

IRRIGATSIYA va MELIORATSIYA

Vol. 12 No. 1 (2026)

*Journal of Irrigation
and Melioration*



Бош муҳаррир:

Шокиров Шухрат Собирович

“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти”
Миллий тадқиқот университети Илмий ишлар ва инновациялар бўйича проректори,
техника фанлари доктори

Илмий муҳаррир:

Салоҳиддинов Абдулҳаким Темирхўжаевич

“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти”
Миллий тадқиқот университети Халқаро ҳамкорлик бўйича проректори,
техника фанлари доктори, профессор

Муҳаррир:

Ходжаев Сайдакрам Сайдалиевич

“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти”
Миллий тадқиқот университети, техника фанлари номзоди, доцент

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ ТАРКИБИ:

Мирзаев Б.С., техника фанлари доктори, профессор, “ТИҚХММИ” МТУ ректори; **Хамраев Ш.Р.**, қишлоқ хўжалик фанлари номзоди, Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазири; **Салимов О.У.**, техника фанлари доктори, ЎзРФА академиги; **Мирсаидов М.**, техника фанлари доктори, ЎзРФА академиги; **Ҳамидов М.Х.**, қишлоқ хўжалик фанлари доктори, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Бакиев М.Р.**, техника фанлари доктори, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Рамазанов О.Р.**, қишлоқ хўжалик фанлари доктори, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Исаков А.Ж.**, техника фанлари доктори, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Арифжанов А.М.**, техника фанлари доктори, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Маткаримов П.Ж.**, техника фанлари доктори, НМТИ профессори; **Икрамов Р.К.**, техника фанлари доктори, ИСМИТИ профессори; **Шеров А.Г.**, техника фанлари доктори, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Умаров С.Р.**, иқтисод фанлари доктори, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Исмаилова З.**, педагогика фанлари доктори, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Худаяров Б.**, техника фанлари доктори, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Султанов Б.**, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Абдуллаев Б.Д.**, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Каримов Б.К.**, “ТИҚХММИ” МТУ профессори; **Худойбердиев Т.С.**, техника фанлари доктори, АндҚХАИ профессори; **Янгиев А.А.**, техника фанлари доктори, “ТИҚХММИ” МТУ профессори.

ТАҲРИР КЕНГАШИ ТАРКИБИ:

Ватин Николай Иванович, т.ф.д., Буюк Пётр Санкт-Петербург политехника университети профессори; **Иванов Юрий Григорьевич**, т.ф.д., К.А. Тимирязев номидаги МҚХА – Россия давлат аграр университети профессори, А.Н.Костяков номидаги Мелиорация, сув хўжалиги ва қурилиш институти директори в.б.; **Козлов Дмитрий Вячеславович**, т.ф.д., Москва давлат қурилиш университети профессори, Гидротехника ва Гидроэнергетика қурилиши факультетининг “Гидравлика ва Гидротехника қурилиши” кафедраси мудири; **Lubos Jurik**, associate professor at “Department of Water Resources and Environmental Engineering” of Slovak University of Agriculture in Nitra; **Коваленко Петр Иванович**, т.ф.д., Украина қишлоқ хўжалиги фанлари Миллий академияси академиги, Мелиорация ва сув ресурслари илмий-тадқиқот институти директор маслаҳатчиси, профессор; **Ханов Нартмир Владимирович**, профессор, К.А.Тимирязев номидаги МҚХА – Россия давлат аграр университетининг “Гидротехника иншоотлари” кафедраси мудири; **Krishna Chandra Prasad Sah**, PhD, M.E., B.E. (Civil Engineering), M.A. (Sociology) Irrigation and Water Resources Specialist. Director: Chandra Engineering Consultants, Mills Area, Janakpur, Nepal; **Айнабеков Алпысбай Иманкулович** – т.ф.д., М.Ауезов номидаги Жанубий-Қозоғистон давлат университетининг “Механика ва машинасозлик” кафедраси профессори; **Элдиар Дилятов** – PhD, Миллий Фанлар Академияси Геология институти тадқиқотчи олими, Қирғизистон; **Гисела Домеж** – Милан-Бикокка университети, Ер ва атроф-муҳит фанлари кафедраси профессори, Италия; **Молдамуратов Жангазы Нуржанович** – PhD, М.Х.Дулати номидаги Тараз минтақавий университети, “Материаллар ишлаб чиқариш ва қурилиш” кафедраси мудири, доцент, Қозоғистон; **Муминов Абулкосим Оманкулович** – география фанлари номзоди, Тожикистон Миллий университети Физика факультети метеорология ва иқлимшунослик кафедраси катта ўқитувчиси; Тожикистон; **Мирзохонова Ситора Олтибоевна** – техника фанлари номзоди, Физика факультети метеорология ва иқлимшунослик кафедраси катта ўқитувчиси. Тожикистон Миллий университети. Тожикистон; **Исмаил Мондиал** – Калькутта университети Хорижий докторантура факультети профессори, Ҳиндистон; **Исанова Гулнора Толегеновна** – PhD, У.У. Успанов номидаги Тупроқшунослик ва Агрохимия ИТИ “Тупроқ экологияси” кафедраси доценти, етакчи илмий ходим, Қозоғистон; **Комиссаров Михаил** – PhD, Уфа Биология институти, Тупроқшунослик лабораторияси катта илмий ходими, Россия; **Аяд М. Фадхил Ал-Қурайши** – PhD, Тишк халқаро университети, Мухандислик факультети, Фуқаролик муҳандислиги бўлими профессори, Ироқ; **Ундракш-Од Баатар** – Марказий Осиё Тупроқшунослик жамияти раҳбари, профессор, Монғолия.

Муассис: “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” МТУ.

Манзили: 100000, Тошкент ш., Қори-Ниёзий, 39. <https://uzjournals.edu.uz/tiame/> E-mail: i_m_jurnal@tiame.uz

“Irrigatsiya va Melioratsiya” журнали илмий-амалий, аграр-иқтисодий соҳага ихтисослашган.

Журнал Ўзбекистон Матбуот ва ахборот агентлигида 2015 йил 4 мартда 0845-рақам билан рўйхатга олинган.

Обуна индекси: 1285.

Дизайнер: Аскарова Мадинахон



Журнал “G‘ULOM NOMIDAGI NASHRIYOT-MATBAA IJODIY UYI” МЧЖ босмахонасида чоп этилди.

Манзил: Тошкент ш., Лабзак кўчаси, 86-уй. Буюртма №206. Адади 500 нусха.

Главный редактор:
Шокиров Шухрат Собиорович
доктор технических наук, проректор по научной работе и инновациям
Национальный исследовательский университет
“Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства”

Научный редактор:
Салохиддинов Абдулхаим Темирхужаевич
доктор технических наук, профессор,
проректор по международному сотрудничеству
Национальный исследовательский университет
“Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства”

Редактор:
Ходжаев Сайдакрам Сайдалиевич
кандидат технических наук, доцент,
Национальный исследовательский университет
“Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства”

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Мирзаев Б.С., доктор технических наук, профессор, ректор НИУ “ТИИИМСХ”; **Хамраев Ш.Р.**, кандидат технических наук, Министр водного хозяйства Республики Узбекистан; **Салимов О.У.**, доктор технических наук, академик АНРУз; **Мирсаидов М.**, доктор технических наук, академик АНРУз; **Хамидов М.Х.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Бакиев М.Р.**, доктор технических наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Рамазанов О.Р.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Исаков А.Ж.**, доктор технических наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Арифжанов А.М.**, доктор технических наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Маткаримов П.Ж.**, доктор технических наук, профессор НИТИ; **Икрамов Р.К.**, доктор технических наук, профессор НИИИВП; **Шеров А.Г.**, доктор технических наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Умаров С.Р.**, доктор экономических наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Исмаилова З.**, доктор педагогических наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Худаяров Б.**, доктор технических наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Султанов Б.**, доктор экономических наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Абдуллаев Б.Д.**, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Каримов Б.К.**, профессор НИУ “ТИИИМСХ”; **Худойбердиев Т.С.**, доктор технических наук, профессор АндИСХА; **Янгиев А.А.**, доктор технических наук, профессор НИУ “ТИИИМСХ”.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, (Россия); **Иванов Юрий Григорьевич**, д.т.н., профессор Российского государственного аграрного университета МСХА имени К.А.Тимирязева, и.о. директора института Мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н.Костякова, (Россия); **Козлов Дмитрий Вячеславович**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой “Гидравлика и гидротехническое строительство” факультета гидротехнического и гидроэнергетического строительства, (Россия) Московского государственного строительного университета; **Lubos Jurik**, associate professor at “Department of Water Resources and Environmental Engineering” of Slovak University of Agriculture in Nitra; **Коваленко Петр Иванович**, д.т.н., профессор, Академик Национальной академии сельскохозяйственных наук Украины, Советник директора Научно-исследовательского института Мелиорации и водных ресурсов; **Ханов Нартмир Владимирович**, профессор, заведующий кафедрой “Гидротехнические сооружения” ФГБОУ ВО РГАУ -МСХА имени К.А.Тимирязева; **Krishna Chandra Prasad Sah**, PhD, M.E., B.E. (Civil Engineering), M.A. (Sociology) Irrigation and Water Resources Specialist. Director: Chandra Engineering Consultants, Mills Area, Janakpur, Nepal; **Айнабеков Алпысбай Иманкулович**, д.т.н., профессор кафедры “Механика и машиностроение” Южно-Казахстанского государственного университета им. М.Ауезова; **Элдииар Дилятов**, PhD, научный сотрудник Института геологии Национальной академии наук Кыргызстана; **Гисела Домеж**, Университет Милана-Бикокка, профессор наук о Земле и окружающей среде, Италия; **Молдамуратов Жангазы Нуржанович**, PhD, Таразский региональный университет имени М.Х.Дулати, заведующий кафедрой «Материалопроизводство и строительство», доцент, Казахстан; **Муминов Абулкосим Оманкулович**, Кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры метеорологии и климатологии физического факультета Национального университета Таджикистана. Таджикистан; **Мирзохонова Ситора Олтибоевна**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры метеорологии и климатологии физического факультета. Национальный университет Таджикистана. Таджикистан; **Исмаил Мондиал**, профессор факультета иностранных докторантов Калькуттского университета, Индия; **Исанова Гулнора Толегеновна**, PhD, доцент кафедры экологии почв НИИ почвоведения и агрохимии им. Ю.У.Успанова, ведущий научный сотрудник, Казахстан; **Комиссаров Михаил**, PhD, Уфимский биологический институт, старший научный сотрудник лаборатории почвоведения, Россия; **Аяд М. Фадхил Ал-Кураиши**, PhD, Тишский международный университет, инженерный факультет, профессор гражданского строительства, Ирак; **Ундракш-Од Баатар**, председатель Центральноазиатского общества почвоведов, профессор, Монголия.

Учредитель: НИУ “Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства”.

Наш адрес: 100000, г. Ташкент, улица Кары-Ниязий, 39. <https://uzjournals.edu.uz/tiame/> E-mail: i_m_jurnal@tiame.uz

Журнал «Irrigatsiya va Melioratsiya» специализируется в научно-практической, аграрно-экономической сферах.

Журнал зарегистрирован Узбекским агентством по печати и информации 4 марта 2015 года за № 0845.

Индекс подписки: 1285.

Дизайнер: Аскарва Мадинахон

Журнал изготовлен в ООО «G.GULOM NOMIDAGI NASHRIYOT-MATBAA IJODIY UYI».

Адрес: г. Ташкент, ул. Лабзак, д. 86. Заказ № 206. Тираж 500 экземпляров.

Chief Editor:

Shokirov Shukhrat

Vice-rector for scientific researches and innovations

Professor at the "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"
National Research University, Doctor of technical sciences

Scientific Editor:

Salohiddinov Abdulkhakim

Vice-rector for international cooperation

Professor at the "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"
National Research University, Doctor of technical sciences

Editor:

Hodjaev Saidakram

Associate professor at the "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"
National Research University, Candidate of technical sciences

EDITORIAL TEAM:

Mirzaev B., doctor of technical sciences, professor, rector of "TIAME" NRU; **Khamraev Sh.**, candidate of technical sciences, minister of the Water Resources of the Republic of Uzbekistan; **Salimov O.**, doctor of technical sciences academician of ASRUz; **Mirsaidov M.**, doctor of technical sciences academician of ASRUz; **Khamidov M.**, doctor of agricultural sciences, professor "TIAME" NRU; **Bakiev M.**, doctor of technical sciences, professor "TIAME" NRU; **Ramazanov O.**, doctor of agricultural sciences, professor "TIAME" NRU; **Isakov A.**, doctor of technical sciences, professor "TIAME" NRU; **Arifjanov A.**, doctor of technical sciences, professor "TIAME" NRU; **Matkarimov P.J.**, doctor of technical sciences, professor NETI; **Ikramov R.**, doctor of technical sciences, professor SRIWP; **Sherov A.**, doctor of technical sciences, professor "TIAME" NRU; **Umarov S.**, doctor of economic sciences, professor "TIAME" NRU; **Ismailova Z.**, doctor of pedagogical sciences, professor "TIAME" NRU; **Khudayarov B.**, doctor of technical sciences, professor "TIAME" NRU; **Sultonov B.**, professor "TIAME" NRU; **Abdullaev B.D.**, professor "TIAME" NRU; **Karimov B.K.**, professor "TIAME" NRU; **Xudoyberdiev T.S.**, professor Andijan Institute of Agriculture and Agrotechnologies; **Yangiev A.A.**, doctor of technical sciences, professor "TIAME" NRU.

EDITORIAL COUNCIL:

Vatin Nikolay Ivanovich, doctor of technical sciences, professor Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, (Russia); **Ivanov Yuriy Grigorievich**, doctor of technical sciences, professor Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, executive director of Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov (Russia); **Kozlov Dmitriy Vyacheslavovich**, doctor of technical sciences, professor Moscow State University of Civil Engineering – Head of the Department Hydraulics and Hydraulic Engineering Construction of the Institute of Hydraulic Engineering and Hydropower Engineering, (Russia); **Lubos Jurik**, associate professor at "Department of Water Resources and Environmental Engineering" of Slovak University of Agriculture in Nitra; **Kovalenko Petr Ivanovich**, doctor of technical sciences, Academician of the National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine, Advisor to the Director of the Research Institute of Melioration and Water Resources, Professor; **Xanov Nartmir Vladimirovich**, professor, Head of the Department of Hydraulic Structures RSAU – MAA named after K.A. Timiryazev; **Krishna Chandra Prasad Sah**, PhD, M.E., B.E. (Civil Engineering), M.A. (Sociology) Irrigation and Water Resources Specialist. Director: Chandra Engineering Consultants, Mills Area, Janakpur, Nepal. **Ainabekov Alpysbay Imankulovich**, doctor of technical sciences, professor of the Department Mechanics and mechanical engineering, South Kazakhstan State University named after M. Auezov; **Eldiir Duulatov**, PhD, Researcher at the Institute of Geology of the National Academy Sciences of Kyrgyzstan. **Gisela Domej**, University of Milan-Bicocca, Professor of Department of Earth and Environmental Sciences, Italy; **Moldamuratov Jangazy Nurjanovich**, PhD, Taraz Regional University named after M.Kh. Dulati, Head of the Department of Material Production and Construction, Associate Professor, Kazakhstan; **Muminov Abulkosim Omankulovich**, Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Physics, National University of Tajikistan. Tajikistan; **Mirzoxonova Sitara Oltiboevna**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Physics. National University of Tajikistan. Tajikistan. **Ismail Mondial**, Professor at the Department of Foreign Doctoral Students, Calcutta University, India; **Isanova Gulnura Tolegenovna**, PhD, Associate Professor, Department of Soil Ecology, Research Institute of Soil Science and Agrochemistry. Yu.U. Uspanova, Leading Researcher, Kazakhstan; **Komissarov Mixail**, PhD, Ufa Biological Institute, Senior Researcher, Laboratory of Soil Science, Russia; **Ayad M. Fadxil Al-Quraishi**, PhD, Tish International University, Faculty of Engineering, Professor of Civil Engineering, Iraq; **Undrakh-Od Baatar**, Chairman of the Central Asian Society of Soil Scientists, professor, Mongolia;

Founder: "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University.

Our address: 39, Kari-Niyazi str., Tashkent 100000 Uzbekistan <https://uzjournals.edu.uz/tiame/> E-mail: i_m_jurnal@tiame.uz

The journal of "Irrigatsiya va Melioratsiya" specializes in scientific-practical, agrarian and economic spheres.

The journal was registered by the Uzbek Agency for Press and Information on March 4, 2015, under № 0845.

Subscription index is 1285.

Desingner: Askarova Madinakhon



The journal was published by LLC G.GULOM NOMIDAGI NASHRIYOT-MATBAA IJODIY UYI.

Address: city Tashkent, Labzak street, 86. Order №206. The number is 500 copies.

EKOLOGIYA VA SUV RESURLARINI BOSHQARISH

<i>A.T.Salohiddinov, C.Siderius, O.A.Ashirova, P.A.Hakimova, J.Mirzokobilov</i> Динамика водных ресурсов с учетом влияния многолетних запасов снега в Центральной Азии.....	6
--	---

YER RESURLARI VA KADASTR

<i>D.Norboeva, A.Inamov, M.Rajapbaev</i> Formation and stability assessment of a network of permanently operating gnss stations in Uzbekistan.....	16
---	----

IRRIGATSIYA VA MELIORATSIYA

<i>A.M.Fatxulllov, J.C.Xamroqulov, D.B.Nazaraliyev, M.Yu.Otaqonov, A.I.Gafarova</i> Ёмғирлатиб суғориладиган майдонларда тупроқ намлигининг вақт бўйича ўзгаришини баҳолаш.....	24
--	----

<i>A.Fatxulllov, D.Abduraimova, J.Xamroqulov, M.Otaqonov, A.Gafarova</i> Ўтлоқ бўз тупроқлар шароитида марказий пивот ва томчилатиб суғориш тизимларининг самарадорлигини баҳолаш	32
--	----

<i>A.A.Qudaybergenov, G.Y.Ametova</i> Ochiq kanallarda Sen-Venan modeli uchun kirish ma'lumotlari va parametrlash talablari.....	41
---	----

SUV XO'JALIGI IQTISODI VA YER RESURLARIDAN FOYDALANISH

<i>A.K.Axmedov</i> Qishloq xo'jaligini moliyalashtirishning an'anaviy va zamonaviy usullari: imkoniyatlar va muammolar.....	48
--	----

GIDROTEXNIKA INSHOOTLARI VA NASOS STANSIYALARI

<i>N.S.Mamatov, R.R.Ergashev, F.A.Bekchanov, B.X.Turg'unov</i> Nasos agregatlaridagi titrashlarni tahlil qilishda IOT sensorlarini qo'llash	54
--	----

<i>Ф.А.Ганпаров, Ш.Ш.Яхшиев, М.Ф.Гаффорова, Ф.И.Очилдиев</i> Сув омбори иш режимининг тўғон мустаҳкамлигига таъсири	63
--	----

QISHLOQ XO'JALIGI MEKANIZATSIYALASH

<i>P.I.Kalandarov, N.A.Axmatxonova</i> Ko'mir namligini mikroto'liqlik datchiklar orqali aniqlash.....	71
---	----

<i>P.I.Kalandarov, G.F.Murodova</i> O'simliklarning o'sishiga iqlim omillarining ta'siri va ularni boshqarish usullari.....	76
--	----

QISHLOQ XO'JALIGI ELEKTRLASHTIRISH VA AVTOMATLASHTIRISH

<i>N.M.Eshpulatov, Sh.X.Xayrullayev</i> G'oz ko'sak qurti (helicoverpa armigera)ni jalb qilish va monitoring qilishda yorug'lik diodli tutqichlarining samaradorligini baholash	82
--	----

УДК: 556.3:551.32(575)

ДИНАМИКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ЗАПАСОВ СНЕГА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

А.Т.Салохиддинов – д.т.н., профессор, А.Г.Савицкий¹ – к.т.н., старший научный сотрудник,
С.Siderius^{2,3} – PhD, научный сотрудник,
О.А.Аширова⁴ – PhD, научный сотрудник,
П.А.Хакимова – PhD, научный сотрудник, Ж.Мирзокобилов – аспирант, Э.Абдумажидов¹ – аспирант,
¹Национальный исследовательский университет «ТИИИМСХ»,
²Wageningen University & Research (Wageningen, Netherlands),
³Uncharted Waters (Sydney, Australia),
⁴Научно-исследовательский институт окружающей среды и природоохранных технологий

Аннотация

В статье представлены результаты анализа исследований, проведенных известными климатологами и гидрологами и авторами данной статьи, а также результаты оценки доступности водных ресурсов и меняющихся запасов снега в Центральной Азии. Результаты исследований и анализа, представленные в статье, послужат полезной дополнительной основой для разработки эффективных адаптационных мер в условиях засушливого изменяющегося климата и природных, демографических и экономических реалий региона.

Ключевые слова: водные ресурсы, запасы снега, изменение климата, водность рек, водообеспеченность, адаптация.

МАРКАЗИЙ ОСИЁДАГИ КЎП ЙИЛЛИК ҚОР ЗАХИРАЛАРИНИНГ ТАЪСИРИНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА СУВ РЕСУРСЛАРИНИНГ ДИНАМИКАСИ

А.Т.Салохиддинов – т.ф.д., профессор, А.Г.Савицкий¹ – т.ф.н., катта илмий ходим,
С.Siderius^{2,3} – PhD, илмий ходим,
О.А.Аширова⁴ – PhD, илмий ходим,
П.А.Хакимов – PhD, илмий ходим, Ж.Мирзокобилов – докторант, Э.Абдумажидов¹ – докторант,
¹“ТИҚХММИ” миллий тадқиқот университети,
²Вагенинген университети ва тадқиқот маркази (Вагенинген, Нидерландия),
³Uncharted Waters (Сидней, Австралия),
⁴Атроф-муҳит ва табиатни муҳофаза қилиш технологиялари илмий-тадқиқот институти

Аннотация

Мақолада таниқли иқлимшунос ва гидрологлар ҳамда ушбу мақола муаллифлари томонидан олиб борилган тадқиқотлар натижаларининг таҳлили, шунингдек, Марказий Осиёда сув ресурсларининг таъминланганлиги ва қор захираларининг ўзгариши бўйича баҳолаш натижалари тақдим этилган. Келтирилган тадқиқот ва таҳлил натижалари, минтақанинг қуруқ ва ўзгарувчан иқлими ҳамда табиий, демографик ва иқтисодий шароитларини ҳисобга олган ҳолда, самарали мослаштириш чораларини ишлаб чиқиш учун қўшимча фойдали асос бўлиб хизмат қилади.

Калит сўзлар: сув ресурслари, қор захиралари, иқлим ўзгариши, дарёлар сув миқдори, сув таъминоти, мослашув.

DYNAMICS OF WATER RESOURCES CONSIDERING THE INFLUENCE OF LONG-TERM SNOW RESERVES IN CENTRAL ASIA

A.T.Salokhiddinov – DSc, professor, A.G.Savitskiy¹ – PhD, senior researcher,
С.Siderius^{2,3} – PhD, researcher,
О.А.Ashirova⁴ – PhD, researcher,
P.A.Khakimova – PhD, researcher, J.Mirzokobilov – PhD student, E.Abdumajidov¹ – PhD student,
¹“TIIIME” National Research University,
²Wageningen University & Research (Wageningen, the Netherlands),
³Uncharted Waters (Sydney, Australia),
⁴Research Institute of Environment and Environmental Protection Technologies

Abstract

The goal of this study is to examine changes in water resources in Central Asia. This article presents the results of analyses of research conducted by renowned climatologists and hydrologists, as well as the authors of this article. The paper presents findings on the assessment of water resource availability and changing snow reserves in Central Asia. The research and analysis

results presented in the article will serve as a valuable additional foundation for developing effective adaptation measures in the context of an arid, changing climate and the region's natural, demographic, and economic realities.

Key words: water resources, snow reserves, climate change, river water content, water availability, adaptation.

Введение. Водные ресурсы Центральной Азии формируются в горных массивах: Памир, Тянь-Шань и Гиндукуш. Вода от таяния летом снега и ледников на больших высотах превращается в речной сток в вегетационный период, что позволяет вести орошаемое земледелие в засушливом климате. Летний пиковый сток также используется для пополнения запасов воды в водохранилищах для выработки энергии в зимний период. Речной сток в вегетационный период определяется в основном накоплением снега зимой на больших высотах. Изменчивый температурный режим вегетационного периода определяет динамику стока рек. В результате, водное обеспечение бассейна Аральского моря сильно варьируется из года в год в зависимости от температур и накопления зимних осадков в горных районах [1]. Изменения в снежном покрове существенно влияют на запасы воды, поскольку уменьшение массы снега приводит к сокращению общего объема запасов воды в регионе высокогорной части Центральной Азии. Как отмечено в исследовании, проведенном с 2002 по 2015 год [2] особенное значение имеют изменения в снежном покрове в зимний и весенний периоды.

Изменение климата стало серьезной проблемой для устойчивости в водном обеспечении региона Центральной Азии. Это проблема вызвала серьезные и негативные последствия для многих секторов экономики Центральной Азии, зависящих от водных ресурсов [3,4,5,6]. Засушливый климат региона и сильная зависимость от водных ресурсов сельского хозяйства, производства энергии и бытовых нужд делают регион особенно уязвимым к климатическим воздействиям [7,8,9]. Недавние исследования указывают на ускорение таяния ледников в горах Центральной Азии [7,10], что создает возрастающие риски для водной безопасности, производства энергии и сельского хозяйства. В краткосрочной перспективе деградация ледников может увеличить количество воды в реках. Но прогнозы предполагают, что продолжающееся сокращение ледников приведет в будущем к долгосрочному дефициту воды по мере уменьшения запасов льда [11]. Кроме того, ожидается, что изменение характера выпадения осадков в горных районах увеличит риск засухи, наводнений, оползней и выхода из берегов ледниковых озер, угрожая местным сообществам и инфраструктуре [7,12]. Узбекистан, самая густонаселенная страна Центральной Азии с населением около 37 миллионов человек, сталкивается с острыми проблемами, связанными с доступностью, и качеством воды. Континентальный климат страны, характеризующийся жарким, засушливым летом и холодной зимой, требует интенсивного орошения для выращивания сельскохозяйственных культур.

Узбекистан в первую очередь зависит от рек Амударья и Сырдарья, которые берут свое начало в соседних странах. Этот трансграничный характер водных ресурсов значительно усложняет перераспределение водных ресурсов в течение года. Управление водохранилищами гидроэлектростанций в верховьях рек в Кыргызстане и Таджикистане напрямую влияет на доступность воды в низовьях рек [14]. Это иногда значительно сокращает сток в низовьях рек в критические сельскохозяйственные периоды [16]. Случаи неэффективного использования

воды в Узбекистане, особенно с помощью устаревших ирригационных систем, усиливают нагрузку, вызванную деятельностью в верховьях рек [17]. Несмотря на многочисленные исследования по изменению водообеспеченности и климата Центральной Азии, всесторонний анализ, включающий динамику водных ресурсов и запасов снега, все еще остается недостаточным. Большинство исследований фокусируются либо на анализе исторических данных для ряда отдельных тематических объектов, либо полагаются на региональную имитационную модель, откалиброванную и проверенную на основе глобальных наборов данных об осадках и стоках, которые ограниченно представлены в Центральной Азии. Этот пробел в знаниях приводит к ограниченному пониманию динамики изменений водных ресурсов и запасов снега в специфических условиях региона, где каждая река уникальна по-своему. Это, в свою очередь, препятствует разработке точных прогнозных моделей для прогнозирования изменений в водообеспеченности в целях улучшения управления водными ресурсами. Настоящее исследование направлено на частичное устранение вышеописанных ограничений путем систематического анализа воздействия изменения климата и других факторов на водные ресурсы Узбекистана. Исследование охватывает бассейны рек: Чирчик, Нарын, Карадарья, Зерафшан, Кашкадарья, Сурхандарья, Вахш и Пяндж.

В данном исследовании используется комплексный и единообразный подход к анализу изменения водных ресурсов и запасов снега, объединяющий множество источников данных и аналитических методов для получения подробного представления.

Результаты исследований. По всей территории Центральной Азии наблюдается рост температур воздуха. Этот факт фиксируется многочисленными исследователями [7,8,9]. Существуют и оценки такого роста. В среднем по всей территории Узбекистана и на основании данных за 70 лет наблюдений по 40 метеостанциям была определена скорость потепления за год, и она составляет в вегетационный 0.0287°C и 0.0316°C в не вегетационный периоды года. Зимы становятся теплее, и происходит это быстрее, чем более жарким становится летний период. Каждый градус увеличения температуры воздуха увеличивает потери на испарение на 4% [18]. В районе с острым дефицитом воды это весьма заметная и постоянно увеличивающаяся статья непроизводительных потерь.

За последние 70 лет осадки в Центральной Азии в среднем изменялись слабо. Иногда на некоторых постах наблюдается слабый рост количества осадков, а иногда и слабое уменьшение их количества. Но главной особенностью осадков является их чрезвычайная изменчивость. Существуют года, когда наблюдается огромное количество осадков, и встречаются сухие года, в которых осадков выпадает весьма мало. Более того, обильные осадки в одном речном бассейне совсем не означают, что другом речном бассейне также будут идти дожди или выпадать снег. Сток образующие осадки очень изменчивы по интенсивности, величине, времени года по географическому месту. Наглядный пример – это 1969 год. Среднегодовой расход воды реки Чаткал в 1969 году достиг величины 261.80 м³/с при среднем годовом расходе 128.23 м³/с.

Пскем увеличил свою водность в 1969 году со среднегодового расхода в $79.5 \text{ м}^3/\text{с}$ до $143 \text{ м}^3/\text{с}$. В то же время на реке Зеравшан расходы воды были на среднемноголетнем уровне. Противоположным примером является 2025 год. Осадков выпало перед вегетацией 2025 года исключительно мало. Это было серьезное испытание для всего региона Центральной Азии. Но в течение года расходы в реках Центральной Азии все равно были более стабильны, чем осадки. Эта стабильность достигалась наличием и таянием многолетних запасов снега высоко в горах. Жаркое лето привело к таянию многолетних снежных запасов. Водный дефицит, хотя и наблюдался, но он не был катастрофическим. Возможности деградирующего снежного покрова поддерживать сток рек в Центральной Азии уменьшаются с каждым годом. 2025 год стал годом, ког-

дамнолетние снега заметно уменьшились, а в ряде бассейнов совсем исчезли. 2025 год может рассматриваться, как тестовый год по способности многолетних снегов поддерживать сток рек в Центральной Азии.

В статье рассмотрена ситуация на крупных реках в Центральной Азии.

Чирчик. Сток реки Чирчик полностью определяется водным режимом водохранилища Чарвак. На рисунке 1 отображена динамика изменения годового стока воды всех рек, впадающих в Чарвакское водохранилище. Тренд в виде полинома второй степени показывает смену тенденции в изменении притока примерно 2005 году. То есть способность многолетних снегов поддерживать и даже увеличивать приток воды в Чарвакское водохранилище фактически прекратилась.

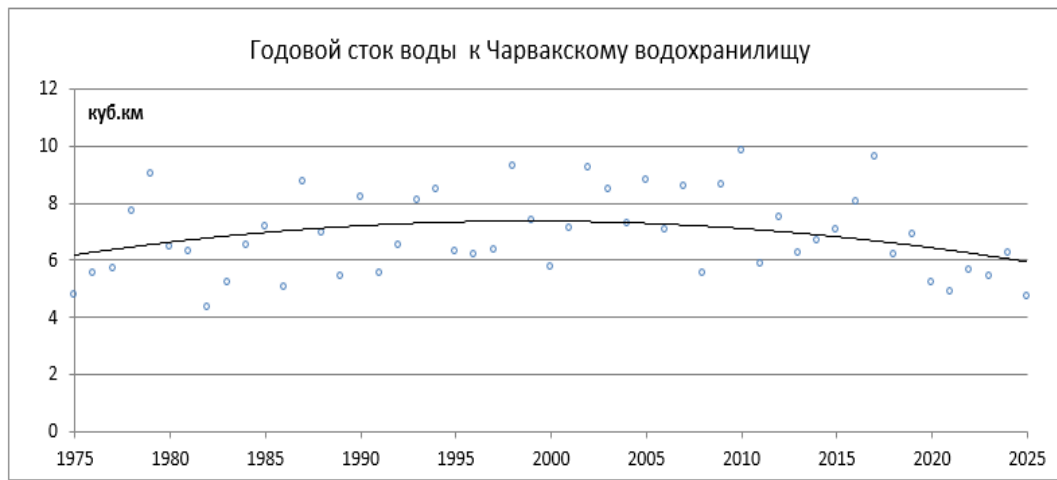


Рис. 1. Годовой приток воды в Чарвакское водохранилище.

Рассмотрим данные, полученные с Евро спутника MODIS в изменении снежного покрова в бассейнах рек Чаткал и Пскем (главные реки впадающие в вдхр.Чарвак) в период вегетации (90–180 дней года) (рис.2). Отметим, что постоянного снежного покрова в бассейнах рек Чаткал и Пскем практически нет. До 2010 года многолетние снега еще были, после 2020 года их уже нет. Если кривая снежного покрова, в какой то период вегетации, стала горизонтальной, то таять в горах больше нечему.

Малая река Коксу потеряла многолетние снега до 2000 года. Затем потерял многолетние снега Чаткал, и после крайне засушливого 2025 года, многолетние снега практически закончились в бассейне реки Пскем.

Возможно, если будет серия лет с обильными осадками, что-то из снежного покрытия и восстановится, но статус многолетних и переходящих из года в год запасов снега в бассейне реки Чирчик уже потерян.

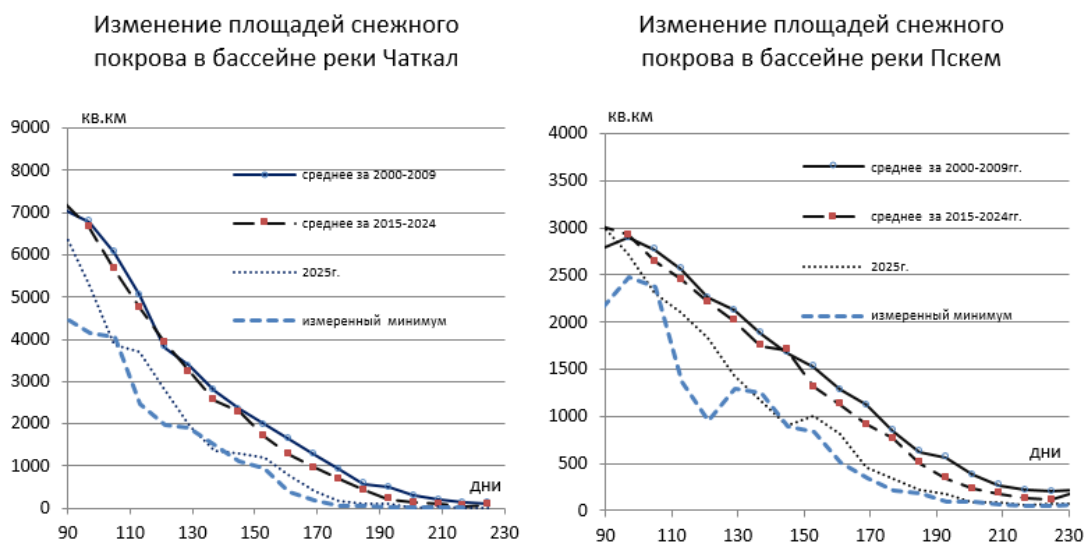


Рис. 2. Изменения снежного покрова в теплое время года в бассейнах рек Чаткал и Пскем (Здесь и далее, голубой пунктир – наблюдаемый, когда либо, минимум в площадях снежных полей до 2025 г.)

Из рисунка 2 видно, что поддержка стока рек Чаткал и Пскем со стороны таящего снега в засушливые годы кончается примерно на 180 день. Затем сток рек Чаткала, Пскема и тем более Коксу происходит за счет выклинивания подземных вод и крайне неравномерных во времени осадков. Вдхр. Чарвак имеет важнейшее стратегическое значение. Это основной источник питьевой воды для столицы Узбекистана. И это значение будет только возрастать в связи с растущим населением города и

уменьшением притока в вдхр. Чарвак.

Нарын и Карадарья. Если до 2000 года наблюдался рост водности реки Нарын, то начиная с 2000 года роста водности р. Нарын уже нет. (рис.3).

Вероятнее всего, возможность поддержки стока реки таянием многолетних снегов и ледников закончилась. До 2000 года такой рост водности наблюдался и вызывал это оптимизм водников. Рост водности реки Нарын в период 2010–2025 года уже не наблюдается.

