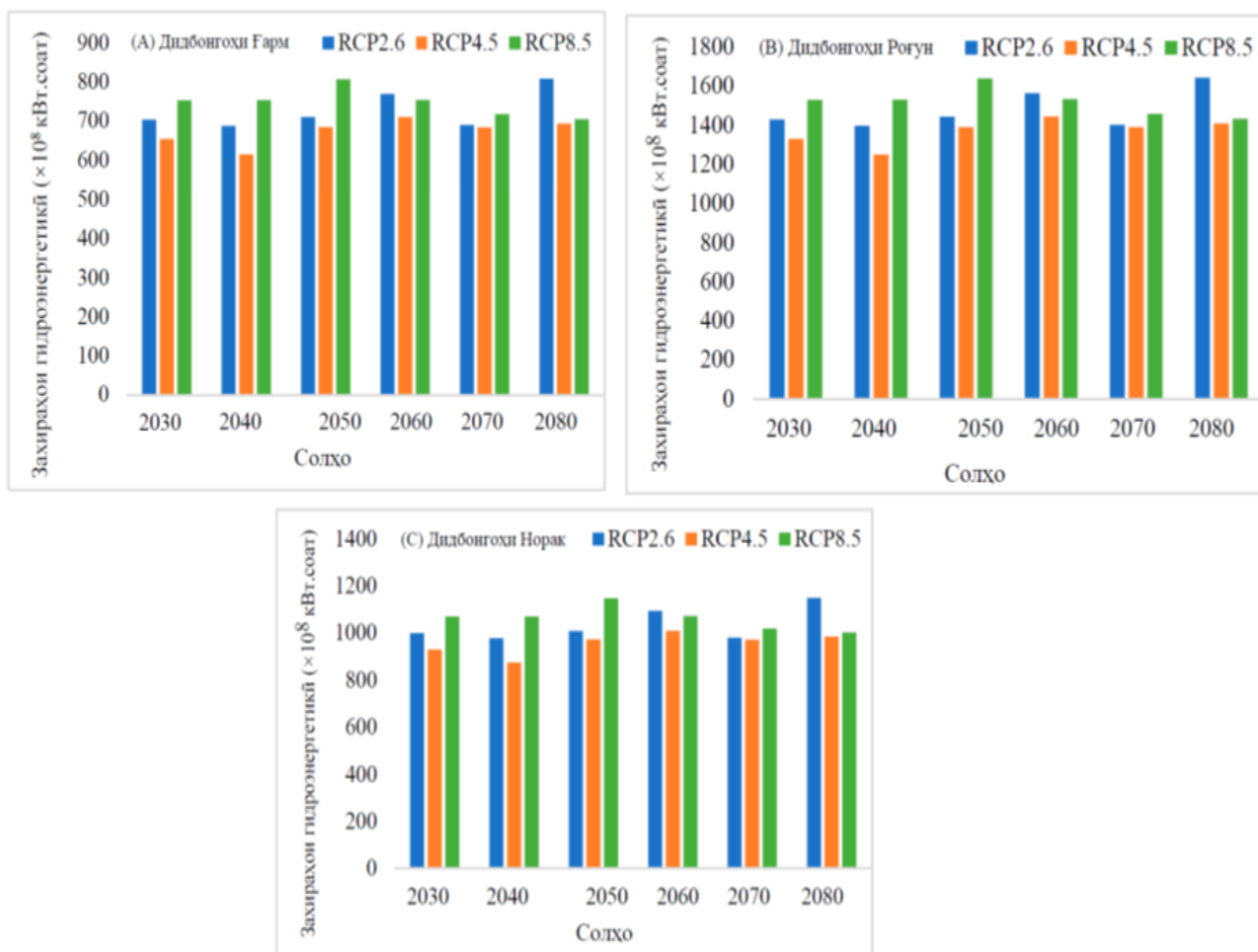
Тибқи натиҷаҳои расми 27, бо зиёд шудани ҳарорат ва боришот ҳаҷми сарфи об низ ба дараҷаҳои гуногун афзоиш меёбад. Дар панҷоҳ соли оянда, бо сатҳи эътимоднокии 95%, ҳаҷми умумии сарфи об барои қитъаҳои Ғарм, Роғун ва Норак мутаносибан $415,64 \pm 57,77$; $832,78 \pm 114,52$ ва $839,30 \pm 168,09$ м³/соняро ташкил медиҳад.

Ин тағйироти иқлимӣ метавонад ба афзоиши басомад ва шиддати селу обхезиҳо дар минтақа гардад, ки зарурати тақвияти идоракунии захираҳои об ва мутобиқсозии инфрасохтори гидротехниро тақозо менамояд.



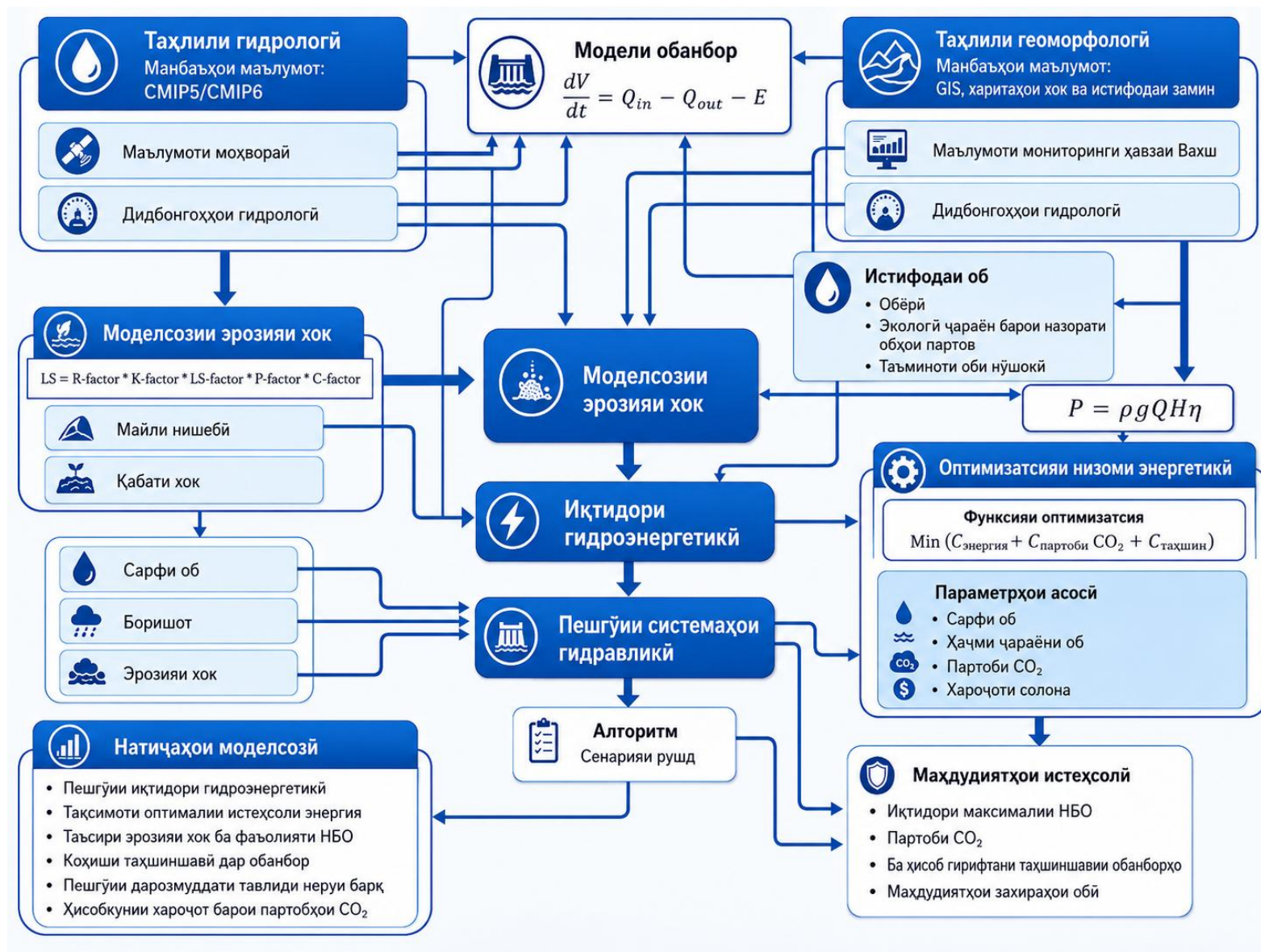
Расми 27. - Тағйирёбии сарфи об дар шароити сценарияҳои гуногуни иқлимӣ

Натиҷаҳои ҳисоббарорӣ дар расми 28 пешниҳод гардидаанд, ки динамикаи тағйирёбии иқтидори гидроэнергетикӣ дар қитъаҳои таҳқиқшуда дар шароити гуногуни иқлимиро инъикос менамоянд. Расми 28 нишон медиҳад, ки дар ҳар се сценария, захираҳои гидроэнергетика бо афзоиши чараёни об афзоиш меёбанд ва аз 162 ± 22.54 то $328,108 \pm 45,652.24$ кВт/соат/сол дар сатҳи эътимоднокии 95% фарқ мекунанд. Аз ҷиҳати фазой, афзоиши хурдтарин дар Фарм, бузургтарин дар Норак ва баъд аз он дар Роғун мушоҳида мешавад. Тамоюли тағйирот бо тағйирёбии чараёни об мувофиқ аст.



Расми 28. - Тағйирёбии захираҳои гидроэнергетикӣ дар шароити сценарияҳои гуногуни иқлимӣ

Инчунин, дар боби мазкур модели концептуалии истеҳсоли неруи барқ дар ҳавзаи дарёи Вахш ҳамчун системаи илмӣ-амалӣ, ки ба таҳлили ҳамачонибаи равандҳои гидрологӣ, энергетикӣ ва иқлимӣ асос ёфтааст, пешниҳод карда мешавад. Дар шароити муосир, ки бо афзоиши талабот ба энергия, ноустувории иқлим ва захираҳои маҳдуди табиӣ тавсиф мешавад, зарурати истифодаи равишҳои ҳамачониба барои идоракунии самараноки системаи энергетикӣ вучуд дорад. Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки зиёда аз 90 фоизи истеҳсоли неруи барқи худро аз ҳисоби неругоҳҳои барқи обӣ таъмин менамояд, ба таври мустақим аз ҳолати захираҳои обӣ ва тағйирёбии онҳо вобаста мебошад. Аз ин рӯ, таҳияи модели илмӣ асоснок, ки имкон медиҳад равандҳои табиӣ ва техникӣ дар як низомӣ ягона таҳлил карда шаванд, аҳамияти калидӣ дорад.



Расми 29. - Моделҳои концептуалӣ-математикии ҳамгириёнаи низоми гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш дар шароити тағйирёбии иқлим

ХУЛОСАҲО

Натиҷаҳои асосии илмӣ диссертатсия

1. Бори аввал дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳлили муқоисавии системавии захираҳои энергетикӣ, аз ҷумла гидроэнергетикӣ, ангишт, захираҳои минералӣ ва манбаъҳои барқароршавандаи энергия, дар асоси методологияи эквиваленти энергетикӣ солоне анҷом дода шуд [1-М].

2. Сенарияи гидро-ангишти рушди энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳия ва асоснок карда шуд, ки баланд бардоштани устувории шабакаи энергетикӣ ва амнияти таъминоти неруи барқро таъмин менамояд. Арзёбиҳои моделҳои оптимизатсионӣ-тақлидии математикии речаи қори системаи энергетикӣ, аз ҷумла, моделҳои самаранокӣ барои неругоҳҳои бузурги барқӣ, ба монанди НБО Роғун, таҳия шудаанд, то неругоҳҳои барқиро устуворона идора кунанд [2-М].

3. Таҳқиқотҳо собит намуданд, ки ҳамгирии НБО-и Роғун бо манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва системаҳои интеллектуалии идоракунии неруи барқ, устувории шабака ва самаранокии истифодаи энергияро зиёд намуда, ҳиссаи сӯзишвории истихроҷиро коҳиш медиҳад. Ин ҳамгирӣ на танҳо устувории шабака ва ҷалби сармоягузориҳоро таъмин мекунад, балки ба кам кардани партовҳои карбон ва таъсири экологӣ низ мусоидат мекунад [4-М].

4. Таҳлили афзалиятҳо ва имкониятҳои ҳамгирии манбаъҳои ангишт ва нафт бо иқтидори гидроэнергетикӣ нишон дод, ки ин равиш устувории шабакаи энергетикӣ, диверсификатсияи сарчашмаҳои энергия ва ҷуброни норасоии фаслӣ дар НБО-хоро таъмин менамояд. Ҳамзамон, самаранокии энергетикӣ дарёҳо ва қитъаҳои ояндадори онҳо барои ҷалби сармоягузорӣ ва тарҳрезии неругоҳҳои нав асоснок карда шудааст [5-М].

5. Равандҳои эрозия ва таҳшиншавӣ ҳамчун омилҳои муҳими табиӣ ба устуворӣ ва самаранокӣ фаъолияти низоми гидроэнергетикӣ таъсири назаррас мерасонанд, ки ин таъсир дар доираи таҳқиқот бо истифода аз моделҳои муносири математикӣ ва технологияҳои геоинформатсионӣ (GIS) ҳамаҷониба арзёбӣ ва таҳлил карда шуд. Навгониҳои илмӣ нишон доданд, ки истифодаи методологияҳои SRM ва MUSLE барои таҳлили ҳавзаҳои кӯҳӣ, аз ҷумла дарёи Вахш, имконият медиҳад қарорҳои устувор ва иқтисодии сохтмони неругоҳҳоро қабул намуд [17-М].

6. Таҳлили дурнамои рушди захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш собит намуд, ки афзоиши аҳоли ва рушди иқтисодӣ талабот ба неруи барқро зиёд намуда, ҳамзамон фишор ба муҳити зистро зиёд мекунад. Моделсозӣ ва арзёбии сенарияҳои CMIP5 ва CMIP6 нишон дод, ки тағйирёбии иқлим боиси афзоиши ҳолатҳои боришоти шадид ва камшавии сарфи об аз пирахҳо гардида, ба иқтидори гидроэнергетикӣ таъсири ҷиддӣ мерасонад. Ҳамин тавр, дар сурати афзоиши ҳарорат то 2 °C ҳаҷми сарфи об дар ҳавза то 16,5 % зиёд шуда, тағйирёбии мавсимӣ ва фазои боришот ба самаранокӣ неругоҳҳо таъсири назаррас дорад [10-М].

7. Дар соҳаи энергияи барқароршаванда, дастгоҳ барои хунуккунии панелҳои офтобӣ таҳия карда шуд. Дар он пошанда дар шакли кубури сӯрохдор бо кунҷи 45° нисбат ба сатҳи панел насб гардида, бо насоси фишори паст ва хати таъмини об пайваст мешавад. Ин дастгоҳ имкон медиҳад, ки ҳарорати панелҳо то $20-25^\circ\text{C}$ паст шуда, самаранокӣ ва устувории кори онҳо дар шароити ҳарорати баланд ва тағйирёбии иқлим ба таври назаррас афзоиш ёбад [9-М].

8. Дар маҷмӯъ, натиҷаҳои диссертатсия нишон медиҳанд, ки барои таъмини устувории дарозмуддати низоми энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон зарур аст, ки идоракунии ҳамгироёнаи захираҳои обӣ, татбиқи моделҳои сенариявӣ ва оптимизатсияи речаи кори неруғоҳҳои барқӣ обӣ бо истифодаи усулҳои илмӣ ва инноватсионӣ таъмин карда шавад [12-М].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот

1. Тақвияти идоракунии ҳамгирошудаи обанборҳо ва неруғоҳҳои барқӣ, бо афзалият ба неруғоҳи барқӣи оби Роғун, барои баланд бардоштани самаранокӣ, амнияти энергетикӣ ва устуворӣ ба тағйирёбии иқлим ва хатарҳои таҳшиншавӣ.

2. Якҷоя кардани неруғоҳи барқӣи Роғун бо иқтидори офтобӣ ва бодӣ дар доираи равиши ҳамгироии системавӣ барои гуногунранг кардани таъминот, беҳтар кардани эътимодноӣ ва мутобиқшавии шабака ва кам кардани таъсири экологӣ ҳангоми ҷалби сармоягузорӣ.

3. Истифодаи моделҳои оптимизатсия-симулятсия, арзёбии фаъолияти неруғоҳҳои барқӣ, асбобҳои GIS ва нишондиҳандаҳои гидрологӣ (NDWI, MUSLE) барои пешгӯии дақиқи эрозия, таҳшиншавӣ ва таъсири иқлимӣ ба системаи энергетикӣ васеъ карда шавад.

4. Кам кардани вобастагӣ аз ангишт тавассути таҳияи омехтаи мутавозини энергияи барқӣ, офтобӣ ва бодӣ, беҳтар кардани эътимоднокии система, ҷуброни ноустувории мавсимӣ ва коҳиш додани партовҳои карбон.

5. Бо назардошти иқлими Тоҷикистон, барои нигоҳ доштани самаранокӣ ва тозагӣ барои панелҳои офтобӣ роҳҳои ҳалли хунуккунии арзон (кам кардани ҳарорати сатҳ то $20-25^\circ\text{C}$)-ро истифода баред.

6. Тақвият додани инфрасохтори неруғоҳҳои барқӣ ва обанборҳо ва қабули банақшагирии сенариявӣ барои мутобиқ шудан ба боришоти зиёд ва хатарҳои обхезии ногаҳонӣ дар шароити тағйирёбии иқлим.

РҶҶҶҶҶҶ АДАБИЁТ

- [1]. В.И. Салыгин Интеграционные аспекты развития электроэнергетического комплекса ЕС: общий электроэнергетический рынок / Р.К. Мустафинов // Энергетическая политика, 2017. – №6. – С. 45-52.
- [2]. Швец Н.Н. Современные проблемы обеспечения энергетической безопасности России в сфере электроэнергетики и пути их решения // Швец Н.Н. Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013 - №31. – С. 9-16.
- [3]. Wegerich K. Reliving the past in a changed environment: Hydropower ambitions, opportunities and constraints in Tajikistan / K. Wegerich, O. Olsson and J. Froebrich // Energy Policy. – 2007. - №35(7). - P. 3815-3825.
- [4]. K. Kosowska, Energy security of hydropower producing countries—The cases of Tajikistan and Kyrgyzstan / K. Kosowska, and P. Kosowski // Energies. - 2022. - №15(21). - P. 7822.
- [5]. K. S. Karimov, Effective management of combined renewable energy resources in Tajikistan / K.S. Karimov, et al., // Science of the total environment. - 2013. - №46. - P. 835-838.
- [6]. Y. Sekretarev, Optimization of long-term modes of hydropower plants of the energy system of Tajikistan / Y. Sekretarev, S. Sultonov and M. Nazarov // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2016. IEEE.
- [7]. U. Azimov, Sustainable small-scale hydropower solutions in Central Asian countries for local and cross-border energy/water supply / U. Azimov, and N. Avezova // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2022. – №167. - P. 112726.
- [8]. А.С. Иванов, Мировой рынок энергоресурсов: сегодня и вчера. / Иванов, А.С. и И.Е. Матвеев // Российский внешнеэкономический вестник. – 2015. - №4. - С. 3-23.
- [9]. А. Ахророва, Энергетика Таджикистана: стратегия устойчивого развития / Ахророва, А. и Ф.Д. Бобоев // Таджикистан и современный мир. - 2016. - №5. - С. 57-67.
- [10]. М.А. Корытцев, Системы торговли квотами на выбросы парниковых газов: анализ международного опыта и перспективы применения в России / Корытцев, М.А. и С.А. Морозов // Государственное и муниципальное управление. Учёные записки. – 2023. - №1. - С. 89-96.
- [11]. А. Мудрецов, Традиционные и зеленые источники энергии: проблемы и перспективы развития в условиях глобальной декарбонизации / Мудрецов, А. и А. Прудникова // Проблемы рыночной экономики. - 2022. - №1. - С. 159-168.
- [12]. Z.X. Zhang, Greenhouse gas emission trading and the world trading system / Z.X. Zhang // J. World Trade. - 1998. - №32. - P. 219.

[13]. C. Boemare, Implementing greenhouse gas trading in Europe: lessons from economic literature and international experiences / C. Boemare and P. Quirion // *Ecological Economics*. - 2002. - №43(2-3). - С. 213-230.

[14]. Л.В. Калимуллин, Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии / Калимуллин, Л.В., et al // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. – 2019. - №1. - С. 42-54.

[15]. И.В. Усачева, Гибридные накопители энергии: проблемы и перспективы технологий хранения энергии / И.В. Усачева, Е.А. Гладкая, и С.В. Ландин // *Научные труды Вольного экономического общества России*. - 2022. - №236(4). - С. 149-167.

[16]. A. Habib, Analytical review on the trends and present situation of large-scale sustainable energy storage technology / A. Habib and C. Sou // *European Journal of Sustainable Development Research*. - 2018. - №2(3). - P. 31.

[17]. S. Sahoo, Energy storage technologies for modern power systems: A detailed analysis of functionalities, potentials, and impacts / Sahoo, S. and P. Timmann // *IEEE Access*. - 2023. - №11. - P. 49689-49729.

[18]. P. Normatov, The impact of climate change on hydrology and glaciation of the Zeravshan, Vakhsh and Pyanj river basin / P. Normatov // *Copernicus Meetings*. – 2022.