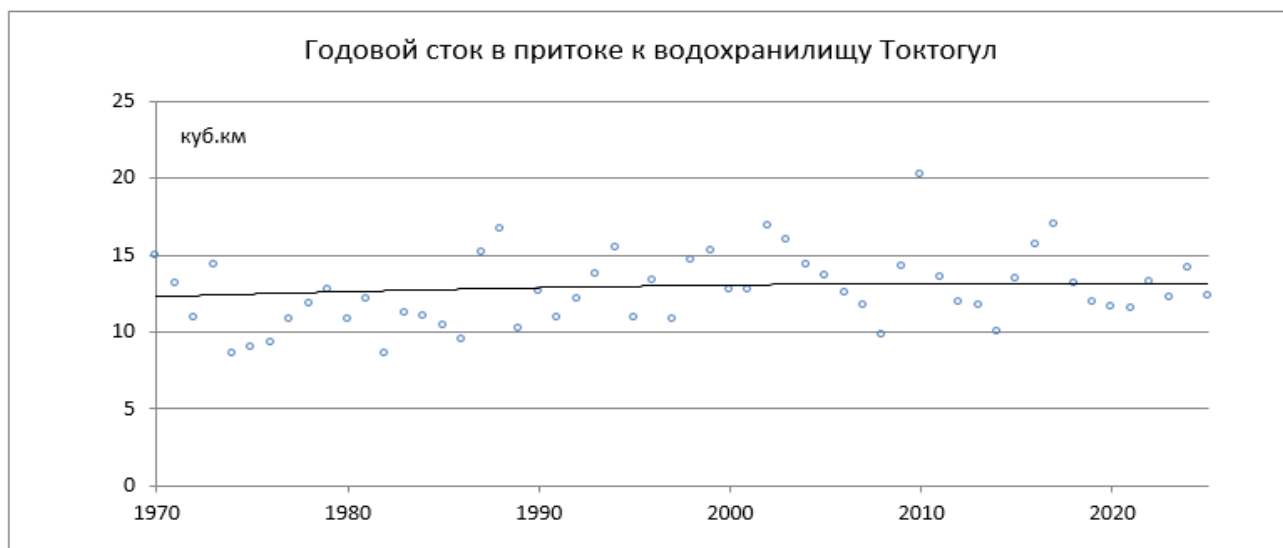


Рис. 3. Годовой приток воды в водохранилище Токтогул (река Нарын)

На рисунке 4 наблюдаются тенденции к уменьшению притока воды к вдхр. Андижан. Заметим, что в Ферганской долине отмечается относительная стабильность в количестве выпадающих осадков [18].

На рисунках 5 и 6 показан процесс уменьшения площади снежного покрова в бассейнах р. Нарын и Карадарья в вегетационный период. В бассейне реки Нарын осталось всего 1600 км² снежного покрова на середину вегетации (180 день).

В бассейне реки Карадарья 440 км². Поддержка стока реки Нарын таянием деградирующих многолетних полей вследствие повышения летних температур очень скоро прекратиться.

Процессы, отраженные на рисунках 3 и 5, 4 и 6, оказываются связанными и подтверждают друг друга. В середине вегетационного периода (180 день от начала года) таяющего снега в горах в бассейне Карадарьи нет, а бассейне Нарына снега почти нет.

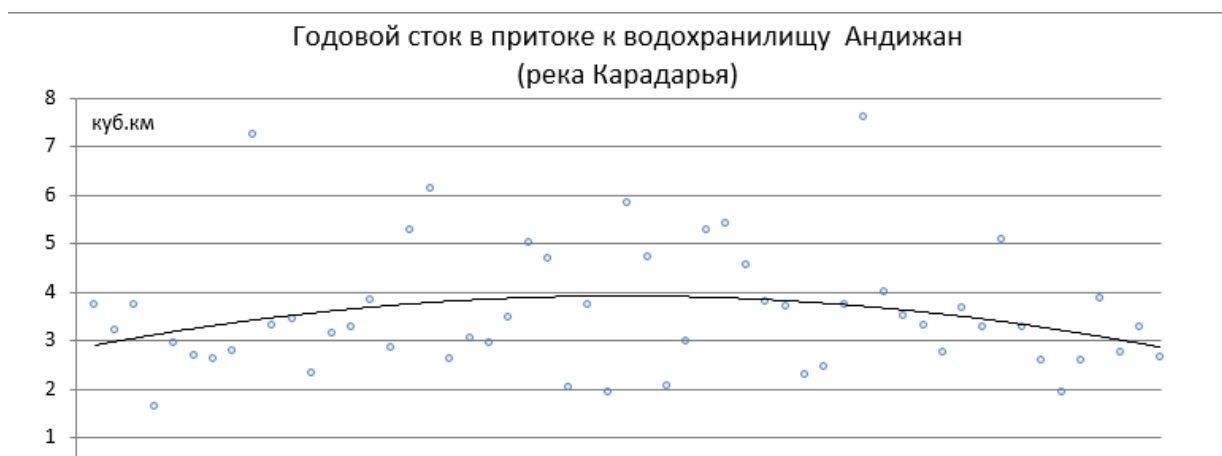


Рис. 4. Годовой сток воды по реке Карадарья в зоне притока к вдхр. Андижан, (п. Кампырват, до заполнения чаши водохранилища)

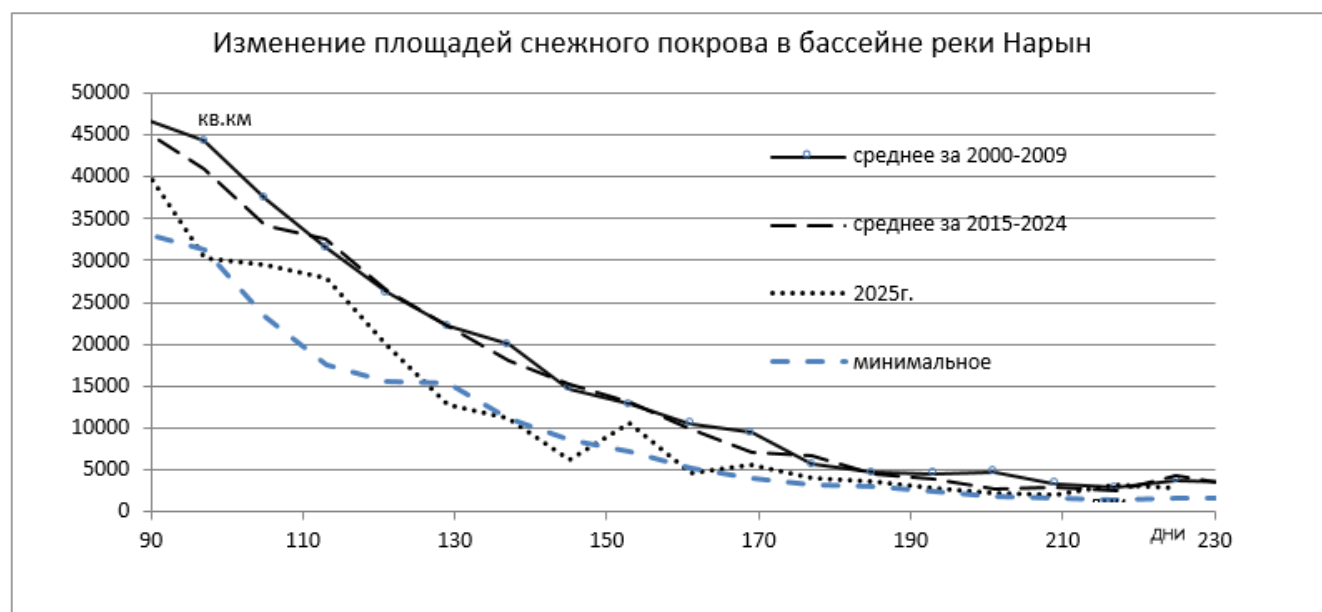


Рис. 5. Изменения снежного покрова в теплое время года в бассейне реки Нарын

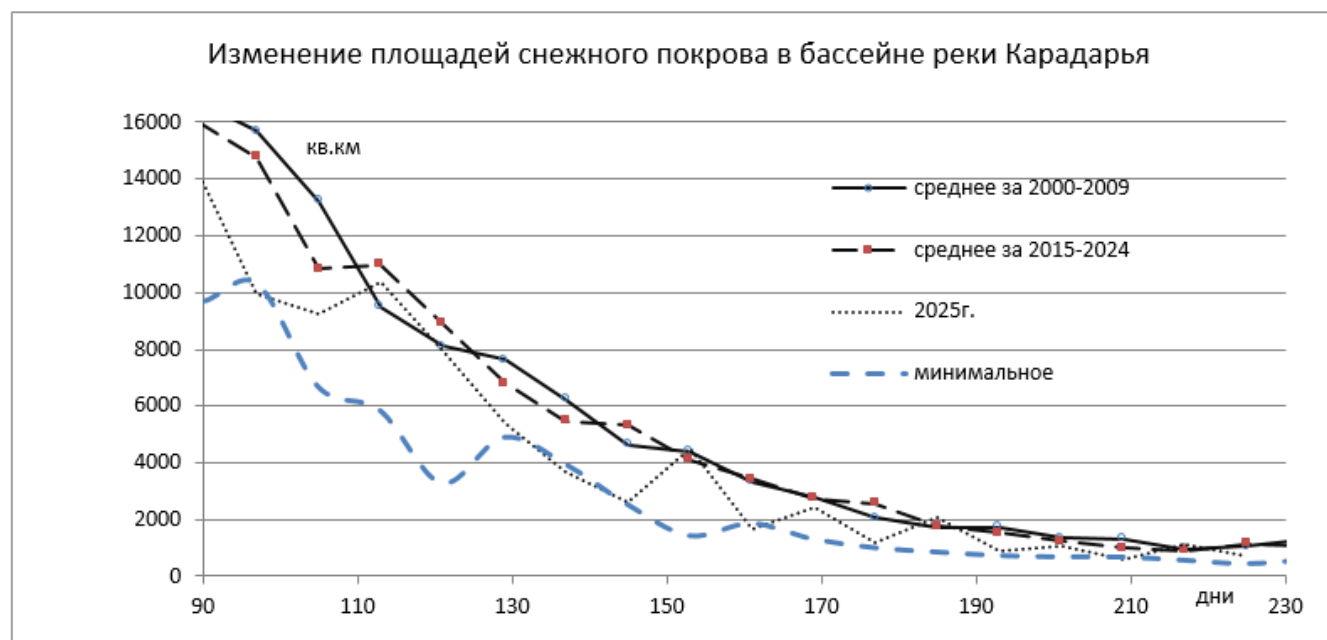


Рис. 6. Изменения снежного покрова в теплое время года в бассейне реки Карадарья

Зеравшан. В бассейне реки Зеравшан еще есть значительные запасы многолетних снегов. Годовой сток реки Зеравшан имеет тенденцию к увеличению. (рис.7).
Суммарное количество годовых осадков достаточно

стабильно. Из рисунка 8 видно, что уменьшение площади снежного покрова происходит и после завершения вегетационного периода.

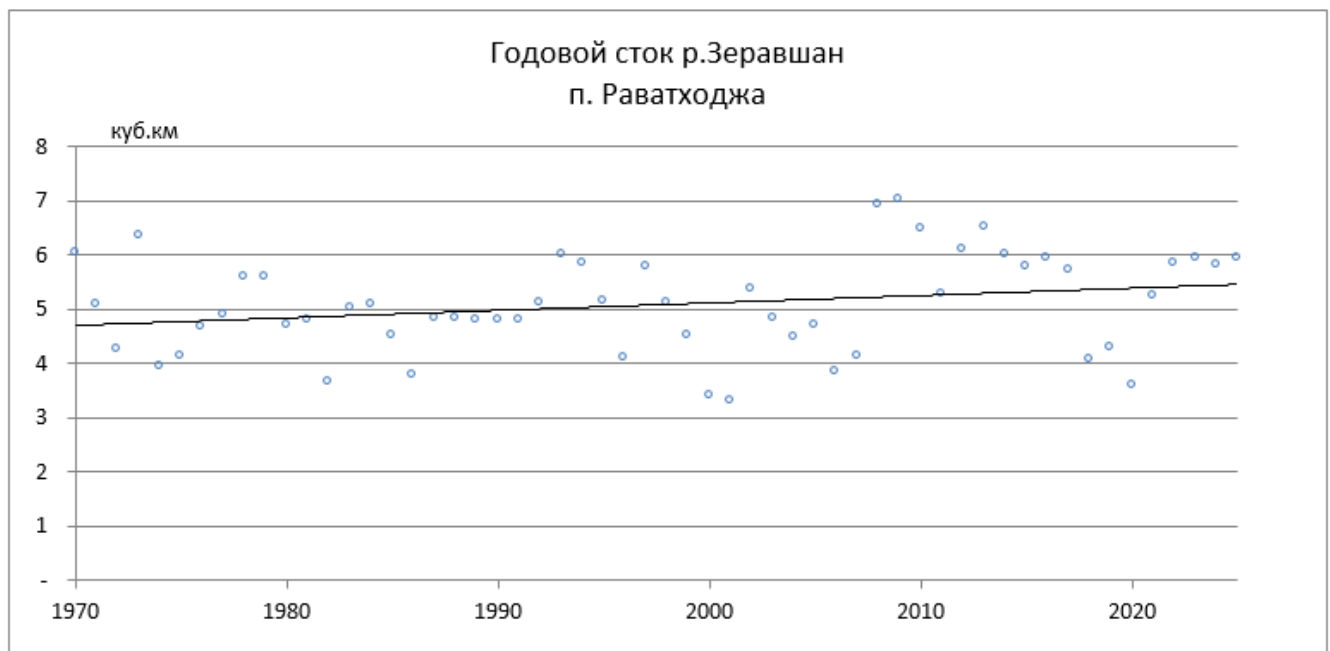


Рис. 7. Годовой сток реки Зеравшан, п. Раватходжа.
Частично восстановлен по п. Дупули с учетом р. Магиандарья

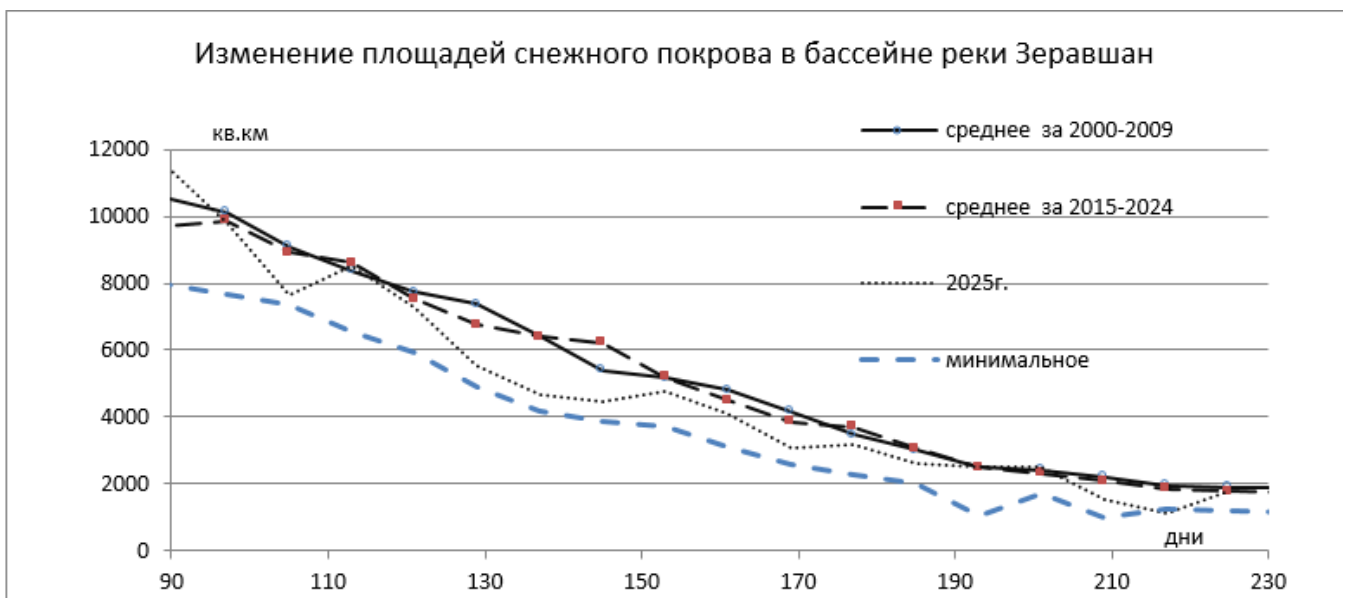


Рис. 8. Изменения снежного покрова в теплое время года
в бассейне р. Зеравшан.

Кашкадарья и Сурхандарья. Водный кризис развивается на реках Кашкадарья и Сурхандарья. На этих реках наблюдается устойчивая тенденция к уменьшению годового стока. (рис.9). Снежный покров полностью исчезает к середине вегетации в обоих бассейнах рек Кашкадарья и Сурхандарья. (рис.10). Водная ситуация в бас

сейнах рек Кашкадарья и Сурхандарья в течение вегетационного периода изменчива и зависит от количества осадков. Необходимы неотложные меры по сглаживанию внезапно возникающих дефицитов воды и больших дождевых паводков, так как обе реки фактически перешли к дождевому питанию.

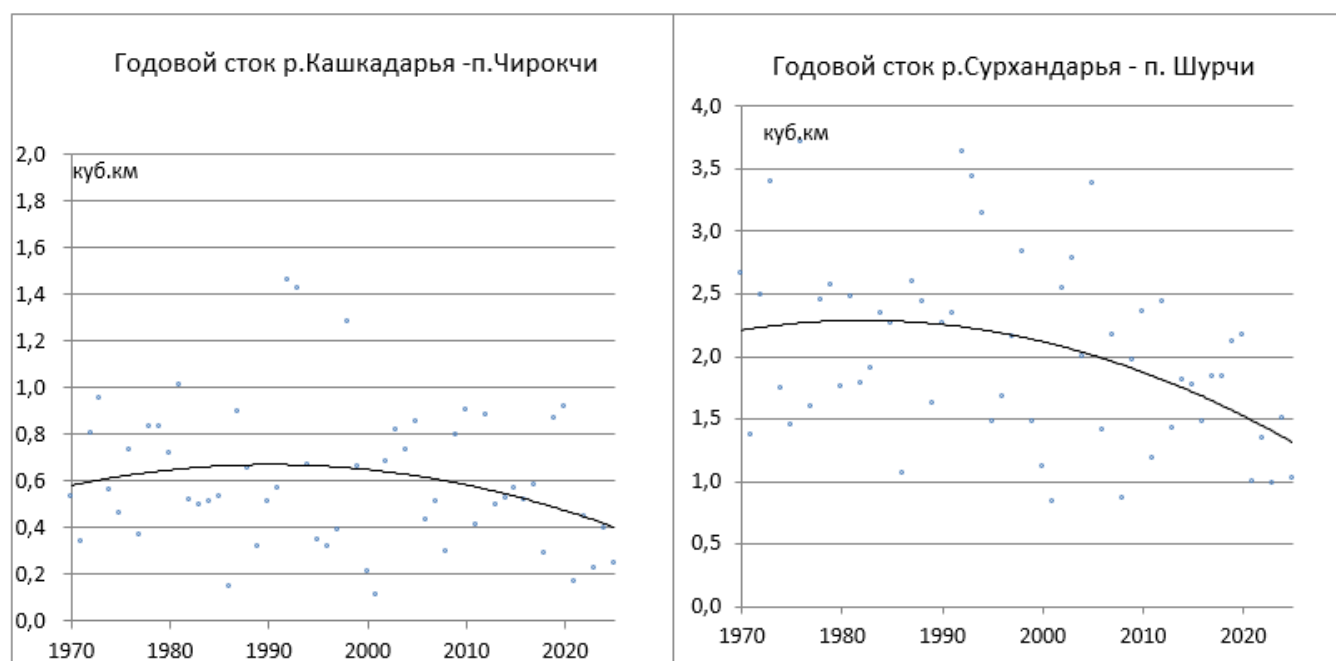


Рис. 9. Годовой сток р. Кашкадарья и р. Сурхандарья

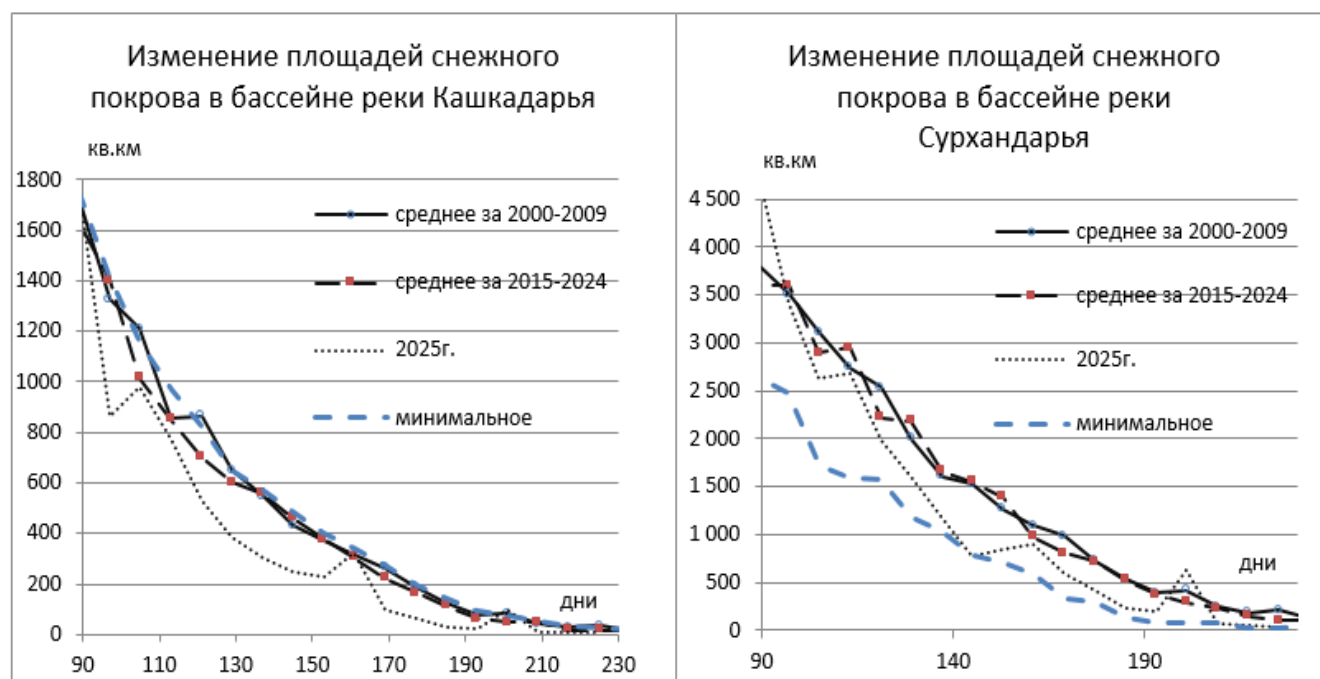


Рис.10. Уменьшение площади снежных полей в вегетационный период в бассейнах рек Кашкадарья и Сурхандарья

Вахш. Начиная примерно с 2010 года, годовой сток реки Вахш перестал увеличиваться и, вероятнее всего, в

настоящее время происходит смена роста водности реки на уменьшение водности реки Вахш. (рис.11).



Рис. 11. Годовой сток р. Вахш. Створ в зоне притока к вдхр. Нурек

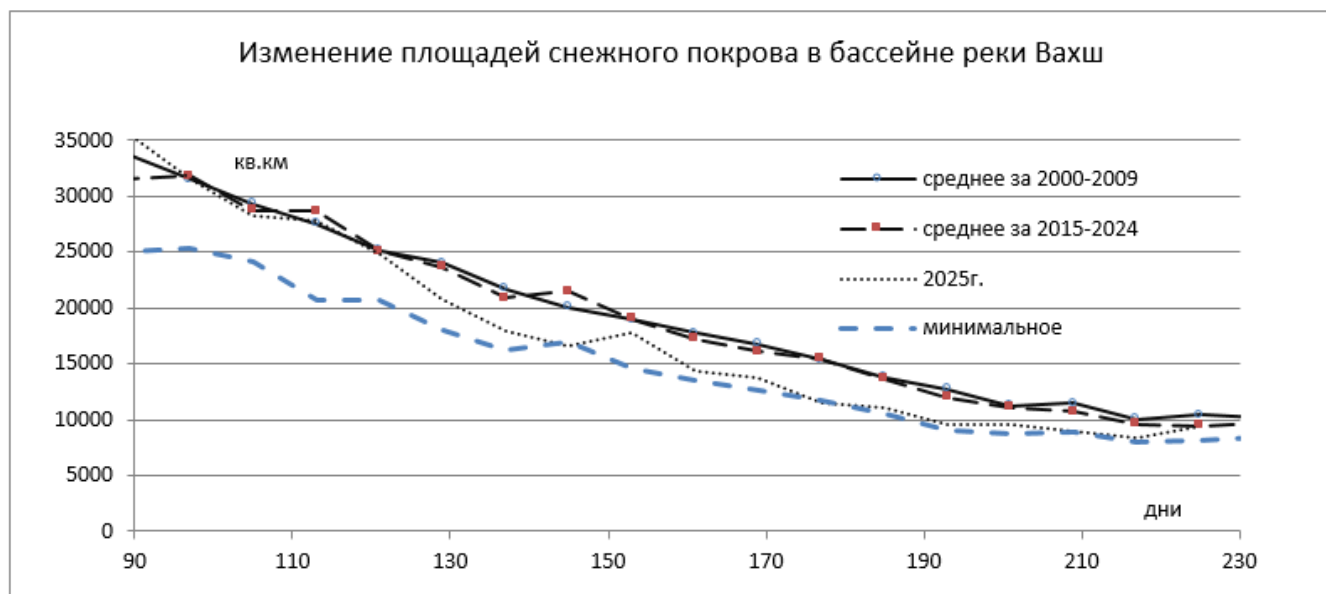


Рис. 12. Уменьшение площади снежных полей в вегетационный период в бассейне реки Вахш (выше створа притока к вдхр. Нурек).

Пяндж. Водность реки Пяндж в настоящее время достаточно стабильна. (рис.13).

Осредненные значения площадей снежных полей и ледников почти совпадают на 240 день года для периодов осреднения 2000–2009 и 2015–2024 гг. (рис.14). Это означает, что ситуация на реке Амударья в зоне формирования стока почти стабильна. Водность реки Пяндж в створе Нижний Пяндж восстановлена по корреляционным связям в реальных замерах на реках бассейна реки Пяндж и Вахш.

Выводы.

1. Установлено, что рост водности рек Центральной Азии за счет деградации многолетних снегов и ледников, подходит к концу, а на отдельных водотоках уже закончился. Реки переходят на снегодождевое питание с возрастающим преобладанием дождевого питания. Степень изменчивости водности рек в течение года и между годами возрастает. Количество воды в реках уменьшается на 4% в ответ на рост температур воздуха на 1 градус из-за изменений климата.



Рис. 13. Годовой сток р. Пяндж. Створ - Нижний Пяндж

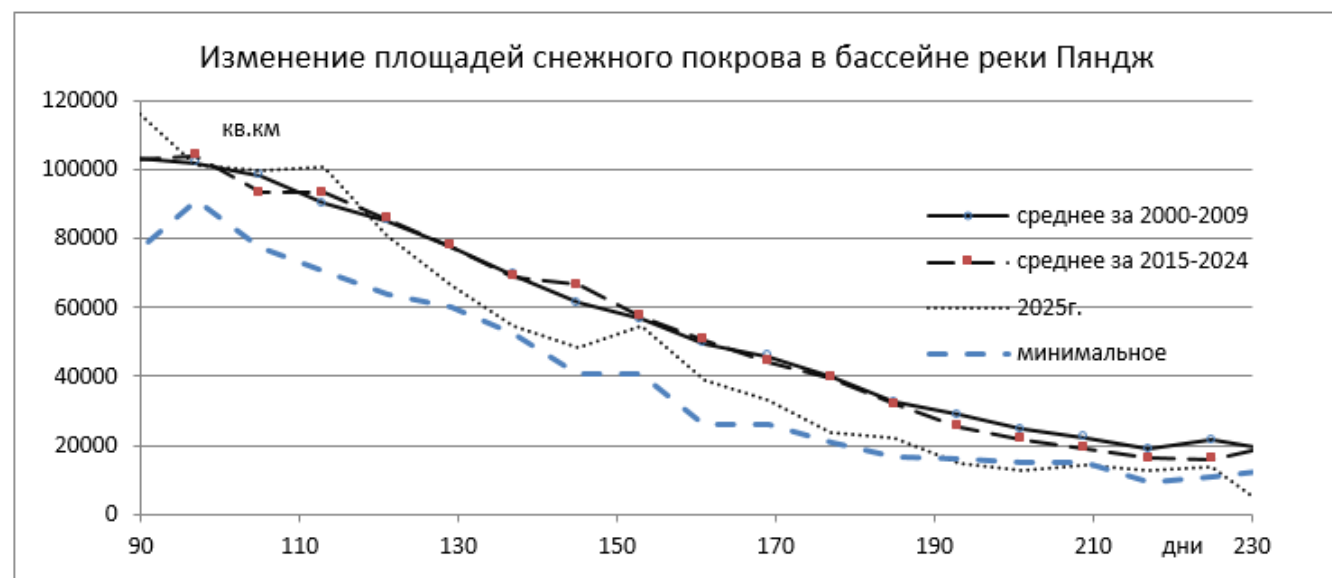


Рис. 14. Уменьшение площадей снеговых полей и ледников в вегетационный период в бассейне реки Пяндж

2. Необходимо ускоренно строить малые водохранилища на небольших водотоках с полным обоснованием экономической эффективности и целесообразности.

3. Необходимо усилить контроль и учет за распределением использованием водных ресурсов и иметь системы расчета ретроспективного и текущего водного баланса как можно по большему количеству рек.

4. Необходимо внедрять водосберегающие техноло-

гии на всех направлениях водопользования с обоснованием экономической эффективности и с учетом поступления солей с ирригационной водой. Без должного и обоснованного режима промывки полей для избавления от солей, накопленных при использовании водосберегающих технологий, можно подвергнуть поверхностные слои ирригационных земель засолению и вывести их из сельскохозяйственного производства.

Список использованной литературы

- [1] H. Apel, B. Gouweleeuw, A. Gafurov, and A. Güntner, "Forecast of seasonal water availability in Central Asia with near-real time GRACE water storage anomalies," *Environ. Res. Commun.*, vol. 1, no. 3, p. 031006, Apr. 2019, doi: 10.1088/2515-7620/ab1681.
- [2] C. Notarnicola, "Observing Snow Cover and Water Resource Changes in the High Mountain Asia Region in Comparison with Global Mountain Trends over 2000–2018," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 23, p. 3913, Nov. 2020, doi: 10.3390/rs12233913.
- [3] S. K. Alamanov, V. M. Lelevkin, O. A. Podrezov, and A. O. Podrezov, "Climate changes and water problems in Central Asia," U. N. Environ. Program UNEP World Wildl. Fund WWF Mosc.-Bishkek Russ., 2006.
- [4] S. Ibatullin, V. Yasinskiy, and A. Mironenkov, "The impact of climate change on water resources in Central Asia," *Eurasian Dev. Bank Sect. Rep.*, no. 6, 2009.
- [5] K. Sh, "Historical geography of Southern Sughd and Tokharistan according to Arabic sources of 9th-early 13th centuries/Shamsiddin Kamoliddinov," Tashkent 1996–360 P, 1996.
- [6] Z. V. Kobuliev, *Monitoring of the state of glaciers of Tajikistan considering climate change*. Dushanbe: Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 2017. [Online]. Available: www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/projects/UNDA-9th_tranche/Documents/Tajikistan/2017_May/03_Kobuliyev.pdf
- [7] "Данные Узгидромета по температурному режиму Узбекистана за 2020–2024 гг.," Центр гидрометеорологической службы, Ташкент, 2024.
- [8] F. Li et al., "Forecasting Next Year's Global Land Water Storage Using GRACE Data," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 51, no. 17, p. e2024GL109101, Sep. 2024, doi: 10.1029/2024GL109101.
- [9] S. Wu, B. Bates, A. W. Zbigniew Kundzewicz, and J. Palutikof, "Climate change and water," *Tech. Pap. Intergov. Panel Clim. Change*, pp. 20–58, 2008.
- [10] The GlaMBIE Team et al., "Community estimate of global glacier mass changes from 2000 to 2023," *Nature*, vol. 639, no. 8054, pp. 382–388, Mar. 2025, doi: 10.1038/s41586-024-08545-z.
- [11] R. Vakulchuk, A. S. Daloz, I. Overland, H. F. Sagbakken, and K. Standal, "A void in Central Asia research: climate change," *Cent. Asian Surv.*, vol. 42, no. 1, pp. 1–20, Jan. 2023, doi: 10.1080/02634937.2022.2059447.
- [12] X. Wang, Y. Chen, G. Fang, Z. Li, and Y. Liu, "The growing water crisis in Central Asia and the driving forces behind it," *J. Clean. Prod.*, vol. 378, p. 134574, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134574.
- [13] "Изменение климата и сохранение природного потенциала," presented at the Международная конференция "Навстречу 6-му Всемирному Водному Форуму – совместные действия в направлении водной безопасности," Ташкент, 2011, p. 21стр. [Online]. Available: https://cawater-info.net/6wwf/conference_tashkent2011/files/7-climate_rus.pdf
- [14] A.-S. Gofurov, Z. Juraev, and Y.-J. Ahn, "Regional Water Crisis: A Case Study of Uzbekistan and its Neighboring Countries," 2023.
- [15] A. Salokhiddinov, R. Boirov, M. Ismailov, S. Mamatov, P. Khakimova, and M. Rakhmatullaeva, "Climate change effects on irrigated agriculture: perspectives from agricultural producers in eastern Uzbekistan," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2020, p. 012058.
- [16] K. Mehta, M. Ehrenwirth, C. Trinkl, W. Zörner, and R. Greenough, "The Energy Situation in Central Asia: A Comprehensive Energy Review Focusing on Rural Areas," *Energies*, vol. 14, no. 10, p. 2805, May 2021, doi: 10.3390/en14102805.
- [17] A. Hamidov, M. Khamidov, and J. Ishchanov, "Impact of Climate Change on Groundwater Management in the Northwestern Part of Uzbekistan," *Agronomy*, vol. 10, no. 8, p. 1173, Aug. 2020, doi: 10.3390/agronomy10081173.
- [18] A. Салохиддинов, Б. Нишанов, Н. Рахматова, А. Савицкий, Р. Таряникова, and С. Сидериус, "Изменения в водности рек Узбекистана в связи с изменениями климата," *Экологический Вестник*, no. №5, pp. 17–24стр., 2021.

UDC: 528.28:528.3(575.1)

FORMATION AND STABILITY ASSESSMENT OF A NETWORK OF PERMANENTLY OPERATING GNSS STATIONS IN UZBEKISTAN

*D.Norboeva, A.Inamov – PhD, associate professor, M. Rajapbaev – PhD, associate professor
“Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” National Research University*

Abstract

This paper analyzes the optimal distribution and stability assessment of Differential Satellite Geodetic Networks (CORS/RTN) across the territory of Uzbekistan. Data from 50 continuously operating GNSS stations were processed, and their coordinates were recalculated in the ITRF2014 reference frame. The transformation between global and national datums was performed using a 7-parameter Helmert model, ensuring geometric consistency. The results indicate average coordinate stability values of 2.23 mm (North), 3.05 mm (East), and 6.25 mm (Up) components. The most stable stations were identified as DUST, CHIR, KANL, and URGD, while the ISTD station showed the highest vertical displacement (11.05 mm). Spatial analysis revealed that the network density is higher in the central and eastern regions (Tashkent, Samarkand, Fergana Valley), while the western regions (Navoi, Karakalpakstan, Bukhara) remain less covered. RINEX file analysis demonstrated that each station tracked on average 17-19 satellites per day, ensuring sufficient geometry for accurate RTK/RTN positioning. The findings provide a scientific foundation for optimizing the national GNSS network, enhancing real-time positioning accuracy, and strengthening Uzbekistan's geodetic reference infrastructure for future geodynamic mapping, irrigation, and land-management applications across Uzbekistan.

Keywords: GNSS, CORS, ITRF2014, Bernese GNSS, station coordinates, network stability, Uzbekistan.

O'ZBEKISTONDA DOIMIY FAOLIYAT YURITUVCHI GNSS STANSIYALAR TARMOG'INI SHAKLLANTIRISH VA BARQARORLIGINI BAHOLASH

*D.Norboyeva, A.Inamov – t.f.f.d.(PhD), dotsent, M.Rajapbayev – t.f.f.d.(PhD), dotsent
“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti*

Annotatsiya

Mazkur maqolada O'zbekiston Respublikasi hududida differensial sun'iy yo'ldosh geodezik tarmoqlarini (CORS/RTN) maqbul joylashtirish va ularning barqarorligini baholash masalalari o'rganildi. Tadqiqot jarayonida mamlakat bo'yicha 50 ta GNSS stansiyalari ma'lumotlari tahlil qilinib, ularning ITRF2014 tizimidagi koordinatalari qayta hisoblandi. Transformatsiya 7-parametrlil Helmer model asosida amalga oshirilib, global va milliy datumi o'rtasidagi geodezik moslik ta'minlandi. Olingan natijalarga ko'ra, stansiyalar koordinatalarining o'rtacha barqarorlik qiymatlari quyidagicha aniqlangan: shimoliy yo'nalishda (N) - 2.23 mm, sharqiy yo'nalishda (E) - 3.05 mm va vertikal yo'nalishda (U) - 6.25 mm. Eng barqaror stansiyalar sifatida DUST, CHIR, KANL va URGD ajralib chiqqan bo'lsa, eng yuqori siljish ISTD stansiyasida (U yo'nalishda 11.05 mm) kuzatilgan. Tahlil natijalariga ko'ra, tarmoq zichligi markaziy va sharqiy hududlarda (Toshkent, Samarqand, Farg'ona vodiysi) yuqori bo'lib, g'arbiy mintaqalarda (Navoiy, Qoraqalpog'iston, Buxoro) nisbatan siyrak joylashgan. RINEX fayllari asosida o'tkazilgan signal tahlillari bir sutkada o'rtacha 17-19 ta yo'ldosh kuzatilganini ko'rsatdi, bu esa RTK/RTN xizmatlari uchun yetarli aniqlik darajasini ta'minlaydi. Tadqiqot natijalari O'zbekiston hududida differensial geodezik tarmoqlarni optimallashtirish, real vaqtli koordinatalar aniqligini oshirish va milliy geodezik asosni mustahkamlash bo'yicha ilmiy asos yaratadi.

Kalit so'zlar: GNSS, CORS, ITRF2014, Bernese GNSS, stansiya koordinatalari, tarmoq barqarorligi, O'zbekiston.

ФОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ СЕТИ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНЦИЙ GNSS В УЗБЕКИСТАНЕ

*Д.Норбоева, А.Инамов – PhD, доцент, М.Ражапбаев – PhD, доцент
Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт ирригации и механизации сельского хозяйства»*

Аннотация

В статье приводится анализ оптимального размещения и оценки стабильности дифференциальных спутниковых геодезических сетей (CORS/RTN) на территории Узбекистана. Были обработаны данные 50 постоянно действующих станций GNSS, а их координаты пересчитаны в системе ITRF2014. Трансформация между глобальной и национальной системами координат выполнена по семипараметрической модели Гельмерта, что обеспечило геометрическую согласованность данных. Результаты показали, что средние значения стабильности координат составляют 2,23 мм по северной компоненте, 3,05 мм по восточной и 6,25 мм по вертикальной компоненте. Наиболее стабильными станци-

ями определены DUST, CHIR, KANL и URGD, в то время как станция ISTD показала наибольшее вертикальное смещение (11,05 mm). Пространственный анализ выявил, что плотность сети выше в центральных и восточных регионах (Ташкент, Самарканд, Ферганская долина), тогда как западные районы (Навои, Каракалпакстан, Бухара) остаются менее охваченными. Анализ RINEX-файлов показал, что каждая станция отслеживает в среднем 17-19 спутников в день, что обеспечивает достаточную геометрию для точного позиционирования в режимах RTK/RTN. Полученные результаты создают научную основу для оптимизации национальной сети GNSS, повышения точности позиционирования в реальном времени и укрепления геодезической опорной инфраструктуры Узбекистана для будущих геодинамических и картографических приложений.

Ключевые слова: GNSS, CORS, ITRF2014, Bernese GNSS, координаты станций, стабильность сети, Узбекистан.



Introduction. Permanently Operating GNSS Stations (CORS) based on Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are currently considered a fundamental component in geodesy, cartography, cadastre, and engineering monitoring [1]. Such networks enable the establishment of a unified national coordinate system, ensure high-precision real-time positioning, and allow the monitoring of deformations and crustal movements [2].

In modern geodesy and geoinformatics, GNSS serves as the primary data source for conducting high-precision spatial analyses [3]. In particular, networks of Continuously Operating Reference Stations (CORS) form the foundation of national geodetic infrastructures. Through these networks, it becomes possible to monitor geodynamic processes, achieve millimeter-level coordinate precision, and maintain consistency with global reference systems [2].

One of the most advanced software solutions used for high-precision GNSS data processing is the Bernese GNSS Software, developed by the Astronomical Institute of the University of Bern (AIUB) in Switzerland. It is recognized as one of the most comprehensive scientific platforms for multi-GNSS data processing [4].

The Bernese software package serves as the main analytical tool of the Center for Orbit Determination in Europe (CODE) and is actively used in the activities of IGS (International GNSS Service) and EUREF/EPN. The software is continuously updated and applied for global orbit determination, Earth rotation parameter (ERP) estimation, tropospheric modeling, and global ionospheric map generation [5].

A key advantage of the Bernese GNSS Software is its capability for precise differential processing. It can handle all major types of raw GNSS observations (code and phase) recorded by high-grade geodetic receivers. The software supports both single-frequency (L1) and dual-frequency (L1/L2) data processing, minimizing ionospheric delay effects. It also accounts for antenna phase center offsets and variations (PCO/PCV) for different receiver types, ensuring generalized and accurate solutions [6].

Moreover, the Bernese Processing Engine (BPE) module enables fully automated workflows for large-scale data processing. Using BPE, analyses such as PPP (Precise Point Positioning), baseline processing, network adjustment (RINEX-to-SINEX), and clock estimation can be performed automatically. This significantly enhances the efficiency of complex GNSS network computations [7].

The software also considers various geophysical effects such as tectonic plate motion, crustal deformation, and ocean loading. Time-dependent parameters (e.g., tropospheric delays, Earth rotation parameters, ionospheric models) are estimated continuously using segmented linear modeling. Additionally, Bernese can integrate GNSS, GLONASS, and SLR (Satellite Laser Ranging) data into a unified processing environment.

The program supports all major international data formats, including RINEX, SP3c, SINEX, IONEX, ANTEX, and IERS ERP, enabling seamless international data exchange and analysis. Leica Geosystems AG serves as the exclusive commercial distributor of the Bernese software, while research licenses are provided directly by the AIUB.

Today, the Bernese GNSS Software is widely recognized as an ideal tool for scientists and organizations engaged in geodesy, meteorology, geophysics, and national geodetic network management. Its millimeter-level precision makes it invaluable not only for scientific research but also for applied tasks such as cadastral surveying, deformation monitoring, and engineering control [8].

Reliable irrigation and melioration systems require accurate geospatial information to ensure the stability of hydraulic structures and effective land-reclamation activities. Continuous Operating Reference Stations (CORS) have emerged as an essential infrastructure for high-precision monitoring of terrain deformation, groundwater-related subsidence, canal embankments, and large dam structures. GNSS-based CORS networks provide centimeter-to millimeter-level positional accuracy, enabling continuous assessment of dam settlement, differential movements, and geodynamic processes that directly influence irrigation and drainage efficiency [2].

In melioration practice, particularly in arid regions such as Central Asia, deformation of irrigation canals, pumping stations, and dams may lead to water losses, reduced hydraulic efficiency, and increased risk of structural failure. Integrating CORS data with remote sensing, hydrological modeling, and engineering observations enhances early-warning systems and supports sustainable management of reclaimed lands [1]. Therefore, the application of CORS-based geodetic monitoring contributes significantly to improving water-use efficiency, ensuring dam safety, and optimizing melioration infrastructure.

In Uzbekistan, activities in this direction began under the Presidential Decree No. 2045 of September 25, 2013, which initiated the "Creation of a National Geographic Information System" investment project. This project aims to develop a national geospatial database, manage it effectively, and advance the "Geoportal" platform. It focuses on creating, updating, and disseminating national maps, satellite imagery, and spatial data repositories [9].

The project involves cooperation with 12 foreign companies, including Google, Yandex, and Esri, and 11 domestic IT companies, contributing to the country's digital transformation. The main objectives of the project are as follows:

1. Establishment of a national geospatial database: creation and regular updating of Uzbekistan's national maps, satellite imagery, and spatial data repository.
2. Development of the Geoportal: creation of an integrated

platform for data hosting and public access.

3. Advancement of digital transformation: implementation of modern geospatial technologies to support Uzbekistan's digital development.

Within this framework, a national GNSS CORS network was established in co-operation with the Korea Economic Development Cooperation Fund (EDCF) and implemented by Leica Geosystems AG.

This article is based on the technical report of this network and focuses on analyzing data processing strategies, applied parameters, and positional accuracy indicators.

Materials and Methods

1. Reference System and Epoch

The coordinates of all stations in the network were processed within the International Terrestrial Reference Frame (ITRF2014). This reference frame integrates global data from GNSS, VLBI, SLR, and DORIS technologies, allowing the modeling of Earth's dynamic motions, including tectonic shifts, seasonal deformations, and seismic displacements [10]. The coordinates were aligned to the epoch 01.06.2018.

2. Primary Parameters

For GNSS antenna phase centers, Absolute Phase Center Variation (PCV) calibrations were applied, as they provide higher precision compared to relative calibrations [11]. The calibration data were obtained from official IGS (International GNSS Service) antenna files. When necessary, individual absolute calibrations were applied to specific stations [12].

Accurate ephemeris and Earth Orientation Parameters (EOP) were provided by the IGS. These products are typically updated with a latency of 12-18 days, yet they ensure millimeter-level accuracy in orbital and pole parameters [13].

3. Dataset

For the analysis, continuous GNSS observation data in RINEX format were used from 50 stations across Uzbekistan, covering the period from December 2017 to May 2018. Complete metadata - including antenna type, receiver model, antenna height, and station location - were incorporated into the analysis.

4. Processing Strategy

Data were processed using Bernese GNSS Software v5.2 [4]. Each day was analyzed as an independent session, with IGS stations fixed as reference points. Phase ambiguities were resolved using three strategies depending on baseline length:

1. < 20 km: L1/L2 integer fixing
2. 20-200 km: Sigma or QIF method
3. 200-2000 km: Global QIF strategy for long baselines

Daily solutions were then combined using the minimal-bias approach, which minimizes systematic errors within the network and ensures consistency with the ITRF2014 reference frame [10].

Results and Discussion

1. Coordinate Repeatability

The coordinate repeatability across all stations in the network was recorded at 2-3 mm for the horizontal components and 5-8 mm for the vertical component. These values demonstrate a high level of precision, comparable to international GNSS networks such as IGS and EUREF [5].

The reliability and accuracy of the Differential Satellite Geodetic Networks established within the Republic of Uzbekistan are directly dependent on the stability of the Continuously Operating Reference Stations (CORS). For each station, stability was evaluated based on the average displacement values (in millimeters) in three directions: North (N), East (E), and Up (U) (Table 1).

The analysis was conducted using RINEX observation

data from 50 CORS stations that operated continuously between August and October 2021, with observation durations ranging from 11 to 61 days. The results indicate that horizontal displacements (N and E) are generally small, while vertical variations (U) are comparatively larger. This behavior is typical for GNSS systems, as the vertical component is more sensitive to atmospheric delays, signal refraction, and mechanical characteristics of the antenna.

According to the calculations, the average stability indicators for Uzbekistan are as follows (Table 1):

- North component (N): approximately 2.2 mm, with a minimum of 1.23 mm (KURG station) and a maximum of 4.00 mm (YNG1 station);
- East component (E): approximately 3.0 mm, with a minimum of 1.78 mm (TURT station) and a maximum of 4.57 mm (ISTD station);
- Up component (U): approximately 6.3 mm, with a minimum of 4.22 mm (ASAK station) and a maximum of 11.05 mm (ISTD station).

These results confirm that the CORS network of Uzbekistan demonstrates stable and consistent coordinate repeatability, meeting international standards for high-precision GNSS applications [14].

Based on the analysis, several stations demonstrate high stability, including KURG (1.23/2.80/6.74 mm), CHIR (1.60/2.14/5.36 mm), URGD (1.92/2.09/4.95 mm), ASAK (2.12/3.14/4.22 mm), and KANL (1.85/2.14/5.00 mm). These stations exhibit horizontal displacements below 2 mm and vertical variations within 5-6 mm, indicating high mechanical and geodetic stability. In particular, the KANL station stands out as a stable reference point for the Uzbekistan CORS network, with below-average displacement values in all directions.

Larger variations were observed at ISTD (3.23/4.57/11.05 mm) and YNG1 (4.00/4.39/5.84 mm) stations. The possible causes include short observation duration, environmental obstructions (e.g., tall objects near the antenna), and local meteorological effects [15]. Additionally, stations SAMD, SAR1, KRBD, and KUM1 showed vertical displacements exceeding 7 mm, suggesting the need for continued monitoring or verification of site conditions.

Overall, the Uzbekistan CORS network demonstrates average horizontal stability of 2-3 mm and vertical stability of 6-7 mm, which aligns with international GNSS monitoring standards and provides the accuracy required for maintaining the national spatial reference framework [16].

The results indicate that the existing CORS stations in Uzbekistan are generally stable. KANL, URGD, CHIR, and ASAK stations yielded the most reliable outcomes and are recommended as high-precision reference points for real-time differential measurements (RTN). This analysis holds practical significance for expanding and optimizing GNSS networks as well as for improving RTN service quality.

2. Final Coordinates

The coordinates of the CORS were computed in both Cartesian (X, Y, Z) and geodetic (φ , λ , h) forms within the International Terrestrial Reference Frame 2014 (ITRF2014). This system represents a global, Earth-centered reference frame that provides high-accuracy coordinates derived from GNSS observations [17].

The transformation from global to national coordinate systems was carried out using the 7-parameter Helmert transformation, which ensures geometric consistency and minimizes residual errors. The transformation parameters include scale, rotation, and translation components.

Table 1

Analysis of stability indicators of CORS stations in Uzbekistan

Station name	Days	Stability (mm)			Station name	Days	Stability (mm)		
		N	E	U			N	E	U
AKTD	60	2.52	1.94	7.08	KRSD	60	2.63	3.10	6.06
ALT1	60	2.33	2.28	6.48	KUM1	57	2.72	3.18	7.56
ALTK	60	1.66	2.27	5.14	KURG	51	1.23	2.80	6.74
ASAK	58	2.12	3.14	4.22	MAGK	27	2.15	3.70	5.36
BAUD	61	2.22	2.90	6.40	MANG	60	1.95	2.17	5.02
BAY1	59	2.61	3.38	5.87	MBRD	45	2.33	2.36	7.58
BUKD	60	1.76	3.14	7.26	NAMD	61	1.89	3.38	4.48
BUX1	60	2.27	2.21	6.18	NAVD	60	2.41	2.12	7.00
CHIM	59	1.87	2.15	5.19	NUKS	58	2.16	2.01	5.47
CHIR	60	1.60	2.14	5.36	SAMD	60	2.61	3.83	6.76
CHUS	60	1.96	3.38	4.83	SAR1	60	2.64	3.71	7.00
DEN1	60	2.93	3.26	7.93	SIRD	38	2.51	2.91	5.84
DUS1	60	2.73	3.40	6.69	SRBD	59	2.67	3.31	6.62
DUST	57	1.35	2.42	8.27	TER1	12	1.60	1.94	6.19
FARD	49	1.88	3.58	5.52	TURT	14	1.53	1.78	6.26
GALA	59	2.42	3.78	4.95	UCH1	60	1.99	1.92	6.66
GALL	58	2.48	3.02	5.90	UCHT	56	2.20	3.18	5.98
GJDD	60	2.28	1.95	6.48	URGD	59	1.92	2.09	4.95
GULD	61	2.14	3.01	6.23	YAN1	60	1.51	3.15	7.66
GUZD	60	2.51	3.46	7.07	YANN	60	1.81	3.39	4.31
HAKK	60	1.98	3.29	4.86	YAZV	58	1.78	3.50	4.81
ISTD	14	3.23	4.57	11.05	YKBD	59	2.50	3.38	7.44
KANL	60	1.85	2.14	5.00	YNG1	11	4.00	4.39	5.84
KOKA	58	1.89	3.34	5.51	ZAAM	56	2.16	3.41	5.83
KRBD	60	2.70	2.31	7.00	ZAR1	60	2.22	2.07	6.74

As a result of the computation, station coordinates were determined with millime-ter-level precision, and their temporal stability was evaluated. Continuous monitoring of the coordinates enables the assessment of station stability indices, detection of geody-namic movements, and enhancement of accuracy for Real-Time Network (RTN) services.

Figure 1 illustrates the spatial distribution of GNSS CORS stations across the Republic of Uzbekistan. The map shows that the stations cover the entire territory of the country, with higher density observed in the central and eastern regions (Tashkent, Samarkand, and the Fergana Valley) and lower density in the western regions. This distribution highlights the necessity of further network optimization to achieve uniform spatial coverage and enhanced positioning accuracy.

3. Network Stability Analysis

The stability analysis of the stations revealed that minor variations were observed at certain sites due to physical antenna conditions or installation settings [18]. However, the

overall network accuracy and stability remain high and fully compliant with international standards. The combination of IGS products (Absolute PCV, precise ephemerides) and the Bernese GNSS Software ensured the long-term reliability of the coordinates.

The stability of the GNSS CORS stations operating in Uzbekistan is of great importance for the reliability of the network, the accuracy of real-time differential services, and long-term geodynamic research. Network stability was assessed based on criteria such as temporal coordinate variations, satellite signal quality, and operational continuity of the stations [19].

According to the analysis of RINEX files, all stations continuously received signals from both GPS and GLONASS satellites. As an example, data from the KANL station (Kashkadarya region) on September 3, 2021 were analyzed. The results showed that, on average, the station tracked 17-19 satellites simultaneously during the day, which is sufficient for precise positioning (Table 2).

Table 2

Observation quality analysis

Parameter	Description
Receiver	LEICA GR50 (dual-frequency, professional-grade) (Fig. 2)
Antenna	LEIAR10
Data recording	Observations recorded every 30 seconds throughout the full 24-hour period; no major data gaps observed
Number of satellites	Typically 16-19 satellites observed per epoch (occasionally dropping to 13-14; maximum ~20)
Tracked systems	GPS + GLONASS hybrid tracking - improving geometry and positioning accuracy
Observation types	L1/L2 carrier phase, C/A and P-code, SNR values available - sufficient for high-precision PPP/static solutions

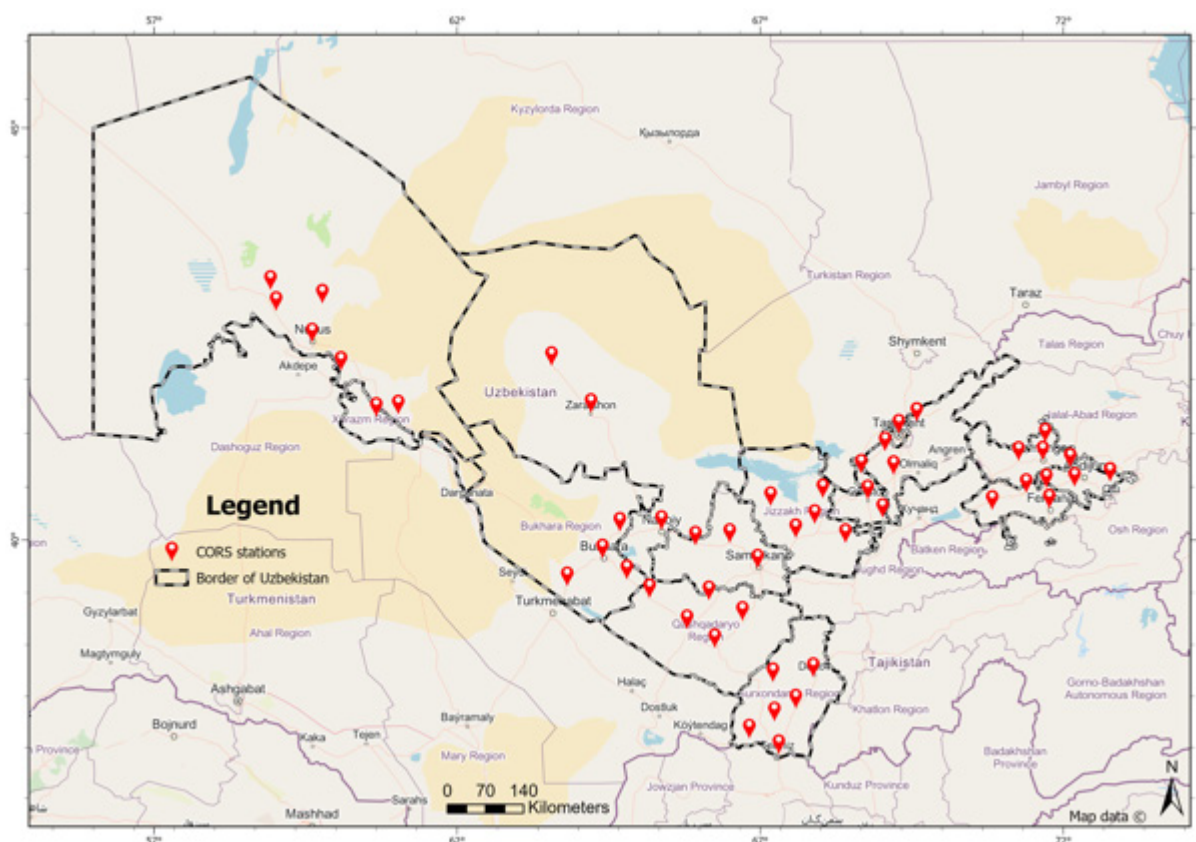


Figure 1. Location of GNSS CORS stations in Uzbekistan

Based on the RINEX file of the KANL station dated September 3, 2021, the composition and temporal distribution of tracked satellites were analyzed to assess the performance of the GPS and GLONASS systems (Fig. 3).

The “Distribution of satellites per epoch” graph (Fig. 3a) represents the total number of satellites observed per epoch.

The results indicate that an average of 17-18 satellites were simultaneously visible, which is considered adequate and stable for GNSS observations. The histogram shows an approximately normal distribution, reflecting the consistency of the tracking process and the high quality of received signals.

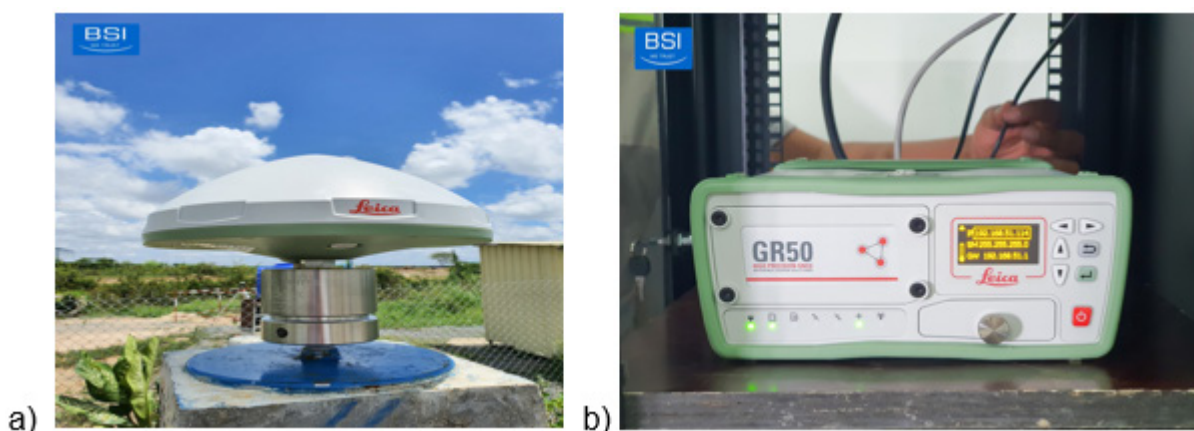


Figure 2. LEICA GR50 dual-frequency professional-grade GNSS equipment used at the KANL permanent observation station: a) LEIAR10 antenna installed on a stable concrete monument; b) LEICA GR50 receiver unit operating in continuous observation mode

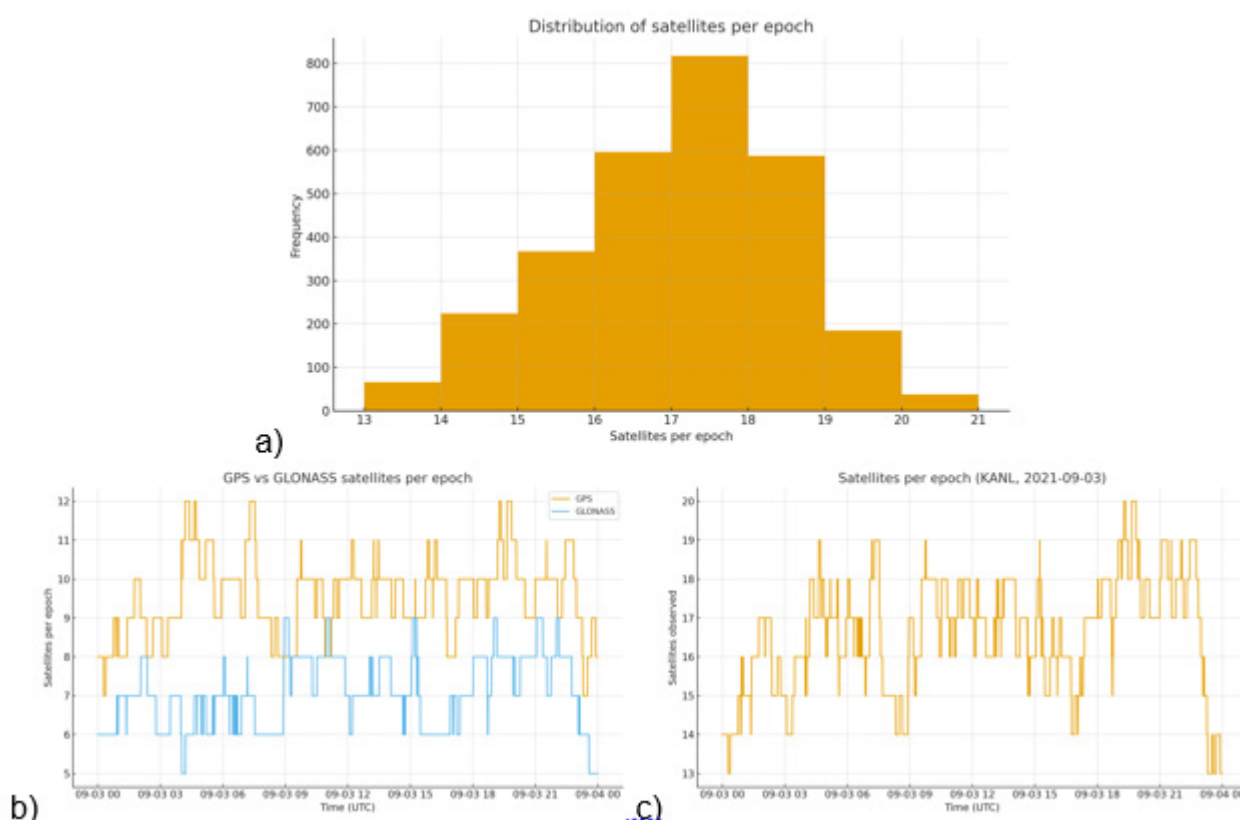


Figure 3. Satellite tracking analysis for the KANL CORS station: a) Distribution of satellites per epoch; b) GPS vs. GLONASS satellites per epoch; c) Temporal variation of total satellites observed (KANL, 2021-09-03)

The “GPS vs GLONASS satellites per epoch” graph (Fig. 3b) illustrates the variation in the number of GPS and GLONASS satellites observed per epoch at the KANL station. The number of GPS satellites ranged between 4 and 8, while GLONASS satellites varied between 8 and 12. The more stable GLONASS tracking indicates favorable sky visibility conditions for this constellation at the KANL location, contributing to improved accuracy when both systems are used together.

The third graph (Fig. 3c - “Satellites per epoch (KANL, 2021-09-03)”) displays the temporal variation in the total number of satellites tracked throughout the day. The results show that between 00:00 and 06:00 UTC, the number

of satellites was relatively low (14-16), increasing to 18-20 around midday. This fluctuation corresponds to the natural cyclical changes in satellite orbital geometry and sky visibility [20].

Overall, the KANL station tracked an average of 17 satellites per day, with the most stable and complete observation period occurring between 07:00 and 18:00 UTC. This time window can therefore be considered optimal for performing real-time (RTK/NRTK) geodetic measurements.

Conclusion

CORS-based geodetic monitoring represents a modern and reliable approach for supporting irrigation and melioration systems. High-precision GNSS observations im-

prove the detection of dam deformation, canal subsidence, and hydraulic structure stability, which are critical for sustainable water management. Integrating CORS measurements with melioration engineering practices strengthens risk assessment and provides timely decisions for maintaining irrigation security. The findings highlight that expansion of national CORS networks and their integration into melioration monitoring frameworks will significantly enhance the safety and effectiveness of hydraulic infrastructure.

The Uzbekistan GNSS CORS network demonstrated high stability and accuracy within the ITRF2014 reference frame.

The application of Absolute PCV calibrations, IGS precise products, and the Bernese GNSS Software enabled millimeter-level coordinate precision. It is recommended that the network be regularly reprocessed and updated with new epochs, and that antennas undergo periodic calibration to maintain the long-term geometric consistency and global compatibility of the national geodetic reference system. This will ensure continued reliability for real-time GNSS applications, geodynamic monitoring, and national spatial data infrastructure development.

Nº	References	Adabiyotlar
1	C. Pipitone, A. Maltese, M. Lo Brutto, G. Dardanelli, "A Review of Selected Applications of GNSS CORS and Related Experiences at the University of Palermo (Italy)," Remote Sensing, 15(2023): 5343. https://doi.org/10.3390/rs15225343	C. Pipitone, A. Maltese, M. Lo Brutto, G. Dardanelli, "GNSS CORS qo'llanmalari va Palermo universiteti tajribalari sharhi," Remote Sensing, 15(2023): 5343. https://doi.org/10.3390/rs15225343
2	C. Yu, N.T. Penna, Z. Li, "Optimizing GNSS Network RTK Infrastructure for Homogeneous Positioning Performance Considering Tropospheric Effects," Proc. R. Soc. A., 476(2020): 20200248. https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0248	C. Yu, N.T. Penna, Z. Li, "Troposfera ta'siri nuqtai nazaridan GNSS RTK infratuzilmasini optimallashtirish," Proc. R. Soc. A., 476(2020): 20200248. https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0248
3	G. Dardanelli, C. Pipitone, "The Effects of CORS Network Geometry and Differential NRTK Corrections on GNSS Solutions," Geodesy and Territory 2021: 56–69. https://doi.org/10.21163/GT_2021.163.05	G. Dardanelli, C. Pipitone, "CORS tarmog'i geometriyasi va NRTK tuzatmalarining GNSS yechimlariga ta'siri," Geodesy and Territory, 2021: 56–69. https://doi.org/10.21163/GT_2021.163.05
4	R. Dach et al., "Bernese GNSS Software Version 5.2," University of Bern, 2024. https://doi.org/10.7892/BORIS.72297	R. Dach va boshq., "Bernese GNSS dasturi 5.2 versiyasi," Bern universiteti, 2024. https://doi.org/10.7892/BORIS.72297
5	B. Zhang, Y. Yuan, Y. Chai, "QIF-based GPS Long-Baseline Ambiguity Resolution," J. Navigation 69(2016): 1278–1292. https://doi.org/10.1017/S037346331600028X	B. Zhang va boshq., "QIF asosida uzoq bazali GPS aniqliklarini hal qilish," J. Navigation 69(2016): 1278–1292. https://doi.org/10.1017/S037346331600028X
6	S. Beer, L. Wanninger, A. Heßelbarth, "Estimation of Absolute GNSS Antenna Group Delay Variations," GPS Solutions 25(2021): 110. https://doi.org/10.1007/s10291-021-01137-8	S. Beer, L. Wanninger, A. Heßelbarth, "GNSS antenna kechikish variatsiyalarini baholash," GPS Solutions 25(2021): 110. https://doi.org/10.1007/s10291-021-01137-8
7	B. Cui, J. Wang, P. Li, M. Ge, H. Schuh, "Modeling Wide-Area Tropospheric Delay Corrections for Fast PPP," GPS Solutions 26(2022): 56. https://doi.org/10.1007/s10291-022-01243-1	B. Cui va boshq., "Keng hududli troposfera tuzatmalarini modellash," GPS Solutions 26(2022): 56. https://doi.org/10.1007/s10291-022-01243-1
8	J. Skibicki et al., "A Multi-Receiver GNSS System Geometry Control Algorithm in Railway Track Axis Positioning," Remote Sensing 17(2025): 2461. https://doi.org/10.3390/rs17142461	J. Skibicki va boshq., "Temir yo'l o'qini aniqlash uchun ko'p qabul qiluvchi GNSS tizimi algoritmi," Remote Sensing 17(2025): 2461. https://doi.org/10.3390/rs17142461
9	F. Fazilova, B. Tursunov, B. Norkulov, "Assessment of GNSS-based CORS Development in Central Asia," Surveying and Land Information Science 80(2021): 105–113. https://doi.org/10.1080/15350313.2021.1914563	F. Fazilova, B. Tursunov, B. Norkulov, "Markaziy Osiyoda GNSS asosidagi CORS tarmog'ining rivojlanishini baholash," Surveying and Land Information Science, 80(2021): 105–113. https://doi.org/10.1080/15350313.2021.1914563

10	Z. Altamimi, P. Rebischung, L. Métivier, X. Collilieux, "ITRF2014: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame," JGR Solid Earth 121(2016): 6109–6131. https://doi.org/10.1002/2016JB013098	Z. Altamimi va boshq., "ITRF2014: Xalqaro Yer koordinata tizimining yangi versiyasi," JGR Solid Earth, 121(2016): 6109–6131. https://doi.org/10.1002/2016JB013098
11	M. Elsheikh et al., "The Implementation of Precise Point Positioning (PPP): A Comprehensive Review," Sensors 23(2023): 8874. https://doi.org/10.3390/s23218874	M. Elsheikh va boshq., "Aniq nuqta joylashuvi (PPP) texnologiyasining keng qamrovli tahlili," Sensors 23(2023): 8874. https://doi.org/10.3390/s23218874
12	A. Tupek et al., "GNSS Receiver Antenna Absolute Field Calibration System Development," Remote Sensing 15(2023): 4622. https://doi.org/10.3390/rs15184622	A. Tupek va boshq., "GNSS antenna kalibrlash tizimini ishlab chiqish," Remote Sensing 15(2023): 4622. https://doi.org/10.3390/rs15184622
13	C. Lu et al., "Tropospheric Delay Parameters from Numerical Weather Models for Multi-GNSS," Atmos. Meas. Tech. 9(2016): 5965–5973. https://doi.org/10.5194/amt-9-5965-2016	C. Lu va boshq., "Ko'p GNSS tizimlari uchun troposfera kechikish parametrlari," Atmos. Meas. Tech. 9(2016): 5965–5973. https://doi.org/10.5194/amt-9-5965-2016
14	F. Fazilova, B. Norkulov, B. Tursunov, "Modernization of the National Geodetic Network in Uzbekistan Using GNSS," Geoinformatics Journal 15(2021): 67–74.	F. Fazilova, B. Norkulov, B. Tursunov, "O'zbekistonda GNSS texnologiyalari asosida milliy geodezik tarmoqni modernizatsiya qilish," Geoinformatika jurnali 15(2021): 67–74.
15	R. Zhou et al., "Absolute Field Calibration of Receiver Antenna Phase Center Models for GPS/BDS-3," J. Geodesy 97(2023): 83. https://doi.org/10.1007/s00190-023-01773-7	R. Zhou va boshq., "GPS/BDS-3 signallari uchun antenna faza markazini kalibrlash," J. Geodesy 97(2023): 83. https://doi.org/10.1007/s00190-023-01773-7
16	D. Fazilova, H. Magdiev, L. Sichugova, "GNSS Network of Uzbekistan: Achievements, Prospects and Challenges," EGU sphere (2021). https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-842	D. Fazilova va boshq., "O'zbekiston GNSS tarmog'i: yutuqlar va istiqbollar," EGU sphere (2021). https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-842
17	D.Sh. Fazilova et al., "Development of the Geocentric Coordinate System of Uzbekistan," Proc. Inst. Appl. Astron. RAS (2021): 19–25. https://doi.org/10.32876/AplAstron.59.19-25	D.Sh. Fazilova va boshq., "O'zbekiston geotsentrik koordinata tizimini rivojlantirish," Ros-siya FA Amaliy Astronomiya Instituti to'plami, (2021): 19–25. https://doi.org/10.32876/AplAstron.59.19-25
18	W. Huang et al., "Estimation of GPS Transmitter Antenna Phase Center Offsets by Integrating Space-Based Observations," Adv. Space Res. 69(2022): 2682–2696. https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.01.004	W. Huang va boshq., "Kosmik kuzatuvlar asosida GPS antenna faza markazlarini aniqlash," Adv. Space Res. 69(2022): 2682–2696. https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.01.004
19	S. Bulbul, B. Bilgen, C. Inal, "Performance Assessment of Precise Point Positioning under Various Observation Conditions," Measurement 171(2021): 108780. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108780	S. Bulbul va boshq., "Turli sharoitlarda PPP texnologiyasining ishlashini baholash," Measurement 171(2021): 108780. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108780
20	S. Jin, X. Meng, G. Dardanelli, Y. Zhu, "Multi-GNSS for Earth Observation: Recent Developments and Progress," Remote Sensing 16(2024): 4800. https://doi.org/10.3390/rs16244800	S. Jin va boshq., "Yer kuzatuvlarida ko'p GNSS tizimlarining yangi yutuqlari," Remote Sensing 16(2024): 4800. https://doi.org/10.3390/rs16244800

Кириш. Ҳозирги кунда қишлоқ хўжалигида сув ресурсларидан оқилона фойдаланиш, айниқса сув танқислиги шароитида илмий-тадқиқотларнинг долзарб йўналишларидан бири ҳисобланади [1]. Глобал иқлим ўзгариши ҳамда антропоген омиллар таъсирида қишлоқ хўжалигида сув ресурсларининг чекланиб бориши суғориш жараёнларига нисбатан янги ёндашувларни талаб этмоқда [2]. Шу нуқтаи назардан, ёмғирлатиб суғориш тизимлари сув сарфини камайтириш, тупроқнинг агрофизик хусусиятларини сақлаш ва экинларнинг барқарор ўсишини таъминлашда муҳим аҳамият касб этади [3, 4].