[19]. K. Unger-Shayesteh, what do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? A review / K. Unger-Shayesteh, et al. // *Global and Planetary Change*. - 2013. - №110. - С. 4-25.

[20]. А.А. Имомов, Влияние гидротехнического строительства на географическое распределение твердого стока рек из горного пояса в долины (на примере отложений в прудах Юго-Западного Таджикистана) / А.А. Имомов, У.И. Муртазаев, и Т.М. Гуруков // *Вестник Педагогического университета*. – 2015. - №2-1. - С. 250-257.

[21]. Пулатов, Я., et al., Научные основы управления водными ресурсами и развитие водного сотрудничества в центральной азии / Я. Пулатов и другие // *География и водные ресурсы*. – 2016. - №3. – С. 91-97.

[22]. З. Кобулиев, Гидроэнергетический потенциал таджикистана и реализация гидроэнергетических проектов / Кобулиев, З., К. Нуралиев, и М. Абдусаматов // *Международная научно-практическая online конференция «Технические средства предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций»*. – 2017. №1. – С. 57-60.

[23]. А. Фазылов, Значение водохранилищ при комплексном регулировании и управлении водными ресурсами в условиях напряженного водохозяйственного баланса Центрально-Азиатского региона / А.Фазылов //

Вода для мелиорации, водоснабжения отраслей экономики и природной среды в условиях изменения климата. - 2018. - №2. - С. 45-61.

[24]. Стоцкий, К.С., и др., Мини гидроэлектростанции / К.С. Стоцкий и др. // Наука через призму времени. – 2020 №1. - С. 42-44.

[25]. Г.Н. Петров, Гидроэнергетика и ее роль в региональной интеграции стран Центральной Азии / Г.Н. Петров // Евразийская экономическая интеграция. – 2009 №3 (4). - С. 117-131.

[26]. С. Наврузов, Модельные задачи распределения и использования водных ресурсов в бассейне трансграничной реки / С. Наврузов // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2010 №3. - С. 51-64.

[27]. З. Усманов, Сценарии вододеления в модельном трансграничном речном бассейне / З. Усманов и С. Наврузов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. - 2008. -№51(7). - С. 496-500.

[28]. Х. Ахмедов, Малая гидроэнергетика и возможности использования мини-и микроГЭС в горных территориях Таджикистана / Х. Ахмедов, Х. Каримов и Г. Петров // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2010 №1. - С. 100-109.

[29]. С. Давлатшоев, Исследование диапазона изменения степени минерализации подземных вод в основании плотины Рогунской ГЭС / С. Давлатшоев, З. Кобулиев и М. Сафаров // Научный журнал. – 2020. - С. 58.

[30]. С. Курбонализода, Исследование режимов работы ГЭС мощностью 600 МВт / С. Курбонализода и З. Кобулиев // Кишоварз. – 2019. - №1. - С. 116-124.

[31]. Ш.М. Султонов, Оптимизация режимов работы энергосистемы с высокой долей гидроэлектростанций (на примере энергосистемы Таджикистана) / Ш.М. Султонов // Новосибирск. - 2016.– С. 22.

[32]. A. Gulakhmadov, Simulation of the potential impacts of projected climate change on streamflow in the Vakhsh River Basin in Central Asia under CMIP5 RCP scenarios / A. Gulakhmadov, et al. // Water. - 2020. - №12(5). - P. 1426.

[33]. Филиппова, А.В. Глобальные тренды развития мировой электроэнергетики в условиях перехода к возобновляемым источникам энергии / А.В. Филиппова // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, №9. – С. 3413–3426.

[34]. Андреев, О. Возобновляемые источники энергии и проблемы развития нетрадиционных источников энергии / О. Андреев // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2023. – №2. – С. 200.

[35]. On the cooling method of solar panels [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://ru.sunpropowersale.com/news/on-the-cooling-method-of-solar-panels-31772939.html> (дата обращения: 14.09.2025).

[36]. World Bank. Rogun Hydropower Project: Assessment Studies. – Washington, DC: World Bank, 2020.

[37]. Williams, J. EPIC: A new method for assessing erosion's effect on soil productivity / J. Williams, K. Renard, P. Dyke // Journal of Soil and Water Conservation. – 1983. – Vol. 38, №5. – P. 381–383.

[38]. Li, D. Sediment load responses to climate variation and cascade reservoirs in the Yangtze River: A case study of the Jinsha River / D. Li [и др.] // Geomorphology. – 2018. – Vol. 322. – P. 41–52.

[39]. Holdren, J.P. Population and the energy problem / J.P. Holdren // Population and Environment. – 1991. – Vol. 12, №3. – P. 231–255.

[40]. Fallah, B. Climate change impacts on Central Asia: Trends, extremes and future projections / B. Fallah [et al.] // International Journal of Climatology. – 2024. – Vol. 44, №10. – P. 3191–3213.

[41]. Chen, M. Statistical insights into the water exchange process in the Yangtze-Poyang System: The YPWES model / M. Chen [и др.] // Journal of Hydrology: Regional Studies. – 2022. – Vol. 40. – P. 101054.

[42]. Bilal, H. Snow runoff modelling in the upper Indus River Basin and its implication to energy water food nexus / H. Bilal [и др.] // Ecological Modelling. – 2024. – Vol. 498. – P. 110871.

Натиҷаҳои асосии рисола дар мақолаҳои зерин дарҷ шудаанд:

[1–М]. **Раҳмонов Ш.С.** Энергетические ресурсы Таджикистана. Часть. 2. Оценка запасов угля и развитие угольной энергетики [Текст] / **Ш.С. Раҳмонов**, Б.М. Хасанов, С.Ш. Курбонализода, А.А. Гулахмадов, Ю. Курбонов, Ф.Х. Насруллоев // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана №3(2). – Душанбе, 2023 г. –С. 48-54. –ISSN 2789-0953.

[2–М]. **Раҳмонов Ш.С.** Энергетические ресурсы Таджикистана. Часть 1. Гидроэнергетические ресурсы [Текст] / Халиков Х., **Ш.С. Раҳмонов**, Курбонализода С.Ш., Гулахмадов А.А., Давлатшоев С.К. // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана №3(1). – Душанбе, 2023 г. –С. 83-91. –ISSN 2789-0953.

[3–М]. **Раҳмонов Ш.С.** Энергияи гидрогенӣ. Қисми 1. Муқоисаи дурнамои истифодаи захираҳои энергетикӣ [Матн] / А.А. Гулахмадзода, **Ш.С. Раҳмонов**, Б.М. Ҳасанов, С.К. Давлатшоев, З.Б. Азизов // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №3(2). – Душанбе, 2023 с. -С. 56-63. –ISSN 2789-0953.

[4–М]. **Рахмонов Ш.С.** Теплоснабжение на основе солнечной энергии в Таджикистане [Текст] / **Ш.С. Рахмонов**, А.А. Гулахмадзода, Б.М. Хасанзода // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана №3(3). – Душанбе, 2023 г. –С. 163-169. –ISSN 2789-0953.

[5–М]. **Рахмонов Ш.С.** Использование потенциала возобновляемых источников энергии в Таджикистане: диверсификация, вызовы и стратегические пути к энергетической независимости [Текст] / Б.М. Хасанзода, А.А. Гулахмадзода, **Ш.С. Рахмонов** // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, №5(1). – Душанбе, 2025 г. – С. 87-97. –ISSN 2789-0953.

[6–М]. **Рахмонов Ш.С.** Энергияи гидрогенӣ. Қисми 2. Дурнамои рушди энергияи гидрогенӣ дар Тоҷикистон [Матн] / А.А. Гулахмадзода, **Ш.С. Рахмонов**, Б.М. Ҳасанов, С.К. Давлатшоев, З.Б. Азизов // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №5(1). – Душанбе, 2025 с. - С. 98-107. –ISSN 2789-0953.

[7–М]. **Рахмонов Ш.С.** Таҳқими иқтисодии гидроэнергетикии Тоҷикистон: лоиҳаҳои НБО-и Айнӣ ҳамчун унсуре энергетикаи устувор [Матн] / **Ш.С. Рахмонов**, Б.М. Хасанзода, А.А. Гулахмадзода, С.К. Давлатшоев // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №5(3). – Душанбе, 2025 с. -С. 76-81. –ISSN 2789-0953.

[8–М]. **Рахмонов Ш.С.** Реактори биогази анаэробӣ – биотуалет [Матн] / Ф.Т. Абдусамиев, С.Х. Баҳриев, Муссе Смаила Рауфу, **Ш.С. Рахмонов** // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №5(3). – Душанбе, 2025 с. -С. 113-117. –ISSN 2789-0953.

[9–М]. **Рахмонов Ш.С.** Солнечные панели в Таджикистане: технологии, эффективность и перспективы внедрения [Текст] / **Ш.С. Рахмонов**, Б.М. Хасанзода, А.А. Гулахмадзода, С.К. Давлатшоев // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана №5(2). – Душанбе, 2025 г. –С. 60-67. –ISSN 2789-0953.

[10–М]. **Рахмонов Ш.С.** Моделсозӣ ва таҳлили дурнамои рушди захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш [Матн] / **Ш.С. Рахмонов**, А.А. Гулахмадзода, С.К. Давлатшоев, О.Б. Давронов, З.Б. Азизов // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №6(1). – Душанбе, 2026 с. -С. 74-86. –ISSN 2789-0953.

[11–М]. **Рахмонов Ш.С.** Омӯзиши кори таҷҳизоти биогаз дар шароити воқеӣ зиндагии деҳаи Чорбоғ (ноҳияи Варзоб, Тоҷикистон) [Матн] / Ф.Т.

Абдусамиев, С.Х. Бахриев, С.Қ. Давлатшоев, **Ш.С. Рахмонов**, Н.Д. Холназаров, М.Т. Ятимов // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №6(1). – Душанбе, 2026 с. -С. 87-93. –ISSN 2789-0953.

[12–М]. **Рахмонов Ш.С.** Таҳлили омилҳои афзоиши истеъмоли неруи барқ ва роҳҳои баланд бардоштани самаранокии низоми энергетикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон [Матн] / **Ш.С. Рахмонов**, С. Ҳомидзода, Ф. Амиршоев, Р. Зиёев // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №6(2). – Душанбе, 2026 с. -С. 71-81. –ISSN 2789-0953.

б) Мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои дигар нашр гардидаанд:

[13–М]. **Рахмонов Ш.С.** Интеграция гибридных солнечных систем на насосных станциях [Текст] / **Ш.С. Рахмонов**, Б.М. Хасанзода, А.А. Гулахмадзода // Научно-практической Конференции Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана – Душанбе, 2025 г. -С. 110-114.

[14–М]. **Рахмонов Ш.С.** Современное состояние и перспективы развития ВИЭ в странах Центральной Азии [Текст] / Научная Конференция Института природных ресурсов имени А.С. Джаманбаева Южного отделения Национальной академии наук Кыргызской Республики – г. Ош, 2025 г. -С. 56-64.

[15–М]. **Рахмонов Ш.С.** Баланд бардоштани самаранокии ва амнияти энергетикӣ тавассути рақамикунонии низоми энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон [Матн] / Конференсияи III байналмилалӣ илмӣ-амалии Донишқадаи энергетикӣ Тоҷикистон – н. Кушонӣ, 2026 с. -С. 78-85.

[16–М]. **Рахмонов Ш.С.** О возможности доставки экологически чистой питьевой воды, сарезского озера потребителям [Текст] / Бахриев С.Х., **Рахмонов Ш.С.** // Научный Журнал Форума «Водные и климатические риски: наука, мониторинг и управление» посвященный 115-летию Сарезского озера в рамках четвертой международной конференции высокого уровня по международному десятилетию действий «вода для устойчивого развития, 2018–2028» Республика Таджикистан – г. Душанбе, 2026 г. С. 26-32.

[17–М]. **Рахмонов Ш.С.** Оценка многолетней динамики ионного состава и уровня загрязнения воды реки зарафшан [Текст] / Шоэргашова Ш.Ш., Liu Tie, Chen Xi, **Рахмонов Ш.С.**, Каримов Б.К. // Научный Журнал Форума «Водные и климатические риски: наука, мониторинг и управление» посвященный 115-летию Сарезского озера в рамках четвертой международной конференции высокого уровня по международному десятилетию действий «вода для устойчивого развития, 2018–2028» Республика Таджикистан – г. Душанбе, 2026 г. С. 94-98.

[18–М]. **Рахмонов Ш.С.** Влияние изменений количества осадков на физико-механические процессы эрозии почвы, осадконакопления и гидроэнергетическую мощность в бассейне реки Вахш [Текст] / **Рахмонов Ш.**

С., Гулахмадзода А.А. // Научный Журнал Форума «Водные и климатические риски: наука, мониторинг и управление» посвященный 115-летию Сарезского озера в рамках четвёртой международной конференции высокого уровня по международному десятилетию действий «вода для устойчивого развития, 2018–2028» Республика Таджикистан – г. Душанбе, 2026 г. С. 179-192.

[19–М]. **Rahmonov Sh.S.** Drivers of glacier albedo reduction and its impact on glacier change in the vakhsh river basin [Текст] / Nasrulloev F., Chen Y, Gulahmadzoda A., **Rahmonov Sh.S.**, Fang G., Murodov M., Gulahmadov N. // Scientific Journal of the Forum “Water and Climate Risks: Science, Monitoring and Management” dedicated to the 115th anniversary of Lake Sarez in the framework of the fourth high-level international conference on the international decade for action “Water for Sustainable Development, 2018–2028” Republic of Tajikistan - Dushanbe, 2026. P. 215-226.

[20–М]. **Rahmonov Sh.S.** Energy transition and energy security in hydropower-dominated economies: global trends and the case of tajikistan [Текст] // Scientific Journal of the Forum “Water and Climate Risks: Science, Monitoring and Management” dedicated to the 115th anniversary of Lake Sarez in the framework of the fourth high-level international conference on the international decade for action “Water for Sustainable Development, 2018–2028” Republic of Tajikistan - Dushanbe, 2026. P. 226-231.

[21–М]. **Рахмонов Ш. С.** Таҳлили самаранокии гидроэнергетикии дарёҳои бузурги тоҷикистон ва арзёбии иқтисодии истифодабарии онҳо [Матн] // Научный Журнал Форума «Водные и климатические риски: наука, мониторинг и управление» посвященный 115-летию Сарезского озера в рамках четвёртой международной конференции высокого уровня по международному десятилетию действий «вода для устойчивого развития, 2018–2028» Республика Таджикистан – г. Душанбе, 2026 г. С. 231-238.

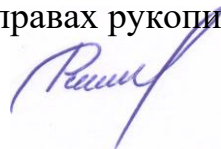
в) Шаҳодатномаи муаллифӣ

[22–М]. **Рахмонов Ш.С.** Дастгоҳ барои сардкунӣ панелҳои офтобӣ [Патент] / Давлатшоев С. Қ., Ҷаҳонгири Абдулвоҳид, Баҳриев С. Ҳ., Гулахмадзода А. А.// Патент № ТҶ 1682 Ҷумҳурии Тоҷикистон, МПК Н01L31/052, Н01S 40/42, Н01F77/63. № 2502171, завл. 16.09.2025; опубл. 2.03.2026; Бюл. №228, 2026.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ, ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ

УДК: 621.311.21:626/627:519.87 (575.3)

на правах рукописи



РАХМОНОВ Шарифхуджа Сайвалиевич

**ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СЦЕНАРИИ ОПТИМИЗАЦИИ БАЛАНСА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВАХШСКОГО БАССЕЙНА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени доктора философии (PhD) - доктора
по специальности 6D074400-Гидротехническое строительство и сооружения
(6D074401-Гидротехническое строительство)

Душанбе – 2026

Диссертационная работа выполнена в лаборатории гидротехнических сооружений Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана.

Научный руководитель:

Гулахмадзода Аминджон Абдуджаббор
доктор технических наук, директор
Института водных проблем,
гидроэнергетики и экологии Национальной
академии наук Таджикистана

Официальные оппоненты:

Саидзода Джамшед Хамрох
доктор технических наук, доцент, и.о.
профессор кафедры «Материалы,
технологии и организация строительства»
Таджикского технического университета
имени академика М.С. Осими
Зувайдов Махмадулло Махмасолиевич
кандидат технических наук, заведующий
кафедрой «Строительство» Бохтарского
государственного университета имени
Носири Хусрава

Ведущий организация:

Государственный университет Дангара

Защита диссертации состоится 16 сентября 2026 года в 09:00 часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-059 при Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана по адресу: 734025, г. Душанбе, ул. Бофанда, 5/2 E-mail: info@imoge.tj

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана www.imoge.tj

Автореферат разослан « _____ » _____ 2026 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



Шаймуратов Ф. И.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. выражается в том, что электроэнергетика в современных мировых условиях является одним из основополагающих и определяющих факторов устойчивого социально-экономического развития государств. Растущие потребности в энергии, глобальное потепление, необходимость сокращения выбросов парниковых газов и переход к низко углеродной экономике, а также быстрое развитие цифровых технологий и возобновляемых источников энергии (таких, как солнечная и ветровая) создают новые стратегические условия для энергетического сектора стран.

Крупные гидроэнергетические ресурсы Республики Таджикистан позволяют стране предпринимать устойчивые шаги в направлении обеспечения энергетической безопасности, повышении устойчивости поставок и привлечении внутренних и международных инвестиций. Внедрение современного оборудования для накопления электроэнергии, повышение эффективности работы гидроэлектростанций (ГЭС) и интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ) оцениваются как факторы, влияющие на сокращение выбросов парниковых газов, укрепление устойчивости и надёжности энергетической системы, а также повышение конкурентоспособности страны на мировом энергетическом рынке.

Кроме того, внедрение устойчивой системы и сокращение выбросов парниковых газов в энергетической отрасли, соблюдение требований охраны окружающей среды играют решающую роль в расширении «зеленых» проектов, в повышении эффективности использования энергии и продвижении низкоуглеродных технологий. Так как, изучая гидротехнические ресурсы в Таджикистане, а также анализ возможных производственных и распределительных возможностей в области электроэнергетики, дают возможность прогнозировать их состояния в условиях меняющегося климата. Это необходимо для принятия стратегических решений на государственном уровне, который позволит сформировать научно обоснованные программы в сфере энергетики.

Исходя из выше указанного тема исследования оптимальный путь использования и оптимизация гидроэнергетических ресурсов в Республике Таджикистан, даёт возможность развитию не только энергетической безопасности и экономическим прогрессам, но и внесёт вклад в разработку национальной стратегии рационального использования природных ресурсов и адаптации климатическим изменениям.

Выявлено, что угольный и гидроэнергетические ресурсы Таджикистана позволяют обеспечить внутренний спрос энергообеспечения, однако она также позволяет проводить диверсификацию источников энергии. Спрос на нефть и газ растет ежегодно и тем самым появляется ограничение на такие ресурсы. Настоящее исследование направлено на научное обоснование рационального использования угля, гидроэнергетических и других энергетических ресурсов

Республики Таджикистан с учётом потребностей электроэнергетики и промышленного сектора.

В данной работе рассмотрены ключевые факторы гидроэнергетического ресурса больших рек находящихся в Таджикистане, были подробно рассмотрены главные свойства формирования слива рек для определения точек для строительства водноэнергетических объектов.

Для определения водноэнергетического потенциала и предсказания изменения климата было использовано моделей Snowmelt Runoff Model SRM и Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE). Внедрение полученных данных из моделей даёт возможность оценивать существующего стока, таяния ледников, осадков и процесс эрозии определять водноэнергетического ресурса.

Степень изученности научной темы. Изучение актуальных вопросов развития энергетики началось в конце XX - начале XXI века. При изучении вопросов гидроэнергетики, теплоэлектроцентралей и возобновляемых источников энергии были рассмотрены исследования таких учёных как Салыгин В. [1], Швец Н. [2], Wegerich K. [3], Kosowska K. [4], Karimov K. [5], Sekretarev Y. [6], Azimov U. [7], Иванов А. [8] и Ахророва А. [9]. Корытцев М. М. Создание системы квот на выбросы парниковых газов [10], анализировались в работах Мудрецова А. [11], Zhang Z. [12] и Voemare C. [13]. Анализ перспектив использования технологий промышленного накопления электроэнергии был представлен в работах Калимуллина Л. [14], Усачева. [15], Habib A. [16] и Sahoo S. [17]. Кроме того, важнейшие вопросы внедрения гидроэнергетических технологий и влияние изменения климата на гидроэнергетический потенциал были рассмотрены учёными Норматовым П. [18], Unger-Shayesteh и др. [19], Имомовым А. [20], Пулатовым Я.Э. [21], Кобулиевым З. [22], Фазыловым А. [23], Стоцкиным К. [24], Петровым Г. [25], Наврузовым С. [26], Усмановым З. [27], Ахмедовым Х. [28], Давлатшоевым С. [29], Курбонализода С. [30], Султонов Ш. [31] и Гулахмадовым А. [32]. Данная диссертационная работа, объединяющая комплексный анализ рек Таджикистана, оценку энергоэффективности, воздействия изменения климата, эрозии, наносов, сценарный анализ и использование современных научных методов, обеспечивает прочную научную и практическую основу для стратегического планирования и устойчивости гидроэнергетической системы страны, что отличает её от предыдущих исследований.