Пахта етиштиришда тупроқ намлигининг ҳудудий ва вақт бўйича ўзгаришини ўрганиш ҳамда суғориш жараёнини илмий асосда бошқариш асосий мезонлардан бири ҳисобланади [5, 6]. Тупроқнинг турли қатламларида намлик миқдорининг динамикаси ўсимлик илдиз тизимининг ривожланиши, озуқа элементларининг ўзлаштирилиши ва ҳосилдорлик кўрсаткичларига бевосита таъсир кўрсатади [7, 8, 9]. Шу боис, тупроқ намлигини доимий мониторинг қилиш ва унинг ўзгариш қонуниятларини аниқлаш пахта етиштиришда юқори самарадорликка эришишнинг муҳим шарти саналади [10, 11, 12].

Ёмғирлатиб суғориш тизими жорий этилган ҳолда дала шароитида тупроқ намлигини барқарор сақлаш, суғориш суви сарфини камайтириш ҳамда сув ресурсларидан самарали фойдаланиш имконини беради [13, 14,

15]. Бироқ, тупроқ намлигининг 0,6 м. гача бўлган чуқурликда ҳудудий ва вақт бўйича ўзгариш қонуниятлари етарли даражада ўрганилмаган. Шу боис, тупроқ намлигини аниқ ва мақбул даражада таъминлайдиган суғориш меъёрларини ишлаб чиқиш ва амалиётда самарали қўллаш масаласи ҳануз илмий жиҳатдан долзарб аҳамиятга эга.

Адабиётлар шарҳи. Ёмғирлатиб суғориш тизимлари ва тупроқ намлиги динамикаси бўйича кўплаб тадқиқотлар олиб борилган. Халқаро тадқиқотларда IoT ва автоматлаштирилган мониторинг тизимлари (Abo-Zahhad, 2023; Raheja ва бошқ., 2025) тупроқ намлигини реал вақтда ўлчаш ва сув сарфини камайтиришда самарали экани таъкидланган [16, 17, 18]. Шунингдек, Орлов ва Захаров (2022), Иванов ва Петров (2019) автоматлаштирилган ёмғирлатиб суғориш тизимлари орқали тупроқ намлиги динамикасини баҳолаш услубларини илмий асосда кўрсатган [19, 20].

Шу сабабли мазкур тадқиқотнинг тадқиқотнинг асосий мақсади, ёмғирлатиб суғориладиган майдонларда тупроқ намлигининг динамикасини илмий жиҳатдан баҳолаш ва шу асосда суғориш режимини мақбуллаштиришдир.

Тажриба материалари ва усуллари. Мазкур тадқиқот Ўрта Чирчиқ туманининг “Соф оқолтин” массивида олиб борилди (1-расм).



1-расм. Тажриба даласининг комик тасвири

Тадқиқот ишлари 2024–2025 йилларда ёмғирлатиб суғориш тизими жорий этилган пахта даласида олиб борилди. Тупроқ намлигининг ҳудудий ҳамда вақт бўйича ўзгаришини баҳолаш мақсадида 0,2, 0,4 ва 0,6 м чуқурликларда мунтазам мониторинг ишлари амалга оширилди. Тажриба даласида суғоришнинг икки хил режими, яъни 70-70-65 ва 65-65-60 вариантлари қўлланилди ҳамда икки хил пахта нави: XinLuZao №78 ва Ravnaq №1 етиштирилди.

Тупроқ намлигини кунлик назорат қилиш учун замонавий автоматлаштирилган WatchDog 1000 Series Irrigation Station тензометр қурилмасидан фойдаланилди (2-расм). Ушбу қурилма орқали тупроқдаги намлик миқдори доимий равишда назорат қилинди ва суғориш сувининг тарқалиши, шунингдек, юқори ва пастки қатламлардаги намлик динамикаси аниқланди. Ҳар бир мониторинг нуқтаси GPS координатлари билан белгиланди, бу ҳудудий таҳлил ва карталаштириш имконини берди.



2-расм. WatchDog 1000 тензометр қурилмаси ва у орқали тупроқ намлигини назорат қилиш жараёни

Ушбу тензометрлардан олинган кунлик маълумотлар статистик таҳлил учун дастлаб Excel дастурига киритилди. Ҳар бир мониторинг нуқтаси бўйича тупроқ намлиги қийматлари GIS технологиялари ёрдамида ҳудудий тақсимланиш билан визуаллаштирилди, шу орқали намлик динамикаси ва суғориш сувининг тарқалиши таҳлил қилинди.

Таҳлил ва натижалар. Тадқиқот натижалари 2024–2025 йиллар давомида ёмғирлатиб суғориш шароитида тупроқ намлигининг ҳудудий ва вақт бўйича ўзгаришида муайян қонуниятлар мавжудлигини кўрсатди. Кунлик мониторинг маълумотлари асосида 0,2, 0,4 ва 0,6 м чуқурликларда намлик динамикаси таҳлил қилинди.

Дала тажрибалари 2024 йилги пахта экини учун қўлланилган 65-65-60 суғориш режими шароитида тупроқ намлигининг вегетация давридаги динамикаси ЧДНС 19,67% (100%) га нисбатан баҳоланди. Мазкур режимга мувофиқ пахта экинига жами 6 марта суғориш берилди ва намлик кўрсаткичлари 0–0,6 м илдиз қатлами бўйича таҳлил қилинди.

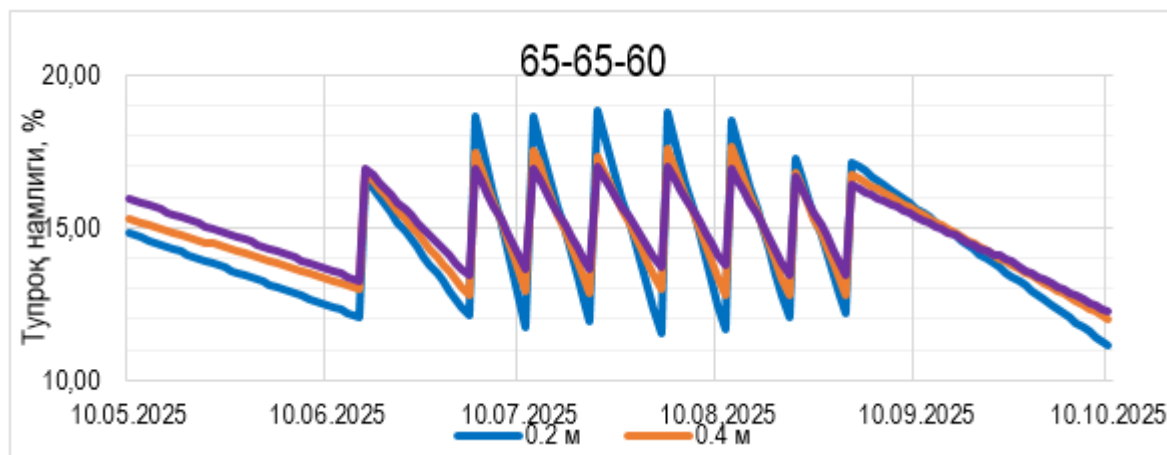
Суғоришдан олдин 0–0,2 м қатламда тупроқ намлиги 12–14 фоизни ташкил этиб, бу ЧДНСга нисбатан 61–71%

даражани кўрсатди. 0,2–0,4 ва 0,4–0,6 м қатламларда намлик мос равишда 13–16% (66–81%) оралиғида қайд этилди. Бу ҳолат юқори қатламда намлик сарфи жадал кечишини, пастки қатламларда эса намлик захираси нисбатан барқарор сақланишини кўрсатади.

Далага 3600–4050 м³/га меъёрда амалга оширилган 6-мартаги суғоришлардан сўнг 0–0,2 м қатламда намлик 16–17 фоизгача, яъни ЧДНСнинг 81–86% даражасига етди. 0,2–0,4 ва 0,4–0,6 м қатламларда ушбу кўрсаткич 15–16% (76–81%)ни ташкил этди. Бу натижалар суғориш сувининг илдиз қатлами бўйлаб етарли чуқурликкача синггани ҳамда намликнинг нисбатан бир текис тақсимланганини тасдиқлайди.

Суғоришлар орасида тупроқ намлиги босқичма-босқич камайиб борди. Энг юқори пасайиш суръати 0–0,2 м қатламда кузатилиб, бу ерда буғланиш ва транспирация жараёнлари таъсири кучли намоён бўлди. 0,2–0,4 ва 0,4–0,6 м қатламларда эса намлик ўзгариши нисбатан секин кечди.

Шундай қилиб, 65-65-60 суғориш режимида тупроқ намлиги вегетация даври мобайнида ЧДНСга нисбатан ўртача 61–86% интервалда ўзгариб тургани аниқланди (3-расм).



3-расм. 65-65-60 суғориш режимида 0,2, 0,4 ва 0,6 м қатламларда тупроқ намлигининг кунлик ўзгариши (2024 й.)

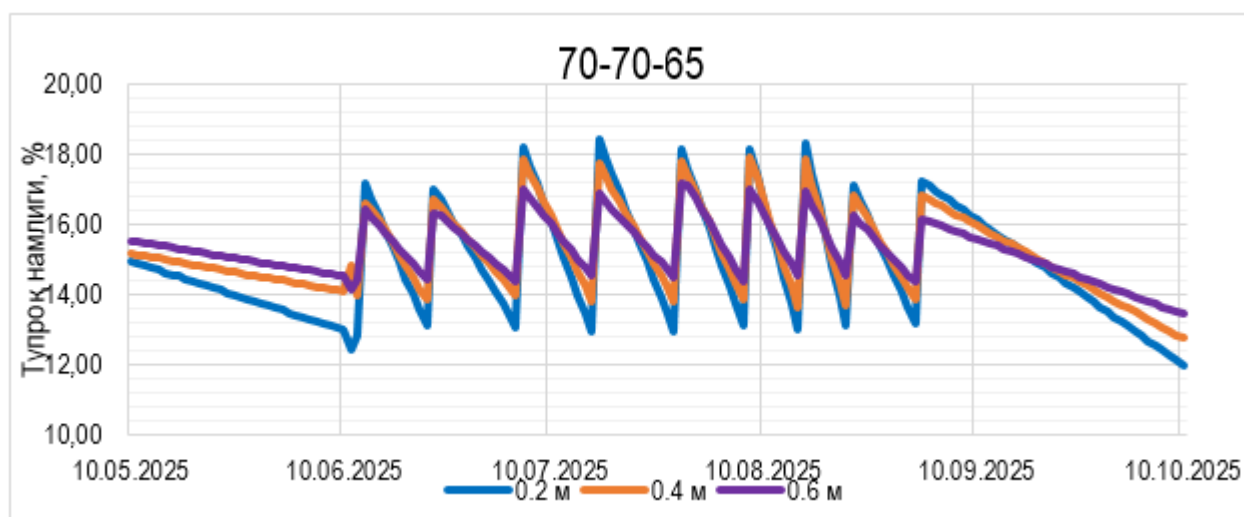
70-70-65 суғориш режимида тупроқ намлигининг вақт бўйича динамикаси чегаравий намлик сиғими (ЧДНС 19,67% (100%)га нисбатан баҳоланди. Олинган натижалар суғориш олдида намлик кўрсаткичлари профил бўйича табақалашган ҳолда шакланганини кўрсатди: 0–0,2 м қатламда 14–16% (71–81% ЧДНСга нисбатан), 0,2–0,4 м қатламда 13–15% (66–76% ЧДНС) ва 0,4–0,6 м қатламда 14–15% (71–76% ЧДНСга нисбатан) оралиғида қайд этилди. Юқори қатламда намликнинг нисбатан паст бўлиши бу ерда буғланиш ва ўсимлик илдизлари томонидан сув истеъмолининг юқорилиги билан изоҳланади.

Пахта даласига 3500–3900 м³/га меъёрда амалга оширилган суғоришлардан сўнг тупроқда намлик миқдори сезиларли даражада ошди. Жумладан, 0–0,2 м қатламда 17–18% (86–91% ЧДНСга нисбатан), 0,2–0,4 м қатламда 16–17% (81–86% ЧДНСга нисбатан), 0,4–0,6 м қатламда эса 15–16% (76–81% ЧДНСга нисбатан) кўрсаткичларига етди. Бу ҳолат суғориш сувининг 0,6 м чуқурликкача самарали сингишини ва намлик захирасининг шаклан-

ганини кўрсатади.

Вегетация даври мобайнида намликнинг камайиши босқичма-босқич характер касб этди. Энг тез пасайиш 0–0,2 м қатламда кузатилиб, бу ердаги намлик динамикаси ташқи муҳит омилларига нисбатан юқори сезгирликни намоён этди. 0,4–0,6 м қатламда эса намлик ўзгариши нисбатан барқарор бўлиб, сув режими мувозанатлашган ҳолда сақланди.

Умуман олганда, 70-70-65 суғориш режими шароитида тупроқ намлиги вегетация даврида ЧДНСга нисбатан 66–91% интервалда ўзгариб, 0,6 м. гача бўлган илдиз фаол қатламида етарли ва барқарор намлик режими таъминланди. Таъкидлаш лозимки, 70-70-65 суғориш режимида 65-65-60 вариантга нисбатан суғоришлар оралиғида намликнинг чегара қиймати юқориноқ даражада белгиланган бўлиб, амалда суғориш суви меъёри камроқ қўлланилган. Шу сабабли ушбу режимда умумий сув сарфи қисқарган ҳолда тупроқ намлигининг мақбул даражада сақланиши таъминланган (4-расм).



4-расм. 70-70-65 суғориш режимида 0,2, 0,4 ва 0,6 м қатламларда тупроқ намлигининг кунлик ўзгариши (2024 й.)

Тадқиқотнинг иккинчи йили – 2025 йилда вегетация даври мобайнида 65-65-60 суғориш режими асосида дала майдонида жами 8 марта ёмғирлатиб суғориш амалга оширилди. Тупроқ чегаравий дала намлик сиғими (ЧДНС 17,32 %, (100%)га нисбатан баҳоланди.

Вегетация бошида 0,2 м қатламда тупроқ намлиги 10–12 фоизни ташкил этиб, бу ЧДНСга нисбатан 58–69 фоизга тенг бўлди. 0,4 м қатламда мазкур кўрсаткич 11–13% (63–75% ЧДНСга нисбатан), 0,6 м қатламда эса 12–13% (69–75% ЧДНСга нисбатан) оралиғида қайд этилди.

Суғоришдан сўнг 3700 м³/га меъёрда тупроқ намлиги 81–84% ЧДНСгача, 4300 м³/га меъёрда эса 86–89% ЧДНСгача ошгани кузатилди. Суғоришлар оралиғида юқори, яъни 0–0,2 м қатламда намлик 58–60% ЧДНСгача пасайган бўлса, 0,6 м қатламда намлик тахминан 70% ЧДНС атрофида нисбатан барқарор сақланган.

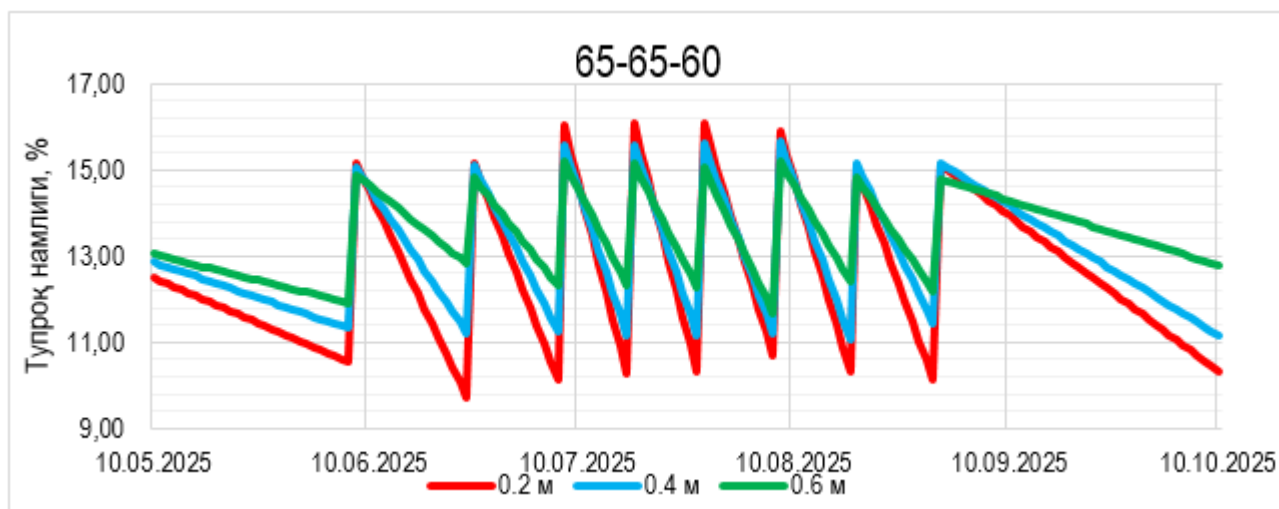
Демак, вегетация даврида тупроқ намлиги 58–89% ЧДНС интервалида ўзгариб, намлик динамикаси қатламлар кесимида фарқланган ҳолда намоён бўлди: юқори қатламда намлик сарфи жадал кечган, қуйи қатламларда

эса нисбатан барқарорлик кузатилган (5-расм).

Вегетация даврида тажрибанинг иккинчи варианти – 70-70-65 суғориш режимида дала майдонида жами 10 марта ёмғирлатиб суғориш амалга оширилди. Тупроқ намлиги кўрсаткичлари чегаравий нам сиғими (ЧДНС)га нисбатан баҳоланди.

Суғоришлардан олдин тупроқ намлиги 0–0,2 м қатламда 13–14 фоизни ташкил этиб, бу 75–80% ЧДНСга тенг бўлди. 0,2–0,4 м қатламда мазкур кўрсаткич 12–13% (69–75 % ЧДНСга нисбатан), 0,4–0,6 м қатламда эса 11–13% (63–75% ЧДНСга нисбатан) оралиғида қайд этилди. Бу ҳолат суғориш олдида тупроқ профилида намликнинг нисбатан юқори ва барқарор даражада сақланганини кўрсатади.

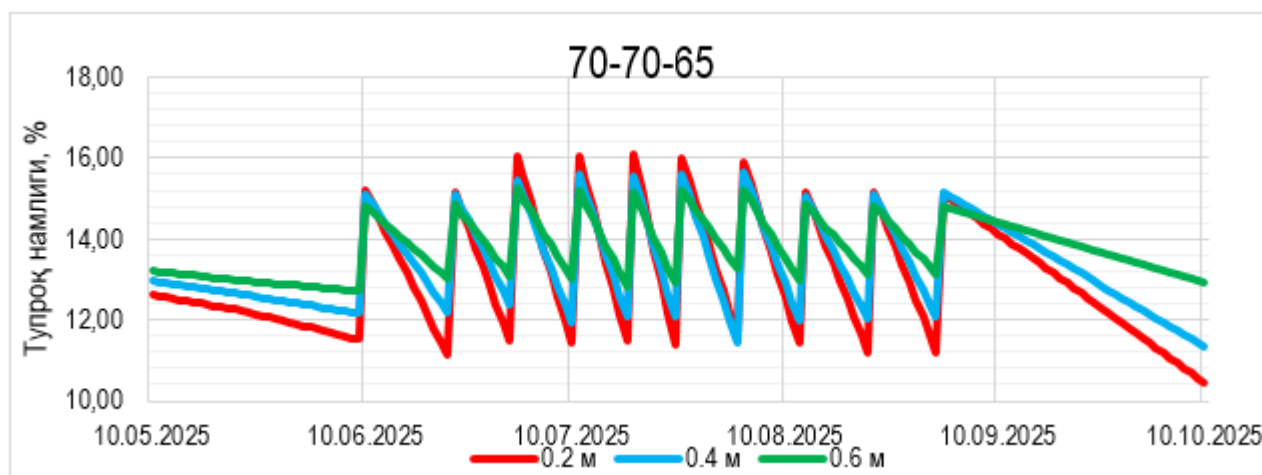
Суғоришдан сўнг 3000 м³/га меъёрда намлик 15–16% (86–92% ЧДНСга нисбатан), 3600 м³/га меъёрда эса 14–15% (80–86% ЧДНСга нисбатан)гача ошди. Мазкур натижалар ёмғирлатиб суғориш шароитида намликнинг тупроқ профили бўйлаб самарали тақсимлангани ва тўйинганлик даражаси юқори бўлганини тасдиқлайди.



5-расм. 65-65-60 суғориш режимида 0,2, 0,4 ва 0,6 м қатламларда тупроқ намлигининг кунлик ўзгариши (2025 й.)

Суғоришлар оралиғида 0–0,2 м қатламда намлик 11–12% (63–69% ЧДНС)гача пасайгани кузатилди. Шу билан бирга, 0,2–0,4 м қатламда намлик 12–13% (69–75% ЧДНСга нисбатан) атрофида, 0,4–0,6 м қатламда эса 13–14% (75–80% ЧДНСга нисбатан) доирасида нисбатан барқарор сақланди.

Вегетация даврида тупроқ намлиги 63–92% ЧДНС интервалида ўзгариб, қатламлар кесимида фарқли динамика намоён этди: юқори 0–0,2 м қатламда намлик сарфи жадал кечган бўлса, 0,4–0,6 м қатламда намлик нисбатан барқарор сақланган (6-расм).



6-расм. 70-70-65 суғориш режимида 0,2, 0,4 ва 0,6 м қатламларда тупроқ намлигининг кунлик ўзгариши (2025 й.)

2024–2025 йиллар давомида ёмғирлатиб суғориш шароитида олиб борилган кузатишлар тупроқ намлигининг вақт ва чуқурлик бўйича ўзгаришида барқарор қонуниятлар мавжудлигини тасдиқлади. Ҳар икки йилда ҳам намлик динамикаси 0–0,2 м қатламда энг юқори ўзгарувчанликни, 0,4–0,6 м қатламда эса нисбатан барқарорлиқни намоён этди.

Ёмғирлатиб суғориладиган пахта майдонида тупроқ

намлиги 0–0,6 м илдиз қатламида замонавий WatchDog 1000 Series Irrigation Station тензометрлари орқали кундалик мониторинг қилинди. Ўлчанган маълумотлар GIS/RS технологиялари орқали таҳлил қилинди, бу даладаги намликнинг ҳудудий тақсимооти ва кунлик ўзгаришини визуаллаштириш ҳамда сув режимини аниқ назорат қилиш имконини берди. Натижалар 7-расмда рангли шкала орқали намликнинг юқори ва паст зоналари кўрсатилган.



7-расм. Пахта даласи майдонида тупроқ намлигининг ҳудудий тақсимои

Юқоридаги расмда дала майдонида тупроқ намлигининг ҳудудий тақсимои акс эттирилган. Юқори индекс қийматлари (0,25–0,40) ўсимликлар яхши ривожланган ва намлик етарли бўлган ҳудудларни, паст қийматлар (0,06–0,17) эса ўсимлик қоплами сийрак ёки намлик кам бўлган участкаларни ифодалайди. Бу маълумотлар дала майдонида намлик ва ўсимлик ҳолатининг ҳудудий фарқларини баҳолаш имконини беради.

Олинган маълумотлар асосида намлик кам ёки ортиқча бўлган участкаларни аниқлаш, шунингдек суғориш режими ва сув сарфини мақбуллаштириш мумкин. Бу орқали даладаги намлик ўзгариши ва ҳудудий тақсимотини аниқ таҳлил қилиш имкони яратилади.

Хулоса. Олиб борилган тадқиқот асосида қуйидаги илмий натижаларга эришилди:

- ёмғирлатиб суғориш шароитида тупроқ намлигининг 0–0,6 м илдиз қатлами бўйича вақт ва чуқурлик кесимида ўзгариши қонуниятли характерга эга эканлиги аниқланди; энг юқори ўзгарувчанлик 0–0,2 м қатламда, нисба-

тан барқарор ҳолат эса 0,4–0,6 м қатламда кузатилди.

- 65-65-60 ва 70-70-65 суғориш режимлари шароитида тупроқ намлиги ЧДНСга нисбатан мақбул интервалда шаклланди, бунда 65-65-60 режими сув тежамкор (дефицит) шароитни таъминлаган ҳолда намликнинг минимал чегара қийматларида сақланишини кўрсатди, 70-70-65 режимида эса намликнинг нисбатан барқарор ва юқориқ даражада таъминланиши кузатилди.

- замонавий WatchDog 1000 Series Irrigation Station тензометрлари орқали кундалик мониторинг қилиш тупроқ профили бўйлаб намлик динамикасини аниқ баҳолаш имконини берди ва суғориш сувининг илдиз қатламида самарали тақсимланишини тасдиқлади.

- GIS/RS технологиялари асосида тупроқ намлигининг кунлик ҳудудий тақсимот харитаси шакллантирилди. Мазкур хариталар орқали дала майдонининг алоҳида нукталарида тупроқ намлигининг вақт бўйича ўзгаришини визуал кузатиш ва таҳлил қилиш имконияти яратилди.

№	Adabiyotlar	References
1	Фатхуллоев А.М., Исаев С.Х., Қорабоев А.Ж., Юлдашев А.А. Ғўзанинг “Наманган-77” навини ёмғирлатиб суғориш тажрибаси // “Агро процессинг” журнали. – Тошкент, 2023. – №4 (5). – Б. 37-42.	Fatkhulloev A.M., Isayev S.Kh., Koraboev A.J., Yuldashev A.A. Experience of sprinkler irrigation of cotton variety “Namangan-77”. Agro Processing Journal, №4 (5), 2023, pp. 37-42.
2	Ҳамидов М.Х., Муратов А.Р. Сув ресурсларидан самарали фойдаланишда ёмғирлатиб суғориш усули ва машинасининг аҳамияти // “Ирригация ва мелиорация” журнали. – Тошкент, 2020. – №4 (22). – Б. 7-11.	Hamidov M.Kh., Muratov A.R. The importance of sprinkler irrigation method and machine for efficient use of water resources. Irrigation and Melioration Journal, №4 (22), 2020, pp. 7-11.
3	Муратов А.Р., Юсупов О.Қ. Суғориш режими ва гидрологик шароитларнинг тупроқ намлиги динамикасига таъсири // “Ирригация ва мелиорация журналы”. – Тошкент, 2022. – №3 (25). – Б. 27-33.	Muratov A.R., Yusupov O.Q. Effect of irrigation regime and hydrological conditions on soil moisture dynamics. Irrigation and Melioration Journal, №3 (25), 2022, pp. 27-33.

4	Abo-Zahhad, M.M. IoT-Based Automated Management Irrigation System Using Soil Moisture Data and Weather Forecasting Adopting Machine Learning Technique. Sohag Engineering Journal, Vol. 3, Issue 2, 2023, pp. 122-140.	Abo-Zahhad, M.M. IoT-Based Automated Management Irrigation System Using Soil Moisture Data and Weather Forecasting Adopting Machine Learning Technique. Sohag Engineering Journal, Vol. 3, Issue 2, 2023, pp. 122-140.
5	Raheja, A., Sharda, R., Garg, S., Kaur, S., Das, S., & Choudhary, O.P. Designing and field calibration of low-cost microcontroller-based soil moisture sensor for subsurface drip-irrigation system. Scientific Reports, Vol. 15, Article 35948 (2025)	Raheja, A., Sharda, R., Garg, S., Kaur, S., Das, S., & Choudhary, O.P. Designing and field calibration of low-cost microcontroller-based soil moisture sensor for subsurface drip-irrigation system. Scientific Reports, Vol. 15, Article 35948 (2025)
6	Фатхуллоев А.М., Ҳамроқулов Ж.С. Дарё ва суғориш усуллари таъсирини ҳисобга олган ҳолда ер ости сувлари сатҳининг ўзгаришини баҳолаш // “AGRO ILM” журналі. – Тошкент, 2024. – №3 (111). – Б. 100-101.	Фатхуллоев А.М., Ҳамроқулов Ж.С. Дарё ва суғориш усуллари таъсирини ҳисобга олган ҳолда ер ости сувлари сатҳининг ўзгаришини баҳолаш // “AGRO ILM” журналі. – Тошкент, 2024. – №3 (111). – Б. 100-101.
7	Орлов А.П., Захаров М.Е. Автоматизированные системы контроля влажности почвы в орошаемом земледелии // Журнал “Информационные технологии в сельском хозяйстве”. – Москва, 2022. – №3. – С. 24-29.	Орлов А.П., Захаров М.Е. Автоматизированные системы контроля влажности почвы в орошаемом земледелии // Журнал “Информационные технологии в сельском хозяйстве”. – Москва, 2022. – №3. – С. 24-29.
8	Иванов С.В., Петров А.Н. Оценка динамики влажности почвы при автоматизированном поливе методом дождевания // Журнал “Водное хозяйство России”. – Екатеринбург, 2019. – №4. – С. 45-50.	Ivanov S.V., Petrov A.N. Assessment of soil moisture dynamics under automated sprinkler irrigation. Water Management of Russia Journal. Ekaterinburg. 2019 №4, pp. 45-50.
9	Фатхуллоев А.М., Ҳамроқулов Ж.С. Ер ости сувлари режимининг ўзгаришини мобил иловалар ёрдамида мониторинг қилишни ташкил этиш // Актуальные проблемы наук о Земле: материалы республиканской научной конференции / Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека. – Ташкент, 2024. – Т. 1. – С. 189-191.	Fatkhuллоев А.М., Hamroqulov J.S. Organizing Monitoring of Groundwater Regime Changes Using Mobile Applications // Actual Problems of Earth Sciences: Proceedings of the Republican Scientific Conference / National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek. - Tashkent, 2024. - Vol. 1, Section 3. - P. 189-191.
10	Yang, J., Zhu, G., Li, R. et al. Moisture storage, transport and mixing processes after sprinkler irrigation of pasture cropland: Understanding based on water isotopes. EGU sphere preprint, 2025. - Investigates soil moisture isotope behavior and return to pre-irrigation state after sprinkler irrigation.	Yang, J., Zhu, G., Li, R. et al. Moisture storage, transport and mixing processes after sprinkler irrigation of pasture cropland: Understanding based on water isotopes. EGU sphere preprint, 2025. - Investigates soil moisture isotope behavior and return to pre-irrigation state after sprinkler irrigation.
11	Su et al. (2025) Analysis of Sprinkler Irrigation Uniformity via Multispectral Data from RPAs. AGU / MDPI Journal - Uses remote sensing to assess soil moisture decline after sprinkler irrigation. (2023) Evaluating soil water movement and soil water content uniformity under sprinkler irrigation. Journal of Hydrology, 626:130356. - Simulation and experimental study of moisture distribution patterns by sprinkler systems.	Su et al. (2025) Analysis of Sprinkler Irrigation Uniformity via Multispectral Data from RPAs. AGU / MDPI Journal - Uses remote sensing to assess soil moisture decline after sprinkler irrigation. (2023) Evaluating soil water movement and soil water content uniformity under sprinkler irrigation. Journal of Hydrology, 626:130356. - Simulation and experimental study of moisture distribution patterns by sprinkler systems.
12	Zhang, J. et al. Sustainable irrigation based on co-regulation of soil water supply... Nature Communications, 12:2021. - Although broader irrigation management, includes insights on soil moisture regulation relevant to sprinkler systems.	Zhang, J. et al. Sustainable irrigation based on co-regulation of soil water supply... Nature Communications, 12:2021. - Although broader irrigation management, includes insights on soil moisture regulation relevant to sprinkler systems.

13	Simionesei, L., Ramos, T.B., Brito, D. et al. Numerical Simulation of Soil Water Dynamics under Stationary Sprinkler Irrigation. <i>Irrigation and Drainage</i> , 65(1), 2016. - 3D modeling of soil moisture dynamics under sprinkler irrigation.	Simionesei, L., Ramos, T.B., Brito, D. et al. Numerical Simulation of Soil Water Dynamics under Stationary Sprinkler Irrigation. <i>Irrigation and Drainage</i> , 65(1), 2016. - 3D modeling of soil moisture dynamics under sprinkler irrigation.
14	Kelley, W.R. Field Estimation of Soil Moisture Content: A Practical Guide... - textbook covering methods for soil moisture measurement and interpretation (soil physics and sensors).	Kelley, W.R. Field Estimation of Soil Moisture Content: A Practical Guide... - textbook covering methods for soil moisture measurement and interpretation (soil physics and sensors).
15	Robinson, D.A., et al. (soils moisture measurement methods) - Comprehensive review on field measurement of soil moisture using sensors and techniques used in irrigation studies.	Robinson, D.A., et al. (soils moisture measurement methods) - Comprehensive review on field measurement of soil moisture using sensors and techniques used in irrigation studies.
16	Зейлигер А.М., Ермолаева О.С., Пчелкин В.В. Оценка эффективности орошения путём совмещения дистанционного зондирования и наземных данных: случай дождевального орошения люцерны в Приволжском Заволжье (Россия). <i>Sensors</i> , 2023, № 23(5): 2601	Zeiliger A.M., Ermolaeva O.S., Pchelkin V.V. Assessment of Irrigation Efficiency by Combining Remote Sensing and Ground-Based Data: Case of Sprinkler Irrigation of Alfalfa in the Volga Zavolzhye (Russia). <i>Sensors</i> , 2023, Vol. 23(5), 2601.
17	Яланский Д.В. Водный режим минеральных почв и его регулирование при орошении дождеванием сенокосно-пастбищной травосмеси (автореферат, ВАК РФ 06.01.02, 2022)	Yalansky D.V. Water Regime of Mineral Soils and Its Regulation under Sprinkler Irrigation of Hay-Pasture Mixtures (Author's Abstract, VAK RF 06.01.02, 2022).
18	Пчелкин В.В., Никитина М.А. Обоснование режима влажности дерново-подзолистой почвы при выращивании многолетних трав на орошаемых землях. <i>Природообустройство</i> , 2020.	Pchelkin V.V., Nikitina M.A. Justification of Soil Moisture Regime of Sod-Podzolic Soil during Cultivation of Perennial Grasses on Irrigated Lands. <i>Prirodoobustroystvo</i> , 2020.
19	Рязантsev А., Антипов А., Евсеев Е., Малько И. Методология оценки взаимодействия работающих дождевальных систем с переувлажнённой почвой. <i>International Agricultural Journal</i> , 2026	Ryazantsev A., Antipov A., Evseev E., Malko I. Methodology for Evaluating the Interaction of Operating Sprinkler Systems with Waterlogged Soils. <i>International Agricultural Journal</i> , 2026.
20	R. Chen, L. Li, T. Wang, G. Guo & X. Xiang. Evaluating soil water movement and soil water content uniformity under sprinkler irrigation with different soil texture and irrigation uniformity using numerical simulation. <i>Journal of Hydrology</i> , Volume 626, 130356 (2023).	R. Chen, L. Li, T. Wang, G. Guo & X. Xiang. Evaluating soil water movement and soil water content uniformity under sprinkler irrigation with different soil texture and irrigation uniformity using numerical simulation. <i>Journal of Hydrology</i> , Volume 626, 130356 (2023).

УЎТ: 631.527:631.58

ЎТЛОҚИ БЎЗ ТУПРОҚЛАР ШАРОИТИДА МАРКАЗИЙ ПИВОТ ВА ТОМЧИЛАТИБ СУҒОРИШ ТИЗИМЛАРИНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ БАҲОЛАШ

А.Фатхуллоев – т.ф.д., профессор, Д.Абдураимова – PhD, доцент,
Ж.Хамроқулов – PhD, ассистент, М.Отахонов – PhD, доцент,
А.Гафарова – PhD, катта ўқитувчи, С.Меликузиев – PhD, катта ўқитувчи,
“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот уни-
верситети.

Аннотация

Мазкур тадқиқотда Тошкент вилоятининг ўтлоқи бўз тупроқлари шароитида марказий пивот ва томчилатиб суғо-
риш технологияларининг турли намлик режимларида ғўза ҳосилдорлиги ва сувдан фойдаланиш самарадорлигига таъ-
сири баҳоланди. Тадқиқот 2×2 факторли схема асосида ташкил этилди. Натижаларга кўра, энг юқори ҳосилдорлик (48
ц/га) ва сувдан фойдаланиш самарадорлиги ($1,43 \text{ кг/м}^3$) марказий пивот суғориш тизимида 70-70-65% намлик режи-
мида XinLuZao №78 навида қайд этилди. 65-65-60% дефицит режимда мавсумий сув сарфи 7,3 фоизга камайган бўл-
сада, ҳосилдорлик 27 фоизга пасайди. Корреляция таҳлили ҳосилдорлик ва WUE ўртасида кучли мусбат боғлиқликни
($r=0,94$) кўрсатди. Олинган натижалар ўтлоқи бўз тупроқлар шароитида марказий пивот суғориш технологияси юқори
ресурс самарадорлигини таъминлашини кўрсатди.