Связь исследований с программами (проектами) и научной тематикой. Диссертационное исследование непосредственно связано с приоритетными направлениями государственной политики и научно-технического развития Республики Таджикистан и проводилось в рамках научных направлений Института водных, гидроэнергетических и экологических проблем национальной академии наук Таджикистана, например, «Стратегия развития и оптимизация баланса энергетических ресурсов, «Сценарий развития гидроэнергетики Таджикистана» (ГД 0120TJ010298) и «Вопросы формирования и регулирования жестких ящиков в водных объектах Таджикистана и пути их

решения» (ГД 0120ТJ01029). Также в соответствии с национальной стратегией и правовыми документами были реализованы, в соответствии с «Национальная стратегия развития Республики Таджикистан до 2030 года», «Национальная стратегия адаптации к изменению климата Республики Таджикистан до 2030 года», «Национальная Водная стратегия Республики Таджикистан на период до 2040 года», «Национальная стратегия Республики Таджикистан по снижению риска стихийных бедствий на 2019-2034 годы», «стратегия Республики Таджикистан в области науки, технологий и инноваций до 2030 года», «государственная программа подготовки научных кадров высокого уровня на 2021-2030», «Двадцатилетие изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования», «Концепции перехода Республики Таджикистан к устойчивому развитию», «концепции развития отраслей топливно-энергетического комплекса Республики Таджикистан», законы Республики Таджикистан: «Об энергетике», «Об энергосбережении и эффективности» и «об использовании возобновляемых источников энергии». Исследование обеспечивает прочную научную и практическую основу для устойчивого развития гидроэнергетической системы, эффективности использования водных ресурсов и диверсификации возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования. Разработка и научное обоснование интеграционных методов, направленных на повышение эффективности и устойчивости энергетической системы Республики Таджикистан на основе комплексной оценки водно-энергетических ресурсов, анализа влияния изменения климата и природно-климатических факторов, а также оптимальной интеграции различных источников энергии с использованием математического моделирования и сценарного подхода.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в диссертационной работе предусмотрено решение следующего комплекса задач:

1. Изучить современное состояние энергетического комплекса, роль гидроэнергетики, а также влияние изменения климата на водные ресурсы и производство электроэнергии.

2. Разработка методов повышения эффективности и устойчивости энергетической системы страны путём оптимизации работы гидроэлектростанций и интеграции возобновляемых источников энергии.

3. Оценка роли угля, гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии в обеспечении устойчивого развития энергетической системы. Научно-технические предложения по диверсификации и оптимизации источников энергии, повышению эффективности и устойчивости энергетической системы.

4. Разработка и обоснование эффективного устройства охлаждения солнечных панелей на основе распылителя воды в виде перфорированной трубы (турбины).

5. Анализ математических и оптимизационных моделей управления водным режимом и выработкой электроэнергии на Рогунской и Нурекской ГЭС, а также изучение влияния изменения климата и эрозии на устойчивость гидроэнергетической системы. Определение приоритетных участков и перспективных гидроэлектростанций на реках, анализ гидроэнергетических ресурсов и перспектив развития электроэнергетики в бассейне реки Вахш.

Объект исследования. Энергетическая система Республики Таджикистан с учётом гидроэнергетики и других источников энергии, а также влияния изменения климата, эрозии и отложений на ресурсы и устойчивость производства электроэнергии в бассейне реки Вахш.

Предмет исследования. Научное обоснование и разработка гидро-угольного сценария оптимизации энергетического баланса и повышения энергетической безопасности Республики Таджикистан на основе системного анализа, экономической оценки, математического моделирования и прогнозов развития гидроэнергетики с учётом климатических и экологических проблем в бассейне реки Вахш.

Научная новизна исследований. В работе получены следующие новые научные результаты:

1. Впервые для условий Республики Таджикистан был проведен системный сравнительный анализ основных энергетических ресурсов (гидроэнергетических, угольных, минеральных и возобновляемых) на основе единой методологической базы годового энергетического эквивалента, определены реальные возможности развития энергетики страны.

2. Сценария развития гидро-угольной энергосистемы Республики Таджикистан внедрён и научно обоснован, на основе математического моделирования комплексного оценён режим работы системы энергетики, а также функциональность работы крупных гидростанций, в том числе Рогунской ГЭС.

3. Проведён анализ экологических барьеров и социально экономического прогресса в условиях горных стран с доминирующей гидроэнергетикой, интеграции Рогунской ГЭС с ВИЭ и другими видами энергетических ресурсов обеспечивает устойчивости энергосистемы, диверсификация источников энергии было разработано устройство система охлаждения солнечных панелей с использованием перфорированной трубы под углом 45° и насоса низкого давления.

4. Доказано эффективность рек и их перспективных участков для инвестирования и проектирование гидростанций, оценено влияние эрозии и отложений на устойчивость гидроэнергетической системы с использованием методологий SRM и MUSLE для анализа горных бассейнов даёт возможность принимать разумный решение. Влияние изменения климата на водные ресурсы и гидроэнергетический потенциал бассейна реки Вахш было оценено на основе сценариев CMIP5 и CMIP6, и было установлено, что повышение температуры и изменение режима осадков влияют на расход воды и эффективность ГЭС.

Положения, выносимые на защиту. Для защиты представляются основные положения и результаты диссертационного исследования:

- проведён системный анализ энергетических ресурсов Республики Таджикистан с использованием эквивалентной годовой методологии, гидроугольного сценария, а также оптимизационно-имитационных моделей функционирования энергетической системы и оценки эффективности Рогунской ГЭС и взаимосвязи энергетической политики, экологических ограничений и экономического развития в горных странах.

- интеграция Рогунской ГЭС с возобновляемыми источниками энергии и интеллектуальными системами управления энергопотреблением и эффективностью сетей, интеграция угля и нефти с гидроэнергетическими мощностями и диверсификация, энергоэффективность рек и приоритетных участков для инвестиций и проектирования электростанций.

- оценка эрозии и осаднения с помощью математических и ГИС моделей, их влияние на устойчивость гидроэнергетической системы; результаты применения моделей SRM и MUSLE для принятия устойчивых решений на электростанциях; сценарии CMIP5/CMIP6 для определения влияния изменения климата на эффективность ГЭС; одновременно разработка устройства охлаждения солнечных панелей с перфорированным трубопроводным распылителем для повышения эффективности фотоэлектрических модулей.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Исследование для условий Республики Таджикистан обеспечивает системный анализ энергетических ресурсов и оценку устойчивости и эффективности энергетической системы с интеграцией различных источников энергии. Гидроугольные сценарии развития энергетики и оптимизационно-имитационные математические модели определяют режим работы энергетической системы страны, включая Рогунскую ГЭС, эффективность сети, сокращение выбросов углерода и диверсификацию источников энергии. Научные инновации сосредоточены на анализе взаимосвязи между энергетической политикой, экологическими ограничениями и экономическим развитием, оценкой эрозии и осаднения, а также на разработке устройств охлаждения солнечных панелей и использовании ГИС и сценариев CMIP5/CMIP6. Исследование предоставляет как в теоретическом плане методы моделирования и оптимизации энергетической системы, так и в практическом плане технико-стратегические предложения по повышению устойчивости и эффективности использования энергетических ресурсов.

Степень достоверности результатов диссертации. Результаты исследования оцениваются с высокой степенью достоверности, поскольку они основаны на системном анализе, математическом моделировании энергосистемы, оценке эрозии и воздействия изменения климата с использованием сценариев SRM, MUSLE, ГИС и CMIP5/CMIP6. Данные получены из официальных национальных и международных источников, использованы проверенные методы и обоснованные гипотезы. Результаты

сопоставлены и апробированы с предыдущими исследованиями и соответствуют целям и задачам диссертации, обеспечивая научную и практическую основу для принятия стратегических решений в области устойчивого развития энергетики и гидроэнергетики Таджикистана.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует пунктам 3,11 положения и паспорта научной специальности 6D074401-Гидротехническое строительство:

- 3. Организационные новые направления прогнозирования состояния напряженности формообразование гидротехнических сооружений тамбаговой и бетонной арматуры; совершенствование методов определения различных видов напряжений на сооружениях, гидроэлектростанциях, зданиях и сооружениях машин ГЭС; обоснование путей надёжности и прочности конструкции гидротранспортных сооружений;

- 11. Надёжность эксплуатации гидротехнических сооружений, создание новых критериев безопасности, новых систем контроля и наблюдения над сооружениями, совершенствование методов технической диагностики и мониторинга водных систем и объектов.

Наименование темы диссертации соответствует паспорту специальности 6D074400-Гидротехническое строительство и сооружения (6D074401-Гидротехническое строительство).

Личный вклад автора. Автор выполнил основные исследовательские работы, которые включают в себя системный анализ энергетических ресурсов Таджикистана, разработку гидро-угольного сценария и оптимизационно-имитационных моделей энергетической системы, оценку интеграции источников энергии и воздействия на окружающую среду, моделирование и анализ влияния изменения климата и эрозии на устойчивость гидроэнергетической системы, а также разработку устройства охлаждения солнечных панелей. Все расчёты, обобщения результатов и выводы сделаны автором лично.

Апробация работы. Научные результаты диссертационного исследования обсуждались, утверждались и использовались на ряде республиканских и международных конференций, а также на семинарах и научных сессиях Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана в 2022-2026 годах. В частности, подведены итоги научно-практических семинаров и конференций, таких как научно-практический семинар по энергоэффективности и энергосбережению (японская Республика, январь–март 2023 г.), международная конференция по внедрению малых ГЭС в Центральной Азии (Южная Корея, октябрь 2023 г.), международная конференция «Водные ресурсы, инновации, хранение и энергосбережение» (Душанбе, октябрь 2023 г.), а также республиканская конференция, посвящённая «Международному десятилетию действий “Вода для устойчивого развития, 2018-2028”» (понедельник, апрель 2023). В то же время результаты исследования обсуждались на научных семинарах, посвящённых изучению программ LEAP и

WEAP, устойчивому развитию и возобновляемым источникам энергии, а также вопросам мониторинга и управления водными ресурсами в странах Узбекистана и Китайской Народной Республики (2025 год). Полученные результаты были использованы в научно-исследовательской практике и разработке рекомендаций по устойчивому управлению водными ресурсами и возобновляемыми источниками энергии и имеют теоретическое и практическое значение.

Публикации по теме диссертации. Основное содержание диссертации опубликовано в 22 научных работах, в том числе 12 статьях в издаваемых журналах реестра, рекомендованного в Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан, 1 малом патенте Республики Таджикистан и в 9 статьях в материалах научных конференций различного уровня.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, 4 глав, заключения, 12 приложений и списка использованной литературы из 165 наименований. Общий объем диссертации составляет 190 печатных страниц, 142 страницы из которых являются основным текстом. Количество рисунков составляет 43, таблиц 35.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении и нормативной части диссертационной работы обосновывается важность выбора темы, приводится уровень изучения темы, её связь с научными стратегиями и программами. Определены цели и задачи исследования, объект и методы исследования, представлена научная новизна и основные моменты, подлежащие защите.

В **первой главе** диссертации анализируются современные условия в энергетической отрасли как одним из ключевых направлений социально-экономического развития стран. «На долю отрасли приходится около 60% мирового потребления угля и 40% потребления природного газа. Также было показано, что технологические изменения в электроэнергетике увеличивают спрос на минеральные и сырьевые ресурсы» [33]. На рисунках 1 и 2 показан общий объем мировой электроэнергии и общая установленная мощность и выработка электроэнергии по источникам.

«В условиях нестабильности мирового энергетического рынка, характеризующегося ростом цен на газ, нефть и уголь, наблюдаются структурные изменения в энергетической политике стран. Анализ показал, что резкий рост цен на газ в ряде стран способствовал возвращению или увеличению использования угля для производства электроэнергии» [34].

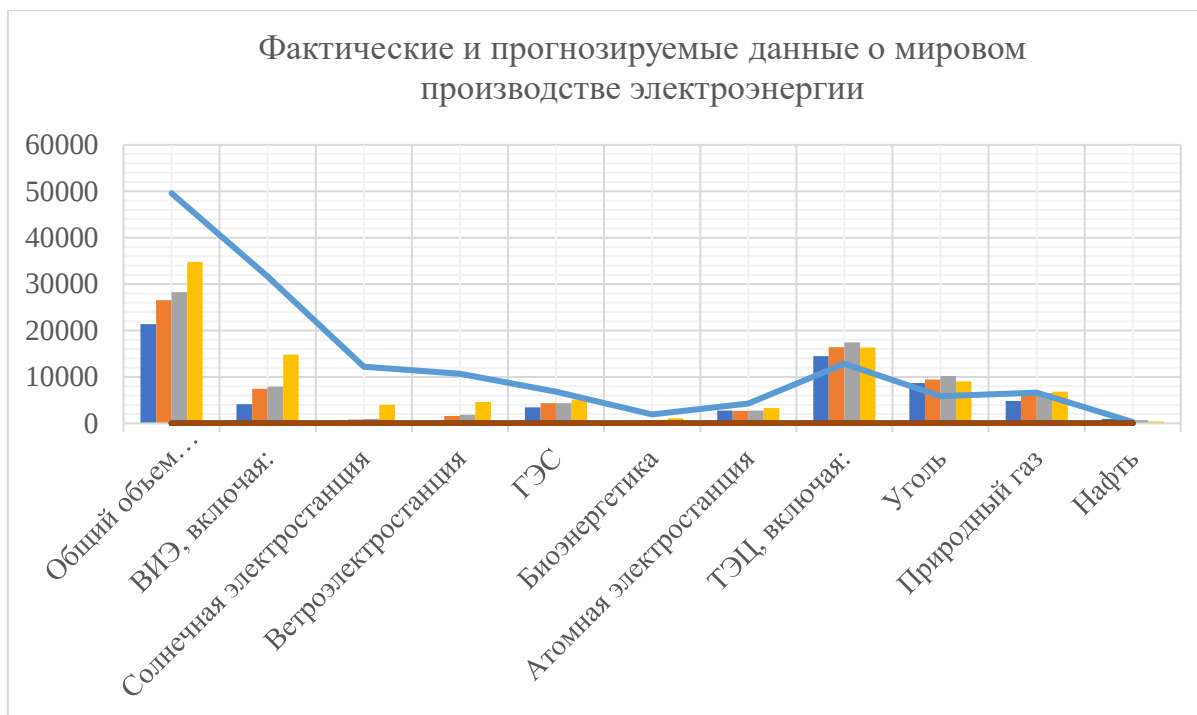


Рисунок 1. - Общий объем мирового производства электроэнергии (ТВт)

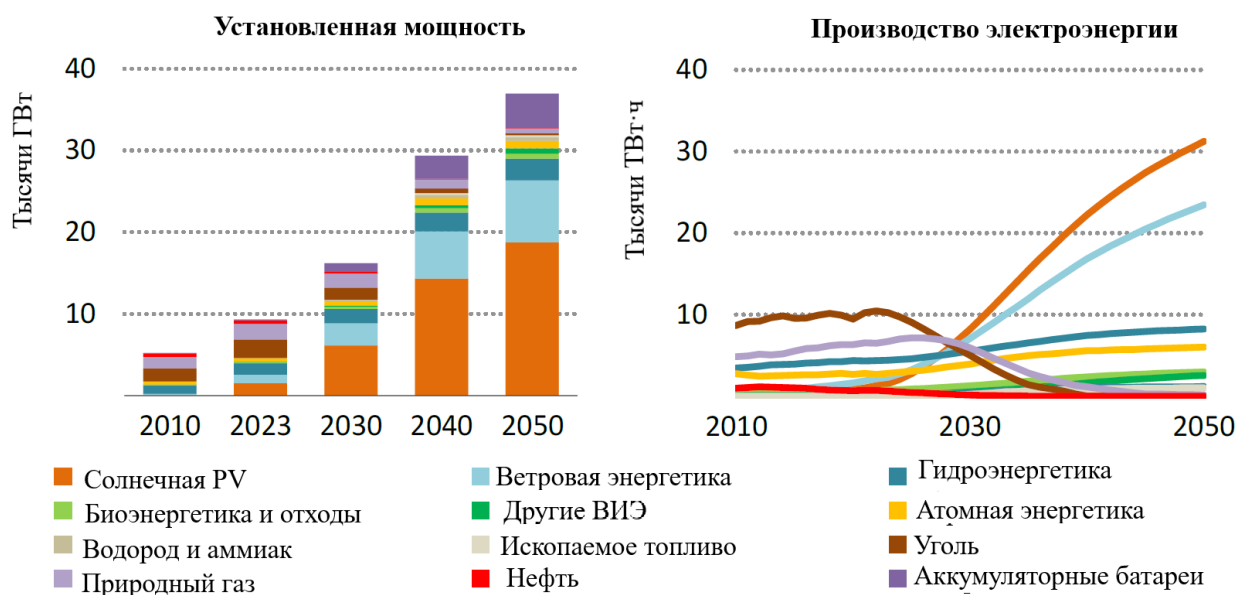


Рисунок 2. - Общая установленная мощность и производство электроэнергии по источникам в сценарии достижения нулевых выбросов, 2010–2050 гг

Во **второй** главе проанализированы основные вопросы развития энергетической отрасли с учётом природных, экономических и климатических условий Республики Таджикистан. «Было показано, что за последние годы объём добычи угля в стране значительно увеличился, что способствовало развитию энергетической отрасли. Этот процесс привёл к увеличению объемов продаж, финансовых поступлений и улучшению инвестиционных возможностей предприятий отрасли» [34].

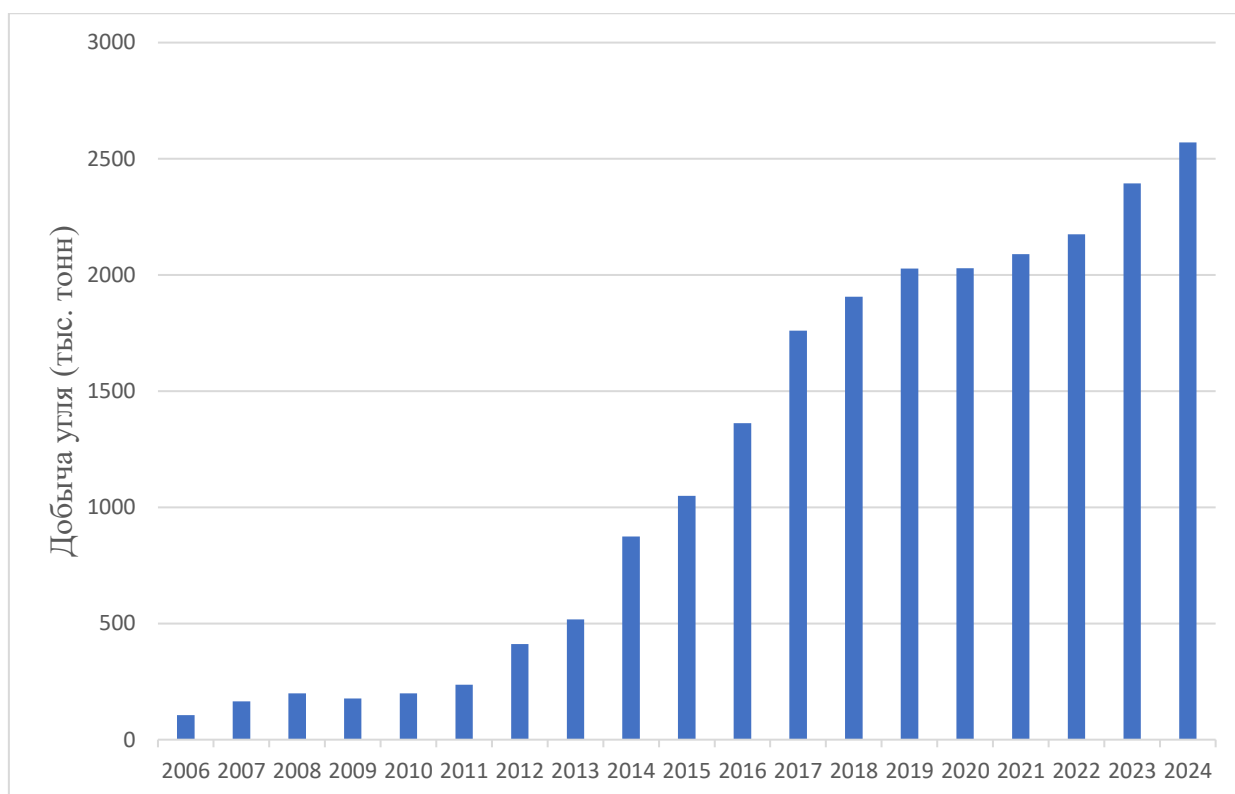


Рисунок 3. - Добыча угля в Таджикистане в 2006–2024 годах

На рисунке 3 и в таблице 1 показана добыча угля в Таджикистане в 2006-2024 годах и гидроэнергетические ресурсы Таджикистана с учётом категорий.

Таблица 1. - Гидроэнергетические ресурсы Таджикистана по категориям

Область	Промышленные ресурсы		Потенциальные ресурсы					
	МВт.с	Э, ТВт.с	Крупные реки		Утечка, L >10км		Утечка L <10км	
			N, МВт.с	ТВт.с	N	МВт.с	Э	Э, ТВт.с
Сугд	1590	13,93	544	13,52	1303	11,4	1288	11,28
РРП и Хатлон	17709	155,13	22744	99,24	974	4,81	16056	40,65
ГБАО	5884	51,54	6990	1,23	555	2,38	3713	2,53
ВСЕГО	25183	220,6	31278	74,0	832	8,61	21057	84,46

Вахшский каскад ГЭС продольный профиль



Рисунок 4. - План каскада реки Вахш



Рисунок 5. - Каскадное регулирование водного потока в Нурекском и Рогунском водохранилищах в течение года со средним уровнем стока

В результате реализации программных мероприятий в период независимости был построен ряд небольших гидроэлектростанций. Это показывает, что сектор малой гидроэнергетики постепенно развивается, как важный элемент регионального энергоснабжения. В таблице 2 приведён перечень малых ГЭС в Республике Таджикистан.

Таблица 2. - Малые гидроэлектростанции (малые гидроэлектростанции) в Республике Таджикистан (полная таблица представлена в Приложении 5 к диссертации)

Область	Количество	Мощность, тысяч кВт.ч
Хатлон	39	1654
Сугд	82	9044,1
ГБАО	55	5325
РРП	129	8836,5
ВСЕГО	305	24859,6

Также во второй главе обсуждается влияние изменения климата на эффективность солнечных панелей. «Отмечается, что повышение температуры окружающей среды, особенно летом, приводит к нагреву солнечных панелей и снижению их эффективности. Номинальная рабочая температура панелей составляет 25-30 °С, превышение этой температуры отрицательно сказывается на выработке электроэнергии. Для снижения температуры панелей и повышения их эффективности разработано и представлено специальное охлаждающее устройство. Система по трубопроводу и насосу низкого давления производит на поверхности панелей мелкие капли воды, создавая «искусственный дождь». Этот метод снижает температуру панелей до 20-25 °С, обеспечивая их эффективную работу» [35]. На рисунке 6 показано устройство для охлаждения солнечных панелей.

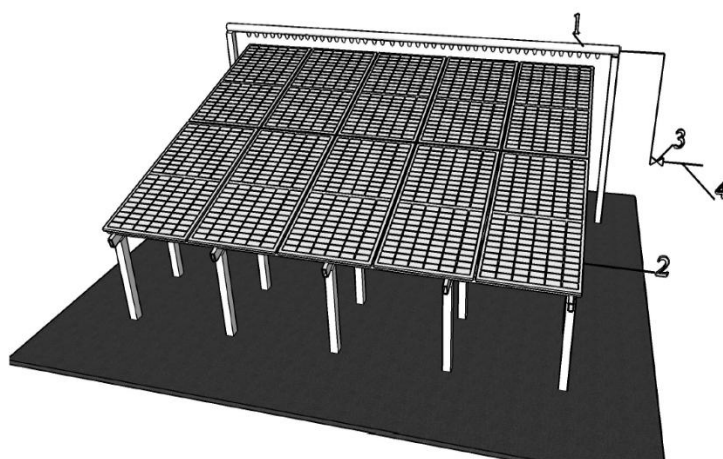


Рисунок 6 - Устройство для охлаждения солнечных панелей

Третья глава посвящена разработке математических и имитационных моделей оптимизации режима работы Рогунской ГЭС. «Основной целью главы является исследование и оценка гидроэнергетического потенциала больших рек Таджикистана, а также изучение влияния процессов осаждения на устойчивость энергетической системы. В рамках исследования были проанализированы гидроэнергетические ресурсы основных рек страны, показатели энергетической активности и факторы, вызывающие отложения. Также было оценено влияние процессов осаждения на работу гидроэнергетических объектов, предложены научные и практические меры по повышению устойчивости и эффективности энергетической системы» [36].

На рисунках 7, 8, 9 и 10 показаны планы энергопотребления реки Сурхоб, энергопотребление реки Обихингов, энергетический потенциал всех крупных рек Таджикистана и энергоэффективность крупных рек Таджикистана.

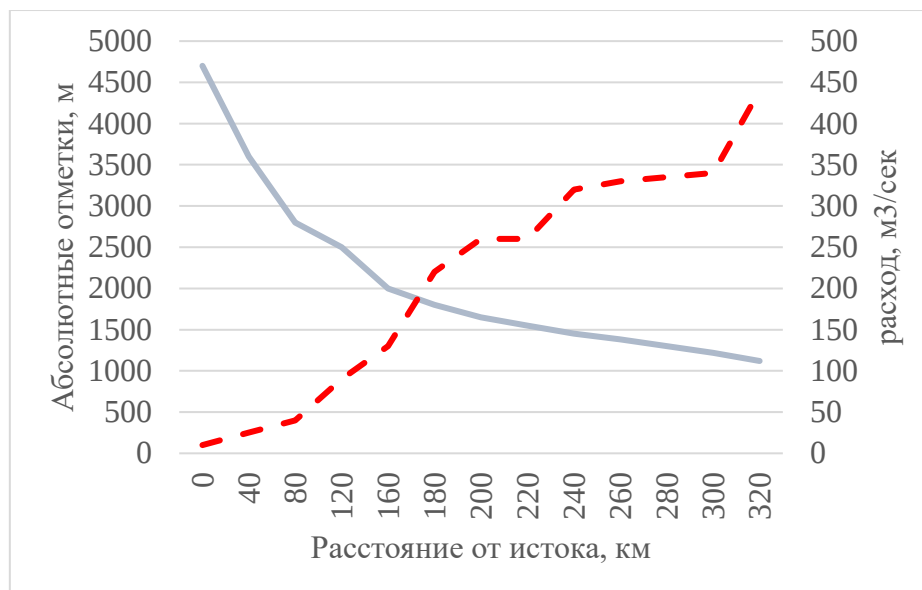


Рисунок 7. - План использования энергии реки Сурхоб

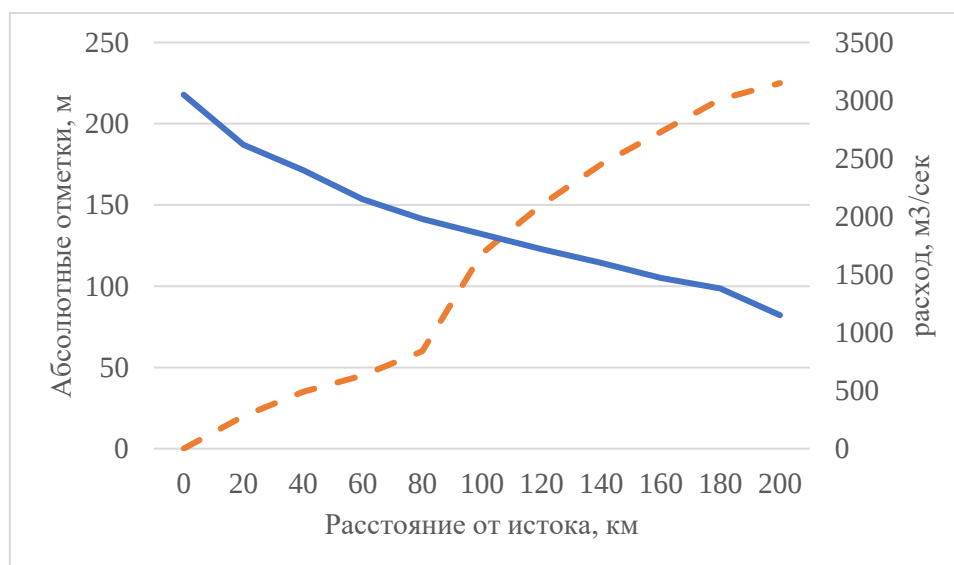


Рисунок 8. - План энергопользования реки Обихингов

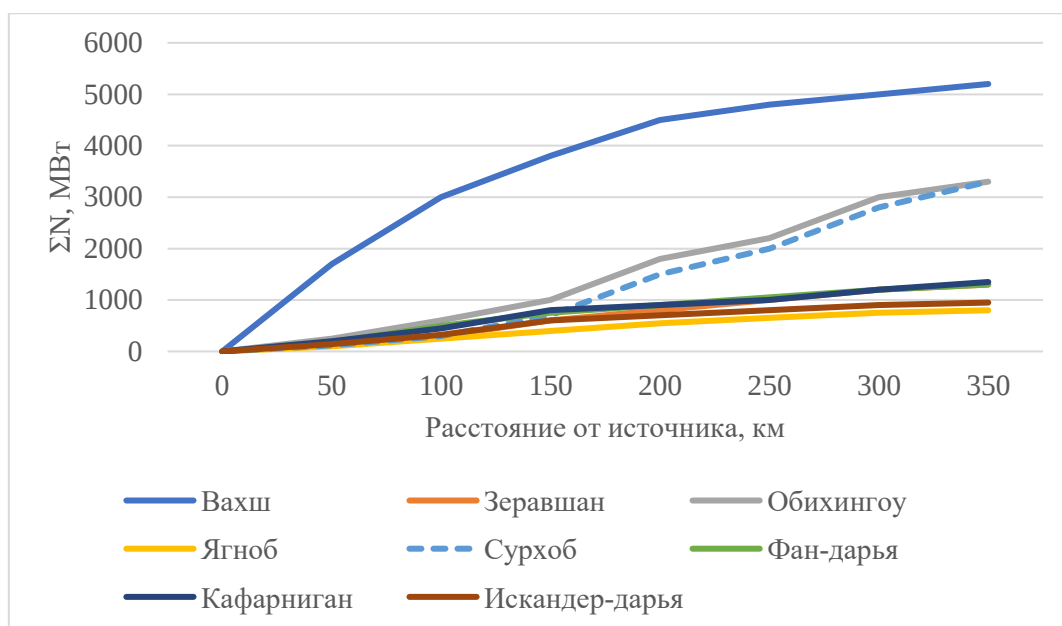


Рисунок 9. - Энергетический потенциал всех основных рек Таджикистана

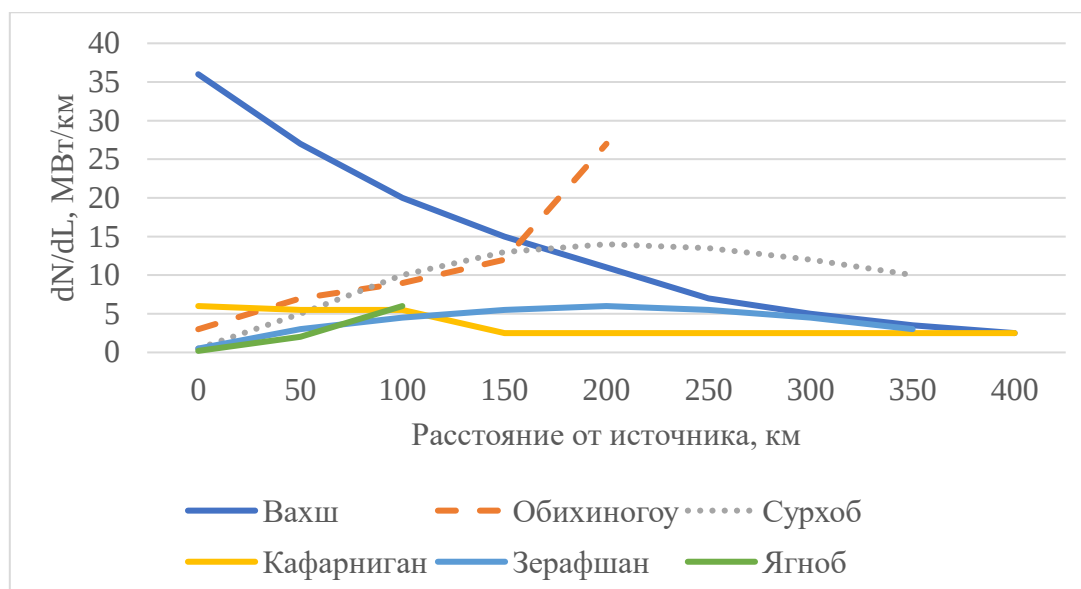


Рисунок 10. - Энергоэффективность основных рек Таджикистана. dN/dL , МВт/км

Таблица 3. - Значения средней энергоэффективности рек Вахш, Обихингов и Сурхоб

Рек	Вахш	Обихингов	Сурхоб
Dn/dL , МВт/км	14,71	9,97	9,89

Для двух гидроэлектростанций, которые будут построены на двух участках реки с разной энергоэффективностью, было принято следующее:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \kappa \quad (1)$$

Если длина участков реки, используемых обеими ГЭС, равны, то затраты на строительство также будут одинаковыми. В этом случае мощность и стоимость оборудования электростанций будут пропорциональны их энергоэффективности.

$$\frac{N_1}{N_2} = \kappa \quad (2)$$

$$P_1^{\text{оборудование}} / P_2^{\text{оборудование}} = k \quad (3)$$

$$P_1 = P_1^{\text{оборудование}} + P_1^{\text{СМР}} \quad (4)$$

здесь: P_1 ; $P_1^{\text{оборудование}}$; $P_1^{\text{СМР}}$ – общая сумма, затраты на оборудование и строительно-монтажные работы (СМР) для ГЭС №1.

Можно принять, что для любой гидроэлектростанции, как и для уже построенных и строящихся ГЭС на реке Вахш, затраты на оборудование составляют 30 процентов, а для (КСО) 70 процентов от общей стоимости ГЭС, т.:

$$P_1^{\text{оборудование}} = \frac{0.3}{0.7} P_1^{\text{СМР}} = 0.429 P_1^{\text{СМР}} \quad (5)$$

Для ГЭС №2 мы также будем иметь такую форму:

$$P_2 = P_2^{\text{оборудование}} + P_2^{\text{СМР}} = P_1^{\text{оборудование}} / k + P_1^{\text{СМР}} \quad (6)$$

Подставив значения в формулы, полученные $P_1^{\text{оборудование}}$, мы получим:

$$P_1 / P_2 = \frac{0.429 P_1^{\text{СМР}} + P_1^{\text{СМР}}}{0.429 P_1^{\text{СМР}} / k + P_1^{\text{СМР}}} = \frac{1.429}{1 + 0.429 / k} \quad (7)$$

То есть общая стоимость ГЭС №1 в:

$$\frac{1.429}{1 + 0.429 / k}$$

общая стоимость ГЭС №2 на один раз выше. Однако:

$$P_i = p_i N_i \quad (8)$$

Здесь:

p_i – удельная стоимость строительства ГЭС N_i , в итоге рассчитывается в следующем виде:

$$p_1 / p_2 = \frac{1.429}{k(1 + 0.429 / k)} = \frac{1.429}{(k + 0.429)} \quad (9)$$

LCOE (Levelized Cost of Electricity) - экономический показатель, определяющий среднюю стоимость производства 1 кВт·ч электроэнергии за весь период эксплуатации электростанции. Этот показатель включает в себя все затраты, включая инвестиции, эксплуатацию, техническое обслуживание и объём производства электроэнергии, и используется для сравнения экономической эффективности энергетических проектов.

Общая формула LCOE такова:

$$LCOE = \frac{\sum \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (10)$$

где I_t – инвестиции, M_t – затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, F_t – затраты на топливо, E_t – объем выработки электроэнергии, r – ставка дисконтирования (дисконтирования) и n – период использования. «По сравнению с бассейном реки Вахш, который является одним из наиболее эффективных регионов развития гидроэнергетики в Республике Таджикистан, удельная стоимость строительства гидроэлектростанций значительно ниже» [37].

Следует отметить, что в данной главе также для оценки влияния эрозии почв и отложений на гидроэнергетические ресурсы в условиях изменения климата была использована модель MUSLE.

Уравнение MUSLE выражается следующим образом:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (11)$$

Коэффициент эрозионности осадков (R) отражает влияние осадков на процессы эрозии почвы, и его формула расчёта выглядит следующим образом:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10 [(1.5 \times l_g p_i^2 - 0.8188)] \quad (12)$$

Формула для вычисления коэффициента K выражается следующим образом:

$$K = \{0.2 + 0.3 \times \exp[-0.0256 \times SAN(1 - \frac{SIL}{100})]\} \times (\frac{SIL}{CLA + SIL})^{0.3} \times (1 - \frac{0.25 \times C}{C + \exp(3.72 - 2.95 \times C)}) \times (1 - \frac{0.7 \times SN1}{SN1 + \exp(-5.51 + 22.9 \times SN1)}) \quad (13)$$

Здесь:

SAN , SIL , CLA и C представляют соответственно массовую долю (%) песка, ила, глины и органического углерода в составе почвы. Эти показатели отражают гранулометрические свойства и органический состав почвы и оказывают прямое влияние на степень ее эродирования.

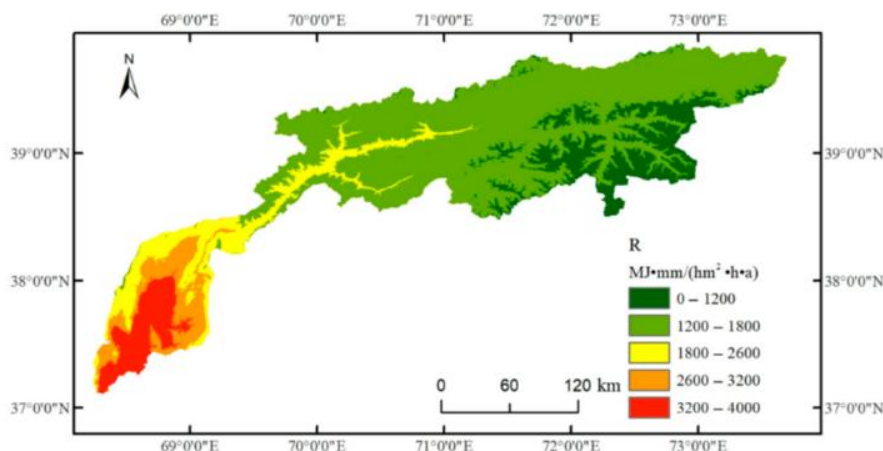


Рисунок 11. - Пространственное распределение коэффициента R в бассейне реки Вахш

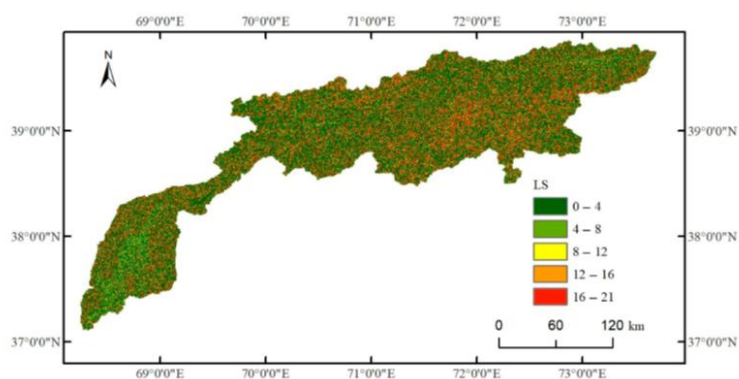


Рисунок 12. - Пространственное распределение фактора LS в бассейне реки Вахш

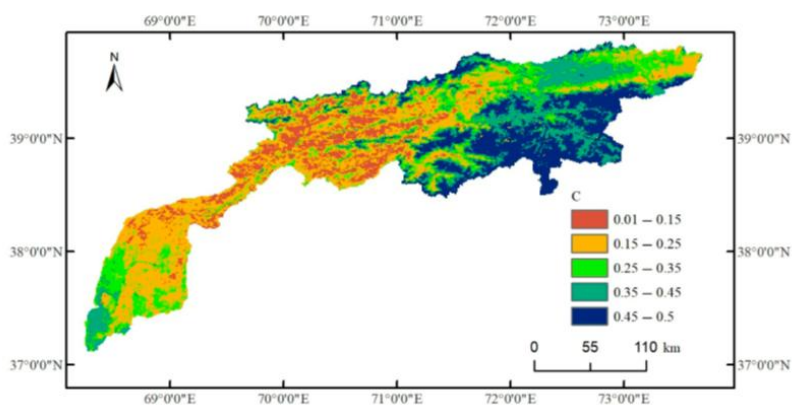


Рисунок 13. - Пространственное распределение фактора C в бассейне реки Вахш

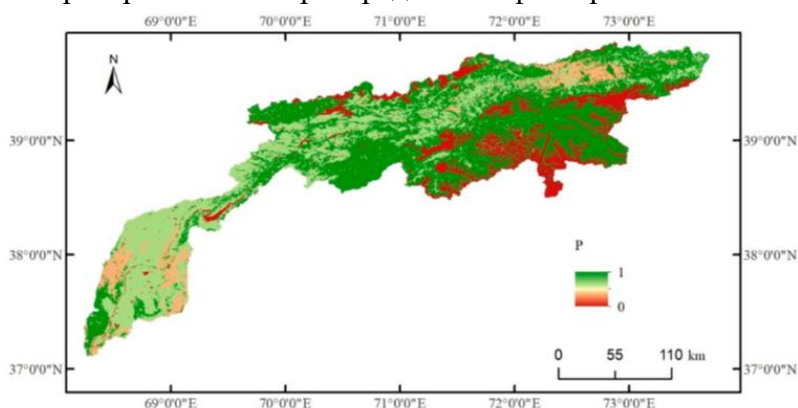


Рисунок 14 - Пространственное распределение фактора P в бассейне реки Вахш

«Районы с высокими значениями (обычно более 2600 МДЖ·мм/(га·ч·год)) расположены, в основном, в нижних частях равнин бассейна реки Вахш. Это связано с относительно высокой интенсивностью осадков и климатическими особенностями низменных регионов» [38]. На рисунках 11,12,13 и 14 показаны пространственные распределения факторов R, LS, C и P в бассейне реки Вахш.