Калит сўзлар: марказий пивот суғориш, томчилатиб суғориш, ғўза ҳосилдорлиги, сувдан фойдаланиш самардор-
лиги (WUE), намлик режими, сув тежаш, ўтлоқи бўз тупроқ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-ПИВОТНОГО И КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЛУГОВО-СЕРОЗЁМНЫХ ПОЧВ

А.Фатхуллоев – д.т.н., профессор, Д.Абдураимова – PhD, доцент,
Ж.Хамроқулов – PhD, ассистент, М.Отахонов – PhD, доцент,
А.Гафарова – PhD, старший преподаватель, С.Меликузиев – PhD, старший преподаватель,
Национальный исследовательский университет “Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации
сельского хозяйства”

Аннотация

В настоящем исследовании оценено влияние технологий центрально-пивотного и капельного орошения на уро-
жайность хлопчатника и эффективность использования воды в условиях лугово-серозёмных почв Ташкентской об-
ласти при различных режимах влажности. Эксперимент был организован по факторной схеме 2×2 . По результатам
исследований наибольшая урожайность (48 ц/га) и эффективность использования воды ($1,43 \text{ кг/м}^3$) были получены
при центрально-пивотном орошении в режиме влажности 70-70-65% для сорта XinLuZao №78. При дефицитном ре-
жиме 65-65-60% сезонный расход воды снизился на 7,3%, однако урожайность уменьшилась на 27%. Корреляционный
анализ показал сильную положительную связь между урожайностью и WUE ($r=0,94$). Полученные результаты показали,
что в условиях лугово-серозёмных почв технология центрально-пивотного орошения обеспечивает более высокую
эффективность использования ресурсов.

Ключевые слова: пивотное орошение, капельное орошение, урожайность хлопчатника, эффективность использо-
вания воды (WUE), режим влажности почвы, водосбережение, лугово-серозёмные почвы

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF CENTER PIVOT AND DRIP IRRIGATION SYSTEMS UNDER MEADOW SEROZEM SOIL CONDITIONS

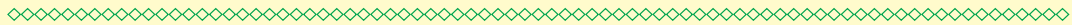
A.Fatkhulloev – Dr. Tech. Sci., Professor, D.Abdurayimova – PhD, Associate Professor,
J.Khamrokulov – PhD, Assistant, M.Otakhonov – PhD, Associate Professor,
A.Gafarova – PhD, Senior Lecturer, S.Melikuziev – PhD, Senior Lecturer,
“Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” National Research University

Abstract

This study evaluates the effects of center pivot and drip irrigation technologies on cotton yield and water use efficiency

under different soil moisture regimes in meadow serozem soils of the Tashkent region. The experiment was conducted using a 2×2 factorial design. The results showed that the highest cotton yield (48 q/ha) and water use efficiency (1.43 kg/m^3) were obtained under center pivot irrigation with a 70-70-65% soil moisture regime for the XinLuZao No.78 variety. Under the deficit irrigation regime (65-65-60%), seasonal water consumption decreased by 7.3%, while yield declined by 27%. Correlation analysis revealed a strong positive relationship between yield and WUE ($r=0.94$). The findings indicate that under meadow serozem soil conditions, center pivot irrigation provides higher resource efficiency. layer in an irrigated field equipped with a sprinkler irrigation system located in the Tashkent region, Uzbekistan. The research was conducted during the growing season of cotton. Daily soil moisture monitoring at depths of 0.2, 0.4, and 0.6 m was carried out using modern WatchDog 1000 tensiometers, which made it possible to determine the characteristics of irrigation water retention and distribution within the soil profile. The experimental data obtained were processed using mathematical and statistical methods. Based on the results, scientifically grounded recommendations were developed for optimizing irrigation rates in cotton fields under sprinkler irrigation conditions and for improving the efficient use of water resources.

Key words. Center pivot irrigation, drip irrigation, cotton yield, water use efficiency (WUE), soil moisture regime, water saving, meadow serozem soils



Кириш ва манбаларга ҳаволалар. Суғорма деҳқончиликда сув ресурсларидан самарали фойдаланиш масаласи XXI аср агросаноатининг устувор йўналишларидан бири ҳисобланади. Халқаро миқёсда суғориш самарадорлиги ошиши ҳар доим ҳам умумий сув истеъмоли камайишига олиб келмаслиги таъкидланиб, “ирригация самарадорлиги парадокси” тушунчаси илгари сурилган [1]. Бу эса суғориш масаласини нафақат техникавий кўрсаткичлар доирасида, балки тизимли, физиологик ва ресурслар бошқаруви нуктаи назаридан баҳолаш зарурлигини кўрсатади.

Суғоришни такомиллаштиришнинг илмий асослари пахтачиликда узоқ тарихга эга. LEPA тизими [2] ҳамда томчилатиб суғориш технологиялари [3] сувни тежаб етказиб бериш имконияти билан ажралиб туради. АҚШнинг Техас штати ярим қуруқ ва чала қўл иқлим шароитида суғориш тизимларининг ривожланиши ва сув сарфини камайтириш имкониятлари таҳлил қилинган тадқиқотлар технология танлови тупроқ-иқлим шароитига бевосита боғлиқ эканлигини кўрсатади [4]. Томчилатиб суғориш тизимида сув тақсимотининг бирхиллигининг ҳосилдорликка таъсири ҳам аниқланган [5].

Суғориш самарадорлигини баҳолашда Water Use Efficiency (WUE) сарф этилган сув бирлигига тўғри келадиган ҳосил миқдориغا интеграл кўрсаткич сифатида қабул қилинган [6]. Дефицит суғориш концепциясига кўра, ўсимликнинг сувга эҳтиёжи юқори бўлган фазаларида мақсадли таъминлаш, кам талабли босқичларда эса чеклаш орқали умумий сув сарфини қисқартириш мумкин [7]. Барқарор изотоплар усули ўсимликлар томонидан турли сув манбаларидан фойдаланиш улушини аниқлаш имконини бериб, ўсимликнинг сувни ўзлаштириш жараёнларини чуқурроқ тушунишга ёрдам беради [8, 9].

Ўзбекистон шароитида суғориш тизимларини модернизация қилиш жараёни фаол кечмоқда. Ёмғирлатиб суғоришнинг сув тежамкорлик имкониятлари ва техник хусусиятлари бир қатор тадқиқотларда ёритилган [10, 11]. Ғўзада ёмғирлатиб суғориш бўйича амалий натижалар ҳам эълон қилинган [12, 13]. Томчилатиб суғориш бўйича мавжуд тадқиқотлар таҳлили эса мазкур технологиянинг агротехник самарадорлигини баҳолашга қаратилган [14, 15]. Шунингдек, суғорма деҳқончиликда сувдан фойдаланиш самарадорлигини оширишга оид тадқиқотлар ҳудудий миқёсда ўтказилган.

Бироқ мавжуд тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатадики, Ўзбекистон шароитида марказий пивот суғориш тизимини турли ғўза навлари ва суғориш режимлари билан уйғун ҳолда комплекс баҳоловчи тадқиқотлар етарли

даражада эмас. Кўп ҳолларда технология самарадорлиги алоҳида кўриб чиқилган бўлиб, тупроқ-иқлим хусусиятлари, сизот сувлар таъсири ва нав физиологияси билан интеграция даражаси чекланган.

Шу муносабат билан мазкур тадқиқотнинг долзарблиги замонавий суғориш технологияларининг (пивот ва томчилатиб) маҳаллий тупроқ-иқлим шароитида турли ғўза навларида сувдан фойдаланиш самарадорлиги ва ҳосилдорликка таъсирини комплекс баҳолашдан иборат бўлиб, суғориш тизими ва суғориш режими ўртасидаги ўзаро боғлиқликни аниқлаш ҳамда ўтлоқи бўз тупроқлар шароити учун илмий асосланган тавсиялар ишлаб чиқишдир.

Ечиш усули (усулблари). Суғориш самарадорлиги мавзусида Бордовский ва Портер (2008) Техаснинг юқори водийларида субсурфейс томчилатиб суғориш тизимида ҳосилдорлик ва сув тақсимоти муносабатини таҳлил қилган. Кэмп (1998), Колайцци ва бошқ. (2009) субсурфейс ва марказий пивот тизимларининг сув тежаш имкониятлари ва агротехник самарадорлигини кўриб чиқишган [16]. Доусон ва бошқ. (2002) барқарор изотоплар усули орқали ўсимликлар сув манбаларидаги улушни аниқлаш имконини кўрсатган [17]. Феререс ва Сориано (2007) дефицит суғориш концепциясида кам сув билан ҳосилдорликни максималлаштириш стратегиясини тақдим этган [18]. Ласкано (2000) ва Гоебел ва бошқ. (2015) пахтада WUE кўрсаткичини баҳолашда интеграл индикатор сифатида ишлатиш самарадорлигини таъкидлаган [19].

Шунингдек, тадқиқотлар марказий пивот ва томчилатиб суғориш тизимлари турли намлик режимлари ва ғўза навларида ҳосилдорлик ва WUE кўрсаткичига турлича таъсир қилишини кўрсатади, бу сув тақсимоти, тупроқ-хусусиятлар ва технологияни интеграл баҳолаш зарурлигини исботлайди [20].

Бундан ташқари, турли географик ва иқлим шароитларида олиб борилган тадқиқотлар сув тежаш ва ҳосилдорликни оширишда суғориш режимлари ва технологияларнинг муҳим ролини кўрсатади, шунингдек, дефицит ва оптимал намлик режимларида WUE кўрсаткичини максималлаштириш стратегиялари самарадорлиги таъкидланган.

Тадқиқот ишлари 2024 йилда Тошкент вилоятида жойлашган “ТИИҚХММИ” МТУ илмий-амалий тажриба хўжалигида олиб борилди. Дала тажрибалари FAO ва ПСУЕАИТИнинг “Дала тажрибаларини ўтказиш услублари” асосида амалга оширилди. Худуд ярим қуруқ иқлим шароитига мансуб бўлиб, кўп йиллик маълумотларга кўра йиллик ўртача ёғингарчилик 280–320

мм. ни ташкил этади, унинг асосий қисми баҳор ойларига тўғри келади. Вегетация даврида ёгингарчилик деярли кузатилмайди. Ёз мавсумида ҳаво ҳарорати +34–38°C, қишда –2–6°C. Сизот сувлари чуқурлиги 3–5 м.

Тажриба майдони ўтлоқи бўз тупроқдан ташкил топган бўлиб механик таркиби ўрта оғир. 0–100 см қатлам бўйича чегаравий дала нам сиғими 19–21%, ҳажмий зичлиги 1,31–1,38 г/см³, органик моддалар миқдори 1,2–1,6%, pH 7,4–7,8 ни ташкил этди. Тупроқнинг фильтрация коэффициенти 0,20–0,40 мм/мин.

Тадқиқот 2×2×2 факторли схема асосида ташкил этилди: А – ғўза навлари (XinLuZao №78 ва “Равнақ” №1), В – суғориш тизими (марказий пивот ва томчилатиб), С – суғориш режими (чегаравий дала нам сиғими

нисбатан 70–70–65% ва 65–65–60%) (1-расм).

Тажриба рандомлаштирилган пайкаллар усулида ташкил этилди ва ҳар бир вариант уч марта такрорланди. Пайкаллар ўлчами 10×40 м (400 м²), қатор оралиғи 76 см, ўсимликлар ораси 12 см. Экиш 2024 йил 13 май куни амалга оширилди (1-расм).

Барча тажриба вариантларида агротехник тадбирлар бир хил тартибда амалга оширилди. Жумладан, минерал ўғитлар меъёри (NPK), экиш схемаси, қатор ораларига ишлов бериш, ўсимликларни ҳимоя қилиш ва бошқа агротехник тадбирлар барча вариантларда бир хил даражада таъминланди. Бу тажриба натижаларига суғориш технологияси ва намлик режими таъсирини аниқ баҳолаш имконини берди.



1-расм. Тажриба майдони жойлашуви ва экспериментал схемаси

Марказий пивот тизими (Zimmatic, AQШ) автоматлаштирилган айланма механизм ва электрон бошқарув блоктан иборат бўлиб, сув тарқатиш бирхиллиги 95 фоиздан юқори. Томчилатиб суғориш тизимида томизгичлар 30 см интервалда жойлаштирилган, ҳар бир томизгич сарфи 1,6 л/соат, тизим қумли ва дискли фильтр билан жиҳозланган.

Суғориш режими тупроқ намлигини вегетация фазалари бўйича белгиланган даражада сақлаш асосида ташкил этилди. Мавсумий суғориш меъёри пивот тизимида мос равишда 3350 ва 3105 м³/га, томчилатиб тизимида 3850 ва 3610 м³/га. ни ташкил қилди.

Тупроқ намлиги дастлаб гравиметрик усулда калибрланди, кейинчалик WatchDog Model 1400 намлик датчиклари ёрдамида 20, 40 ва 60 см чуқурликларда кунлик мониторинг олиб борилди. Фенологик ва биометрик кузатувлар такрорланишлар бўйича амалга оширилди. Ҳосилдорлик ҳар бир пайкалдан дала шароитида белгиланган намликка етилганда йиғиб олинган ҳосилга нисбатан аниқланди.

Сувдан фойдаланиш самарадорлиги (WUE) формуласи асосида ҳисобланди:

$$WUE=Y/I, \quad (1)$$

бу ерда: Y – ҳосилдорлик (кг/га);

I – мавсумий суғориш меъёри (м³/га).

Олинган натижалар дисперсион таҳлил усулида қайта ишланди ва омиллар таъсирининг ишончилиги $p < 0,05$ даражада баҳоланди.

Натижалар таҳлили ва мисоллар. Тадқиқот давомида марказий пивот ва томчилатиб суғориш технологияларида икки хил намлик режимида шароитида мавсумий суғориш суви сарфи аниқланди ва қиёсий таҳлил қилинди. Олинган натижалар суғориш технологияси ва намлик режими мавсумий сув сарфига сезиларли таъсир кўрсатишини намоён этди.

Марказий пивот тизимида 70–70–65% намлик режимида мавсумий суғориш меъёри 3350 м³/га. ни ташкил этган бўлса, 65–65–60% дефицит режимда бу кўрсаткич 3105 м³/га. гача камайди. Натижада сув сарфи 245 м³/га ёки 7,3 фоизга қисқаргани кузатилди. Бу ҳолат пивот технологиясида суғориш интервалларини мақбуллаштириш ва намликни майдон бўйлаб бирхил тақсимлаш орқали сув сарфини самарали бошқариш мумкинлигини кўрсатади.

Томчилатиб суғориш тизимида эса 70–70–65% режимида мавсумий суғориш суви сарфи 3850 м³/га. ни ташкил этган бўлса, 65–65–60% режимда 3610 м³/га. гача

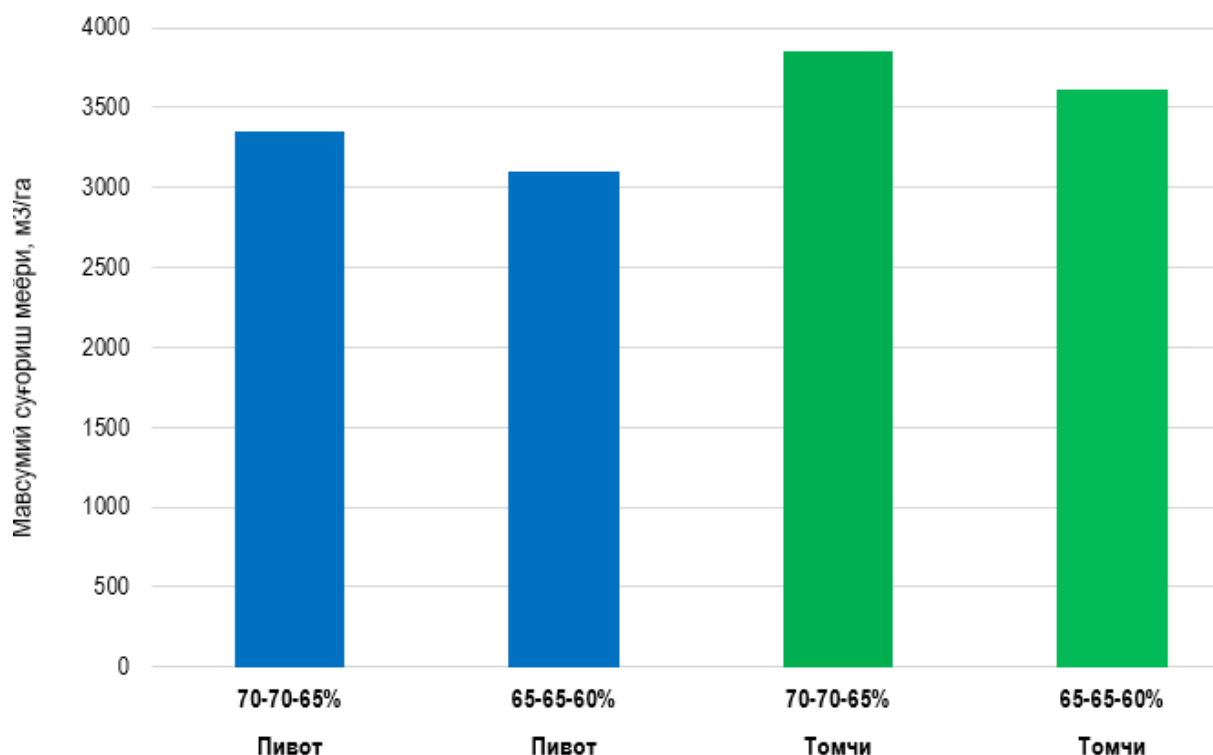
камайган. Бу ҳолатда сув тежалиши $240 \text{ м}^3/\text{га}$ ёки 6,2 фоизни ташкил этди. Бироқ ҳар икки режимда ҳам томчилатиб суғоришдаги мавсумий сув сарфи пивот тизимига нисбатан юқори даражада сақланиб қолди.

Технологик қиёсий таҳлил шуни кўрсатдики, 70-70-65% намлик режимида томчилатиб суғоришда пивот тизимига нисбатан $500 \text{ м}^3/\text{га}$ кўпроқ сув сарфланган бўлса, 65-65-60% режимда бу фарқ $505 \text{ м}^3/\text{га}$ ни ташкил этган. Бу фарқ асосан суғориш технологияларининг гидравлик хусусиятлари, сув тақсироти механизми ва намланиш майдонининг шаклланиши билан боғлиқ.

Пивот тизимида сув майдон бўйлаб нисбатан бир хил

тарқалади ва намликнинг вертикал ҳамда горизонтал тақсироти барқарор сақланади. Томчилатиб суғоришда эса намланиш локал характерга эга бўлиб, сув асосан эмиттерлар атрофида тўпланади ва тупроқнинг фильтрация хусусиятларига боғлиқ ҳолда тарқалади. Шу сабабли намлик режими талабини таъминлаш учун умумий сув сарфи нисбатан юқори бўлиши мумкин.

Олинган натижалар суғориш технологиялари ва намлик режимлари бўйича мавсумий суғориш суви сарфидаги фарқларни яққол намоён қилади (2-расм).



2-расм. Суғориш технологиялари бўйича мавсумий суғориш меъёрлари

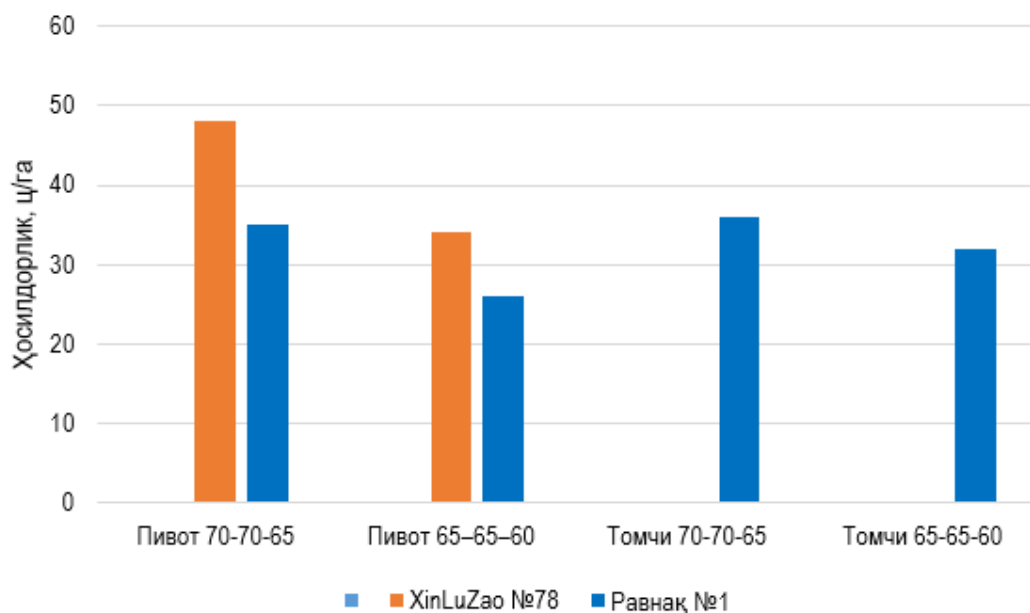
Умуман олганда, мазкур тупроқ-иқлим шароитида марказий пивот суғориш технологияси мавсумий сув сарфи жиҳатидан нисбатан тежамкор эканлиги аниқланди. Дефицит режим сарфи икки технологияда ҳам сув сарфини маълум даражада камайтирган бўлсада, технологиялар ўртасидаги фарқ сақланиб қолди. Бу ҳолат суғориш технологиясини танлашда намлик режими билан бир қаторда сув тақсироти механизми ва гидравлик хусусиятларни ҳам комплекс баҳолаш зарурлигини кўрсатади.

Ҳосилдорлик таҳлили ва навлараро фарқлар. Навлараро қиёсий таҳлил натижалари шуни кўрсатдики, XinLuZao №78 навининг ҳосилдорлиги марказий пивот суғориш тизими шароитида “Равнақ” №1 навиға нисбатан анча юқори бўлган. Хусусан, 70-70-65% намлик режимида XinLuZao №78 навиға 48 ц/га ҳосил қайд этилган бўлса, “Равнақ” №1 навиға бу кўрсаткич 35 ц/га ни ташкил этди. Демак, мазкур режимда XinLuZao №78 навининг ҳосилдорлиги 37% юқори бўлган. 65-65-60% намлик режимида ҳам худди шу тенденция сақланиб қолди. Ушбу режимда XinLuZao №78 навиға 34 ц/га ҳосил олинган

бўлса, “Равнақ” №1 навиға 26 ц/га ҳосил қайд этилди. Бу ҳолат навлар ўртасидаги фарқ $30,8$ фоизни ташкил этганини кўрсатади (3-расм).

Томчилатиб суғориш тизими шароитида “Равнақ” №1 навиға 70-70-65% режимда ҳосилдорлик 36 ц/га ни ташкил этди. Бу кўрсаткич пивот суғориш тизимидаги шу навнинг натижасига (35 ц/га) нисбатан биров юқори бўлган. Бироқ мазкур технологияда мавсумий сув сарфи нисбатан юқори бўлганига қарамасдан, ҳосилдорлигининг сезиларли ўсиши кузатилмади. 65-65-60% режимда эса ҳосилдорлик 32 ц/га ни ташкил қилди.

Олинган натижалар XinLuZao №78 навининг юқори маҳсулдор потенциалга эга эканлигини кўрсатди. Шу билан бирга, мазкур нав дефицит суғориш режимиға нисбатан маълум даражада сезгирлик намоён қилди, яъни намлик режими пасайтирилганда ҳосилдорлигининг камайиши нисбатан юқори даражада кузатилди. “Равнақ” №1 навиға эса умумий ҳосил кўрсаткичлари пастроқ бўлган бўлсада, намлик режими ўзгаришиға реакцияси нисбатан барқарор характерға эга экани аниқланди.



3-расм. Турли суғориш технологияси ва намлик режимларида ғўза навларининг ҳосилдорлиги

Олинган натижалар халқаро тадқиқотлар маълумотлари билан мувофиқликни намоён қилди. Хусусан, дефицит суғориш шароитида ҳосилдорликнинг маълум даражада пасайиши кузатилиши Fereres ва Soriano томонидан қайд этилган бўлиб, улар ҳосилдорлик 20–25% атрофида камайиши мумкинлигини таъкидлаган.

Мазкур тадқиқотда ҳам пивот суғориш тизимида намлик режими пасайтирилганда ҳосилдорликнинг 23–27 фоизга камайиши кузатилди. Бу эса халқаро маълумотларга яқин натижаларни кўрсатади. Шунингдек, тадқиқотларда турли ғўза навларининг суғориш режимида жавоб реакцияси 25–30% диапазонда фарқ қилиши қайд этилган. Ушбу натижалар мазкур тадқиқотда кузатилган тенденциялар билан уйғунликда эканлигини кўрсатади.

Умуман олганда, ҳосилдорлик таҳлили натижалари марказий пивот суғориш тизими ва 70-70-65% намлик режими шароитида энг юқори самарага эришилганини кўрсатди. Дефицит суғориш режими сув сарфини маълум даражада камайитириш имконини берган бўлса-да, ҳосилдорликнинг сезиларли даражада пасайиши олиб келди. Бу ҳолат мазкур тупроқ-иқлим шароитида оптимал ҳосилдорликка эришиш учун суғориш технологияси ва намлик режимини илмий асосда танлаш муҳим аҳамиятга эга эканлигини кўрсатади.

Сувдан фойдаланиш самарадорлиги (WUE) таҳлили. Ушбу кўрсаткич суғориш технологияси ҳамда намлик режимларининг ресурс самарадорлигини интеграл тарзда ифодаловчи асосий агроиктисодий индикатор ҳисобланади.

Тадқиқот натижаларига кўра, энг юқори WUE қиймати 1,43 кг/м³ пивот суғориш тизимида, 70-70-65% намлик режимида XinLuZao №78 навида қайд этилди. Бу ҳолат мазкур комбинацияда суғориш меъёри ва ҳосилдорлик ўртасидаги нисбат энг мақбул даражада шаклланиганини кўрсатади. Шу навнинг 65-65-60% намлик режимида WUE қиймати 1,13 кг/м³ ни ташкил этди. Ҳосилдорлик 27 фоизга камайган бўлсада, сув сарфи атиги 7,3 фоизга қисқарган. Натижада WUE кўрсаткичи 21% пасайгани кузатилди.

Бу эса мазкур шароитда дефицит суғориш режими ресурс самарадорлигини оширмаганини кўрсатади. “Равнақ” №1 навида пивот тизимида WUE қийматлари қуйидагича шаклланди: 70-70-65% режимда 1,01 кг/м³, 65-65-60% режимда эса 0,84 кг/м³. Ҳар икки ҳолатда ҳам намлик режими пасайтирилиши WUE кўрсаткичининг камайишига олиб келган (4-расм).

Томчилатиб суғориш тизимида “Равнақ” №1 навида 70-70-65% режимда WUE 0,83 кг/м³ ни ташкил қилди. Мавсумий суғориш меъёри пивот тизимига нисбатан юқори бўлишига қарамадан, ҳосилдорлик пропорционал равишда ошмаган.

Қиёсий таҳлил шуни кўрсатадики, мазкур шароитда суғориш технологиясининг таъсири намлик режими таъсирига нисбатан кучлироқ намоён бўлган. Марказий пивот суғориш тизими барча вариантларда юқори WUE кўрсаткичларини таъминлади.

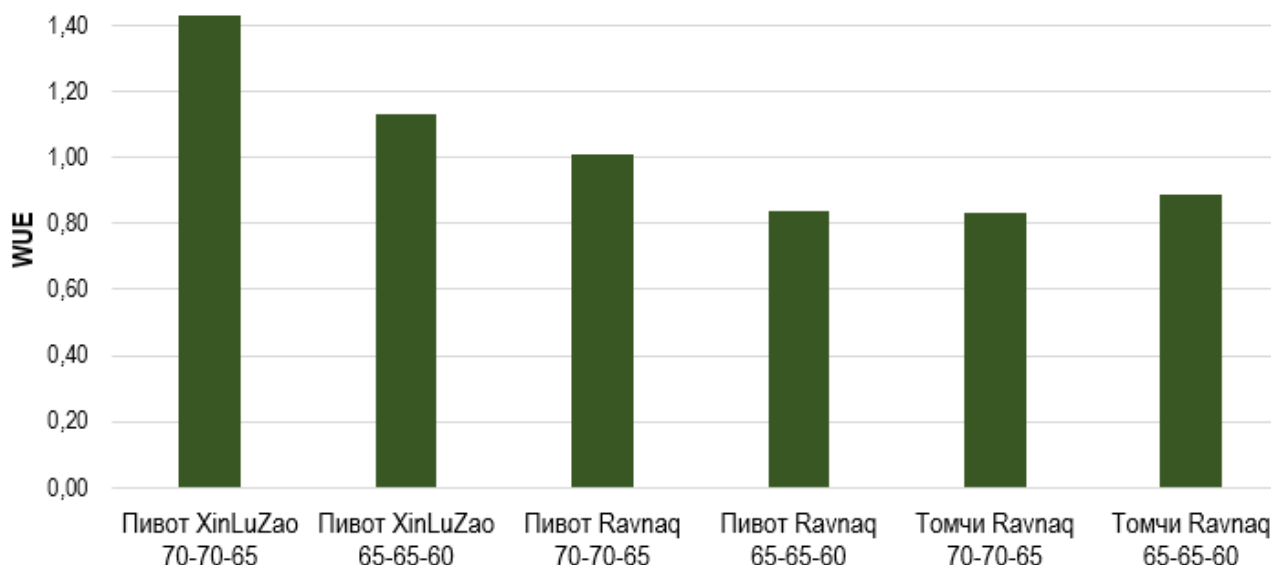
Олинган натижалар халқаро тадқиқотлар маълумотлари билан юқори даражада уйғунлик намоён қилди. Хусусан, марказий пивот суғориш тизими шароитида сувдан фойдаланиш самарадорлиги (WUE) кўрсаткичлари одатда 1,4–1,6 кг/м³ оралиқда бўлиши қайд этилган.

Мазкур тадқиқотда пивот суғориш тизими ва 70-70-65% намлик режими уйғунлигида аниқланган 1,43 кг/м³ WUE қиймати ушбу илмий маълумотлар билан мувофиқ келади ва технологиянинг самарадорлиги юқори эканлигини тасдиқлайди.

Шу билан бирга, дефицит суғориш концепциясига кўра айрим агроиклимий шароитларда намлик режими қисқартирилиши WUE кўрсаткичининг ортишига олиб келиши мумкинлиги таъкидланган.

Бироқ мазкур тадқиқот ўтказилган ўтлоқи бўз тупроқ шароитида бундай тенденция кузатилмади. Бу ҳолат суғориш самарадорлиги фақат сув миқдорига эмас, балки тупроқнинг механик таркиби, намликнинг чуқурлик бўйлаб тақсимланиши ҳамда навнинг физиологик хусусиятлари билан ҳам узвий боғлиқ эканлигини кўрсатади.

Шундай қилиб, максимал сувдан фойдаланиш самарадорлиги марказий пивот суғориш тизими ва 70-70-65% намлик режими уйғунлигида кузатилди.



4-расм. Турли суғориш технологияси ва намлик режимларида сувдан фойдаланиш самарадорлиги

Дефицит суғориш режими мавсумий сув сарфини чекланган даражада камайтирган бўлсада, умумий самарадорлик ошиши кузатилмади.

Сув тежаш имконияти ва иқтисодий самарадорлик таҳлили. Сув ресурсларининг чекланганлиги шароитида суғориш режимларини мақбуллаштириш мавсумий сув сарфи ва ҳосилдорлик ўртасидаги мувозанатни аниқлашни талаб этади. Шу мақсадда 70-70-65% ва 65-65-60% намлик режимлари бўйича мавсумий сув сарфи ҳамда ишлаб чиқариш самарадорлиги кўрсаткичлари қиёсий таҳлил қилинди.

Марказий пивот суғориш тизимида 70-70-65% режимда мавсумий сув сарфи 3350 м³/га. ни ташкил этган бўлса, 65-65-60% режимда 3105 м³/га. ни ташкил қилди. Натижада сув сарфида 245 м³/га ёки 7,3% тежалиш қайд этилди. Бироқ мазкур тежамкорлик ҳосилдорликни 27 фоизга пасайишига олиб келди. Шу билан бирга WUE 1,43 кг/м³ дан 1,13 кг/м³ гача, яъни 21% га камайди. Бу ҳолат мазкур шароитда дефицит суғориш режими суғориш режимини қисман камайтирган бўлса-да, умумий ресурс самарадорлигини оширмаганини кўрсатади.

Томчилатиб суғориш тизимида 70-70-65% режимда мавсумий сув сарфи 3850 м³/га, 65-65-60% режимда эса 3610 м³/га ни ташкил қилди. Натижада сув тежалиши 240 м³/га ёки 6,2% бўлди. Бироқ ҳосилдорлик ва WUE кўрсаткичлари пивот тизимига нисбатан паст даражада кузатилди. Бу ҳолат суғориш меъёри нисбатан юқори бўлишига қарамасдан, ҳосилдорликнинг мутаносиб равишда ошмаганини ва натижада ишлаб чиқариш самарадорлиги чекланганлигини кўрсатади.

Иқтисодий самарадорлик нуқтаи назаридан энг мақбул натижа пивот суғориш тизимида, XinLuZao №78 навида 70-70-65% намлик режимида кузатилди. Ушбу комбинацияда ҳар бир м³ суғориш суви ҳисобига 1,43 кг ҳосил етиштириш мумкинлиги аниқланди.

Халқаро тадқиқотларда ҳам томчилатиб суғориш тизими айрим тупроқ шароитларда эксплуатацион мураккаблик ва самарадорликнинг пасайиши билан тавсифланган.

Шундай қилиб, мазкур тадқиқот шароитида сув тежаш ва иқтисодий самарадорлик ўртасидаги мақбул нисбат

марказий пивот суғориш тизими ва 70-70-65% намлик режими уйғунлигида таъминланди. Дефицит суғориш режими сув сарфини чекланган даражада камайтирган бўлсада, ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ҳолати кузатилмади.

Корреляция ва регрессия таҳлили. Олинган маълумотлар асосида ҳосилдорлик (Y), мавсумий суғориш суви сарфи (I) ва сувдан фойдаланиш самарадорлиги (WUE) ўртасидаги ўзаро боғлиқликлар Пирсон корреляция коэффициенти орқали баҳоланди. Омилар ўртасидаги корреляцион муносабатлар матрица кўринишида визуаллаштирилиб, уларнинг йўналиши ва куч даражаси аниқ намоён этилди (5-расм).

Таҳлил натижалари ҳосилдорлик ва WUE ўртасида юқори даражадаги мусбат боғлиқлик мавжудлигини кўрсатди ($r=+0,94$). Бу ҳолат WUE кўрсаткичининг асосан ҳосилдорлик динамикаси билан боғлиқлиги ва ҳосилдорлик ошиши ресурс самарадорлигининг ортишига олиб келишини кўрсатади.

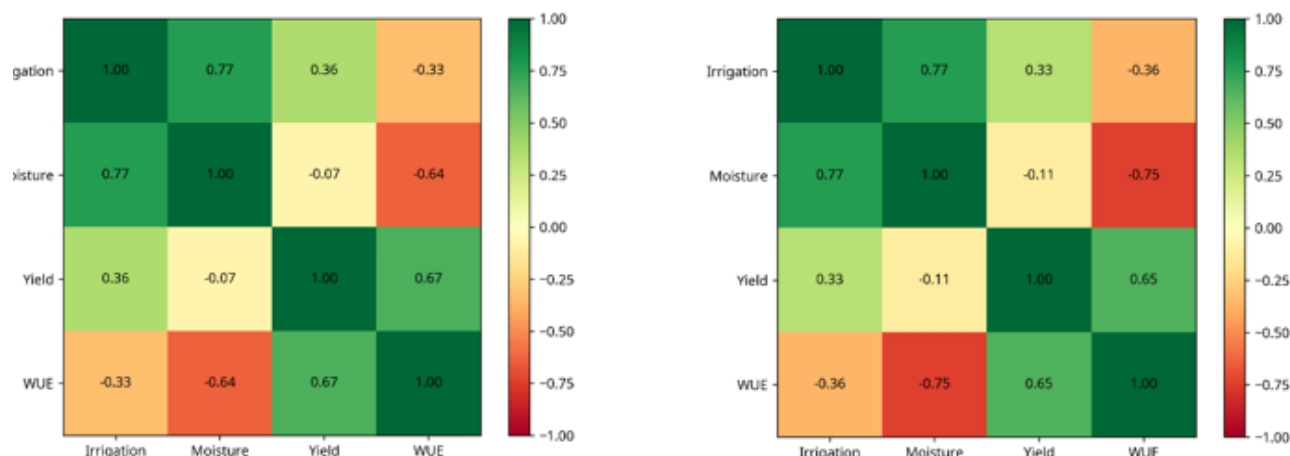
Суғориш меъёри ва WUE ўртасида кучли салбий корреляция қайд этилди ($r=-0,78$). Бу суғориш меъёри ортиши ҳар доим ҳам самарадорлик ошишига олиб келмаслигини, аксинча маълум шароитларда самарадорлик пасайишига сабаб бўлиши мумкинлигини кўрсатади.