Большинство восточных регионов имеют значения более 0,25, в то время как на Западе они, в основном, ниже 0,25. Это обстоятельство указывает на то, что в верхних частях бассейна давление на меры защиты почвы и воды выше. Результаты показывают, что истоки бассейна реки Вахш подверглись сильной эрозии почвы. Это может привести к увеличению переноса наносов и создать

серьезную угрозу их накоплению в средне-и низменных гидроэнергетических водохранилищах.

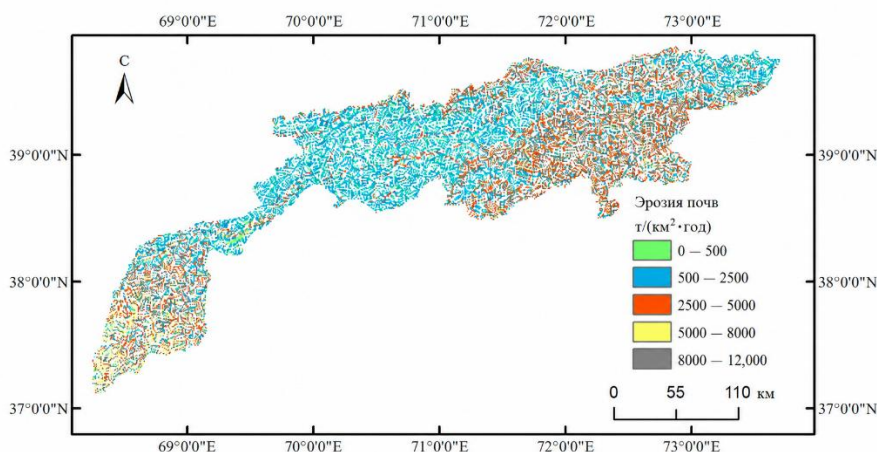


Рисунок 15. - Пространственное распределение эрозии почвы в бассейне реки Вахш

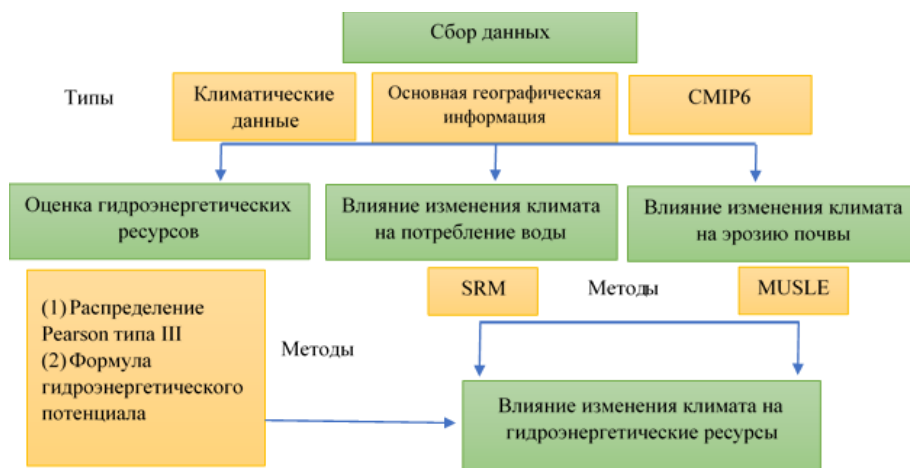


Рисунок 16. - План использования модели MUSLE в бассейне реки Вахш

С увеличением количества наносов полезный объём водохранилища уменьшается, а уровень воды снижается. В результате давление воды снижается, а выработка электроэнергии ограничивается. Расчеты показывают, что каждый 1 м³ отложений может уменьшить полезный объём водохранилища до 0,7–1,0 м³.

В четвертой главе проанализированы методы оценки энергоэффективности крупных рек Таджикистана и перспективы развития водно-энергетического комплекса. «Также в данной главе исследуется влияние изменения климата в рамках климатических сценариев (RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5) на гидроэнергетические ресурсы бассейна реки Вахш» [39].

«В стоящее время, характеризующееся повышением потребности в электроэнергии, изменениями погоды и специфическими гидрологическими течениями, все большее значение приобретает вопрос эффективного и устойчивого использования гидроэнергетических ресурсов. Республика Таджикистан, обладающая огромными водными ресурсами и значительным гидроэнергетическим потенциалом, полагается на оптимальное использование

этих ресурсов для обеспечения энергетической безопасности и устойчивого экономического развития» [40].

Математическая модель сезонного регулирования Рогунской ГЭС. В общем виде расчёты выполняются по предложенной модели в виде таблицы, которая приведена в приложении к диссертации.

Объём потока воды в резервуар в месяц (по значениям Q -значения) $W_{\text{приток}}$, км³.

$$W_{\text{приток}} = Q * 60 * 60 * 24 * n \quad (14)$$

Здесь:

n -количество дней в каждом месяце

Фактические или прогнозируемые затраты воды на ГЭС указываются как $Q_{\text{НВ}}$, среднемесячная ставка, используемая в единицах м³/с.

Объём воды, прошедшей ГЭС за месяц (исходя из известных значений $Q_{\text{ГЭС}}$), рассчитывается как $W_{\text{ГЭС}}$ на единицу км³.

$$W_{\text{ГЭС}} = Q_{\text{ГЭС}} * 60 * 60 * 24 * n \quad (15)$$

где: n - также количество дней в месяце.

Средний объём резервуара рассчитывается в качестве конечной $WMID$ следующим образом:

$$W_{\text{ср. пром}} = (W_{\text{нач}} + W_{\text{кон.}}) / 2 \quad (16)$$

Водные знаки, указывающие на задержку воды, получены в результате фильтрации. Количество воды, выходящей из испарения, измеряется в км³. Этот расчёт основан на зависимости $H = f(W_v)$, как показано на рисунке 17.

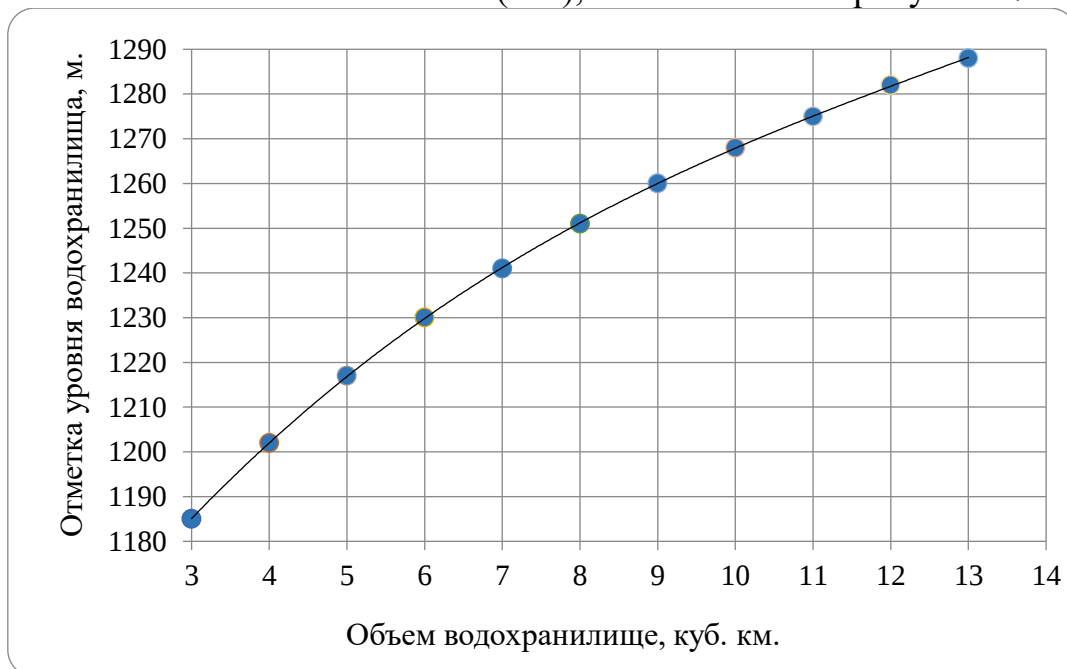


Рисунок 17. - Водохранилище Рогунской ГЭС. Зависимость: $H=f(W)$

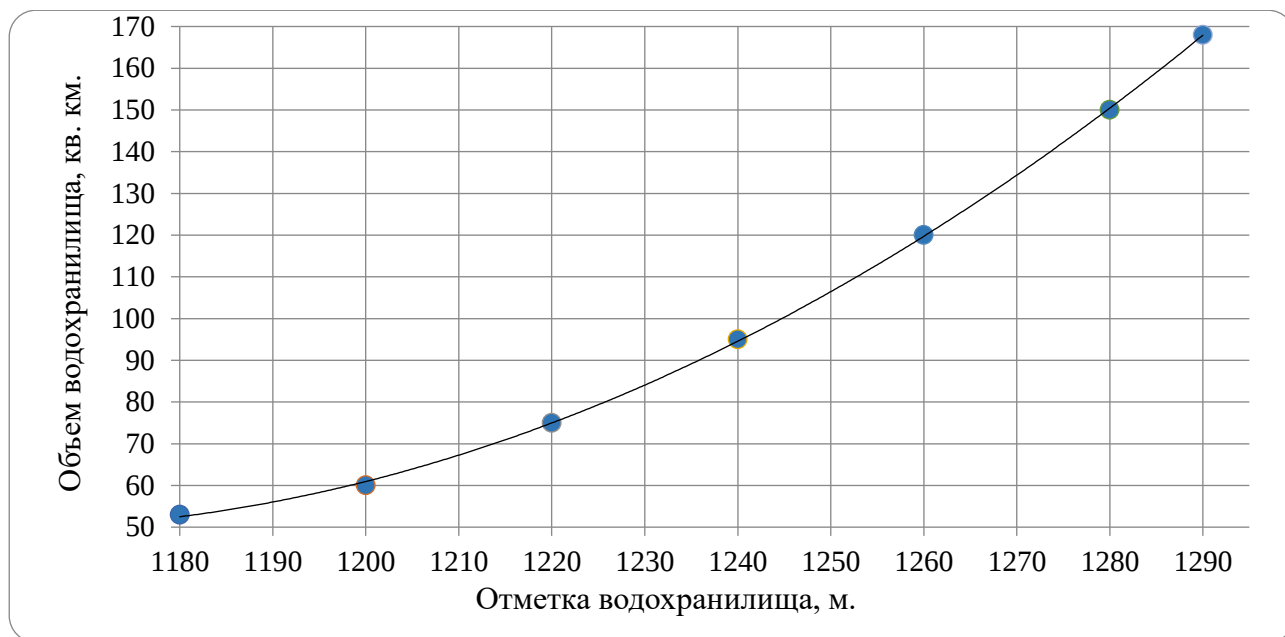


Рисунок 18. - Водохранилище Рогунской ГЭС. Зависимость: $W=f(H)$

Таблица 4. - Объём Рогунского водохранилища зависит от отметки его уровня

H, м	1185	1203	1217	1230	1241	1251	1260	1268	1275	1282	1288	1290
W, км ³	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13,3

Если мы обратим эту функцию, то получим следующую зависимость:

$$W = f(H) \quad (17)$$

Отсюда, учитывая, что:

$$W_{\text{в-ща}} = \int S(H) dH \quad (18)$$

где: $S(H)$ - площадь поверхности водоёма, как функция уровня воды в нём, последняя зависимость может быть получена явно:

$$S(H) = \frac{dW_{\text{в-ща}}}{dH} = \frac{d(0,000000241821228785279H^3 - 0,00843530375184813H^2 + 9,85922059165082H - 3859,04622190149)}{dH} = 0,00000725463686355837 \cdot H^2 - 0,0168706075036963 \cdot H + 9,85922059165082 \quad (19)$$

Таблица 5. - Зависимость площади поверхности Рогунского водохранилища от отметки его поверхности

H, м	1180	1200	1220	1240	1260	1280	1290
S, км ²	53,26	61,17	74,88	94,40	119,72	150,84	168,58

Таблица 6. - Рогунской ГЭС. Зависимость $S = f(W)$

W, км ³	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13,3
S, км ²	54,69	62,85	72,45	83,91	95,52	107,60	119,72	131,47	142,51	154,27	164,91	168,58

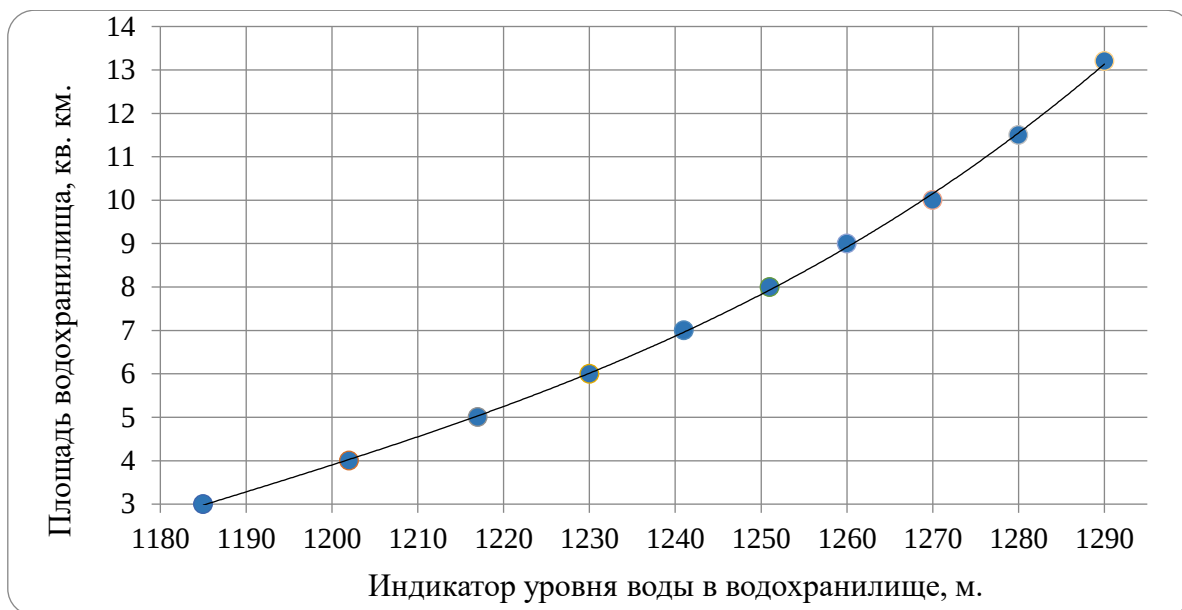


Рисунок 19. - Рогунское водохранилище. Зависимость: $S=f(H)$

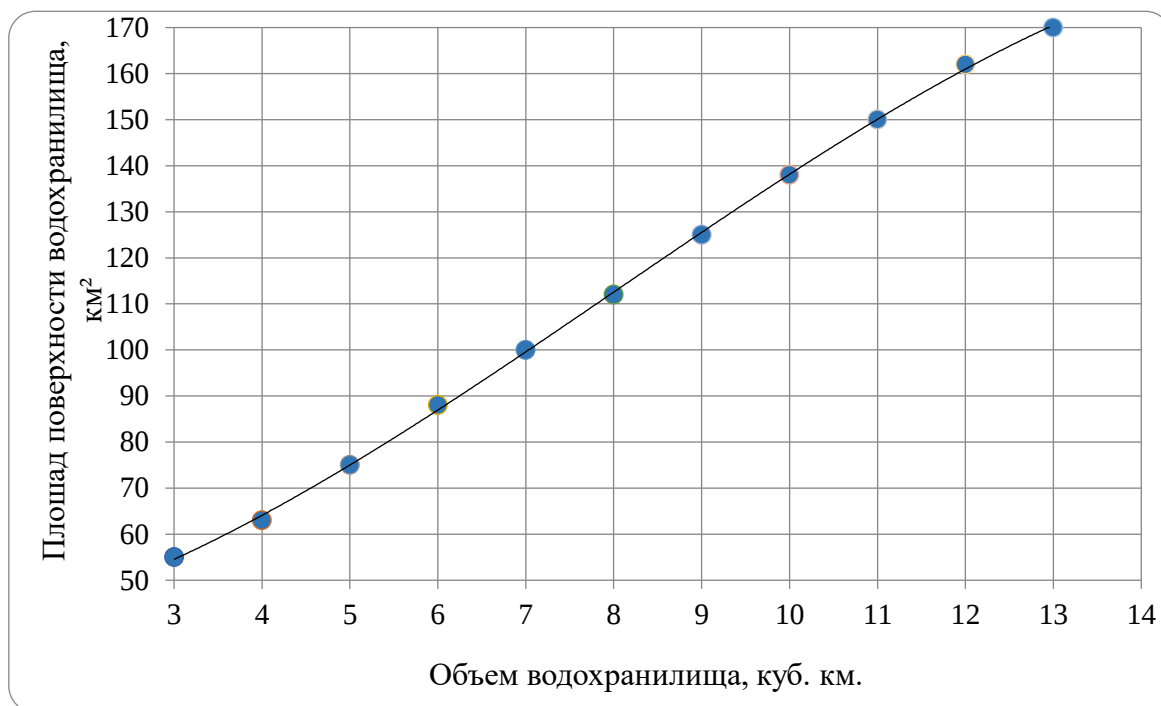


Рисунок 20. – Водохранилище Рогунской ГЭС. Зависимость: $S=f(W)$

На рисунках 19 и 20 показана зависимость площади от давления и зависимость площади от объёма.

По полученным результатам можно определить потери воды из Рогунского водохранилища, используя данные исследований, представленные в проектной технической документации.

Расчёт убытков производится по следующей формуле:

$$П_{исп} = S * t_{потерь} * 10^{-6} \quad (20)$$

Здесь S :

$$S = -0,0377792687 (W_{\text{ср. промеж.}})^3 + 1,0055598849 (W_{\text{ср. промеж.}})^2 + 3,1891993856 W_{\text{ср. промеж.}} + 36,7031932722.$$

После этого рассчитываются итоговые значения среднего объёма водохранилища за месяц, $W_{\text{средний значения}}$

$$W_{\text{ср. расчетн.}} = W_{\text{ср. промеж.}} - \Pi_{\text{ф}} - \Pi_{\text{исп}} \quad (21)$$

Объём пустого/потерянного броска рассчитывается при следующих условиях:

Если $W_{\text{среднее значение}}$ меньше, чем полный объём резервуара:

$$W_{\text{средний расчетн.}} < 13,3 \text{ км}^3 \quad (22)$$

$$\text{ба } \Pi_{\text{хол}} = 0$$

Если $W_{\text{средний расчет}}$ больше, чем полный объём резервуара:

$$W_{\text{средний расчетн.}} > 13,3 \text{ км}^3 \quad (23)$$

$$\text{ба } \Pi_{\text{хола}} = W_{\text{средний расчетн.}} - 13,3$$

Исходя из этих соответствующих $\Pi_{\text{полоиш}}$ значений, для средних ежемесячных расходов, потраченных впустую, $Q_{\text{бехуда}}$ рассчитывается по зависимостям:

$$Q_{\text{хол}} = \Pi_{\text{ф}} * \frac{10^0}{86400 * n} \quad (24)$$

где: n -количество дней в месяце.

Все это позволяет рассчитать удельный уровень (отметку) воды в водоеме в среднем за месяц. Зависимость проекта: $H = f(W)$ показана на рисунке 21.

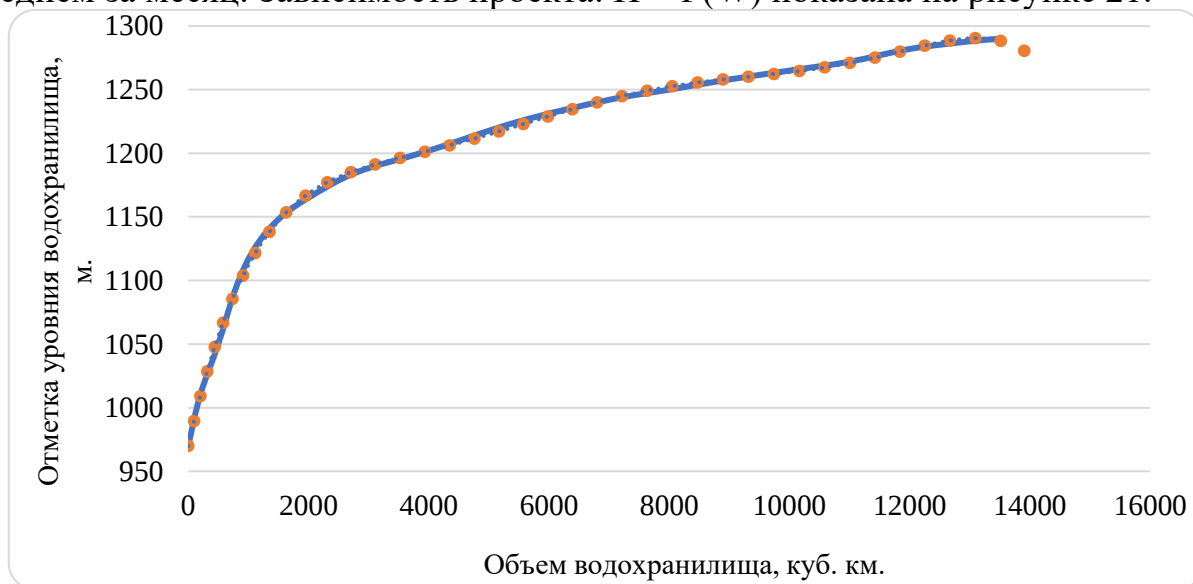


Рисунок 21. - Водохранилище Рогунской ГЭС. Зависимость: $H=f(W)$ для водохранилища

Эта кривая относится ко всему объёму водохранилища Рогунской ГЭС, включая неиспользуемые и полезные объёмы. В целях регулирования работы электростанции разработанная модель учитывает только полезный объём водохранилища, поэтому для определения уровня воды используется более точный метод.