Суғориш меъёри ва ҳосилдорлик ўртасида эса ўрта даражадаги мусбат боғлиқлик кузатилди ($r=+0,63$). Бу маълум миқдоргача сув таъминоти ҳосилдорлигини оширишга хизмат қилишини, аммо ортиқча сув самарадорликни камайтириши мумкинлигини англатади.

Ҳосилдорлик ва WUE ўртасидаги функционал муносабат чизикли регрессия модели орқали ифодаланди:

$$WUE=0,023Y+0,2845 \quad (2)$$

Моделга кўра, ҳосилдорлик ҳар 1 ц/га. га ошганда WUE ўртача 0,0237 кг/м³ га ортиши аниқланди. Бу функционал боғлиқлик суғориш технологияси ва нав танлаш орқали ресурслардан фойдаланиш самарадорлигини мақбуллаштириш мумкинлигини кўрсатади. Омилар ўртасидаги мазкур муносабатлар корреляция матричасида ҳам яққол акс этган (5-расм).



5-расм. Pivot ва томчилатиб сугориш технологияларида сугориш суви сарфи (*I*), тупроқ намлиги (*M*), ҳосилдорлик (*Y*) ва сувдан фойдаланиш самарадорлиги (*WUE*) ўртасидаги корреляция матрицаси

Халқаро тадқиқотлар билан таққослаш ва умумий баҳолаш. Олинган натижалар халқаро тадқиқотлар билан қиёсий таҳлил қилинганда асосий ресурс кўрсаткичлари бўйича маълум даражадаги мувофиқликни намойён қилди. Хусусан, марказий пивот сугориш тизими шароитида юқори ҳосилдорлик ва сувдан фойдаланиш самарадорлиги шаклланиши бир қатор тадқиқотларда қайд этилган. Мазкур тадқиқотда пивот технологияси шароитида аниқланган 48 ц/га ҳосилдорлик ҳамда 1,43 кг/м³ WUE кўрсаткичлари ушбу илмий маълумотларга яқин натижаларни намойён қилди. Бу ҳолат марказий пивот сугориш технологиясининг турли тупроқ-иқлим шароитларида барқарор ресурс самарадорлигини таъминлаш имкониятига эга эканлигини кўрсатади.

Шу билан бирга, дефицит сугориш концепциясига кўра маълум даражада ҳосил камайиши эвазига сув сарфини қисқартириш мумкинлиги таъкидланган. Мазкур тадқиқотда ҳам 65-65-60% намлик режимида ҳосилдорлик 27 фоизга пасайган ҳолда мавсумий сув сарфи 7,3 фоизга камайди. Бироқ WUE кўрсаткичи ҳам пасайиш тенденциясини намойён қилди (1,43 кг/м³ дан 1,13 кг/м³ гача). Бу ҳолат дефицит сугориш самарадорлиги агроиқлим шароити, тупроқнинг механик таркиби ва намликнинг чуқурлик бўйлаб тақсимланишига боғлиқ равишда шаклланишини кўрсатади.

Хулоса. Тадқиқот натижалари Тошкент вилоятининг ўтлоқи бўз тупроқлари шароитида марказий пивот ва

томчилатиб сугориш технологиялари турли намлик режимида сувдан фойдаланиш самарадорлигига турлича таъсир кўрсатишини аниқлади. Энг юқори ҳосилдорлик (48 ц/га) ва сувдан фойдаланиш самарадорлиги (WUE=1,43 кг/м³) марказий пивот сугориш тизимида, 70-70-65% намлик режимида ва XinLuZao №78 навида қайд этилди.

65-65-60% намлик режимида мавсумий сув сарфи 7,3 фоизга камайган бўлсада, ҳосилдорлик 27 фоизга, WUE эса 21 фоизга пасайди. Томчилатиб сугориш технологиясида эса мавсумий сув сарфи нисбатан юқори бўлишига қарамадан, сувдан фойдаланиш самарадорлиги паст даражада кузатилди.

Корреляция таҳлили ҳосилдорлик ва WUE ўртасида кучли мусбат боғлиқлик ($r = +0,94$), сув сарфи билан WUE ўртасида эса салбий боғлиқлик ($r = -0,78$) мавжудлигини кўрсатди. Олинган натижаларга кўра, мазкур тупроқ-иқлим шароитида оптимал сугориш стратегияси марказий пивот тизимида 70-70-65% намлик режими асосида сугоришни ташкил этиш ҳисобланади.

Мазкур тадқиқот натижалари 2024 йил вегетация мавсумида Тошкент вилоятининг ўтлоқи бўз тупроқлари шароитида олиб борилган тажрибаларга асосланади. Шу сабабли хулосаларни бошқа тупроқ-иқлим шароитларига татбиқ этишдан олдин қўшимча кўп йиллик ва кўп ҳудудли тадқиқотлар ўтказиш мақсадга мувофиқ.

№	Адабиётлар	References
1	Bordovsky J.P., Porter D.O. Effect of subsurface drip irrigation system uniformity on cotton production in the Texas High Plains // Applied Engineering in Agriculture. - 2008. - Vol. 24, №4. - P. 465-472.	Bordovsky J.P., Porter D.O. Effect of subsurface drip irrigation system uniformity on cotton production in the Texas High Plains // Applied Engineering in Agriculture. - 2008. - Vol. 24, №4. - P. 465-472.
2	Camp C.R. Subsurface drip irrigation: A review // Transactions of the ASABE. - 1998. - Vol. 41, №5. - P. 1353-1367.	Camp C.R. Subsurface drip irrigation: A review // Transactions of the ASABE. - 1998. - Vol. 41, №5. - P. 1353-1367.
3	Colaizzi P.D., Gowda P.H., Marek T.H., Porter D.O. Irrigation in the Texas High Plains: A brief history and potential reductions in demand // Irrigation and Drainage. - 2009. - Vol. 58, №3. - P. 257-274.	Colaizzi P.D., Gowda P.H., Marek T.H., Porter D.O. Irrigation in the Texas High Plains: A brief history and potential reductions in demand // Irrigation and Drainage. - 2009. - Vol. 58, №3. - P. 257-274.
4	Dawson T.E., Mambelli S., Plamboeck A.H., Templer P.H., Tu K.P. Stable isotopes in plant ecology // Annual Review of Ecology and Systematics. - 2002. - Vol. 33. - P. 507-559.	Dawson T.E., Mambelli S., Plamboeck A.H., Templer P.H., Tu K.P. Stable isotopes in plant ecology // Annual Review of Ecology and Systematics. - 2002. - Vol. 33. - P. 507-559.
5	FAO. Guidelines for soil description. - Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. - 95 p.	FAO. Guidelines for soil description. - Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. - 95 p.
6	Fatxulloyev A., Isayev S., Qoraboyev A. Goʻzani yomgʻirlatib sugʻorish tajribasi // “Oʻzbekiston qishloq va suv xoʻjaligi” jurnali. - Toshkent, 2023. - Maxsus son. - B. 55-56.	Fatxulloyev A., Isayev S., Qoraboyev A. Goʻzani yomgʻirlatib sugʻorish tajribasi // “Oʻzbekiston qishloq va suv xoʻjaligi” jurnali. - Toshkent, 2023. - Maxsus son. - B. 55-56.
7	Fereres E., Soriano M.A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use // Journal of Experimental Botany. - 2007. - Vol. 58, №2. - P. 147-159.	Fereres E., Soriano M.A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use // Journal of Experimental Botany. - 2007. - Vol. 58, №2. - P. 147-159.
8	Lyle W.M., Bordovsky J.P. Low energy precision application (LEPA) irrigation system // Transactions of the ASAE. - 1981. - Vol. 24, №5. - P. 1241-1245.	Lyle W.M., Bordovsky J.P. Low energy precision application (LEPA) irrigation system // Transactions of the ASAE. - 1981. - Vol. 24, №5. - P. 1241-1245.
9	Plaut Z., Carmi A., Grava A. Cotton root and shoot response to subsurface drip irrigation // Irrigation Science. - 1988. - Vol. 9, №4. - P. 285-291.	Plaut Z., Carmi A., Grava A. Cotton root and shoot response to subsurface drip irrigation // Irrigation Science. - 1988. - Vol. 9, №4. - P. 285-291.
10	Гаппаров С.М., Махсадов Х.Э., Утаев А.А., Юсупова Ф.М. Суғорма деҳқончиликда сув ресурсларидан фойдаланиш самарадорлигини баҳолаш масалалари // “Agro ilm” журналы. - Тошкент, 2018. - №1(51). - Б. 78-79.	Gapparov S.M., Maksadov X.E., Utaev A.A., Yusupova F.M. Issues of evaluating the efficiency of water use in irrigated farming // Agro ilm jurnali. - Tashkent, 2018. - №1(51). - P. 78-79.
11	Икрамов Р.К., Гаппаров С.М., Махсадов Х.Э. ва бошқ. Об оценке продуктивности использования водных ресурсов в орошаемом земледелии Узбекистана // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование: Материалы международной научно-практической конференции. - Алматы, 2016. - Кн. 2. - С. 118-121.	Ikramov R.K., Gapparov S.M., Maksadov X.E. et al. On evaluation of productivity of water use in irrigated agriculture of Uzbekistan // Vodyanye resursy Tsentralnoy Azii i ikh ispolzovaniye. - Almaty, 2016. - Kn. 2. - P. 118-121.

12	Равшанов А.Э., Камиллов Б.С., Хасанов М.М. ва бошқ. Ғўзани парваришlashда томчилатиб суғоришга оид илмий тадқиқотлар таҳлили // “Пахтачилик ва дончилик” журнали. – Тошкент, 2021. – №3. – Б. 79-86.	Ravshanov A.E., Kamilov B.S., Khasanov M.M. et al. Analysis of research on drip irrigation in cotton cultivation // Paxtachilik va donchilik журнали. - Tashkent, 2021. - №3. - P. 79-86.
13	Фатхуллоев А.М., Исаев С.Х., Қорабоев А.Ж., Юлдашев А.А. Ғўзанинг “Наманган-77” навини ёмғирлатиб суғориш тажрибаси // “Агро процессинг” журнали. – Тошкент, 2023. – №4(5). – Б. 37-42.	Fatxullov A.M., Isayev S.X., Qoraboyev A.J., Yuldashev A.A. Sprinkler irrigation experiment of cotton variety “Namangan-77” // Agro processing журнали. - Tashkent, 2023. - №4(5). - P. 37-42.
14	Хамраев Ш.Р. Натижалар салмоқли, режалар улкан // “O‘zbekiston qishloq va suv xo‘jaligi” журнали. – Тошкент, 2022. – №1. – Б. 10-11.	Hamraev Sh.R. Results are significant, plans are ambitious // O‘zbekiston qishloq va suv xo‘jaligi журнали. - Tashkent, 2022. - №1. - P. 10-11.
15	Худоёров З.Ж. Ёмғирлатиб суғориш қурилмасини экспериментал тадқиқоти натижалари // “Irrigatsiya va melioratsiya” журнали. – Тошкент, 2023. – №1(31). – Б. 22-27.	Khudoyorov Z.J. Experimental study results of sprinkler irrigation device // Irrigatsiya va melioratsiya журнали. - Tashkent, 2023. - №1(31). - P. 22-27.
16	Фатхуллоев А.М., Ҳамроқулов Ж.С. Дарё ва суғориш усуллари таъсирини ҳисобга олган ҳолда ер ости сувлари сатҳининг ўзгаришини баҳолаш. “AGRO ILM” журнали. – Тошкент, 2024. – №3 (111). – Б. 100-101.	Fatkhullov A.M., Hamroqulov J.S. Assessment of groundwater level changes considering river and irrigation methods. AGRO ILM Journal, №3 (111), 2024, pp. 100-101.
17	Ҳамидов М.Х., Муратов А.Р. Сув ресурсларидан самарали фойдаланишда ёмғирлатиб суғориш усули ва машинасининг аҳамияти // “Irrigatsiya va melioratsiya” журнали. – Тошкент, 2020. – №4(22). – Б. 7-11.	Hamidov M.X., Muratov A.R. Importance of sprinkler irrigation method and equipment in efficient water use // Irrigatsiya va melioratsiya журнали. - Tashkent, 2020. - №4(22). - P. 7-11.
18	Goebel T.S., Lascano R.J., Peyton P. Rainwater use by irrigated cotton measured with stable isotopes of water // Agricultural Water Management. - 2015. - Vol. 158. - P. 17-25.	Goebel T.S., Lascano R.J., Peyton P. Rainwater use by irrigated cotton measured with stable isotopes of water // Agricultural Water Management. - 2015. - Vol. 158. - P. 17-25.
19	Grafton R.Q., Williams J., Perry C.J. et al. The paradox of irrigation efficiency // Science. - 2018. - Vol. 361, №6404. - P. 748-750.	Grafton R.Q., Williams J., Perry C.J. et al. The paradox of irrigation efficiency // Science. - 2018. - Vol. 361, №6404. - P. 748-750.
20	Lascano R.J. A general system to measure and to calculate daily crop water use // Agronomy Journal. - 2000. - Vol. 92, №5. - P. 821-832.	Lascano R.J. A general system to measure and to calculate daily crop water use // Agronomy Journal. - 2000. - Vol. 92, №5. - P. 821-832.

UO'T: 532.517

OCHIQ KANALLARDA SEN-VENAN MODELİ UCHUN KIRISH MA'LUMOTLARI VA PARAMETRLASH TALABLARI

A.A.Qudaybergenov – PhD, dotsent,

O'zbekiston Milliy universiteti,

G.Ye.Ametova – tayanch doktorant,

"Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti

Annotatsiya

Ushbu maqolada ochiq irrigatsiya kanallarida bir o'lchamli Sen-Venan modeli uchun kirish ma'lumotlari va parametrlash talablari tizimli tarzda tashkil etildi. Kanal geometriyasi, ko'ndalang kesim funksiyalari, tag belgisi va bo'yлама tag nishabligi, gidravlik qarshilik parametrlari, yon kirmalar va suv olishlar, shuningdek tarqalgan yo'qotishlarni qamrab olgan minimal ma'lumot to'plamlari aniq ajratib ko'rsatildi. Tadqiqotda ma'lumot sifati uchun asosiy tekshiruvlar keltirilgan bo'lib, ular qatoriga ko'ndalang kesimlarning monotonligini tekshirish, tag belgining uzluksizligini tekshirish, o'lchov birliklarining mosligini ta'minlash, suv sarf bilan suv sathlari ma'lumotlarini vaqt bo'yicha sinxronlash, shuningdek inshootlarni ekspluatatsiya qilish qoidalari uchun chegara qiymatlarini belgilash kiradi. Hisoblash algoritmi Preysmannning implitsit sxemasi va hosil bo'ladigan chiziqli algebraik tizimni echish uchun Nyuton iteratsiyalari orqali bayon etilgan. Vaqt qadami va fazoviy qadamni tanlash, sonli turg'unlikni ta'minlash hamda yaqinlashishni nazorat qilish bo'yicha amaliy tavsiyalar berilgan. Shuningdek, sarf va suv sathlarining vaqt qatorlari jadvalarini, suv balansini indikatorlarini va kalibrlash metrikalarini avtomatik hosil qilish uchun standart chiqish formatlari ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: Sen-Venan tenglamalari, ochiq kanal, parametrlash, chegara shartlari, Preysmann sxemasi, kalibrlash, monitoring.

ТРЕБОВАНИЯ К ИСХОДНЫМ ДАННЫМ И ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИ СЕН-ВЕНАНА В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ

A.A.Кудайбергенев – PhD, доцент,

Национального университета Узбекистана,

G.E.Аметова – базовый докторант,

Национального исследовательского университета "Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства"

Аннотация

В работе систематически приведены исходные данные и требования к параметризации для одномерной модели Сен-Венана в открытых оросительных каналах. Четко выделены минимальные наборы данных, охватывающие геометрию канала, функции поперечного сечения, высоту дна и продольный уклон, параметры гидравлического сопротивления, боковые притоки и водозаборы, а также распределённые потери. В исследовании представлены основные проверки качества данных, включая верификацию монотонности поперечных сечений, непрерывности профиля дна, согласованности единиц измерения, синхронизацию по времени между расходом и уровнями воды, а также реалистичность пределов для эксплуатационных правил сооружений. Расчётный алгоритм описывается с использованием неявной схемы Прейсмана и итераций Ньютона для решения получающейся нелинейной алгебраической системы. Даны практические рекомендации по выбору временного и пространственного шага, обеспечению численной устойчивости и контролю сходимости. Показаны стандартные форматы вывода для автоматизированного составления таблиц временных рядов расходов и уровней воды, индикаторов водного баланса и метрик калибровки.

Ключевые слова: уравнения Сен-Венана, открытый канал, параметризация, граничные условия, схема Прейсмана, калибровка, мониторинг

INPUT DATA AND PARAMETERIZATION REQUIREMENTS FOR THE SAINT-VENANT MODEL IN OPEN CHANNELS

A.A.Kudaybergenov – PhD, Associate Professor,

National University of Uzbekistan,

G.E. Ametova – Basic Doctoral Student,

"Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" NRU

Abstract

This paper systematically organizes the input data and parameterization requirements for the one-dimensional Saint-Venant model in open irrigation canals. It distinctly categorizes minimal datasets, encompassing channel geometry, cross-

sectional functions, bed elevation and longitudinal slope, hydraulic resistance parameters, lateral inflows and withdrawals, and distributed losses. This study introduces fundamental data quality checks, including the verification of cross-section monotonicity, bed profile continuity, consistency of measurement units, time synchronization of discharge and water level observations, and plausible bounds for structure operating rules. The computational workflow is elucidated using the implicit Preissmann scheme and Newton iterations to solve the resulting nonlinear algebraic system. Practical guidance is provided for selecting the time and space steps, ensuring numerical stability, and monitoring convergence. Standard output formats are specified for the automated tabulation of discharge and water level time series, water balance indicators, and calibration metrics.

Key words: Saint-Venant equations, open channel, parameterization, boundary conditions, Preissmann scheme, calibration, monitoring



Kirish. Ochiq irrigatsiya kanallari suv resurslarini manbadan iste'molchilarga etkazib berishning asosiy gidrotexnik infratuzilmasi hisoblanadi. Ularda suv sarfi va suv sathining vaqt bo'yicha o'zgarishi, ya'ni beqaror harakat rejimi, suvni rejalashtirish, limitlash, dispetcherlik boshqaruvi va gidroinshootlar ish rejimini belgilashga bevosita ta'sir qiladi. Amaliyotda kanalning g'adir-budurlik darajasi, tag nishablighi, ko'ndalang kesim geometriyasi, yon suv olishlar, shuningdek yuqori va pastki b'eflardagi chegara shartlarining noaniqligi hisoblash aniqligini pasaytiradi va boshqaruv qarorlarining ishonchligini cheklaydi. Shu sababli ochiq kanallarda gidrodinamik jarayonlarni fizikaga asoslangan yondashuvda ifodalovchi bir o'lchamli Sen-Venan modeli uchun kirish ma'lumotlari tarkibini, parametrlash qoidalarini va ularning sifat nazorati mezonlarini aniq belgilash dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

Sonngi yillarda ochiq kanallar gidravlikasida Sen-Venan tenglamalarini sonli yechish, manba hadrlarini to'g'ri hisobga olish, barqaror diskretlash sxemalarini qo'llash, to'liq bo'lmagan o'lchov ma'lumotlari asosida parametrlarni kalibrlash hamda 1D modellarni operativ boshqaruv konturlari bilan bog'lash bo'yicha muhim ilmiy natijalar olingan.

Biroq mavjud tadqiqotlarda ko'proq sonli sxema, identifikatsiya yoki boshqaruv algoritmlariga e'tibor qaratilgan bo'lib, modelni amalga tatbiq etish uchun zarur bo'lgan kirish ma'lumotlari to'plamini minimal va kengaytirilgan darajalarda tizimli ajratish, har bir parametrlarning manbasi, o'lchov birligi, fazoviy-vaqtiy o'zgaruvchanligi va sifat tekshiruv talablarini yagona shaklda bayon qilish masalasi yetarlicha to'liq yoritilmagan. Natijada modelni boshqa obyektga ko'chirish, qayta ishga tushirish, kalibrlash va verifikatsiya qilish jarayonlari ko'p hollarda murakkablashadi.

Shu munosabat bilan mazkur maqolaning maqsadi ochiq kanallarda Sen-Venan modeli uchun zarur bo'lgan kirish ma'lumotlari va parametrlash talablarini geometriya, gidravlika, chegara shartlari, inshootlar rejimi, hisoblash to'ri va vaqt qadami kesimida yagona tizimga keltirish, hisoblash algoritmining minimal takrorlanuvchi qadamlarini aniq bayon qilish hamda natijalarni taqdim etish uchun standart formatlarni taklif etishdan iborat.

Sen-Venan tenglamalarini sonli echishda manba hadrlari bilan bog'liq sonli barqarorlik va hisoblash ishonchligi masalalari doimo markaziy ahamiyatga ega. Gidrostatik rekonstruksiya usuliga asoslangan balansni saqlovchi sxemalar oqim profilidagi juda kichik o'zgarishlarda ham tenglamalar balansini buzilmasligini ta'minlab, manba hadrlarining ta'sirini to'g'ri hisobga olishga xizmat qiladi [1, 2]. Chegarada hosil bo'ladigan qaytish to'liqlarini kamaytirish uchun to'liqinni aks ettirmaydigan chegaraviy oqim funksiyalarini konstruksiya qilish usullari taklif etilgan

[3, 4]. Hisoblash samaradorligini oshirish maqsadida to'liq inersiyasini soddalashtirib ifodalash usullari ham qo'llanadi, masalan, inersial yaqinlashuv ikki o'lchamli (2D) suv bosish modellarida hisoblash xarajatlarini kamaytirishi ko'rsatilgan [5]. Shu bilan birga, kanal-daryo tizimlari uchun 1D va 2D modellar natijalarini solishtirish modelni tanlash hamda kirish ma'lumotlarini qay darajada detallashtirish lozimligini asoslashda muhim ekanini ko'rsatadi [6].

Ochiq kanallarda tezkor hisoblash va qayta hisoblashga bo'lgan talab yuqori bo'lgani sababli, ma'lumotlar qisman etishmas sharoitda ham ishlay oladigan hisoblash modullari va parametrlash usullari zarur. Suv sathi kuzatuvlarini 1D Sen-Venan modeliga ma'lumotlarni modelga singdirish orqali kiritish natijasida sarf va sathni qayta tiklash, shuningdek parametrlarni aniqlashtirish imkoniyatlari bo'yicha natijalar keltirilgan [7, 8].

Sen-Venan tenglamalarining konservativ ko'rinishiga asoslangan hajmiy diskretlash usullari gidrologiya va shahar drenaji masalalarida hisoblashning umumiylikni ta'minlash hamda sonli barqarorlikni yaxshilashga qaratilgan [9]. Shuningdek, yarim analitik echimlar hamda tezkor marshrutlash algoritmlari referens senariylar uchun etalon hisob-kitoblarni ta'minlaydi [10]. Kanal kesimini qatlamlar bo'yicha ko'p qatlamli ko'rinishda ifodalash orqali Sen-Venan tizimini kengaytirish turli tezlik profillari hamda vertikal gradientlarni hisobga olish imkonini beradi [11].

Irigatsiya kanallarini boshqarish masalalarida gidrodinamik modelni to'g'ridan-to'g'ri qo'llash ko'p holda hisoblash jihatdan qimmat (og'ir) bo'lgani sababli, boshqaruvga yo'naltirilgan soddalashtirilgan modellar ishlab chiqiladi. Masalan, kanal basseynlarini identifikatsiya qilish va kontrollarni sintez qilish uchun tartibga solingan modellar usullari hamda ularning strukturasi taklif etilgan [12]. Irrigatsiya kanallarida dinamik rejalashtirish va modelga asoslangan bashoratli boshqaruv (MPC) yondashuvlarida Sen-Venan yadrosi asosida ishlaydigan nazorat algoritmlari amaldagi ish rejimida iste'molchilar talabining o'zgarishiga moslasha olishi ko'rsatilgan [13]. Bunday boshqaruvda parametrlash, ayniqsa Menning koeffitsienti va inshoot koeffitsientlari, boshqaruv sifati ko'rsatkichlariga hal qiluvchi ta'sir ko'rsatadi.

Parametrlashning eng qiyin qismi – g'adir-budurlik va kesim geometriyasi kabi amalda tez o'zgaruvchan parametrlarni ishonchli baholashdir. LiDAR va er usti kuzatuvlari asosida gidravlik g'adir-budurlikni baholash hamda uni model setkasiga o'tkazish usullari taklif qilingan [14]. Tag rel'efi (batimetriya) bo'yicha ma'lumotlar cheklangan sharoitda Manning koeffitsientini kalibrlashga oid algoritmlar va amaliy tavsiyalar keltirilgan [15, 16]. Beqaror oqim sharoitida uzunlik bo'yicha o'zgaruvchi (bir jinsli bo'lmagan) g'adir-budurlikni baholash va identifikatsiya qilishning hisoblash algoritmlari muhokama qilingan

[17, 18]. Shu bilan birga, to'liq Sen-Venan modeli o'rniga soddalashtirilgan marshrutlash modellarini qachon qo'llash mumkinligini baholashga xizmat qiluvchi mezonlar ham muhimdir. Xususan, tenglamalarni yaqinlashtirish zonalarini va qo'llanish sohasi bo'yicha tahlillar [19], shuningdek o'zgaruvchi parametrlar Muskingum usulini tatbiq etish shartlari [20] amaliyotda model tanlash qarorini asoslashga yordam beradi.

Masalaning qo'yilishi. Mazkur tadqiqotda obyekt sifatida ochiq irrigatsiya kanallaridagi beqaror suv harakati jarayoni va uni ifodalovchi gidravlik tizim qaratiladi. Obyekt tarkibiga kanalning piketaj bo'yicha segmentlangan qismi, ko'ndalang kesimlari, tag belgisi, tag nishabligi, gidravlik qarshilik parametrlari, yon kirim va chiqimlar, shuningdek shlyuz, qopqoq, to'g'on va nasos kabi boshqaruv jihozlari kiradi. Tadqiqotda ushbu obyekt bir o'lchamli yaqinlashuv asosida tasvirlanib, asosiy o'zgaruvchilar sifatida suv sarfi va kesim maydoni yoki chuqurlik qabul qilinadi; ishqalanish Manning qonuni orqali, chegara shartlari esa asosan subkritik rejimga mos yuqori va pastki shartlar orqali beriladi.

Muammoning amaliy mohiyati shundan iboratki, model uchun zarur bo'lgan geometrik, gidravlik, ekspluatatsion va hisoblash parametrlari turli manbalardan olinadi va ularning bir qismi amalda to'liq emas, o'lchov birliklari jihatidan nomuvofiq, vaqt bo'yicha sinxronlashmagan yoki fazoviy detallashtirish darajasi turlicha bo'lishi mumkin. Shuning uchun maqolada yechiladigan asosiy masala ochiq kanallarda 1D Sen-Venan modeli uchun zarur bo'lgan kirish ma'lumotlari va parametrlash talablarini tizimli ravishda shakllantirish, ularni minimal va kengaytirilgan to'plamlarga ajratish, har bir parametr uchun manba, o'lchov birligi, fazoviy va vaqt bo'yicha o'zgaruvchanlik xususiyati hamda sifat nazorati mezonlarini belgilashdan iborat.

Shunga ko'ra tadqiqotning vazifasi modelning matematik yadrosini takror bayon qilish emas, balki shu yadroni ishonchli amalga tatbiq etish uchun zarur bo'lgan axborot-parametrik ta'minotni tartibga solishdan iborat. Ya'ni ishda shunday talablar majmuasi asoslanadiki, u modelni ishga tushirishdan oldin ma'lumotlar to'lig'i va sifati tekshirilishini, kalibrlash-verifikatsiya jarayonining jadallashishini va keyingi boshqaruv hamda rejalashtirish modullari uchun yagona axborot almashinuv qatlami shakllanishini ta'minlaydi.

Yechish usuli (uslublari). Yuqorida qo'yilgan masalani hal etish uchun ushbu bo'limda ochiq irrigatsiya kanallarida beqaror harakatni 1D yaqinlashuvda hisoblashga asos bo'luvchi model, uning qo'llanish shartlari, parametrlar inventarizatsiyasi va talablar to'plamini shakllantirish metodikasi bayon etiladi. Bunda model yadrosida ishtirok etuvchi barcha parametrlar o'lchov birligi, fazoviy va vaqt bo'yicha o'zgaruvchanligi, ma'lumot manbalari hamda sifat nazorati mezonlari bo'yicha tahlil qilinib, geometriya, gidravlika, ekspluatatsiya va hisoblash parametrlari bloklariga ajratiladi.

Metodik yondashuv. Talablar to'plamini shakllantirish quyidagi mantiqqa asoslanadi: (i) model yadrosini (kontinuitet va impuls tenglamalarini) bayon qilish; (ii) geometriya va gidravlik funksiyalarni aniqlash uchun zarur bo'lgan topologik hamda geometrik ma'lumotlarni ajratish; (iii) ishqalanish, yon sarflar, chegara shartlari va inshootlar tenglamalari orqali parametrlash obyektlarini to'liq ro'yxatga olish; (iv) sonli sxemada barqarorlik va turg'unlik talablarini belgilash; (v) kalibrlash va tekshirish uchun o'lchov ma'lumotlariga qo'yiladigan talablarni aniqlash. Natijada talablar geometriya, gidravlika, ekspluatatsiya va hisoblash parametrlari bloklariga ajratildi.

Modelning qo'llanish shartlari. Model quyidagi klassik farazlarga asoslanadi: (i) oqim asosan o'zan yo'nalishi bo'yicha bir o'lchamli deb qaratiladi; (ii) bosim taqsimoti gidrostatik yaqinlashuvga (uzoq to'lqin, sayoz suv) muvofiq qabul qilinadi; (iii) kesim geometriyasi kanal bo'ylab sekin o'zgaradi; (iv) ishqalanish yo'qotishlari empirik qonunlar, asosan Manning qonuni, orqali ifodalanadi; (v) zarur hollarda tezlik profilining notekisligi impuls korreksiya koeffitsienti orqali hisobga olinadi.

Sen-Venan tenglamalari. Asosiy holatda noma'lumlar sifatida sarf va ko'ndalang kesim maydoni (yoki chuqurlik) qabul qilinadi. Massa saqlanishi (kontinuitet) tenglamasi:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_i(x, t), \quad (1)$$

bu yerda: $q_i(x, t)$ – kanal bo'ylab birlik uzunlikka to'g'ri keladigan yon sarf (yon suv olish nuqtalari, drenaj kirimi yoki chiqimi, filtratsiya, qaytarma suv va boshqalar). Impuls tenglamasi:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA(S_0 - S_f), \quad (2)$$

bu yerda: $S_0(x)$ – tag nishabligi, $S_f(x, t)$ – gidravlik nishablik (ishqalanish hisobiga yo'qotish), g – erkin tushish tezlanishi. Inshootlar joylashgan nuqtalarda (shlyuz, qopqoq, nasos va h.k.) qo'shimcha mahalliy qarshiliklar yoki $Q - h - u$ munosabatlari kiritiladi.

Kanal geometriyasi va kesim funksiyalari. Hisob

domeni $x \in [0, L]$ bo'yicha kanal piketajga mos tarzda segmentlanadi. Har bir segmentda kesim geometriyasi $A(h)$, namlangan perimetr $P(h)$, suv yuzasi kengligi

$T_w(h) = dA/dh$ va gidravlik radius $R(h) = A/P$ funksiyalari bilan beriladi. Trapetsiya kesim uchun minimal parametrlar: tub kenglik va yon nishabi koeffitsienti bo'lib, funksiyalar quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} A(h) &= h(b + mh), \\ T_w(h) &= b + 2mh, \\ P(h) &= b + 2h\sqrt{1 + m^2}, \\ R(h) &= \frac{A}{P}. \end{aligned} \quad (3)$$

Agar kanal kesimi tabiiy (nomuntazam) bo'lsa, $A(h)$ va $P(h)$ funksiyalari ko'ndalang kesim nuqtalari jadvalidan interpolatsiya orqali hosil qilinadi. Bu holda har bir reper kesim uchun chuqurlik diapazoni va interpolatsiya qoidasi alohida belgilanadi.

Tag belgisi va tag nishabligi. Tag belgisi $z_b(x)$ geodezik ma'lumotlardan qabul qilinib, tag nishabligi

$S_0(x)$ sonli differensiallash yoki uchastkalar bo'yicha o'rtacha qiymatlar orqali aniqlanadi. Geometriyadagi keskin o'zgarishlar (kesim almashishi, inshootlar, burilishlar) segment chegaralariga to'g'ri kelishi talab etiladi.

Ishqalanish modeli va g'adir-budurlik. Ishqalanish yo'qotishlari Manning qonuni bilan parametrlanadi. Segmentlar uchun g'adir-budurlik koeffitsienti $n(x)$ pasport, vizual baholash va (eng ishonchlisi) gidropost yoki sensor ma'lumotlari asosida kalibrlanadi. Gidravlik nishablik:

$$S_f = n^2 \frac{Q|Q|}{A^2 R^{4/3}}, \quad (4)$$

bu yerda: $A=A(h)$ va $R=R(h)$. Agar mavsumiy o'zgarsa (o'tlar, cho'kindilar, ekspluatatsiya rejimi), u holda n ni vaqt bo'yicha bo'lakli o'zgaruvchi parametr sifatida berish yoki kalibrlashni mavsumlar kesimida alohida bajarish tavsiya etiladi.

Yon sarflar va tarqalgan yo'qotishlar. Kanal bo'ylab

yon sarflar $q_l(x, t)$ massani saqlanish tenglamasiga kiritiladi. Amaliy hisobda yon suv olish nuqtalari diskret nuqta sarflari sifatida berilsa, ular hisob torining mos segmentiga taqsimlangan ko'rinishda olib kiritiladi, ya'ni

nuqta sarfi $Q_{off}(t)$ uchun $q_l \approx -Q_{off}(t)/\Delta x$ qabul qilinadi. Filtratsiya va bug'lanish alohida baholanishi zarur

bo'lsa, ular ham q_l tarkibida taqsimlangan chiqim sifatida hisobga olinadi.

Chegara shartlari va inshootlar modeli. Ochiq irrigatsiya kanallarida oqim ko'pincha subkritik $Fr < 1$ bo'lgani uchun chegara shartlari sifatida 1 ta yuqori va 1 ta pastki shart beriladi. Amalda keng qo'llanadigan juftlik:

yuqorida $Q(0, t)$, pastda $h(L, t)$. Inshootlar (shlyuz, qopqoq, to'g'on, nasos) uchun esa ularning ish rejimini ifodalovchi qo'shimcha algebraik munosabat kiritiladi, masalan:

$$Q = C_d b u(t) \sqrt{2g\Delta H}, \quad (5)$$

bu yerda: $u(t)$ – qopqoq ochilish signali, b – qopqoq

kengligi, ΔH – yuqori va pastki b'eflar sathi farqi, C_d – inshoot razryad koeffitsienti. Inshoot parametrlari pasport ma'lumotlari bilan bir xil formatda kiritilishi va rejim almashishi shartlari (erkin / suv bosgan) alohida belgilanishi talab etiladi.

Boshlang'ich shartlar va initsializatsiya. Boshlang'ich shartlar $Q(x, 0)$ va $h(x, 0)$ ko'rinishida beriladi. Ishonchli dinamik hisob uchun avval statsionar holatni (berilgan Q yoki h bo'yicha) yechib, uni $t=0$ da boshlang'ich holat sifatida qabul qilish tavsiya etiladi; bu usul boshlang'ich ossilyatsiyalarni kamaytiradi.

Sonli echim va turg'unlik talablari. Fazoviy diskretlashtirish uchun x bo'yicha setka qadami, vaqt bo'yicha tanlanadi. Beqaror harakatni hisoblashda implitsit Preissmann (box) sxemasi qo'llanadi; unda vaqt bo'yicha vaznlash koeffitsienti tanlanib, amalda sonli ossilyatsiyalarni pasaytirish uchun ko'pincha olinadi. Har bir vaqt qadamida chiziqsiz tenglamalar tizimi Nyuton iteratsiyasi orqali echiladi; yakobian matritsasi ko'p holatda siyrak tuzilmaga ega bo'ladi.

Agar eksplitsit sxema qo'llansa, Courant (CFL) sharti bajarilishi talab etiladi:

$$\max_i \frac{(|V_i| + c_i) \Delta t}{\Delta x} \leq 1, \quad (6)$$

bu yerda: $V = Q/A$, c – mahalliy to'lqin tezligi.

Kalibrlash va tekshirish. Kalibrlashda asosiy e'tibor $n(x)$ va $q_l(x, t)$ parametrlariga qaratildi, chunki ular sath va sarf dinamikasiga eng yuqori ta'sir ko'rsatadi. Kalibrlash ma'lumot manbalari sifatida gidropostlardagi sath va sarf o'lchovlari, sath–sarf bog'lanish egri egri chiziqlari, inshoot ochilish jurnallari va (mavjud bo'lsa) balans tekshiruvlari qo'llanadi. Tekshirish bosqichida hisoblangan $Q(x, t)$ va $h(x, t)$ qiymatlari mustaqil kuzatuvlar bilan taqqoslanadi, shuningdek, massani saqlanish (balans) bo'yicha ichki muvofiqlik nazorat qilinadi.