Значения коэффициента A ($=9,81$ л) указаны в общей зависимости для расчёта выработки электроэнергии:

$$\mathcal{E} = A \cdot Q \cdot H \quad (25)$$

который был принят до проведения естественных исследований на самой Рогунской ГЭС, такой как Нурекская ГЭС:

$$A = 10,37901 - 0,00672 \cdot H_{\text{брутто}} \quad (26)$$

Как и на Нурекской ГЭС, рассчитаны максимально допустимые значения кавитации и пропускная способность сточных вод через ГЭС:

$$Q_{\text{MAX}} = 0,00003869 \cdot (H_{\text{брутто}})^4 - 0,03529695 \cdot (H_{\text{брутто}})^3 + 11,92065309 \cdot (H_{\text{брутто}})^2 - 1765,53505094 \cdot (H_{\text{брутто}}) + 98141,08410839 \quad (27)$$

После этого рассчитывается выработка электроэнергии в месяц:

$$\mathcal{E} = A \cdot Q_{\text{НБО}} \cdot H_{\text{брутто}} \quad (28)$$

Моделирование влияния изменения климата на расход воды и планирование ёмкости водохранилищ для обеспечения устойчивости энергоснабжения. «При этом, в данной главе для вычислений была использована цифровая модель рельефа (DEM) с разделением участков на интервалы по 20 км. Теоретическая мощность определяется с учётом разницы высот между верхним и нижним срезами, а также среднегодового объёма расхода воды и рассчитывается по следующей формуле» [41]:

$$E_{\text{TRWater}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H \cdot t \quad (29)$$

в которой:

E_{TRWater} – теоретическая гидроэнергетическая мощность реки (J); ρ – плотность воды (принято в настоящем исследовании 1,0 кг/л); g – ускорение свободного падения (9,8014 м/с², рассчитано по международной гравитационной формуле 1979 года для широты 39°); Q – среднегодовой объём расхода воды (м³/с); ΔH – перепад высот между участками пересечения верхнего и нижнего течения (м); t – продолжительность времени (8760 часов в год).

Учитывая, что в бассейне реки Вахш вклад снегопада в формирование общего водотока очень высок, для моделирования гидрологических процессов в условиях различных климатических сценариев была использована гидрологическая модель CPM.

«Модель SRM является концептуальной моделью «градус-день» и учитывает площадь, покрытую снегом, в качестве одного из основных входных показателей. Его основное уравнение выражается формулой (30)» [42].

$$Q_{n+1} = [C_{sn} \cdot a_n(T_n + \Delta T_n)S_n + c_{Rn}P_n] \frac{A \cdot 10,000}{86,400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} \quad (30)$$

в которой:

Q – среднесуточный объём потребления воды (м³/с);

C – коэффициент расхода, выражающий потери в отношении расхода на осадки (runoff/precipitation); C_s – коэффициент расхода снега; C_r – коэффициент расхода дождевой воды; a – коэффициент «градус-день», показывающий глубину таяния снега за счёт градуса-дня ($\text{см} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{день}^{-1}$); ΔT – температурная коррекция (экстраполяция) наблюдательной станции на среднюю гипсометрическую высоту бассейна или возвышенности местности ($^\circ\text{C}$); S – доля площади, покрытой снегом, по отношению к общей площади; P – количество осадков, участвующих в формировании расхода воды; a – площадь бассейна или возвышенности (км^2); k – коэффициент затухания (recession coefficient), характеризующий снижение расхода воды в периоды выпадения снега и отсутствия осадков; n – последовательность дней, затраченных на расчётный период.

Выражение $\frac{10,000}{86,400}$ используется для преобразования единиц измерения из $\text{см}/\text{км}^2/\text{день}$ в $\text{м}^3/\text{с}$.

Учитывая значительное влияние изменения климата в Республике Таджикистан, система моделирования в данной диссертационной работе была применена для трёх сценариев репрезентативной концентрации отходов - RCP2.6, rcp4.5 и rcp8.5. Для этой климатической перспективы был использован набор международных моделей CMIP5. На рисунке 22 показано пространственное распределение гидроэнергетических ресурсов в бассейне реки Вахш.

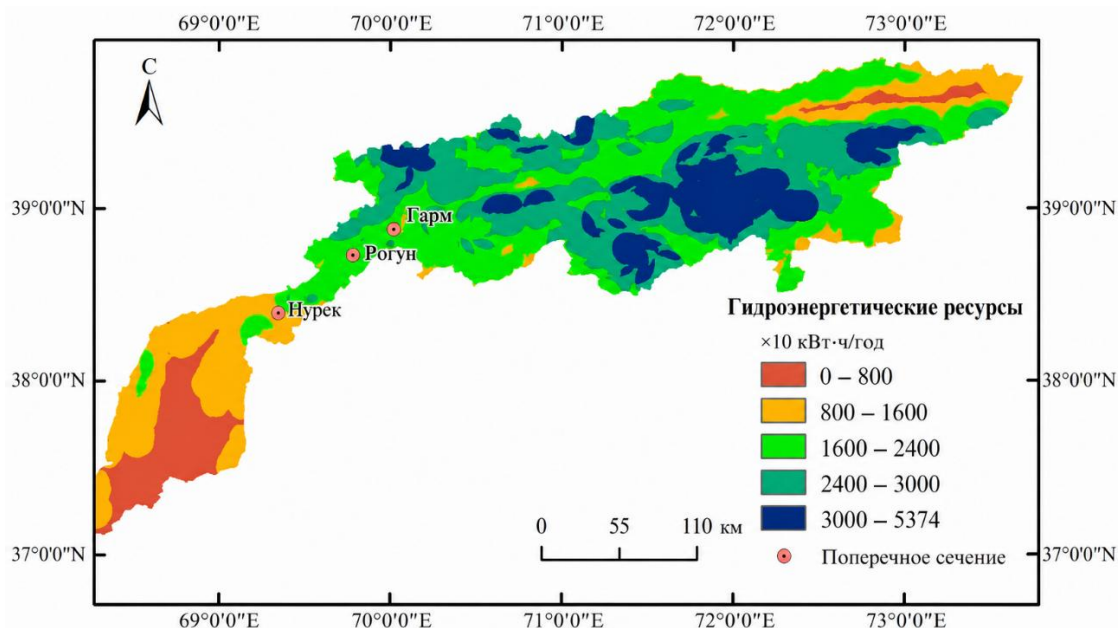


Рисунок 22. - Пространственное распределение гидроэнергетических ресурсов в бассейне реки Вахш

Статистический анализ показывает, что большая часть территории обладает значительным энергетическим потенциалом, а более 90 процентов площади бассейна способны вырабатывать более 100 млрд кВт·ч электроэнергии в год.

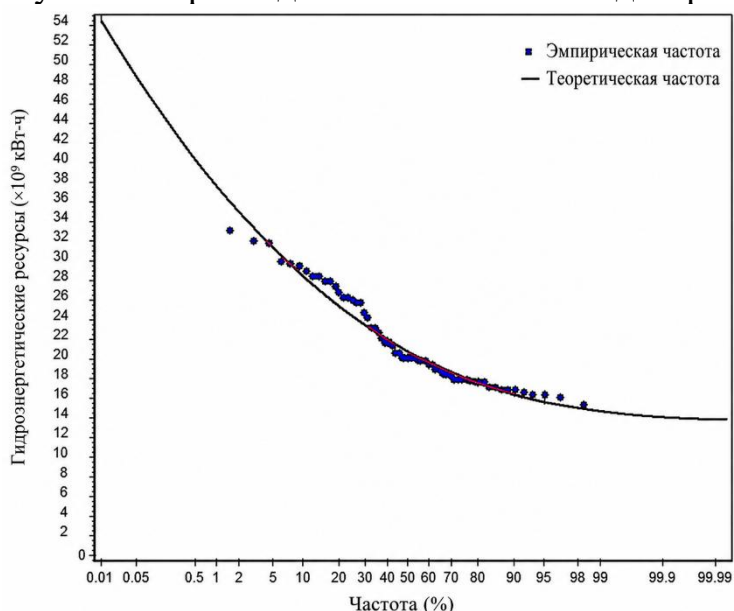
Таблица 7. - Расчет гидроэнергетических ресурсов на образцовых гидрологических участках

Название	Разность высот (м) над уровнем моря	Среднегодовой расход воды (м³/с)	Гидроэнергетические ресурсы ($\times 10^8$ кВт·ч / год)
Гарм	2007	321,92	554,65
Рогун	2036	645,00	1127,37
Нурек	1413	650,05	788,53

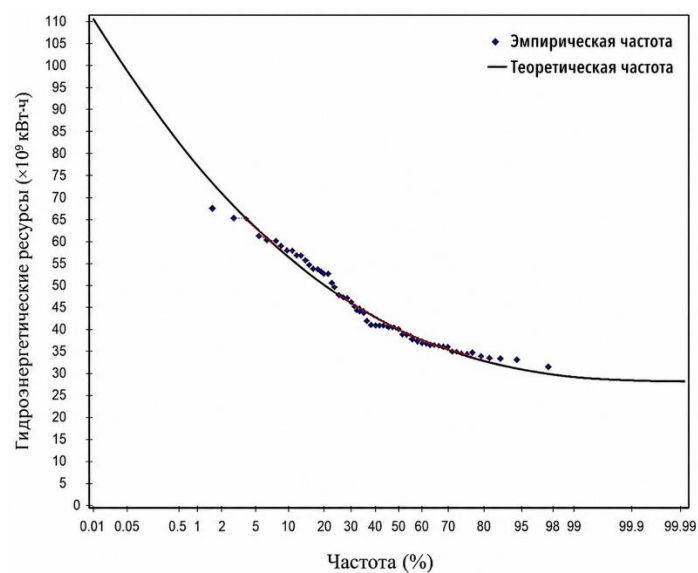
Статистический анализ среднегодовых данных за период 1976-1985 гг. показал следующие результаты. Внутреннее распределение гидроэнергетических ресурсов крайне неравномерно. Самые низкие значения были зафиксированы в январе–марте и составили $6,03 \times 10^8$; $12,24 \times 10^8$ и $8,58 \times 10^8$ кВт·ч соответственно, что составляет около 2,77% годового объема для каждого континента.

Напротив, самые высокие показатели наблюдаются в июне - $47,83 \times 10^8$; $97,04 \times 10^8$ и $68,02 \times 10^8$ кВт·ч, что в среднем составляет 21,96% от общего годового объема.

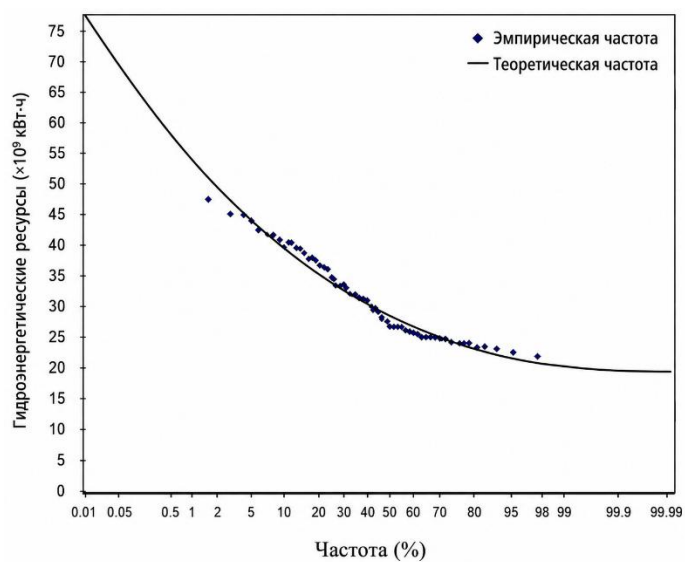
В целом, на период насыщения (май–сентябрь) приходится 75,13% от общего объема гидроэнергетических ресурсов, а на остальные семь месяцев приходится лишь 24,87%. Это обстоятельство подчеркивает необходимость сезонного регулирования водных ресурсов и планирования ёмкости водохранилищ для обеспечения устойчивости энергоснабжения в сезон дефицита. На рисунках 23,24,25 и 26 показано вероятностное распределение гидроэнергетических ресурсов, особенности распределения гидроэнергетических ресурсов в течение года, моделирование расхода воды на гидрологическом участке ГЭС на основе модели СРМ и сравнение фактического и моделируемого суточного расхода с использованием диаграмм рассеяния.



(А) Гарм станция



(Б) Рагун станция



(В) Нурек станция

Рисунок 23. - Потенциальное распределение гидроэнергетических ресурсов

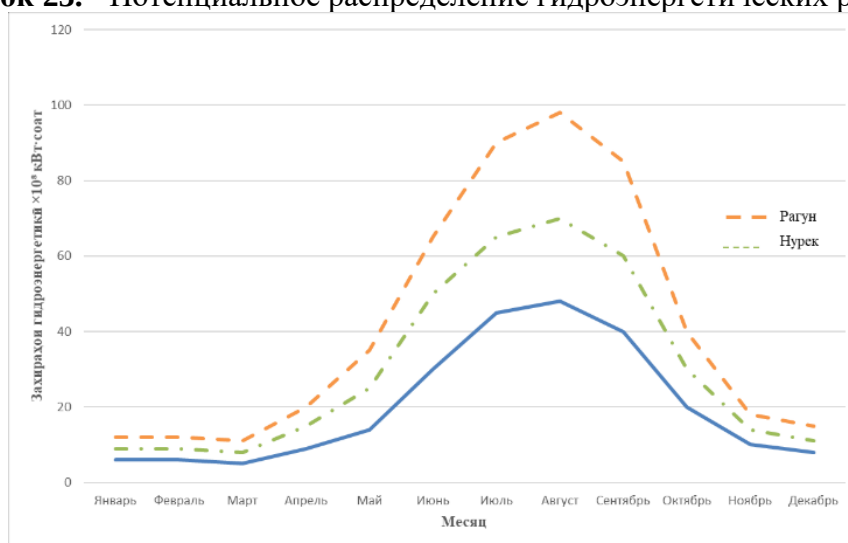
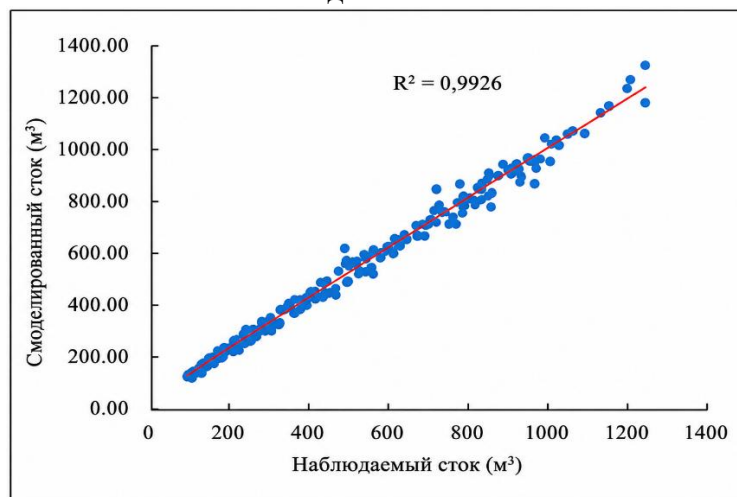


Рисунок 24. - Особенности распределения гидроэнергетических ресурсов в течение года

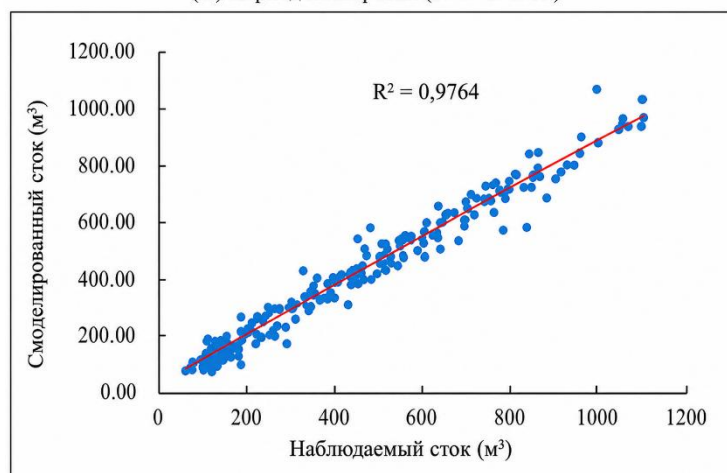
Высокая согласованность между наблюдаемыми данными и результатами моделирования наблюдается как на этапе настройки (калибровки), так и на этапе проверки (валидации).



Рисунок 25. - Моделирование водопотребления в гидрологическом регионе Гарм на основе модели SRM



(А) Период калибровки (1976–1980 гг.)



(В) Период валидации (1981–1985 гг.)

Рисунок 26. - Сравнение фактического и смоделированного суточного потребления с использованием диаграмм рассеяния (scatter plot)

Высокие значения R2 и NSE (>0,97) свидетельствуют об очень хорошей совместимости модели с реальными данными и подтверждают её способность моделировать расход воды в условиях изменения климата.

Изменение климатических показателей – максимальной температуры (Tmax), минимальной температуры (Tmin), средней температуры (Tmedia) и осадков (P) – для области исследования по сравнению с периодом моделирования представлено в таблице 8.

Таблица 8. Значения изменения климатических сценариев в бассейне реки Вахш по отношению к основному периоду (1976-1986)

Показатели	Сценария	2030	2040	2050	2060	2070	2080
Tmax (°C)	RCP2.6	0,19	0,18	0,33	0,46	0,44	0,27
	RCP4.5	0,20	0,28	0,36	0,52	0,62	0,61
	RCP8.5	0,21	0,51	0,76	0,83	1,19	1,40
Tmin (°C)	RCP2.6	0,22	0,22	0,35	0,40	0,44	0,27
	RCP4.5	0,26	0,32	0,33	0,50	0,49	0,51
	RCP8.5	0,19	0,46	0,63	0,70	1,04	1,15
Tсредний (°C)	RCP2.6	0,21	0,20	0,34	0,43	0,44	0,27
	RCP4.5	0,23	0,30	0,35	0,51	0,56	0,56
	RCP8.5	0,20	0,49	0,69	0,76	1,12	1,28
P (мм)	RCP2.6	6,67	5,96	6,97	9,60	6,06	11,41
	RCP4.5	6,27	3,79	8,18	9,86	8,16	8,75
	RCP8.5	8,19	8,22	10,44	8,25	6,72	6,21

Среднегодовой прирост температуры оценивается в диапазоне 0,31–0,82 °C, количество осадков также увеличивается в среднем примерно на 8 мм.

Согласно результатам рисунка 27, с повышением температуры и выпадением осадков объём потребления воды также увеличивается в разной степени. В ближайшие пятьдесят лет при уровне надежности 95% общий расход воды на Гармском, Рогунском и Нурекском участках составит $415,64 \pm 57,77$; $832,78 \pm 114,52$ и $839,30 \pm 168,09$ м³/Сун, соответственно.

Эти климатические изменения могут привести к увеличению частоты и интенсивности наводнений и наводнений в регионе, что требует усиления управления водными ресурсами и адаптации гидротехнической инфраструктуры.

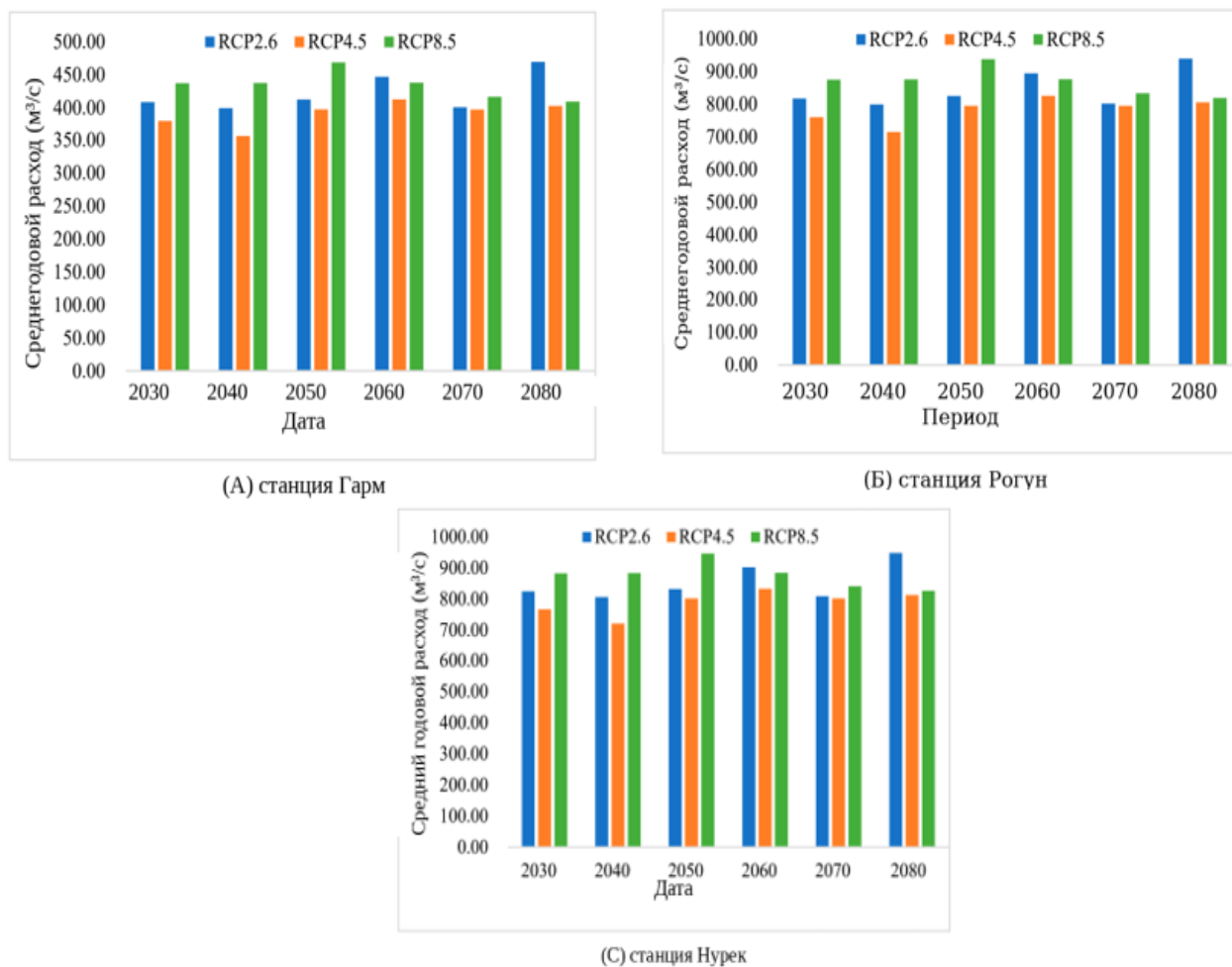


Рисунок 27. - Изменения в потреблении воды при различных климатических сценариях

Результаты расчётов представлены на рисунке 28, отражающем динамику изменения гидроэнергетических мощностей на исследуемых участках при различных климатических условиях. Рисунок 28 показывает, что во всех трёх сценариях запасы гидроэнергии увеличиваются с увеличением расхода воды и колеблются от 162 ± 22.54 до $328,108 \pm 45,652.24$ кВтч/год, при уровне надёжности 95%. Пространственно наименьший прирост наблюдается в Гарме, наибольший-в Нуреке, а затем в Рогуне. Склонность к изменениям согласуется с изменением потока воды.

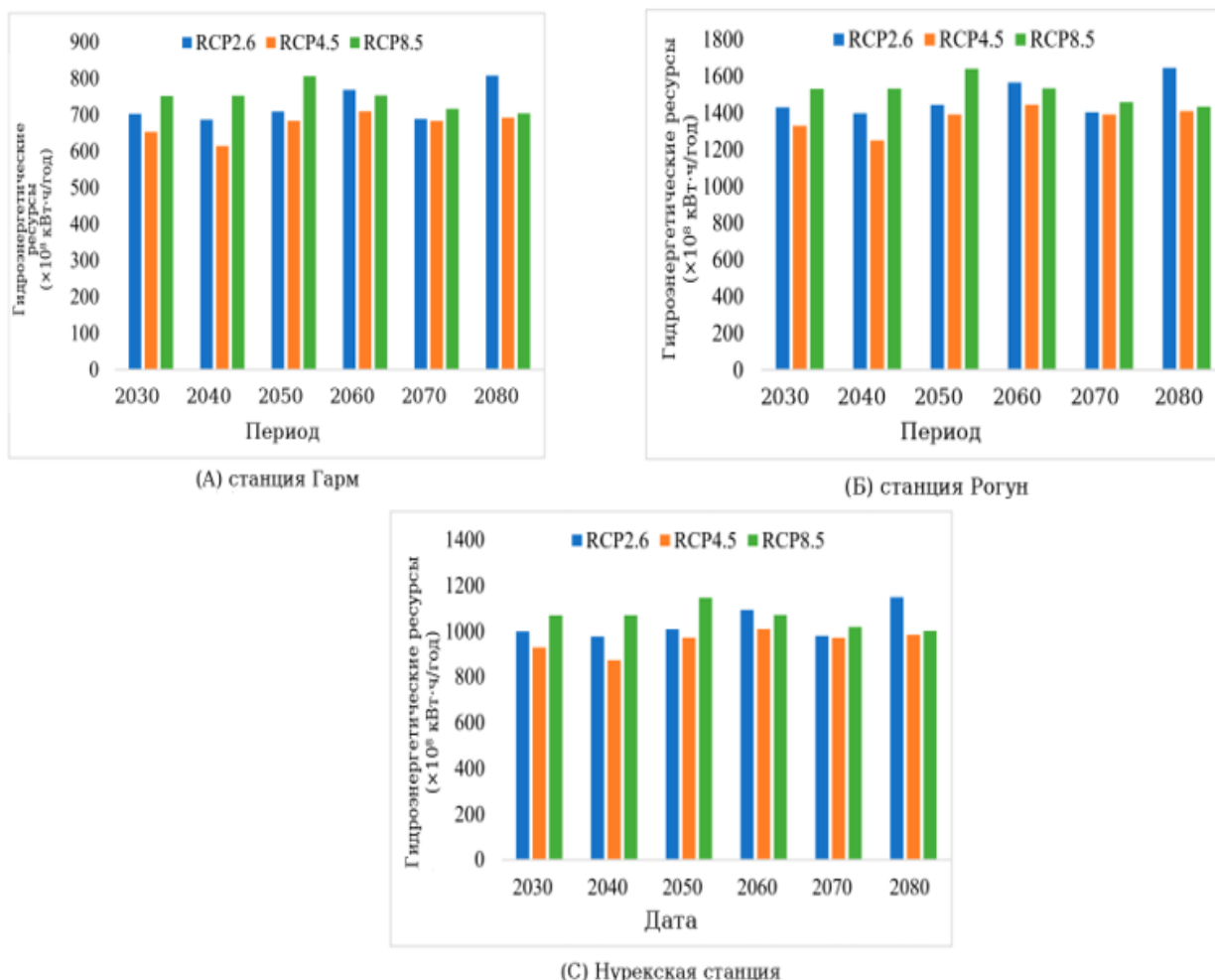


Рисунок 28. - Изменения в гидроэнергетических ресурсах при различных климатических сценариях

Также в данной главе представлена концептуальная модель выработки электроэнергии в бассейне реки Вахш как научно-практическая система, основанная на комплексном анализе гидрологических, энергетических и климатических процессов. В современных условиях, характеризующихся повышенным спросом на энергию, нестабильностью климата и ограниченными природными ресурсами, возникает необходимость применения комплексных подходов для эффективного управления энергосистемой. Республика Таджикистан, которая обеспечивает более 90 процентов своей выработки электроэнергии за счёт гидроэлектростанций, находится в прямой зависимости от состояния водных ресурсов и их изменчивости. Поэтому имеет ключевое значение разработка научно-обоснованной модели, позволяющей анализировать природные и технические процессы в единой системе.

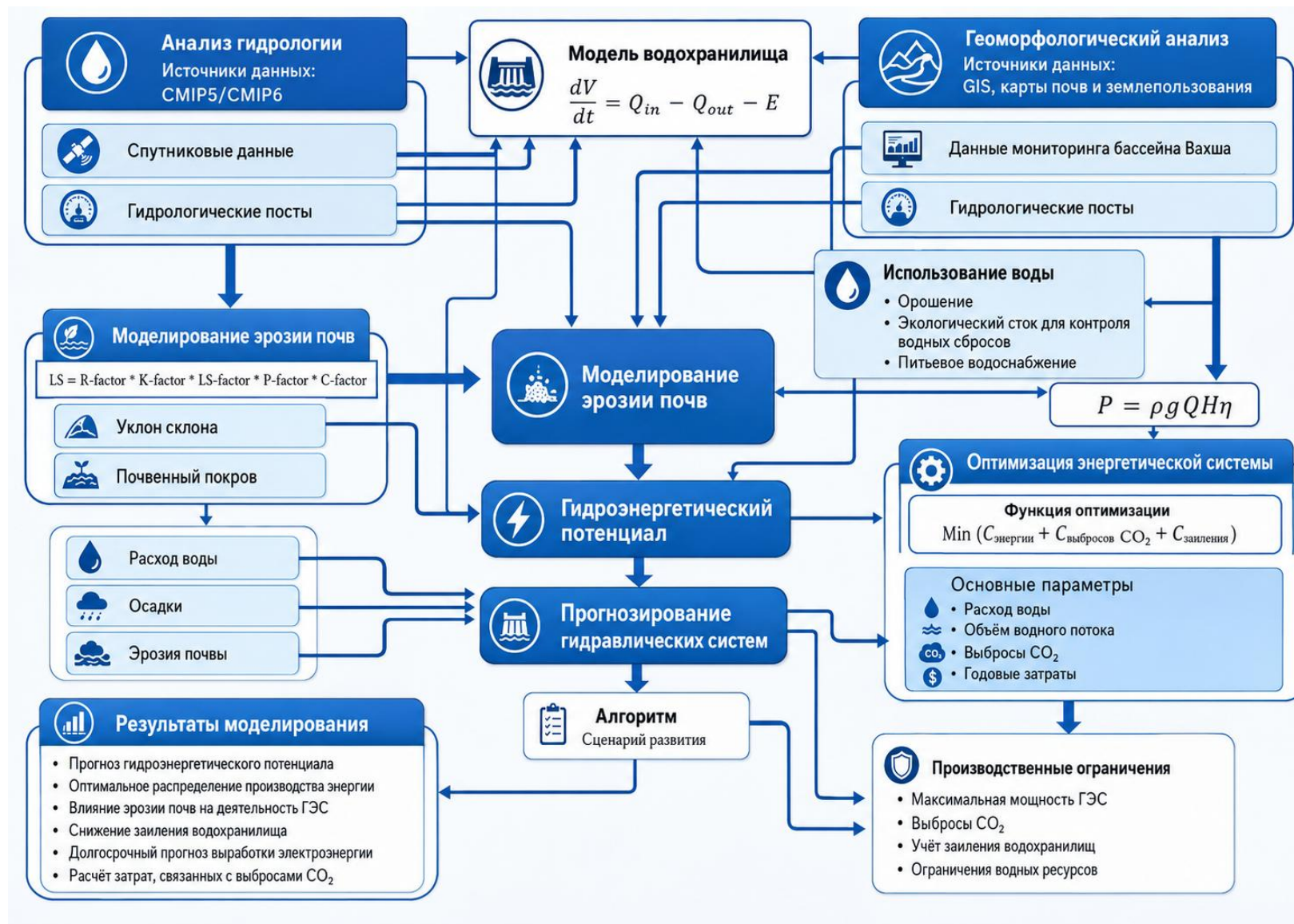


Рисунок 29. - Концептуально-математическая интегрированная модель гидроэнергетической системы в бассейне реки Вахш в условиях изменения климата

ВЫВОДЫ

Основные научные результаты диссертации

1. Впервые в условиях Республики Таджикистан был проведен системный сравнительный анализ энергетических ресурсов, в том числе гидроэнергетических, угольных, минеральных ресурсов и возобновляемых источников энергии, на основе методологии годового энергетического эквивалента [1-М].

2. Был разработан и обоснован гидро-угольный сценарий развития энергетики Республики Таджикистан, обеспечивающий повышение устойчивости энергосистемы и безопасности энергоснабжения. Оценки оптимизационно-имитационных математических моделей режима работы энергосистемы, в том числе моделей эффективности, разработанных для крупных электростанций, таких как Рогунская ГЭС, для обеспечения устойчивого управления электростанциями [2-М]

3. По проведенным исследованиям выявлено, что при интеграции Рогунской ГЭС с другими источниками возобновляемой энергии а также применение интеллектуальных систем управления электроэнергией повышает эффективность использования электроэнергии и снижению использования ископаемого топлива. Такой подход позволяет снизить выбросы в атмосферу углекислых газа а также привлечению в сектор инвестиций [4-М].

4. Выявлено что при интеграции угольных и других видов ископаемого топлива с гидроэнергетическим потенциалом показывает устойчивость в энергообеспечении, а также диверсификацию источников энергии и компенсацию сезонного дефицита энергии. Это обеспечивает эффективное использование водных ресурсов и привлечение инвестиций в гидроэнергетический сектор [5-М].

5. Доказано, что в процессе эрозии и накопление наносов, что является естественными природными явлениями, существенно влияет на функционирование гидроэнергетических систем. В рамках исследования это влияние было всесторонне оценено и проанализировано с использованием современных математических моделей и геоинформационных технологий (ГИС). Научная новизна исследования показала, что применение методологий SRM и MUSLE для анализа горных бассейнов, в том числе бассейна реки Вахш, позволяет принимать устойчивые и экономически обоснованные решения при строительстве гидроэлектростанций [17-М].

6. Анализ перспектив развития гидроэнергетических ресурсов в бассейне реки Вахш показал, что рост численности населения и экономическое развитие увеличивают потребность в электроэнергии и одновременно усиливают нагрузку на окружающую среду. Моделирование и оценка сценарии CIMP5 и CIMP6 показали, что климатические изменения привели к увеличению ливневых дождей и увеличению водопользования из ледниковых источников, что в своей очередь приведет к значительному негативному влиянию на

гидроэнергетический потенциал. Таким образом, в связи с увеличением среднегодовой температуры до 2⁰С объем расхода воды в территории бассейнов Таджикистана увеличиться на 16,5%, сезонные изменения и характер выпадении осадков приведут к значительному негативному влиянию на эффективности гидроэлектростанции [10-М].

7. В сфере возобновляемых источников энергии, были предложены оборудования для охлаждения солнечных панелей. На солнечных панелей предложены бырзовики воды для охлаждения и очистки поверхности панелей трубчатом виде с уклоном в 45⁰ относительно поверхности, с насосом относительно малой мощности. Такой тип оборудования позволяют держать температуру на поверхности панелей в пределах 20-25⁰С, что позволить увеличить эффективность и устойчивость панелей в условиях сухого и жаркого климата [9-М].

8. В целом, достижения диссертации показывают, что для обеспечения долгосрочной устойчивости энергетического режима Республики Таджикистана необходимо переходить на Интегрированное управление водными ресурсами, моделирования сценариев и оптимизации режима работы гидроэлектростанций с применениями научных и инновационных методов [12-М].

Предложения по практическому применению результатов исследования

1. Укрепление комплексного управления водохранилищами и ГЭС, с приоритетом на Рогунскую ГЭС, для повышения эффективности, энергетической безопасности и устойчивости к изменению климата и рискам заиления.

2. Объединение Рогунской ГЭС с солнечными и ветровыми электростанциями в рамках системно-интеграционного подхода для диверсификации источников энергии, повышения надежности и адаптивности энергосистемы, снижения воздействия на окружающую среду и привлечения инвестиций.

3. Расширение использования оптимизационно-имитационных моделей, оценок производительности ГЭС, инструментов ГИС и гидрологических индексов (NDWI, MUSLE) для точного прогнозирования эрозии, заиления и воздействия изменения климата на энергетическую систему.

4. Снижение зависимости от угля за счет развития сбалансированного сочетания гидро-, солнечной и ветровой энергии, повышения надежности системы, компенсации сезонных колебаний и снижения выбросов углерода.

5. С учетом климата Таджикистана, применять экономически эффективные решения по охлаждению солнечных панелей (снижение температуры поверхности на 20–25 °С) для поддержания эффективности и экологичности.

6. Укрепить инфраструктуру ГЭС и водохранилищ и внедрить сценарное планирование для адаптации к увеличению количества сильных дождей и рискам внезапных наводнений в условиях изменения климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. В.И. Салыгин Интеграционные аспекты развития электроэнергетического комплекса ЕС: общий электроэнергетический рынок. / Р.К. Мустафинов // Энергетическая политика, 2017 - №6. – С. 45-52.
- [2]. Швец Н.Н. Современные проблемы обеспечения энергетической безопасности России в сфере электроэнергетики и пути их решения. // Швец Н.Н. Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013 - №31. – С. 9-16.
- [3]. Wegerich K. Reliving the past in a changed environment: Hydropower ambitions, opportunities and constraints in Tajikistan. / K. Wegerich, O. Olsson and J. Froebrich // Energy Policy. – 2007. - №35(7). - P. 3815-3825.
- [4]. K. Kosowska, Energy security of hydropower producing countries—The cases of Tajikistan and Kyrgyzstan. / K. Kosowska, and P. Kosowski // Energies. - 2022. - №15(21). - P. 7822.
- [5]. K.S. Karimov, Effective management of combined renewable energy resources in Tajikistan. / K.S. Karimov, et al., // Science of the total environment. - 2013. - №46. - P. 835-838.
- [6]. Y. Sekretarev, Optimization of long-term modes of hydropower plants of the energy system of Tajikistan. / Y. Sekretarev, S. Sultonov and M. Nazarov // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2016. IEEE.
- [7]. U. Azimov, Sustainable small-scale hydropower solutions in Central Asian countries for local and cross-border energy/water supply. / U. Azimov, and N. Avezova // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2022. – №167. - P. 112726.
- [8]. А.С. Иванов, Мировой рынок энергоресурсов: сегодня и вчера. / Иванов, А.С. и И.Е. Матвеев // Российский внешнеэкономический вестник. – 2015. - №4. - С. 3-23.
- [9]. А. Ахророва, Энергетика Таджикистана: стратегия устойчивого развития. / Ахророва, А. и Ф.Д. Бобоев // Таджикистан и современный мир. - 2016. - №5. - С. 57-67.
- [10]. М.А. Корытцев, Системы торговли квотами на выбросы парниковых газов: анализ международного опыта и перспективы применения в России. / Корытцев, М.А. и С.А. Морозов // Государственное и муниципальное управление. Учёные записки. – 2023. - №1. - С. 89-96.
- [11]. А. Мудрецов, Традиционные и зеленые источники энергии: проблемы и перспективы развития в условиях глобальной декарбонизации. / Мудрецов, А. и А. Прудникова // Проблемы рыночной экономики. - 2022. - №1. - С. 159-168.
- [12]. Z.X. Zhang, Greenhouse gas emission trading and the world trading system. / Z.X. Zhang // J. World Trade. - 1998. - №32. - P. 219.

[13]. C. Boemare, Implementing greenhouse gas trading in Europe: lessons from economic literature and international experiences. / C. Boemare and P. Quirion // *Ecological Economics*. - 2002. - №43(2-3). - С. 213-230.

[14]. Л.В. Калимуллин, Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии. / Калимуллин, Л.В., и др. // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. – 2019. - №1. - С. 42-54.

[15]. И.В. Усачева, Гибридные накопители энергии: проблемы и перспективы технологий хранения энергии. / И.В. Усачева, Е.А. Гладкая, и С.В. Ландин // *Научные труды Вольного экономического общества России*. - 2022. - №236(4). - С. 149-167.

[16]. A. Habib, Analytical review on the trends and present situation of large-scale sustainable energy storage technology. / A. Habib and C. Sou // *European Journal of Sustainable Development Research*. - 2018. - №2(3). - P. 31.

[17]. S. Sahoo, Energy storage technologies for modern power systems: A detailed analysis of functionalities, potentials, and impacts. / Sahoo, S. and P. Timmann // *IEEe Access*. - 2023. - №11. - P. 49689-49729.

[18]. P. Normatov, The impact of climate change on hydrology and glaciation of the Zeravshan, Vakhsh and Pyanj River Basin. / P. Normatov // *Copernicus Meetings*. – 2022.

[19]. K. Unger-Shayesteh, what do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? A review. / K. Unger-Shayesteh, et al. // *Global and Planetary Change*. - 2013. - №110. - С. 4-25.

[20]. А.А. Имомов, Влияние гидротехнического строительства на географическое распределение твердого стока рек из горного пояса в долины (на примере отложений в прудах Юго-Западного Таджикистана). / А.А. Имомов, У.И. Муртазаев, и Т.М. Гуруков // *Вестник Педагогического университета*. – 2015. - №2-1. - С. 250-257.

[21]. Пулатов, Я., и др., Научные основы управления водными ресурсами и развитие водного сотрудничества в центральной азии. / Я. Пулатов и другие // *География и водные ресурсы*. – 2016. - №3. – С. 91-97.

[22]. З. Кобулиев, Гидроэнергетический потенциал таджикистана и реализация гидроэнергетических проектов. / Кобулиев, З., К. Нуралиев, и М. Абдусаматов // *Международная научно-практическая online конференция «Технические средства предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций»*. – 2017. №1. – С. 57-60.

[23]. А. Фазылов, Значение водохранилищ при комплексном регулировании и управлении водными ресурсами в условиях напряженного водохозяйственного баланса Центрально-Азиатского региона. / А.Фазылов //

Вода для мелиорации, водоснабжения отраслей экономики и природной среды в условиях изменения климата. - 2018. - №2. - С. 45-61.

[24]. Стоцкий, К.С и др. Мини гидроэлектростанции. / К.С. Стоцкий и др. // Наука через призму времени. – 2020 №1. - С. 42-44.