Kirish ma'lumotlari to'plami. Tadqiqotni amalga oshirish uchun minimal kirish ma'lumotlari to'plami 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadvalda keltirilgan parametrlar turg'un sonli echim olish, kalibrlashni amalga oshirish va modelni operativ boshqaruv vazifalariga ulash (inshootlar signallari orqali) uchun etarli minimal to'plam sifatida qabul qilinadi.

1-jadval

Minimal kirish ma'lumotlari to'plami

Belgi	Tavsif	Birlik	Manba
L	Kanal uzunligi va piketaj	m	geodeziya/pasport
$Z_b(x)$	Tag belgisi	m	Geodeziya
$A(h), P(h)$	Kesim funksiyalari	m^2, m	kesim o'lchovi/loyiha
$n(x)$	G'adir-budurlik koeffitsienti	-	pasport + kalibrlash
$q_l(x, t)$	Yon sarflar (kirim-chiqimlar)	m^3/s	yon suv olish joyi/drenaj/balans
$Q(0, t)$	Yuqori chegara sharti	m^3/s	dispatcher/o'lchov
$h(L, t)$	Pastki chegara sharti	m	o'lchov/inshoot
$Q(x, 0), h(x, 0)$	Boshlang'ich shart	$m^3/s, m$	statsionar echim/o'lchov

Natijalar tahlili va misollar. Hisoblash algoritmi. Ushbu bo'lim Sen-Venan tenglamalari (1)–(2) va inshoot munosabatlari (5) asosida beqaror harakatni hisoblashning amaliy algoritmini bayon qiladi. Algoritm implitsit Preissmann (box) sxemasi va Nyuton iteratsiyasiga tayanadi; natijada har bir vaqt qadamida $Q(x,t)$ va $h(x,t)$ to'la maydonlari hisoblanadi.

1-qadam. Kirish ma'lumotlarini tayyorlash. Kanal segmentlari, piket to'rlari va har segment uchun $Z_b(x)$ (yoki $S_0(x)$), kesim funksiyalari $A(h)$, $P(h)$, $T_w(h)$, shuningdek $n(x)$ va $q_i(x,t)$ parametrlari bir xil formatda yig'iladi. Inshootlar uchun $Q=f(h_{up}, h_{down}, u)$ ko'rinishidagi algebraik munosabatlar va pasport koeffitsientlari alohida obyekt sifatida tayyorlanadi.

2-qadam. Diskretlashtirish. Fazoda $x_i = i\Delta x$, $i = 0, \dots, N$ to'rt, vaqtda $t^k = k\Delta t$, $k = 0, \dots, K$ to'rt tanlanadi. Implitsit sxemada vaqt bo'yicha vaznlash koeffitsienti $\theta \geq 0.5$ qabul qilinadi (amalda $\theta \approx 0.55 \div 0.70$).

Preissmann operatorlari quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{\partial y}{\partial t} \Big|_{i+1/2}^{k+\theta} \approx \frac{(y_{i+1}^{k+1} + y_i^{k+1}) - (y_{i+1}^k + y_i^k)}{2\Delta t}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} \Big|_{i+1/2}^{k+\theta} \approx \theta \frac{y_{i+1}^{k+1} - y_i^{k+1}}{\Delta x} + (1-\theta) \frac{y_{i+1}^k - y_i^k}{\Delta x}, \quad (8)$$

$$y_{i+1/2}^{k+\theta} \approx \theta \frac{y_{i+1}^{k+1} + y_i^{k+1}}{2} + (1-\theta) \frac{y_{i+1}^k + y_i^k}{2}. \quad (9)$$

3-qadam. Vaqt qadamida chiziqli tizimni yig'ish. Har bir $k \rightarrow k+1$ qadamda ichki tugunlar uchun (1)–(2) tenglamalar Preissmann operatorlari (7)–(9) orqali diskretlanadi. Noma'lumlar vektori

$U^{k+1} = [Q_0^{k+1}, \dots, Q_N^{k+1}, h_0^{k+1}, \dots, h_N^{k+1}]^T$ ko'rinishida olinadi. Chegara shartlari (masalan, $Q(0,t)$ va $h(L,t)$) yoki inshoot tenglamalari tizimga qo'shimcha algebraik shartlar

sifatida kiritiladi; natijada $F(U^{k+1})=0$ chiziqli tenglamalar tizimi hosil bo'ladi.

Nyuton iteratsiyasi har bir vaqt qadamida quyidagi ko'rinishda bajariladi:

$$J(U^{(r)})\Delta U^{(r)} = -F(U^{(r)}), \quad U^{(r+1)} = U^{(r)} + \lambda \Delta U^{(r)}, \quad (10)$$

bu yerda: $J = \partial F / \partial U$ – Yakobian, r – iteratsiya

raqami, $\lambda \in (0,1]$ – damping koeffitsienti (turg'unlikni oshirish uchun). Yakobian matritsasi odatda siyrak bo'lgani sababli, chiziqli tizimni echishda siyrak matritsalar uchun mos Gauss usuli, siyrak LU parchalash yoki iteratsion echim usullaridan foydalanish maqbul.

4-qadam. Konvergensiya va sifat nazorati. Iteratsiyalar

$\|\Delta U\|_\infty \leq \varepsilon_U$ va $\|F\|_\infty \leq \varepsilon_F$ mezonlari bilan to'xtatiladi;

maksimal iteratsiya soni N_{iter}^{max} beriladi. Har vaqt qadamida massa saqlanishi ichki nazorat qilinadi:

$\Delta V \approx \int_0^L q_i(x,t) dx \Delta t + Q(0,t) \Delta t - Q(L,t) \Delta t$ baholanadi va balans qoldig'i belgilangan chegaradan oshmasligi talab etiladi.

5-qadam. Natijalarni saqlash va agregatlash.

Hisoblangan Q_i^k va h_i^k maydonlari vaqticha faylga yoziladi. Qo'shimcha ravishda $V_i^* = Q_i^k / A(h_i^k)$,

$H_i^k = |V_i^*| / \sqrt{gA(h_i^k)/T_w(h_i^k)}$ kabi hosilaviy ko'rsatkichlar, shuningdek $Q_{max}(x)$, $h_{max}(x)$, va boshqa statistikalar hisoblanib, hisobot jadvallariga chiqariladi.

Natija jadvallari va chiqish formatlari

Tadqiqot doirasida natijalarni chiqarish uchun yagona jadval shakllari taklif etiladi. Ushbu shakllar modelni ishga tushirish sozlamalarini, yaqinlashish holatini hamda va natijalarini profil va vaqt qatorlari ko'rinishida hujjatlashtirishga xizmat qiladi (2–4-jadval).

2-jadval

Hisoblash parametrlari va konvergensiya sozlamalari

Belgi	Tavsif	Birlik	Qiymat/izoh
Δx	Fazoviy setka qadami	m	tor aniqligi va geometriya o'zgarishiga mos
Δt	Vaqt qadami	s	dinamika tezligi va hisob samaradorligiga mos
θ	Preissmann vaznlash koeffitsienti	-	0.55÷0.70 tavsiya
N	Fazoviy tugunlar soni	-	$N = L/\Delta x$
K	Vaqt qadamlari soni	-	$K = T/\Delta t$
ε_U	Noma'lumlar o'zgarishi bo'yicha to'xtash mezon	-	masalan, 10^{-6}
ε_F	Qoldiq bo'yicha to'xtash mezon	-	masalan, 10^{-6}
N_{iter}^{max}	Nyuton iteratsiyasi maksimal soni	-	masalan, 20–50
λ	Damping koeffitsienti	-	zarur bo'lsa 0.1÷1

Chiqish natijalarining saqlash shakllari

Natija obyekti	Belgi	Birlik	Indekslash	Izoh
Sarf maydoni	Q_i^k	m^3/s	$i = 0..N,$ $k = 0..K$	asosiy natija
Sath yoki chuqurlik maydoni	h_i^k	m	$i = 0..N,$ $k = 0..K$	asosiy natija
Kesim maydoni	$A_i^k = A(h_i^k)$	m^2	i, k	geometriya funksiyasi orqali
O'rtacha tezlik	$V_i^k = Q_i^k / A_i^k$	m/s	i, k	hosilaviy ko'rsatkich
Frud soni	$Fr_i^k = V_i^k / \sqrt{g A_i^k / T_w(h_i^k)}$	-	i, k	rejim nazorati
Chegara vaqt-qatori	(Q_0^k, h_N^k)	$m^3/s, m$	$k = 0..K$	yuqori/pastki b'ef
Inshoot javobi	Q_{str}^k	m^3/s	$k = 0..K$	$u(t)$ bo'yicha hisoblangan

Kalibrlash va tekshirishda hisobot uchun tavsiya etiladigan ko'rsatkichlar

Ko'rsatkich	Formula	Birlik	Izoh
Sath RMSE	$RMSE_h = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (h_m^{obs} - h_m^{mod})^2}$	m	kalibrlash sifati
Sarf RMSE	$RMSE_Q = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (Q_m^{obs} - Q_m^{mod})^2}$	m^3/s	kalibrlash sifati
MAE	$MAE = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M y_m^{obs} - y_m^{mod} $	m yoki m^3/s	robust ko'rsatkich
Balans nevyazkasi	$\varepsilon_B = \frac{\left \Delta V - \left(\int_0^L q_i dx + Q_{in} - Q_{out} \right) \Delta t \right }{\max(\Delta V, 1)}$	-	massa saqlanishi nazorati
Maksimal sath	$h_{max}(x) = \max_k h(x, t^k)$	m	xavfli rejimlar
Maksimal sarf	$Q_{max}(x) = \max_k Q(x, t^k)$	m^3/s	o'tkazuvchanlik nazorati

Agar model operativ boshqaruv masalalariga ulansa, 3-jadvaldagi chegara vaqt qatorlari va inshootning javob signallari real dispatcher boshqaruv signali bilan birga arxivlanishi shart. Bu keyinchalik parametrlarni qayta kalibrlash va rejimlar bo'yicha qiyosiy tahlil o'tkazish imkonini beradi.

Xulosa.

Ushbu tadqiqotda ochiq kanallarda Sen-Venan modeli uchun kirish ma'lumotlari va parametrlash talablari tizimlashtirildi hamda ularni tayyorlashning amaliy tartibi bayon etildi. Geometriya va tag nishabligi, gidravlik

qarshilik (Manning n), chegara shartlari va inshootlar rejimi bo'yicha minimal ma'lumot to'plami ajratilib, Preyssmann implitsit sxemasi asosida hisoblash algoritmi va natijalarni jadvashtirish formatlari ko'rsatildi. Taklif etilgan yondashuv modelni takrorlanuvchi tarzda qo'llash, kalibrlash va monitoring ma'lumotlari bilan tekshirish uchun zarur "ma'lumotlar intizomi"ni ta'minlaydi. Kelgusida talablar to'plamini sensor ma'lumotlari (sath va sarf), GIS geometriyasi va avtomat kalibrlash usullari bilan boyitish hamda boshqaruv konturlariga (dispatcherlik, MPC/SCADA) integratsiya qilish rejalashtiriladi.

References

1. E. Audusse, F. Bouchut, M.-O. Bristeau, R. Klein, and B. Perthame, "A Fast and Stable Well-Balanced Scheme with Hydrostatic Reconstruction for Shallow Water Flows," *SIAM J. Sci. Comput.*, vol. 25, no. 6, pp. 2050–2065, Jan. 2004, doi: 10.1137/S1064827503431090
2. Paul. G. Samuels and C. P. Skeels, "Stability Limits for Preissmann's Scheme," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 116, no. 8, pp. 997–1012, Aug. 1990, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1990)116:8(997)
3. B. F. Sanders, D. A. Jaffe, and A. K. Chu, "Discretization of Integral Equations Describing Flow in Nonprismatic Channels with Uneven Beds," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 129, no. 3, pp. 235–244, Mar. 2003, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:3(235)
4. Z. Liu, D. Zhu, Y. Chen, and Z. Wang, "A modified Holly-Preissmann scheme for simulating sharp concentration fronts in streams with steep velocity gradients using RIV1Q," *Water Resources Research*, vol. 50, no. 12, pp. 9757–9765, Dec. 2014, doi: 10.1002/2014WR015287
5. P. D. Bates, M. S. Horritt, and T. J. Fewtrell, "A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling," *Journal of Hydrology*, vol. 387, no. 1–2, pp. 33–45, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.03.027
6. M. S. Horritt and P. D. Bates, "Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation," *Journal of Hydrology*, vol. 268, no. 1–4, pp. 87–99, Nov. 2002, doi: 10.1016/S0022-1694(02)00121-X
7. P. Brisset, J. Monnier, P.-A. Garambois, and H. Roux, "On the assimilation of altimetric data in 1D Saint-Venant river flow models," *Advances in Water Resources*, vol. 119, pp. 41–59, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.advwatres.2018.06.004
8. L. Jiang, S. Westphal Christensen, and P. Bauer-Gottwein, "Calibrating 1D hydrodynamic river models in the absence of cross-section geometry using satellite observations of water surface elevation and river width," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 25, no. 12, pp. 6359–6379, Dec. 2021, doi: 10.5194/hess-25-6359-2021
9. C.-W. Yu, B. R. Hodges, and F. Liu, "A new form of the Saint-Venant equations for variable topography," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 24, no. 8, pp. 4001–4024, Aug. 2020, doi: 10.5194/hess-24-4001-2020
10. G.-T. Wang, S. Chen, and J. Boll, "A semianalytical solution of the Saint Venant equations for channel flood routing," *Water Resources Research*, vol. 39, no. 4, p. 2002WR001690, Apr. 2003, doi: 10.1029/2002WR001690
11. E. Audusse, M.-O. Bristeau, B. Perthame, and J. Sainte-Marie, "A multilayer Saint-Venant system with mass exchanges for shallow water flows. Derivation and numerical validation," *ESAIM: M2AN*, vol. 45, no. 1, pp. 169–200, Jan. 2011, doi: 10.1051/m2an/2010036
12. X. Litrico and V. Fromion, "Simplified Modeling of Irrigation Canals for Controller Design," *J. Irrig. Drain Eng.*, vol. 130, no. 5, pp. 373–383, Oct. 2004, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2004)130:5(373)
13. D. Lozano, C. Arranja, M. Rijo, and L. Mateos, "Simulation of automatic control of an irrigation canal," *Agricultural Water Management*, vol. 97, no. 1, pp. 91–100, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.agwat.2009.08.016
14. A. Casas, S. N. Lane, D. Yu, and G. Benito, "A method for parameterising roughness and topographic sub-grid scale effects in hydraulic modelling from LiDAR data," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 14, no. 8, pp. 1567–1579, Aug. 2010, doi: 10.5194/hess-14-1567-2010
15. J. Garrote, M. González-Jiménez, C. Guardiola-Albert, and A. Díez-Herrero, "The Manning's Roughness Coefficient Calibration Method to Improve Flood Hazard Analysis in the Absence of River Bathymetric Data: Application to the Urban Historical Zamora City Centre in Spain," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 19, p. 9267, Oct. 2021, doi: 10.3390/app11199267
16. M. A. Bessar, P. Matte, and F. Anctil, "Uncertainty Analysis of a 1D River Hydraulic Model with Adaptive Calibration," *Water*, vol. 12, no. 2, p. 561, Feb. 2020, doi: 10.3390/w12020561
17. F. Yang et al., "Improved method for identifying Manning's roughness coefficients in plain looped river network area," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 15, no. 1, pp. 94–110, Jan. 2021, doi: 10.1080/19942060.2020.1858967
18. D. M. Ferreira, C. V. S. Fernandes, E. Kaviski, and T. Bleninger, "Calibration of river hydrodynamic models: Analysis from the dynamic component in roughness coefficients," *Journal of Hydrology*, vol. 598, p. 126136, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126136
19. R. Moussa and C. Bocquillon, "Approximation zones of the Saint-Venant equations for flood routing with overbank flow," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 251–260, Jun. 2000, doi: 10.5194/hess-4-251-2000
20. M. Perumal and B. Sahoo, "Applicability criteria of the variable parameter Muskingum stage and discharge routing methods," *Water Resources Research*, vol. 43, no. 5, p. 2006WR004909, May 2007, doi: 10.1029/2006WR004909

A.K.Axmedov – PhD, dotsent,

“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” MTU

Maqolada qishloq xo'jaligini moliyalashtirishni davlat tomonidan qo'llab-quvvatlash yo'nalishlari, ichki xususiy investitsiyalarni jalb qilish va boshqa zamonaviy moliyalash manbalari bo'yicha yondashuvlar xorijiy mamlakatlar tajribasi va ilmiy tadqiqot ishlarining natijalari asosida o'rganilgan. Qishloq xo'jaligini moliyalashtirishning an'anaviy usullari bilan birga hozirgi zamonaviy moliyalash texnologiyalari bilan birgalikda taqqoslab tahlil qilingan. Rivojlangan mamlakatlarda qishloq xo'jaligini moliyalashtirish, innovatsion texnologiyalarni joriy etish, ekologik barqarorlikni ta'minlashga qaratilgan tadqiqotlari tizimlashtirilgan holda tahlil qilingan va takliflar ishlab chiqilgan.

Kalit soʻzlar: qishloq xoʻjaligi, sugʻurta, kredit, moliyalashtirish, investitsiya, “yashil” moliya, kraudfanding

A.K.Ахмедов – PhD, доцент,

НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»

В статье исследованы подходы к государственной поддержке финансирования сельского хозяйства, привлечению отечественных частных инвестиций и другим современным источникам финансирования на основе опыта зарубежных стран и результатов научных исследований. Проведен сравнительный анализ традиционных методов финансирования сельского хозяйства с современными технологиями финансирования. Систематизированы исследования в области финансирования сельского хозяйства в развитых странах, внедрения инновационных технологий и обеспечения экологической устойчивости, разработаны соответствующие предложения.

Ключевые слова: сельское хозяйство, страхование, кредит, финансирование, инвестиции, «зеленое» финансирование, краудфандинг

A.K.Akhmedov – PhD, Associate professor,

“Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” NRU

This article studies approaches to government support for agricultural financing, attracting domestic private investment, and other modern sources of financing, based on the experience of foreign countries and the results of scientific research. A comparative analysis of traditional agricultural financing methods and modern financing technologies is provided. Research on agricultural financing in developed countries, the implementation of innovative technologies, and ensuring environmental sustainability is systematized, and relevant proposals are developed.

Key words: agriculture, insurance, credit, financing, investment, "green" finance, crowdfunding

Kirish. Qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini barqaror rivojlantirish O'zbekiston iqtisodiyotida muhim ahamiyatga ega. Chunki, qishloq xo'jaligi – mamlakatda oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash va qayta ishlash sanoatini xomashyo bilan ta'minlashga xizmat qiladi. Shuningdek, qishloq xo'jaligining o'ziga xos hususiyati sifatida yer-suv munosabatini ta'kidlash kerak. Yer – suv resurslari bilan birgalikda asosiy vosita sifatida dehqonchilik qilishga imkon beradi hamda kafolatlangan hosil olishning manbai sifatida qaraladi. Qishloq xo'jalik mahsulotlarini yetishtirishda yerlarning meliorativ holati asosiy ko'rsatkichlardan biri sifatida baholanadi. O'zbekistonda 3,4 mln. gektar

sugʻoriladigan maydonlar boʻlib, ushbu maydonlar u yoki bu darajada shoʻrlangan (aksariyat qismi qishloq xoʻjalik oborotidan chiqib ketgan). Shuningdek, mintaqada suv resurslarini taqchilligi, yillik yogʻingarchiliklarni sezilarli darajada kamayishi, transchegaraviy suvlardan birgalikda foydalanish bilan bogʻliq masalalar ham oʻz taʼsirini koʻrsatmoqda.

Qishloq xo'jalik korxonalarini moliyalashtirishning samarali shakl va usullarini amaliyotga keng joriy etish dolzarb masalalardan hisoblanadi. Chunki, qishloq xo'jalik mahsulotlarini raqobatbardoshligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Shuning uchun qishloq xo'jaligi

sohasini moliyalashtirishni kompleks tashkil etish va oqilona qo'llab-quvvatlash tizimini ishlab chiqish zarurat sifatida baholanadi. Biroq, yillar davomida qishloq xo'jaligini bozor talablari asosida rivojlantirishga e'tibor berilmadi va ushbu tarmoqqa investitsiyalarni (mahalliy va xorijiy) jalb qilishga yetarlicha shart-sharoitlar yaratilmaganligini ham ta'kidlash lozim.

Agrar sohani izchil rivojlantirish va yuqori samaradorlikka erishish uchun innovatsion texnologiyalardan foydalanish tizimini rag'batlantirish hamda qishloq va suv xo'jaligini kompleks rivojlantirish va ular bilan bog'liq xizmatlarni ham qo'llab-quvvatlash dolzarb vazifalardan hisoblanadi. Buning uchun innovatsion texnologiyalarni qishloq xo'jaligiga joriy etishni moliyalashtirish bilan bog'liq masalalarni tadqiq qilish va imkoniyatlarni baholash muhim sanaladi. Ayniqsa, qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini rivojlantirishda xorijiy investorlar bilan bir qatorda mahalliy ishbilarmonlarga ham teng imkoniyatlar yaratish dolzarb ahamiyat kasb etadi.

Metodologiya. Ushbu maqolada qishloq xo'jaligini moliyalashtirishning uslubiy-nazariy asoslari umumlashgan holda tahlil qilingan. Qishloq xo'jaligini moliyalashtirishni davlat tomonidan qo'llab-quvvatlash yo'nalishlari, ichki xususiy investitsiyalarni jalb qilish va boshqa zamonaviy moliyalash manbalari bo'yicha yondashuvlar tadqiq etilgan. Qishloq xo'jaligini moliyalashtirish yo'nalishida xorijiy mamlakatlar tajribasi va ilmiy tadqiqot ishlarining natijalari umumlashgan holda o'rganilgan.

Adabiyotlar sharhi. Qishloq xo'jaligini rivojlantirishda asosan quyidagi moliyalashtirish usullaridan keng foydalaniladi: bank kreditlari, lizing va davlat subsidiyalari. Ushbu an'anaviy usullar ma'lum shart-sharoitlar doirasida samarali bo'lib, hozirgi kunda qishloq xo'jaligiga talab qilinadigan moliyaviy resurslarni to'liq ta'minlash uchun yangicha yondashuvlar zarur bo'lmoqda. Masalan, mikrokreditlash, kraudfanding (crowdfunding – ma'lum bir platformalar orqali biror bir g'oyani amalga oshirish uchun ommadan pul yig'ish orqali moliyalashtirish usuli), davlat va xususiy sheriklik orqali moliyalashtirish, kredit kooperativlari, "yashil" moliyaviy texnologiyalar va islom moliyasi kabi yo'nalishlarni keltirish mumkin.

Mavzuga oid adabiyotlarni tahlil etish jarayonida qishloq xo'jaligini moliyalashtirishning zamonaviy usullari bo'yicha mamlakatimizning yetakchi iqtisodchi olim va mutaxassislari tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilgan.

Jumladan, M.Alikulovning ilmiy ishlarida boshqa iqtisodchi olimlar va tadqiqotchilarning izlanishlarini umumlashtirgan holda tahlil qilgan [1]. Ayniqsa, Sh.O'. Kamolov [2], S.Sh.Jabborov [3], R.A.Karimov [4], M.Yu. To'xtasinov [5], A.I.Abduazizov [6], B.Yu.Pulatov [7], O.T.Qosimov [8], N.R.Xoliquov [9] kabi olimlarning ilmiy tadqiqotlariga e'tibor qaratgan.

Shuningdek, ushbu mahalliy olimlar fikricha, qishloq xo'jaligini moliyalashtirishda venchur kapital, kraudfanding va davlat-xususiy sheriklik, xalqaro va milliy moliyaviy tashkilotlar bilan hamkorlik kabi yo'nalishlarda tadqiqotlar qilinganini ko'rishimiz mumkin [1,10]. Bu usullar qishloq xo'jaligi sohasida yangi investitsiyalar va innovatsiyalar kiritishga yordam beradi.

Shuningdek, qishloq va suv xo'jaligi sohasiga investitsiyalarni jalb qilish va ularni samaradorligi bo'yicha S.Umarov [11], qishloq va suv xo'jaligi sohasida davlat-xususiy sheriklik loyihalarini amalga oshirishda G'.Dusmuratov [12], agrar sohani moliyaviy qo'llab-quvvatlash bo'yicha I.Erkinxodiyev [13], qishloq xo'jaligi sohasida ilmiy ta'minotni moliyalashtirish bo'yicha A.Babadjanov [14,15], qishloq xo'jaligini kreditlash bo'yicha A.Avliyaqulov va

I.Salomovlarning amalga oshirgan tadqiqotlari ham muhim ahamiyat kasb etadi [16,17].

Xorijlik olimlarning ilmiy tadqiqotlarida qishloq xo'jaligini moliyalashtirishning zamonaviy mexanizmlariga e'tibor qaratilgan. Jumladan S.C.Zhangning fikricha, xorijiy investitsiyalar va xalqaro grantlar qishloq xo'jaligining rivojlanishiga ko'proq ta'sir ko'rsatadi. Shu bilan birga, moliyalashtirishning aniq strategik va zamonaviy mexanizmlariga e'tibor berish zarurligini ta'kidlaydi [18].

T.R.Carter qishloq xo'jaligini moliyalashtirishda davlat-xususiy sheriklikning ahamiyatiga alohida e'tibor qaratadi. Uning fikricha, xususiy sektor va davlat o'rtasidagi sheriklik, fermerlar va xo'jaliklarga moliyaviy manbalarni ta'minlashda muhim mexanizm hisoblanadi. Bu model, ayniqsa, qishloq xo'jaligi uchun zamonaviy moliyaviy xizmatlarning ko'lamini kengayishiga xizmat qilishini ta'kidlaydi [19].

Shuningdek, raqamli texnologiyalar va aqlli qishloq xo'jaligi texnologiyalarining rivoji bugungi kunda qishloq xo'jaligi sektorini moliyalashtirishda yangicha yondashuvlarga ehtiyoj sezmoqda. Ushbu zamonaviy usullar, kichik fermerlarni qo'llab-quvvatlash, ilg'or texnologiyalarni joriy etish, resurslarni samarali taqsimlash va ekologik xavf-xatarlarni kamaytirish kabi ko'plab ustuvor maqsadlarga xizmat qilishi lozim.

Bugungi kunda, qishloq xo'jaligini moliyalashtirish nafaqat katta miqdordagi kapitalni jalb qilishni o'z ichiga oladi, balki ekologik jihatdan barqaror texnologiyalarni va innovatsion yechimlarni joriy etishga ham imkoniyat yaratadi.

Birinchidan, qishloq xo'jalik mahsulotlarini ishlab chiqaruvchi xo'jaliklarda yashil moliyaviy resurslardan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirish yo'nalishlarini o'z ichiga oladi. Jumladan, yashil texnologiyalar va innovatsiyalarni joriy qilishni moliyalashtirish va davlat tomonidan soliq imtiyozlarini qo'llash, subsidiyalar ajratishni rag'batlantiruvchi mexanizm sifatida muhim ahamiyatga ega [20].

Ikkinchidan, qishloq xo'jaligi qorxonalarini barqaror rivojlanishi uchun sarmoyalarni keng jalb qilishga imkon beradi. Shuningdek, yashil moliyaviy resurslardan foydalanish yashil innovatsiyalar va texnologik taraqqiyotning rivojlanishiga ta'sir etib [21], pirovardida atrof-muhitni ifloslanishini kamayishiga yordam beradi va barqaror rivojlanishning harakatlantiruvchi kuchiga aylanadi.

Ushbu maqolada qishloq xo'jaligi sektorini moliyalashtirishning zamonaviy usullari va ularning afzalliklari, kamchiliklari, shuningdek, bu usullarning qishloq xo'jaligi sohasida qanday samaradorlikka erishishiga oid tahlil keltirilgan. Bunday usullar orqali fermerlar va qishloq xo'jaligi tadbirkorlari o'z faoliyatlarini kengaytirish va modernizatsiya qilish imkoniyatiga ega bo'ladi.

Ushbu mavzuning dolzarbligi fermerlarning o'z imkoniyatlarini kengaytirishi, qishloq aholisining turmush darajasini oshirishi va qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida innovatsion yondashuvlarni rivojlantirish bilan bog'liqdir. Shu sababli, bu sohada yondashuvlarni chuqur tahlil qilish va amaliyotga joriy etish hozirgi davrning dolzarb vazifalaridan biri hisoblanadi.

Muhokama va tahlillar. Iqtisodiyot tarmoqlarini rivojlanishida fan-texnika taraqqiyoti muhim ahamiyatga ega bo'lib, barqaror iqtisodiy rivojlanishning asosi bo'lib hizmat qiladi. Ishlab chiqarish (mahsulot yetishtirishni) modernizatsiya qilish, intensiv o'sish va ekinlarni genetik jihatdan takomillashtirish jarayonlari bevosita innovatsiyalarga asoslanadi va ko'plab sarmoya jalb qilishni talab etadi.

Rivojlangan mamlakatlarda qishloq xo'jaligini moliyalashtirish, innovatsion texnologiyalarni joriy etish, ekologik barqarorlikni ta'minlash va bozor tizimlarini rivojlantirishga katta e'tibor qaratilgan. Ularning tajribasi rivojlanayotgan mamlakatlarga ham foydali bo'lishi mumkin, chunki ular samarali qishloq xo'jaligi tizimlarini ya'ni

bo'yicha o'z tajribalarini ilgari surishmoqda. Jumladan, rivojlangan mamlakatlar innovatsiyalarni joriy etish, ekologik barqarorlikni ta'minlash va texnologiyalardan samarali foydalanish borasida yuqori natijalarga erishgan. Quyidagi jadvalda rivojlangan mamlakatlarning qishloq xo'jaligini moliyalashtirishdagi muammolari keltirilgan.

1-jadval

Rivojlangan mamlakatlarning qishloq xo'jaligini moliyalashtirishdagi muammolar va ularni bartaraf etish yo'nalishlari

Qishloq xo'jaligini moliyalashtirishga salbiy ta'sir etuvchi omillar	Moliyalashtirishdagi muammolarni bartaraf etish yo'nalishlari
I. Qishloq xo'jaligiga investitsiyalarni jalb qilishda risklarning yuqoriligi: a) fermerlarning kredit olishdagi qiyinchiliklari; b) kichik va o'rta fermerlarga kamroq yordam berilishi; c) qishloq xo'jaligi kreditlariga yuqori foiz stavkalari; d) qishloq xo'jaligida mahsulotlarining narxlar o'zgarishi (mavsumiylik).	- rivojlangan moliyaviy infrastrukturani yaratish; - kichik fermerlarni (dehqon va tomoqqa yer egalarini) moliyalashtirish uchun maxsus dasturlar; - fermerlarga kredit taqdim etishda davlat ko'magining kuchayishi; - xalqaro moliyaviy resurslarni jalb etish; - qishloq xo'jaligiga "yashil" subsidiyalarni joriy qilish; - moliyaviy xavfsizlik va sug'urta tizimini rivojlantirish.
II. Iqlim o'zgarishiga moslashish va ekologik talablar: e) innovatsion texnologiyalarni joriy qilishning qimmatligi; f) hududlarning iqlim sharoitlari va tabiiy ofatlarni sodir bo'lishi; g) iqlim o'zgarishlari va ekologik tahdidlar; h) ekologik talablarning kuchayishi; j) raqamli texnologiyalarni joriy etish.	- iqlim o'zgarishlariga qarshi innovatsion yechimlar; - eko-fermerlik va barqaror qishloq xo'jaligini qo'llab-quvvatlash dasturlari; - yuqori texnologiyalarni joriy etish orqali samaradorlikni oshirish; - iqlimga moslashuvchan qishloq xo'jaligini rivojlantirish.

Mavjud muammolarni hal etishda asosan davlatning roli muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, rivojlangan mamlakatlarda qishloq xo'jaligini moliyalashtirishda davlat subsidiyalari va imtiyozlari asosiy yechim sifatida qaratiladi. Shu bilan birga, fermer (dehqonlar)ga yordam berish, iqlim o'zgarishlariga qarshi strategiyalarni ishlab chiqish masalalari keng tadqiq etilmoqda.

Iqlim o'zgarishlari va tabiiy ofatlar rivojlangan mamlakatlar uchun katta muammo tug'dirmoqda. Bu muammolarni hal qilish uchun sug'urta tizimlari, biomahsulotlar etishtirish, ekologiyaga zarar yetkazmaslik va boshqa innovatsion yechimlarni amaliyotga tatbiq etishga e'tibor qaratilmoqda. Rivojlangan mamlakatlarning tajribasi boshqa rivojlanayotgan davlatlar uchun katta ahamiyatga ega hisoblanadi.

Qishloq xo'jaligini moliyalashtirish asosan ikki yo'nalishda amalga oshirilayotgani adabiyotlar tahlili natijasida o'rganildi. Jumladan, "yashil" moliyalashtirish va innovatsion texnologiyalar hamda ularni joriy etishning samarali moliyalashtirish kabi yo'nalishlarni o'z ichiga oladi. Moliyaviy texnologiyalardan samarali foydalanish va yashil iqtisodiyotga o'tish bilan bog'liq barqaror rivojlanish strategiyalariga e'tibor qaratilgan [22]. Ayniqsa investorlar ekologik toza mahsulot ishlab chiqaruvchi korxonalarga hamda ekologiyaga zarar yetkazmasdan ishlab chiqarishga sarmoya kiritishga intilmoqda [23].

Qishloq xo'jaligi korxonalarini moliyalashtirishni rivojlantirish mamlakatimiz iqtisodiy tizimining raqobatbardosh rivojlanishini ta'minlashning muhim shartidir. Siyosiy va iqtisodiy tizimdagi beqarorlik sharoitida xo'jalik yurituvchi subyektlar faoliyatini moliyalashtirishning samarali usullarini ishlab chiqish va tashkiliy masalalarni hal etish, shu jumladan innovatsion rivojlanish uchun zarur

shart-sharoitlarni yaratish, xo'jalik yurituvchi subyektlarning maqsad va vazifalarini ro'yobga chiqarish, xavf-xatarlarga qarshi kurashish imkonini beradi.

Qishloq xo'jaligi korxonalari faoliyatini moliyalashtirishda mahalliy va xorijiy olimlarning tadqiqotlarini o'rganish shuni ko'rsatdiki, ushbu sohada moliyaviy resurslarning yetarli emasligi va ularni boshqarishdagi muammolarning aksariyatiga sabab bo'lmoqda. Shu bois qishloq xo'jaligi korxonalarini moliyalashtirishni takomillashtirishning istiqbolli yo'nalishlarini ishlab chiqish qishloq xo'jaligi iqtisodiyotining dolzarb masalasi bo'lib, samarali yechim topishni taqozo etadi.

Shuningdek, qishloq xo'jaligini moliyalashtirishning yangi usullari orqali ijtimoiy barqarorlikni ta'minlash, qishloq aholisining daromadlarini oshirish va ularning turmush sharoitlarini yaxshilash hamda ijtimoiy muammolarga qarshi kurashishda katta imkoniyatlar mavjud. Qishloq xo'jaligini moliyalashtirishda innovatsion yondashuvlarning ahamiyati ortib borayotganligi sababli, ushbu sohada samarali moliyaviy mexanizmlar orqali qishloq xo'jaligi sektorining uzoq muddatli barqarorligini ta'minlashga e'tibor qaratish muhim. Ayniqsa, qishloq xo'jaligini moliyalashtirishda mahalliy va xorijiy investorlarga teng sharoit yaratish lozim. Chunki, qishloq xo'jaligiga katta investitsiyalarni jalb qilishda qiyinchiliklar mavjud bo'lib, asosan mahalliy aholi qishloq xo'jaligida band bo'ladi. Shu bois ichki hususiy investitsiyalarni qo'llab-quvvatlash muhim hisoblanadi.

O'zbekistonda qishloq xo'jaligini huquqiy jihatdan tartibga solish va javobgarlikni kuchaytishga ham e'tibor qaratish lozim. Ayniqsa, O'zbekiston Respublikasining "Qishloq xo'jaligi kooperativi to'g'risida" qonun qabul qilingan (yangi tahrirda), ammo amalga oshirish mexanizmlari yaxshi o'rganilmagan. Shuningdek, qishloq xo'jaligida

klasterlashtirish bo'yicha birqancha ishlar tashkil etildi. Jumladan, paxta to'qimachilik klasterlari faoliyat yuritmoqda, ammo "klasterlar faoliyati to'g'risida" meyoriy huquqiy hujjatlar (qonun va qonun osti hujjatlar) qabul qilinmagan. Natijada, ushbu sohada tizimli muammolar yuzaga kelgan.

Xulosa va takliflar. Yuqorida ta'kidlangan muammolarni bartaraf etishda quyidagi taklif va tavsiyalar ishlab chiqildi.

Birinchidan, qishloq va suv xo'jaligi tizimini raqamlashtirish va axborot texnologiyalarini joriy etish. Natijada ekin maydonlari va ekin turlari bo'yicha tezkor ma'lumot olish imkoniyati yuzaga keladi. Real vaqt rejimida ekin maydonlarini sug'orishda suv bilan ta'minlanish va boshqa iqlim ma'lumotlarini tahlil qilish mumkin bo'ladi.