[25]. Г.Н. Петров, Гидроэнергетика и ее роль в региональной интеграции стран Центральной Азии. / Г.Н. Петров // Евразийская экономическая интеграция. – 2009 №3 (4). - С. 117-131.

[26]. С. Наврузов, Модельные задачи распределения и использования водных ресурсов в бассейне трансграничной реки. / С. Наврузов // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2010 №3. - С. 51-64.

[27]. З. Усманов, Сценарии вододеления в модельном трансграничном речном бассейне. / З. Усманов и С. Наврузов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. - 2008. -№51(7). - С. 496-500.

[28]. Х. Ахмедов, Малая гидроэнергетика и возможности использования мини-и микроГЭС в горных территориях Таджикистана. / Х. Ахмедов, Х. Каримов и Г. Петров // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2010 №1. - С. 100-109.

[29]. С. Давлатшоев, Исследование диапазона изменения степени минерализации подземных вод в основании плотины Рогунской ГЭС. / С. Давлатшоев, З. Кобулиев и М. Сафаров // Научный журнал. – 2020. - С. 58.

[30]. С. Курбонализода, Исследование режимов работы ГЭС мощностью 600 МВт. / С. Курбонализода и З. Кобулиев // Кишоварз. – 2019. - №1. - С. 116-124.

[31]. Ш.М. Султонов, Оптимизация режимов работы энергосистемы с высокой долей гидроэлектростанций (на примере энергосистемы Таджикистана). / Ш.М. Султонов // Новосибирск. - 2016.– С. 22.

[32]. A. Gulakhmadov, Simulation of the potential impacts of projected climate change on streamflow in the Vakhsh river basin in central Asia under CMIP5 RCP scenarios. / A. Gulakhmadov, et al. // Water. - 2020. - №12(5). - P. 1426.

[33]. Филиппова, А.В. Глобальные тренды развития мировой электроэнергетики в условиях перехода к возобновляемым источникам энергии / А.В. Филиппова // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, №9. – С. 3413–3426.

[34]. Андреев, О. Возобновляемые источники энергии и проблемы развития нетрадиционных источников энергии / О. Андреев // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2023. – №2. – С. 200.

[35]. On the cooling method of solar panels [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://ru.sunpropowersale.com/news/on-the-cooling-method-of-solar-panels-31772939.html> (дата обращения: 14.09.2025).

[36]. World Bank. Rogun Hydropower Project: Assessment Studies. – Washington, DC: World Bank, 2020.

[37]. Williams, J. EPIC: A new method for assessing erosion's effect on soil productivity / J. Williams, K. Renard, P. Dyke // Journal of Soil and Water Conservation. – 1983. – Vol. 38, №5. – P. 381–383.

[38]. Li, D. Sediment load responses to climate variation and cascade reservoirs in the Yangtze River: A case study of the Jinsha River / D. Li [и др.] // Geomorphology. – 2018. – Vol. 322. – P. 41–52.

[39]. Holdren, J.P. Population and the energy problem / J.P. Holdren // Population and Environment. – 1991. – Vol. 12, №3. – P. 231–255.

[40]. Fallah, B. Climate change impacts on Central Asia: Trends, extremes and future projections / B. Fallah [и др.] // International Journal of Climatology. – 2024. – Vol. 44, №10. – P. 3191–3213.

[41]. Chen, M. Statistical insights into the water exchange process in the Yangtze-Poyang System: The YPWES model / M. Chen [и др.] // Journal of Hydrology: Regional Studies. – 2022. – Vol. 40. – P. 101054.

[42]. Bilal, H. Snow runoff modelling in the upper Indus River Basin and its implication to energy water food nexus / H. Bilal [et al.] // Ecological Modelling. – 2024. – Vol. 498. – P. 110871.

Основные результаты диссертации представлены в следующих статьях:

[1–М]. **Рахмонов Ш.С.** Энергетические ресурсы Таджикистана. Часть. 2. Оценка запасов угля и развитие угольной энергетики [Текст] / **Ш.С. Рахмонов**, Б.М. Хасанов, С.Ш. Курбонализода, А.А. Гулахмадов, Ю. Курбонов, Ф.Х. Насруллоев // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана №3(2). – Душанбе, 2023 г. –С. 48-54. –ISSN 2789-0953.

[2–М]. **Рахмонов Ш.С.** Энергетические ресурсы Таджикистана. Часть 1. Гидроэнергетические ресурсы [Текст] / Халиков Х., **Ш.С. Рахмонов**, Курбонализода С.Ш., Гулахмадов А.А., Давлатшоев С.К. // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана №3(1). – Душанбе, 2023 г. –С. 83-91. –ISSN 2789-0953.

[3–М]. **Рахмонов Ш.С.** Энергияи гидрогенӣ. Қисми 1. Муқоисаи дурнамои истифодаи захираҳои энергетикӣ [Матн] / А.А. Гулахмадзода, **Ш.С. Рахмонов**, Б.М. Хасанов, С.К. Давлатшоев, З.Б. Азизов // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои обӣ, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №3(2). – Душанбе, 2023 с. –С. 56-63. –ISSN 2789-0953.

[4–М]. **Рахмонов Ш.С.** Теплоснабжение на основе солнечной энергии в Таджикистане [Текст] / **Ш.С. Рахмонов**, А.А. Гулахмадзода, Б.М. Хасанзода // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана №3(3). – Душанбе, 2023 г. –С. 163-169. –ISSN 2789-0953.

[5–М]. **Рахмонов Ш.С.** Использование потенциала возобновляемых источников энергии в Таджикистане: диверсификация, вызовы и стратегические пути к энергетической независимости [Текст] / Б.М. Хасанзода, А.А. Гулахмадзода, **Ш.С. Рахмонов** // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, №5(1). – Душанбе, 2025 г. – С. 87-97. –ISSN 2789-0953.

[6–М]. **Рахмонов Ш.С.** Энергияи гидрогенӣ. Қисми 2. Дурнамои рушди энергияи гидрогенӣ дар Тоҷикистон [Матн] / А.А. Гулахмадзода, **Ш.С. Рахмонов**, Б.М. Ҳасанов, С.К. Давлатшоев, З.Б. Азизов // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №5(1). – Душанбе, 2025 с. - С. 98-107. –ISSN 2789-0953.

[7–М]. **Рахмонов Ш.С.** Таҳқими иқтисодии гидроэнергетикии Тоҷикистон: лоиҳаҳои НБО-и Айнӣ ҳамчун унсуре энергетикаи устувор [Матн] / **Ш.С. Рахмонов**, Б.М. Хасанзода, А.А. Гулахмадзода, С.К. Давлатшоев // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №5(3). – Душанбе, 2025 с. -С. 76-81. –ISSN 2789-0953.

[8–М]. **Рахмонов Ш.С.** Реактори биогази анаэробӣ – биотуалет [Матн] / Ф.Т. Абдусамиев, С.Х. Баҳриев, Муссе Смаила Рауфу, **Ш.С. Рахмонов** // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №5(3). – Душанбе, 2025 с. -С. 113-117. –ISSN 2789-0953.

[9–М]. **Рахмонов Ш.С.** Солнечные панели в Таджикистане: технологии, эффективность и перспективы внедрения [Текст] / **Ш.С. Рахмонов**, Б.М. Хасанзода, А.А. Гулахмадзода, С.К. Давлатшоев // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана №5(2). – Душанбе, 2025 г. –С. 60-67. –ISSN 2789-0953.

[10–М]. **Рахмонов Ш.С.** Моделсозӣ ва таҳлили дурнамои рушди захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш [Матн] / **Ш.С. Рахмонов**, А.А. Гулахмадзода, С.К. Давлатшоев, О.Б. Давронов, З.Б. Азизов // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №6(1). – Душанбе, 2026 с. -С. 74-86. –ISSN 2789-0953.

[11–М]. **Рахмонов Ш.С.** Омӯзиши кори таҷҳизоти биогаз дар шароити воқеӣ зиндагии деҳаи Чорбоғ (ноҳияи Варзоб, Тоҷикистон) [Матн] / Ф.Т.

Абдусамиев, С.Х. Бахриев, С.Қ. Давлатшоев, **Ш.С. Рахмонов**, Н.Д. Холназаров, М.Т. Ятимов // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №6(1). – Душанбе, 2026 с. -С. 87-93. –ISSN 2789-0953.

[12–М]. **Рахмонов Ш.С.** Таҳлили омилҳои афзоиши истеъмоли неруи барқ ва роҳҳои баланд бардоштани самаранокии низоми энергетикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон [Матн] / **Ш.С. Рахмонов**, С. Ҳомидзода, Ф. Амиршоев, Р. Зиёев // Маҷалаи илмӣ “Захираҳои обӣ, энергетика ва экология”-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон №6(2). – Душанбе, 2026 с. -С. 71-81. –ISSN 2789-0953.

б) статьи, опубликованные в других журналах:

[13–М]. **Рахмонов Ш.С.** Интеграция гибридных солнечных систем на насосных станциях [Текст] / **Ш.С. Рахмонов**, Б.М. Хасанзода, А.А. Гулахмадзода // Научно-практической Конференции Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана – Душанбе, 2025 г. -С. 110-114.

[14–М]. **Рахмонов Ш.С.** Современное состояние и перспективы развития ВИЭ в странах Центральной Азии [Текст] / Научная Конференция Института природных ресурсов имени А.С. Джаманбаева Южного отделения Национальной академии наук Кыргызской Республики – г. Ош, 2025 г. -С. 56-64.

[15–М]. **Рахмонов Ш.С.** Баланд бардоштани самаранокии ва амнияти энергетикӣ тавассути рақамикунонии низоми энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон [Матн] / Конференсияи III байналмилалӣ илмӣ-амалии Донишқадаи энергетикӣ Тоҷикистон – н. Кушонӣ, 2026 с. -С. 78-85.

[16–М]. **Рахмонов Ш.С.** О возможности доставки экологически чистой питьевой воды, сарезского озера потребителям [Текст] / Бахриев С.Х., **Рахмонов Ш.С.** // Научный Журнал Форума «Водные и климатические риски: наука, мониторинг и управление» посвященный 115-летию Сарезского озера в рамках четвертой международной конференции высокого уровня по международному десятилетию действий «вода для устойчивого развития, 2018–2028» Республика Таджикистан – г. Душанбе, 2026 г. С. 26-32.

[17–М]. **Рахмонов Ш.С.** Оценка многолетней динамики ионного состава и уровня загрязнения воды реки зарафшан [Текст] / Шоэргашова Ш.Ш., Liu Tie, Chen Xi, **Рахмонов Ш.С.**, Каримов Б.К. // Научный Журнал Форума «Водные и климатические риски: наука, мониторинг и управление» посвященный 115-летию Сарезского озера в рамках четвертой международной конференции высокого уровня по международному десятилетию действий «вода для устойчивого развития, 2018–2028» Республика Таджикистан – г. Душанбе, 2026 г. С. 94-98.

[18–М]. **Рахмонов Ш.С.** Влияние изменений количества осадков на физико-механические процессы эрозии почвы, осадконакопления и гидроэнергетическую мощность в бассейне реки Вахш [Текст] / **Рахмонов Ш.**

С., Гулахмадзода А.А. // Научный Журнал Форума «Водные и климатические риски: наука, мониторинг и управление» посвященный 115-летию Сарезского озера в рамках четвёртой международной конференции высокого уровня по международному десятилетию действий «вода для устойчивого развития, 2018–2028» Республика Таджикистан – г. Душанбе, 2026 г. С. 179-192.

[19–М]. **Rahmonov Sh.S.** Drivers of glacier albedo reduction and its impact on glacier change in the vakhsh river basin [Текст] / Nasrulloev F., Chen Y, Gulahmadzoda A., **Rahmonov Sh.S.**, Fang G., Murodov M., Gulahmadov N. // Scientific Journal of the Forum “Water and Climate Risks: Science, Monitoring and Management” dedicated to the 115th anniversary of Lake Sarez in the framework of the fourth high-level international conference on the international decade for action “Water for Sustainable Development, 2018–2028” Republic of Tajikistan - Dushanbe, 2026. P. 215-226.

[20–М]. **Rahmonov Sh.S.** Energy transition and energy security in hydropower-dominated economies: global trends and the case of tajikistan [Текст] // Scientific Journal of the Forum “Water and Climate Risks: Science, Monitoring and Management” dedicated to the 115th anniversary of Lake Sarez in the framework of the fourth high-level international conference on the international decade for action “Water for Sustainable Development, 2018–2028” Republic of Tajikistan - Dushanbe, 2026. P. 226-231.

[21–М]. **Рахмонов Ш. С.** Таҳлили самаранокии гидроэнергетикии дарёҳои бузурги тоҷикистон ва арзёбии иқтисодии истифодабарии онҳо [Матн] // Научный Журнал Форума «Водные и климатические риски: наука, мониторинг и управление» посвященный 115-летию Сарезского озера в рамках четвёртой международной конференции высокого уровня по международному десятилетию действий «вода для устойчивого развития, 2018–2028» Республика Таджикистан – г. Душанбе, 2026 г. С. 231-238.

в) авторские свидетельства

[22–М]. **Рахмонов Ш.С.** Дастгоҳ барои сардкунӣ панелҳои офтобӣ [Патент] / Давлатшоев С. Қ., Чаҳонгири Абдулвоҳид, Баҳриев С. Ҳ., Гулахмадзода А. А.// Патент № ТҶ 1682 Чумхурии Тоҷикистон, МПК H01L31/052, H01S 40/42, H01F77/63. № 2502171, завл. 16.09.2025; опубл. 2.03.2026; Бюл. №228, 2026.

ШАРҲИ МУХТАСАРИ

автореферати диссертатсияи Раҳмонов Шарифхуча Сайвалиевич дар мавзӯи: «Сенарияҳои гидроэнергетикии оптимизатсияи тавозуни захираҳои энергетикӣ ва моделсозии фаъолияти иншоотҳои гидротехникии ҳавзаи дарёи Вахш» барои дарёфти дараҷаи илмӣ доктори фалсафа (PhD) - доктор аз рӯйи ихтисоси 6D074400-Соҳтмони гидротехникӣ ва иншоот (6D074401-Соҳтмони гидротехникӣ)

Калидвожаҳо: гидроэнергетика, ҳавзаи дарёи Вахш, оптимизатсияи тавозуни энергетикӣ, моделсозии математикӣ, НБО Роғун, НБО Норак, захираҳои обию энергетикӣ, тағйирёбии иқлим, эрозияи хок, таҳшиншавӣ, GIS, SRM, MUSLE, CMIP5/CMIP6.

Объекти тадқиқот: Объекти тадқиқот низоми энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон бо дарназардошти нақши гидроэнергетика, дигар манбаъҳои энергия ва таъсири тағйирёбии иқлим, эрозия ва таҳшиншавӣ ба захираҳои обию энергетикӣ ва устувории истеҳсоли неруи барқ дар ҳавзаи дарёи Вахш мебошад.

Мавзӯи таҳқиқот: Сенарияҳои гидроэнергетикии оптимизатсияи тавозуни захираҳои энергетикӣ ва моделсозии фаъолияти иншоотҳои гидротехникии ҳавзаи дарёи Вахш.

Мақсади кор: Таҳия ва асоснок намудани усулҳои илмӣ ҳамгироӣ барои баланд бардоштани самаранокӣ ва устувории низоми энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Натиҷаҳои бадастомада ва навлонии онҳо: Дар натиҷаи таҳқиқот таҳлили муқоисавии системавии захираҳои асосии энергетикӣ Тоҷикистон дар асоси эквиваленти энергетикӣ солоне анҷом дода шуда, сенарияи рушди гидроангисти низоми энергетикӣ кишвар аз ҷиҳати илмӣ асоснок гардид. Ҳамчунин рӯзи фаъолияти НБО-ҳои бузург, аз ҷумла НБО-и Роғун, бо истифодаи моделҳои математикӣ-оптимизатсионӣ арзёбӣ шуда, робитаи сиёсати энергетикӣ, маҳдудиятҳои экологӣ ва рушди иқтисодӣ таҳлил гардид. Барои баланд бардоштани самаранокӣ манбаъҳои барқароршавандаи энергия дастгоҳи хунуккунии панелҳои офтобӣ бо истифодаи кубури сӯроҳдор ва насоси фишори паст пешниҳод шудааст. Навлони дигари муҳим арзёбии таъсири тағйирёбии иқлим ба захираҳои обӣ ва иқтисоди гидроэнергетикии ҳавзаи дарёи Вахш дар асоси сенарияҳои CMIP5 ва CMIP6 мебошад.

Соҳаи истифодабарӣ: соҳаи гидроэнергетика, идоракунии захираҳои об, банақшагирии рушди устувори энергетика, оптимизатсияи қори неругоҳҳои барқи обӣ, арзёбии таъсири тағйирёбии иқлим, таҳлили эрозия ва таҳшиншавӣ, ҳамгироии манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва таҳияи стратегияҳои миллии энергетикӣ истифода шаванд.

АННОТАЦИЯ

автореферата диссертации Рахмонова Шарифхуджи Сайвалиевича на тему: «Гидроэнергетические сценарии оптимизации баланса энергетических ресурсов и моделирование функционирования гидротехнических сооружений бассейна реки Вахш» на соискание учёной степени доктора философии (PhD) - по специальности 6D074400- Гидротехническое строительство и сооружения (6D074401- Гидротехническое строительство)

Ключевые слова: гидроэнергетика, бассейн реки Вахш, оптимизация энергетического баланса, математическое моделирование, Рогунская ГЭС, Нурекская ГЭС, водно-энергетические ресурсы, изменение климата, эрозия почв, заиление, GIS, SRM, MUSLE, CMIP5/CMIP6.

Объект исследования: объектом исследования является энергетическая система Республики Таджикистан с учетом роли гидроэнергетики, других источников энергии, а также влияния изменения климата, эрозии и заиления на водно-энергетические ресурсы и устойчивость производства электроэнергии в бассейне реки Вахш.

Предмет исследования: гидроэнергетические сценарии оптимизации баланса энергетических ресурсов и моделирование функционирования гидротехнических сооружений бассейна реки Вахш.

Цель работы: разработка и научное обоснование интеграционных методов повышения эффективности и устойчивости энергетической системы Республики Таджикистан.

Полученные результаты и их новизна: в результате исследования проведен сравнительный системный анализ основных энергетических ресурсов Таджикистана на основе годового энергетического эквивалента, а также научно обоснован сценарий гидроугольного развития энергетической системы страны. Кроме того, с использованием математико-оптимизационных моделей оценен режим работы крупных гидроэлектростанций, включая Рогунскую ГЭС, проанализирована взаимосвязь энергетической политики, экологических ограничений и экономического развития. Для повышения эффективности возобновляемых источников энергии предложено устройство охлаждения солнечных панелей с использованием перфорированной трубы и насоса низкого давления. Другой важной научной новизной является оценка влияния изменения климата на водные ресурсы и гидроэнергетический потенциал бассейна реки Вахш на основе сценариев CMIP5 и CMIP6.

Область применения: результаты исследования могут быть использованы в области гидроэнергетики, управления водными ресурсами, планирования устойчивого развития энергетики, оптимизации работы гидроэлектростанций, оценки воздействия изменения климата, анализа эрозии и заиления, интеграции возобновляемых источников энергии, а также при разработке национальных энергетических стратегий.

ABSTRACT

of the dissertation abstract (avtoreferat) of Rahmonov Sharifkhuja Sayvalievich on the topic: “Hydropower Scenarios for Optimizing the Balance of Energy Resources and Modeling the Operation of Hydraulic Structures in the Vakhsh River Basin” submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) – in specialty 6D074400 – Hydraulic Engineering and Structures (6D074401 – Hydraulic Engineering Construction)

Keywords: hydropower, Vakhsh River Basin, optimization of the energy balance, mathematical modeling, Rogun HPP, Nurek HPP, water and energy resources, climate change, soil erosion, sedimentation, GIS, SRM, MUSLE, CMIP5/CMIP6.

Object of the research: The energy system of the Republic of Tajikistan, taking into account the role of hydropower and other energy sources, as well as the impact of climate change, erosion and sedimentation on water and energy resources and the sustainability of electricity generation in the Vakhsh River basin.

Subject of the research: Hydropower scenarios for optimizing the balance of energy resources and modeling the operation of hydraulic structures in the Vakhsh River basin.

Purpose of the work: To develop and scientifically substantiate integrated methods for improving the efficiency and sustainability of the energy system of the Republic of Tajikistan.

Obtained results and their novelty: As a result of the research, a comparative system analysis of the main energy resources of Tajikistan was carried out on the basis of the annual energy equivalent, and a hydropower-coal development scenario for the country's energy system was scientifically substantiated. In addition, the operating regime of large hydropower plants, including the Rogun HPP, was assessed using mathematical optimization models, and the relationship between energy policy, environmental constraints and economic development was analyzed. To improve the efficiency of renewable energy sources, a solar panel cooling device using a perforated pipe and a low-pressure pump was proposed. Another important scientific novelty is the assessment of the impact of climate change on water resources and the hydropower potential of the Vakhsh River basin based on CMIP5 and CMIP6 scenarios.

Field of application: The research results may be applied in the fields of hydropower, water resources management, sustainable energy development planning, optimization of hydropower plant operation, assessment of climate change impacts, analysis of erosion and sedimentation, integration of renewable energy sources, and development of national energy strategies.