Ikkinchidan, davlat tomonidan subsidiya va soliq imtiyozlarini joriy etishni soddalashtirish hamda samarali mexanizmlarini joriy etish. Bunda, qishloq xo'jaligiga investitsiya kiritishni rag'batlantirish uchun soliq imtiyozlari qo'llash lozim. Shuningdek, subsidiya ajratishda nafaqat texnika va texnologiyalarni joriy qilish balki, atrof-muhitni saqlash va ekologik barqarorlikni saqlash uchun ham

qo'shimcha mablag'lar ajratishni nazarda tutish.

Uchunchidan, xalqaro moliya institutlari bilan hamkorlikni kuchaytirish va qishloq xo'jaligi sohasiga uzoq muddatli investitsiyalarni (kreditlarni) va grantlar mablag'larni jalb qilishga asosiy e'tiborni qaratish.

To'rtinchidan, qishloq xo'jaligini sug'urtalash tizimini rivojlantirish. Bunda asosan ikkita yo'nalish muhim ahamiyat kasb etadi: qishloq xo'jalik ekinlarining tabiiy ofatlar natijasida hosilni yo'qotishlaridan sug'rtalash; va qishloq xo'jaligiga ajratilgan moliyaviy resurslarni qaytmaslik hatarlaridan sug'urtalash. Shuningdek, erkin bozor munosabatlari sharoitida sug'urta bozorini rivojlantirish va sug'urta fondlarini barqarorlashtirish lozim.

Beshinchidan, yangi moliyaviy texnologiyalarni joriy etishni huquqiy tartibga solish va joriy etish amaliyotini jadallashtirish. Jumladan, blokcheyn texnologiyalaridan foydalanish, kraudfanding (kraudinvesting) platformalarini joriy etish va rivojlantirish hamda yashil moliyalashtirishga alohida e'tibor berish lozim.

№	Adabiyotlar	References
1	Alikulov M. Qishloq xo'jaligini moliyalashtirishning zamonaviy usullari//Scientific Journal of "International Finance & Accounting" Issue 5, October 2024.	Alikulov M. Sovremennyye metody finansirovaniya sel'skogo khozyaystva. Scientific Journal of "International Finance & Accounting" Issue 5, October 2024. [Modern methods of financing agriculture. Scientific Journal of "International Finance & Accounting" Issue 5, October 2024.]
2	Kamolov Sh.O'. Qishloq xo'jaligini moliyalashtirishning innovasion usullari. – Toshkent, 2021.	Kamolov SH.O. Innovatsionnyye metody finansirovaniya sel'skogo khozyaystva. Tashkent, 2021. [Innovative methods of financing agriculture. Tashkent, 2021.]
3	Jabborov S.Sh. Qishloq xo'jaligini moliyalashtirish va moliyaviy yordamlar. – Toshkent, 2021.	Dzhabborov S.SH. Sel'skokhozyaystvennoye finansirovaniye i finansovaya pomoshch'. Tashkent, 2021. [Agricultural financing and financial assistance. Tashkent, 2021.]
4	Karimov R.A. Qishloq xo'jaligi sektorida moliyaviy risklarni boshqarish. – Toshkent: Fan va texnologiyalar, 2019.	Karimov R.A. Upravleniye finansovymi riskami v agrarete. Tashkent: Nauka i tekhnologii, 2019. [Financial risk management in the agricultural sector. Tashkent: Science and technologies, 2019.]
5	To'xtasinov M.Yu. Moliyalashtirish usullari va xalqaro iqtisodiy hamkorlik. – Toshkent, 2018.	Tokhtasinov M.YU. Metody finansirovaniya i mezhdunarodnoye ekonomicheskoye sotrudnichestvo. Tashkent, 2018. [Financing methods and international economic cooperation. Tashkent, 2018.]
6	Abduazizov A.I. Qishloq xo'jaligini moliyalashtirish: zamonaviy tendensiyalar. – Toshkent, 2018.	Abduazizov A.I. Finansirovaniye sel'skogo khozyaystva: sovremennyye tendentsii. Tashkent, 2018. [Financing of agriculture: modern trends. Tashkent, 2018.]
7	Pulatov B.Yu. Davlat-xususiy sheriklik va qishloq xo'jaligini moliyalashtirish. – Toshkent, 2021.	Pulatov B.YU. Gosudarstvenno-chastnoye partnerstvo i finansirovaniye sel'skogo khozyaystva. Tashkent, 2021. [Public-private partnership and financing of agriculture. Tashkent, 2021.]
8	Qosimov O.T. Qishloq xo'jaligi iqtisodiyotini rivojlantirishda moliyalashtirish mexanizmlarining roli. Toshkent: Iqtisodiyot va ta'lim nashriyoti, 2020.	Kosimov O.T. Rol' mekhanizmov finansirovaniya v razvitiy agroekonomiki. Tashkent: Izdatel'stvo «Ekonomika i obrazovaniye», 2020. [The role of financing mechanisms in the development of the agricultural economy. Tashkent: Economics and Education Publishing House, 2020.]

9	Xoliqov N.R. Fermer xo'jaliklarini moliyalashtirishning iqtisodiy asoslari. – Samarqand: SamDU, 2018.	Xholikov N.R. Ekonomicheskiye osnovy finansirovaniya fermerskikh khozyaystv. Samarkand: Samarkandskiy gosudarstvennyy universitet, 2018. [Economic foundations of financing farms. Samarkand: Samarkand State University, 2018.]
10	Alikulov M. Qishloq xo'jaligi moliyalashtirishdagi muammolar va yechimlar // "Iqtisodiy taraqqiyot va tahlil" elektron jurnali. – Toshkent, 2025. 1-son – yanvar. – B. 23-30.	Alikulov M. Problemy i resheniya v agrofinansirovani. Ekonomicheskoye razvitiye i analiz, 2025, vypusk 1 - yanvar'. S. 23-30 [Problems and solutions in agricultural financing. Economic Development and Analysis, 2025, issue 1 - January. Pp.23-30]
11	Umarov S.R. Suv xo'jaligi tizimida innovatsion faoliyatni rivojlantirishning ilmiy-amaliy asoslarini takomillashtirish. i.f.d., diss. avtoref. – Toshkent, 2023. – 73 b.	Umarov S.R. Sovershenstvovaniye nauchno-prakticheskikh osnov razvitiya innovatsionnoy deyatel'nosti v sisteme vodokhozyaystvennogo upravleniya. Doktor ekon.nauk, avtoreferat. – Tashkent-2023. – 73 s. [Improving the scientific and practical foundations of the development of innovative activities in the water management system. Doctor of Sciences, dissertation avtoreferat. – Tashkent-2023. – P.73]
12	Dusmuratov G'. Davlat-xususiy sheriklik loyihalarini amalga oshirish doirasida qishloq va suv xo'jaligi o'rtasidagi bog'liqlik //«Globallashuv va iqlim o'zgarishi sharoitida oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash: muammo va yechimlar» respublika ilmiy-amaliy anjumani. – Toshkent, 2024, 15-may. – B. 615-618.	Dusmuratov G. Svyaz' mezhdur sel'skim khozyaystvom i vodopol'zovaniyem v ramkakh realizatsii proyektov gosudarstvenno-chastnogo partnerstva // Respublikanskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Obespecheniye prodovol'stvennoy bezopasnosti v kontekste globalizatsii i izmeneniya klimata: problemy i resheniya», 2024, 15 maya. - S. 615-618 [The connection between agriculture and water management within the framework of the implementation of public-private partnership projects // Republican Scientific and Practical Conference "Ensuring Food Security in the Context of Globalization and Climate Change: Problems and Solutions" 2024, 15 - May. – Pp.615-618]
13	Erkinxodjiyev I. Agrar sohani moliyaviy qo'llab-quvvatlash mexanizmlarini takomillashtirish. i.f.f.d. (PhD), diss. avtoref. – Toshkent, 2023. –57 b.	Erkinxodjiyev I. Sovershenstvovaniye mekhanizmov finansovoy podderzhki sel'skokhozyaystvennogo sektora. kandidat nauk (PhD), dissertatsiya avtoref. – Tashkent-2023. – 57 s. [Improving the mechanisms of financial support for the agricultural sector. PhD, diss.avtoref. – Tashkent-2023. –57 p.]
14	Babadjanov A. (2021) Future Priority Directions of Research in the Agrarian Sphere and Improvement of their Financing System. American Journal of Economics and Business Management 4 (10), Pp.15-25.	Babadjanov A. (2021) Future Priority Directions of Research in the Agrarian Sphere and Improvement of their Financing System. American Journal of Economics and Business Management 4 (10), Pp.15-25.
15	Babadjanov A., Axmedov A. Qishloq xo'jaligida innovatsiyalardan foydalanish tizimini shakllantirishning tashkiliy-iqtisodiy asoslari (Monografiya). – T.: "Iqtisod-Moliya", 2022. –240 b.	Babadzhanov A., Ahmedov A. Organizatsionno-ekonomicheskiye osnovy formirovaniya sistemy ispol'zovaniya innovatsiy v sel'skom khozyaystve (Monografiya). – T.: «Ekonomika-finansy», 2022. – 240 s. [Organizational and economic foundations of the formation of a system for the use of innovations in agriculture (Monography). – T.: "Economy-Finance", 2022. Pp.240]
16	Avliyaqulov A.A. Bozor iqtisodiyoti sharoitida turli mulkchilik shakllaridagi qishloq xo'jalik korxonalarini kreditlash mexanizmlarini takomillashtirish. i.f.n., diss. avtoref. – Toshkent, 2002. – 23 b.	Avliyakov A.A. Sovershenstvovaniye mekhanizmov kreditovaniya sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy razlichnykh form sobstvennosti v usloviyakh rynochnoy ekonomiki. Kandidat nauk, diss.avtoreferat. – Tashkent-2002. – 23 s. [Improving the mechanisms of lending to agricultural enterprises of various forms of ownership in the conditions of a market economy. Ph.D., diss.author's ref. – Tashkent-2002. – P.23]

17	Salomov I. Agrobank va qishloq xo'jaligini moliyalashtirish. – T.: Agrobank, 2023. - 145 b.	Salomov I. Agrobank i finansirovaniye sel'skogo khozyaystva. – T.: Agrobank, 2023. – 145 s. [Agrobank and financing of agriculture. – T.: Agrobank, 2023. – Pp.145]
18	Zhang S.C. "Agricultural Financing and Its Impact on Rural Development", 2021.	Zhang S.C. "Agricultural Financing and Its Impact on Rural Development", 2021.
19	Carter T.R. «Public-Private Partnerships in Agricultural Financing» – 2019	Carter T.R. «Public-Private Partnerships in Agricultural Financing» – 2019
20	Juan Wu Role of green finance and carbon accounting in achieving sustainability /Humanities & Social Sciences Communications (2024)11:128, Pp.1-7, https://doi.org/10.1057/s41599-023-02492	Juan Wu Role of green finance and carbon accounting in achieving sustainability /Humanities & Social Sciences Communications (2024)11:128, Pp.1-7, https://doi.org/10.1057/s41599-023-02492-2
21	Yuyu Liu, Duan Ji, Lin Zhang, Jingjing An, Wenyan Sun Rural financial Development Impacts on Agricultural Technology Innovation: Evidence from China/International Journal of Environmental Research and Public Health 2021, 18, 1110. https://doi.org/10.3390/ijerph18031110	Yuyu Liu, Duan Ji, Lin Zhang, Jingjing An, Wenyan Sun Rural financial Development Impacts on Agricultural Technology Innovation: Evidence from China/International Journal of Environmental Research and Public Health 2021, 18, 1110. https://doi.org/10.3390/ijerph18031110
22	Han X., Wang Y., Yu W., Xia X. Coupling and coordination between green finance and agricultural green development: Evidence from China. Finance Research Letter 58 (2023) 104221–Pp.13	Han X., Wang Y., Yu W., Xia X. Coupling and coordination between green finance and agricultural green development: Evidence from China. Finance Research Letter 58 (2023) 104221–Pp.13
23	Xu J., She Sh., Cao P., Sun Yu. Role of green finance in resource efficiency and green economic growth. Resource Policy 81 (2023) 103349 https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103349 –Pp.7	Xu J., She Sh., Cao P., Sun Yu. Role of green finance in resource efficiency and green economic growth. Resource Policy 81 (2023) 103349 https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103349 –Pp.7
24	O'zbekiston Respublikasining "Qishloq xo'jaligi kooperativi to'g'risida"gi Qonuni, O'RQ-995-son, 08.11.2024-y. Zakon Respubliki Uzbekistan «O sel'skokhozyaystvennykh kooperativakh», № URK-995 ot 08.11.2024. [Law of the Republic of Uzbekistan "On Agricultural Cooperatives", No. LRU-995, 08.11.2024.]	Zakon Respubliki Uzbekistan «O sel'skokhozyaystvennykh kooperativakh», № URK-995 ot 08.11.2024. [Law of the Republic of Uzbekistan "On Agricultural Cooperatives", No. LRU-995, 08.11.2024.]

UO'T: 361.67:628.3

NASOS AGREGATLARIDAGI TITRASHLARNI TAHLIL QILISHDA IOT SENSORLARINI QO'LLASH

*N.S.Mamatov – t.f.d., professor, R.R.Ergashev – t.f.d., professor,
F.A.Bekchanov – t.f.n., dotsent, B.X.Turg'unov – tayanch doktorant,
"Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universiteti*

Аннотасија

Maqolada IoT akselerometr sensorlari yordamida nasos agregatlarida sodir bo'ladigan tebranishlarni spektriga ta'siri eksperimental ravishda o'rganilgan. Tadqiqotda nasos agregatlarining soz holati, sun'iy ravishda kiritilgan rotor disbalansi va yeyilgan podshipnik holatlari alohida tahlil qilinib, har bir holat uchun vaqt domenidagi tebranishlar, ularning energiyasi hamda chastota spektrlari solishtirildi. Tebranish signallarini qayta ishlash jarayonida oldindan filtrlash, median filtri va tezkor Fourier transformatsiyasi qo'llanilib, mexanik nosozliklarga xos spektral belgilar aniqlandi. Natijalar rotor disbalansi holatida past chastota diapazonida, ayniqsa birinchi va ikkinchi garmoniklar atrofida amplitudaning sezilarli ortishini, podshipnik degradatsiyasida esa 3–8 kHz oralig'idagi yuqori chastota zonasida energiyaning keskin oshishini ko'rsatdi. O'tkazilgan tahlillar har bir nosozlik turi tebranishlar spektrida o'ziga xos spektral belgilarga ega ekanini tasdiqladi. Tadqiqot natijalari IoT asosidagi vibratsiya monitoringi tizimlari nasos agregatlarining texnik holatini agregatni to'xtatmasdan, real vaqt rejimida baholash, nosozliklarni erta bosqichda aniqlash va oldindan bashoratli texnik xizmat ko'rsatishni samarali tashkil etish imkonini berishini ko'rsatadi. Mazkur yondashuv nasos stansiyalarining ishonchligini oshirish va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirishda istiqbolli xisoblanadi.

Kalit so'zlar: rotor disbalansi, nasos agregati, podshipnik, degradatsiya, tebranishlar, spektr, chastota tahlili, akselerometr sensorlari, IoT, FFT, diagnostika, nosozlik.

ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ ИОТ ПРИ АНАЛИЗЕ ВИБРАЦИИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

*Н.С.Маматов – д.т.н., профессор, Р.Р.Эргашев – д.т.н., профессор,
Ф.А.Бекчанов – к.т.н., доцент, Б.Х.Тургунов – докторант,
Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»*

Аннотация

Статье ситуации экспериментально исследовано влияние датчиков-акселерометров IoT на спектр вибрации насосных агрегатов. В исследованиях подробно анализированы нормальное рабочее состояние насосных агрегатов, искусственно вызванная разбалансировкой ротора и возникающее вследствие этого состояние подшипников, сравнение колебаний и временной области для каждого случая, а также энергетических и частотных спектров. При обработке вибрационного сигнала для проявления спектральных характеристик, характерных для механических деформаций, были применены предварительная фильтрация, медианный фильтр и быстрое преобразование Фурье. Результаты показали значительное увеличение амплитуды в низкочастотном диапазоне, особенно в первой и второй гармониках, а в случаях дисбаланса ротора и времени перемещения подшипников – резкое увеличение энергии в высокочастотной зоне от 3 до 8 кГц. Проведенный анализ подтвердил, что нормальный тип неисправности имеет свои характерные спектральные особенности и спектральные колебания. Результаты исследования показали, что система мониторинга вибраций и основа IoT позволяют оценивать техническое состояние насосных агрегатов в режиме реального времени, без остановки работы. Это позволяет эффективно выявить неисправности и организовать профилактическое техническое обслуживание. Такой подход рассматривается как перспективный для обеспечения надежности и снижения эксплуатационных расходов.

Ключевые слова: насосные агрегаты, дисбаланс ротора, подшипник, износ, вибрации, спектр, частотный анализ, акселерометры, IoT, БПФ, диагностика, отказ.

APPLICATION OF IOT SENSORS IN VIBRATION ANALYSIS OF PUMPING UNITS

*N.S.Mamatov – DSc., Professor, R.R.Ergashev – DSc., Professor,
F.A.Bekchanov – PhD., Associate Professor, B.X.Turgunov – doctoral student,
National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"*

Abstract

This study experimentally investigates the impact of IoT accelerometer sensors on the vibration spectrum of pumping units. The study includes a detailed analysis of the pumping units' normal operating conditions, artificially induced rotor imbalance, and the resulting bearing condition, a comparison of the vibrations and time domain for each case, and the energy and frequency spectra. Pre-filtering, a median filter, and a fast Fure transform were used to process the vibration signal to reveal spectral characteristics characteristic of mechanical imbalances. The results showed a significant increase in amplitude in the low-frequency range,

particularly in the first and second harmonics. In cases of rotor imbalance and bearing travel time, a sharp increase in energy in the high-frequency range from 3 to 8 kHz was observed. The analysis confirmed that normal fault conditions have their own characteristic spectral features and spectral fluctuations. The study's results demonstrate that the vibration monitoring system and IoT platform enable real-time assessment of the technical condition of pumping units without interrupting operation. This enables effective fault detection and preventive maintenance. This data-driven approach is seen as promising for ensuring reliability and reducing operating costs.

Key words: pumping unit, imbalance rotor, bearing, wear, vibration, spectrum, frequency analysis, accelerometers, IoT, FFT, diagnostics, failure.



Kirish. Bugungikundasuvta'minoti tizimlari, irrigatsiya inshootlari va sanoat texnologik jarayonlarining barqaror faoliyat yuritishi nasos agregatlarining uzluksiz hamda ishonchli ishlashiga bevosita bog'liq. Aholi sonining ortishi, qishloq xo'jaligi maydonlarining qisqishi va sanoat ishlab chiqarish hajmlarining ko'payishi suv resurslariga bo'lgan talabni keskin oshirmoqda. Bu nasos stansiyalarida ishlayotgan agregatlarning texnik holatini doimiy nazorat qilish, ularning ekspluatatsion ishonchligini ta'minlash va xizmat muddatini uzaytirish dolzarb muammolardan biri hisoblanadi [1, 2, 3, 4].

Nasos agregatlari uzoq muddat davomida doimiy mexanik yuklama, tebranishlar va tashqi muhit omillari ta'sirida ishlaydi. Bunday sharoitda rotor disbalansi, podshipniklarning yeyilishi, moylash tizimidagi buzilishlar va boshqa mexanik nosozliklar bosqichma-bosqich rivojlanib, vaqt o'tishi bilan agregat ish rejimining izdan chiqishiga hamda kutilmagan avariya holatlariga olib kelishi mumkin. Amaliy tajribalar nasos agregatlarida yuzaga keladigan nosozliklarning katta qismi asosan mexanik omillar bilan bog'liq bo'lib, ular o'z vaqtida aniqlanmaganda sezilarli iqtisodiy zarar keltiradi [5, 6, 7].

So'nggi yillarda IoT (Internet of Things) texnologiyalari, raqamli signalni qayta ishlash usullari va sensor texnikasining jadal rivojlanishi vibratsion diagnostika sohasida yangi imkoniyatlarni yaratmoqda. Akselerometr asosidagi IoT sensorlari yordamida nasos agregatlaridagi tebranishlarni uzluksiz o'lchash, ularni chastota spektri orqali tahlil qilish va masofadan monitoring qilish imkoniyati paydo bo'ldi. Ayniqsa, tezkor Fourier transformatsiyasi (Fast Fourier Transform – FFT) asosida vibratsiya signallarini tahlil qilish rotor disbalansi va podshipnik yeyilishini dastlabki bosqichlarda aniqlashga xizmat qiladi [7, 8, 9].

Nasos agregatlarida vibratsiyaning ortishi ko'pincha ichki mexanik muvozanatning buzilishi bilan bog'liq bo'lib, bu holat vaqt o'tishi bilan chuqurlashib, butun tizimning ish rejimini izdan chiqarishi mumkin. Rotor disbalansi va podshipnik degradatsiyasi ichki zarrachalarning maydalanishi, moylash tizimidagi ifloslanish, rotor o'qi bo'ylab yuklamaning notekis taqsimlanishi hamda ishqalanish juftliklarining noto'g'ri joylashuvi natijasida yuzaga keladi. Ushbu jarayonlar dastlab kichik amplitudali tebranishlar bilan boshlanib, vaqt o'tishi bilan ularning intensivligi ortib boradi.

Vibratsiyaning xususiy chastotalari orqali mexanik nosozliklarni aniqlash usuli amaliy jihatdan o'zini oqlagan. Rotor disbalansi asosan past chastotali komponentlarda namoyon bo'lsa, podshipnik degradatsiyasi yuqori chastota zonasida, ayniqsa 3–10 kHz diapazonida yaqqol kuzatiladi. Shu sababli vibratsiya spektrini tahlil qilish orqali nosozlik turini aniqlash va uning rivojlanish darajasini baholash mumkin [10, 11, 12].

An'anaviy diagnostika usullari ko'p hollarda agregat o'chirilganidan so'ng qo'lda tekshirish yoki rejalashtirilgan texnik xizmat vaqtida amalga oshiriladi. Bunday yondashuv

nosozliklarning kech aniqlanishiga, xizmat ko'rsatish xarajatlarining ortishiga va kutilmagan avariyalarga olib kelishi mumkin. Shu bois, sanoat korxonalari, suv xo'jaligi obyektlari va nasos stansiyalarida ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish, uskunalarining ishonchligini oshirish va xizmat muddatini uzaytirish maqsadida erta diagnostika tizimlariga bo'lgan talab tobora ortib bormoqda.

IoT texnologiyalari ushbu talablarga javob beruvchi samarali yechimlardan biri sifatida shakllanmoqda. Kichik o'lchamli, kam quvvat sarflovchi va yuqori sezuvchanlikka ega akselerometr sensorlari yordamida nasos agregatlaridan vibratsiya ma'lumotlarini uzluksiz yig'ish, ularni simsiz aloqa tarmoqlari orqali uzatish va real vaqt rejimida tahlil qilish mumkin. Ushbu yondashuv nasoslarni to'xtatmasdan, yuqori aniqlik bilan nosozliklarni kuzatish imkonini beradi. IoT asosidagi vibratsiya monitoringi tizimlari orqali yig'ilgan ma'lumotlar server yoki SCADA tizimlariga uzatiladi va tebranishlarning chastota spektri asosida tahlil qilinadi. Bu nosozliklarning boshlang'ich belgilarini aniqlashda eng samarali usullardan biri hisoblanadi.

Shu nuqtainazardan, mazkur maqolada nasos agregatlarida rotor disbalansi va podshipnik degradatsiyasining vibratsiya spektriga ta'siri IoT akselerometr sensorlari yordamida eksperimental ravishda o'rganiladi. Olingan natijalar vibratsiya signallaridagi o'zgarishlar orqali nosozliklarning erta bosqichda aniqlanishi, texnik xizmat ko'rsatishni samarali rejalashtirish va xavfli xolatlarini oldini olish imkoniyatlarini namoyon etadi. Tadqiqot natijalari nasos agregatlarini ekspluatatsiya qiluvchi tashkilotlar uchun tejamkor, aniq va real vaqt rejimidagi monitoring tizimlarini joriy etishda amaliy ahamiyatga ega.

Mazkur tadqiqot nasos agregatlarida rotor disbalansi va podshipnik degradatsiyasi natijasida yuzaga keladigan vibratsiya spektridagi o'zgarishlarni IoT akselerometr sensorlari yordamida aniqlash, ularning xarakterli chastotalarini ajratib olish va nosozliklarni erta bosqichda aniqlash imkoniyatlarini baholashdan iborat.

Ko'rib chiqilayotgan muammoning hozirgi holati tahlili va manbalariga havolalar. Nasos agregatlaridagi mexanik nosozliklarni aniqlash bo'yicha zamonaviy yondashuvlar tebranishlar signallarini tahlil qilishga asoslanadi. Adabiyotlarda rotor disbalansi, podshipnik degradatsiyasi va milning noto'g'ri markazlanishi kabi mexanik omillarning vibratsiya spektriga bevosita ta'siri keng yoritilgan. Rotor disbalansi tebranishlar amplitudasining aylanish chastotasi atrofida kuchayishiga olib kelishi ko'plab ilmiy ishlarda tasdiqlangan [14, 15]. Ushbu holat rotor massalarining notekis taqsimlanishi yoki milning markazdan siljishi bilan bog'liq bo'lib, past chastota zonalarida aniq aks etadi.

Podshipniklarning ishlatish muddatining qisqarishi bo'yicha o'tkazilgan ishlarda yeyilish jarayonining turli bosqichlarida spektral belgilar kuzatilishi ta'kidlangan. Podshipnik ichki halqasi, tashqi halqa yoki shariklarning

deformatsiyasi yuqori chastotali komponentlarning ortishiga olib keladi. Ba'zi tadqiqotlarda zarba xarakteridagi piklar va keng diapazonli shovqin energiyasining ortishi degradatsiyani aniqlashning samarali mezon sifatida qayd etiladi [16].

Vibratsiya diagnostikasi bo'yicha klassik usullar orasida FFT eng ko'p qo'llaniladi. FFT signallarning chastota tarkibini tahlil qilishda yuqori aniqlik beradi va mexanik nosozlikning qaysi turga mansubligini aniqlashda asosiy vosita hisoblanadi. Murakkab tizimlarda FFT bilan birgalikda Butterworth, Gaussian, Kalman yoki median filtrlarining qo'llanilishi signal sifati va sezuvchanligini yaxshilaydi [17].

So'nggi yillarda IoT texnologiyalarining rivojlanishi vibratsiya monitoringining yangi bosqichini boshlab berdi. Kichik o'lchamli, energiya tejankor va yuqori sezuvchanlikka ega akselerometr sensorlar ishlab chiqilishi ularni nasos agregatlariga o'rnatishga qulay imkoniyat yaratdi. IoT asosidagi vibratsiya monitoring tizimlarining afzalliklari sifatida real vaqt rejimidagi kuzatuv, masofaviy ma'lumot uzatish, uzluksiz monitoring va texnik xizmat ko'rsatishni optimallashtirish kabi jihatlar tilga olinadi [18,19].

Bashoratli texnik xizmat ko'rsatish (Predictive Maintenance) sohasidagi tadqiqotlarda vibratsiya signallari asosida mexanik nosozliklarni erta aniqlashning samaradorligi bir necha bor tasdiqlangan. Bunday tizimlar nosozlikni vaqtida aniqlash orqali nasos agregatlarining xizmat muddatini uzaytiradi, avariya to'xtashlarning oldini oladi va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytiradi. Shuningdek, bir qancha manbaalarda rotor dinamikasi, milning notekis yuklanishi, kavitatsiya jarayonlari va gidravlik o'zgarishlarning ham vibratsiya spektriga sezilarli ta'siri borligi ta'kidlanadi. Bu esa diagnostika jarayonida mexanik va gidravlik omillarning kompleks tahlilini talab qiladi [20, 21].

Mavjud ilmiy manbalar vibratsiya signallarining spektral tarkibi yordamida nasos agregatlaridagi nosozliklarni aniqlash nazariy va amaliy jihatdan ishonchli yondashuv ekanini tasdiqlaydi. IoT sensorlaridan foydalanish esa ushbu jarayonni avtomatlashtirish, aniq kuzatish va diagnostika sifatini oshirishga xizmat qiladi. Mazkur maqolada foydalanilgan IoT akselerometrlar, vibratsiya spektri tahlili hamda amaliy o'lchash usullarini amalga oshirish orqali nasos agregatlaridagi nosozliklarni aniqlash va diagnostika xizmatini samarali amalga oshirishga yo'naltirilgan.

Masalaning qo'yilishi, yechish usullari. Mazkur tadqiqotda nasos agregatlaridagi rotor disbalansi va podshipnik degradatsiyasining vibratsiya spektriga ta'sirini aniqlash uchun eksperimental yondashuv qo'llanildi. Tadqiqot jarayoni uch asosiy bosqichga bo'lindi: tebranishlarni o'lchash, signalni qayta ishlash va chastota spektrini tahlil qilish.

Eksperimental uskunarlar va o'lchash tizimi. Nasos agregatlaridagi mexanik tebranishlarni aniq qayd etish uchun yuqori sezuvchanlikka ega IoT akselerometr sensori tanlandi. Akselerometr nasos korpusining podshipnik o'rnatilgan zonasiga hamda rotor o'qi bo'ylab dinamik yuklamalar maksimal ta'sir qiladigan nuqtalarga o'rnatildi. Bu joylashuv vibratsiya amplitudasining tabiiy shaklini olish va disbalans yoki podshipnik degradatsiyasiga xos tebranishlarni ajratish imkonini berdi.

Sensorning texnik xususiyatlari tadqiqot talablariga mos ravishda tanlandi. O'lchash diapazoni 0–200 Hz oralig'idagi sensorlar rotor disbalansini aniqlash imkonini bersa, 2–10

kHz chastotali yuqori diapazondagi sensorlar podshipnik elementlaridagi mikrozarbalar va sirt deformatsiyalarini qayd etishga mo'ljallangan. Yuqori chastotali o'lchovlar, podshipnik rulmanlari ichidagi zarba kuchlarining spektrdagi modulyatsiyasini aniqlashda muhim ahamiyatga ega.

Akselerometr tomonidan qayd etiladigan asosiy parametr tezlanish (a) bo'lib, u rotorning tebranishlar holatini quyidagicha ifodalaydi:

$$a(t) = \frac{d^2 x(t)}{dt^2},$$

bu yerda: $x(t)$ – tebranishlarning vaqt bo'yicha siljishi. Rotor disbalansi mavjud bo'lganda siljish sinusoidal xarakterga ega bo'lib, tezlanuvchi signal ham aniqlangan muntazamlilikni ko'rsatadi:

$$x(t) = X \sin(\omega t),$$

$$a(t) = -X\omega^2 \sin(\omega t)$$

bu yerda: X – tebranishlar amplituda, $\omega = 2\pi f$ burchak chastotasi, f – rotorning aylanish chastotasi. Ushbu formula real vaqtda qayd etilgan tezlanuvchi signal disbalansning mavjud yoki mavjud emasligini bevosita ko'rsatadi [22, 23, 24].

Sensorning past shovqinli analog old kuchaytirgichi va ichki filtrlash zanjirlaridan foydalanilgan bo'lib, chiqish signali minimal tashqi elektromagnit aralashuvlarga ega. Bu ayniqsa yuqori chastotali tebranishlarni aniqlashda, jumladan podshipnik ichidagi mikrozarba jarayonlarini qayd etishda muhim ahamiyat kasb etadi.

O'lchangan signallar IoT moduli orqali simsiz ravishda uzatiladi. Ma'lumotlar uzatish jarayoni quyidagi ko'rinishda tashkil etildi:

- Sensor analog tezlanish signalini qayd etadi.
- Signal A/D konvertor orqali raqamlashtiriladi.
- Raqamlashtirilgan ma'lumot IoT moduli orqali lokal tarmoqqa uzatiladi.
- Tarmoq orqali ma'lumot markaziy serverga yuboriladi.
- Serverda tebranishlar signali vaqt domenida saqlanadi va keyinchalik FFT tahlili uchun qayta ishlanadi [25, 26].

Ma'lumotlarni simsiz uzatish imkoniyatining mavjudligi agregatni to'xtatmasdan tebranishlar monitoringini amalga oshirishga imkon berdi. Nasosning tabiiy ish rejimida qayd etilgan tebranishlar diagnostika natijalarining ishonchlilikini oshirdi.

Signalni yig'ish va dastlabki qayta ishlash. Nasos agregatidan olingan tebranish signallari vaqt domenida uzluksiz ravishda yig'ildi. Har bir o'lchash jarayoni sensor tomonidan 1000 Hz va undan yuqori namunalash tezligida raqamlashtirildi. Bunday yuqori tezlik podshipnik degradatsiyasiga xos bo'lgan yuqori chastotali komponentlarni aniqlash uchun zarur hisoblanadi. Raqamlashtirilgan signal dastlab shovqinlarni kamaytirish va bazaviy tebranishlarni tekislash maqsadida bir necha oldi-filtrlash bosqichidan o'tkazildi.

Dastlabki filtr sifatida past chastotali Butterworth filtri qo'llanildi. Filtrning asosiy vazifasi elektr shovqin, tasodifiy zarbalar va tashqi mexanik ta'sirlardan kelgan ortiqcha tebranishlarni yumshatish. Butterworth filtrining uzatish funksiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}},$$

bu yerda: ω_c – kesish chastotasi, n – filtr tartibi.

Filtrlashdan so'ng signal median filtri orqali qayta ishlanib, signal tarkibidagi tasodifiy impulsli shovqinlar, ya'ni amplitudasi keskin yuqori bo'lgan qisqa davomli piklar olib tashlandi. Ushbu filtr tebranish signalining tabiiy shakli va spektral belgilarini saqlagan holda shovqinni kamaytirishda samarali hisoblanadi. Median filtrning ishlash prinsipi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$y[i] = \text{median}(x[i-k], \dots, x[i+k]),$$

shu tarzda signal "silliqlanib", keyingi bosqich chastota tahlili uchun mos holga keltirildi. Dastlabki qayta ishlash bosqichidan o'tgan signal mexanik nosozliklarga xos bo'lgan energiya taqsimotini aks ettiradi. Filtrlashning ushbu ikki bosqichi sensorning tabiiy shovqinini kamaytirish, rotor disbalansi va podshipnik zarbalariga xos spektral belgilarni ajratishdagi aniqlikni oshiradi [27,28].

Chastota tahlili usuli. Mexanik nosozliklarni ishonchli aniqlash maqsadida nasos agregatlaridan olingan vibratsiya signallari chastota sohasida tahlil qilindi. Ushbu yondashuv tebranishlarning vaqt bo'yicha murakkab o'zgarishlarini chuqurroq o'rganish imkonini beradi. Signalni chastota sohasiga o'tkazish uchun FFT qo'llanildi.

Vaqt domenidagi signalning FFT orqali chastota domeniga o'tishi quyidagicha ifodalanadi:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi kn}{N}},$$

bu yerda: $x(n)$ – vaqt domenidagi tebranishlar signali, -chastota domenidagi spektr,

N – namuna soni.

Rotor disbalansi holatida vibratsiya spektrida asosiy aylanish chastotasiga mos keluvchi birinchi ($1\times$) hamda ayrim hollarda ikkinchi ($2\times$) garmonik komponentlarning amplitudasi sezilarli darajada oshishi kuzatiladi. Bu hodisa rotor massasining geometrik aylanish markazidan siljishi natijasida hosil bo'ladigan markazdan qochma kuchning aylanish jarayonida muntazam ravishda takrorlanishi bilan izohlanadi. Mazkur kuch aylanish chastotasiga bog'liq bo'lib, vibratsiya signalida aniq periodik xarakterdagi spektral cho'qqilarni yuzaga keltiradi.

Podshipnik degradatsiyasi esa boshqa mexanizm asosida namoyon bo'ladi. Podshipnik elementlarining yeyilishi va yuzalarida nuqsonlarning paydo bo'lishi natijasida yuqori chastotali impulsli tebranishlar hosil bo'lib, bu vibratsiya spektrining yuqori chastota diapazonida energiya zichligining ortishi bilan tavsiflanadi. Shu sababli spektral tahlil yordamida past chastotali garmoniklarning kuchayishi rotor disbalansiga, yuqori chastota sohasidagi energiya o'sishi esa podshipnik degradatsiyasiga xos diagnostik belgi sifatida qaraladi.

Chastota bo'yicha energiya taqsimoti quyidagi formula asosida solishtirildi:

$$E = \sum_{i=f_1}^{f_2} |X(f_i)|^2,$$

bu yerda: E – energiya miqdori, f_1 va f_2 – tahlil qilinayotgan chastota diapazoni chegaralari.

Past chastota zonasidagi energiya ortishi rotor disbalansi bilan bog'liq bo'lsa, keng diapazonli yuqori chastotali energiya ortishi podshipnik yeyilish belgilarini ko'rsatadi.

FFT natijalari orqali har bir nosozlik turiga xos bo'lgan spektral belgilar aniqlandi. Ushbu spektral belgilar mexanik nosozliklarning dastlabki bosqichlarini aniqlash va texnik xizmat ko'rsatishni rejalashtirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Chastota tahlili jarayonida nasos agregatida yuzaga keladigan mexanik jarayonlarning o'zaro ta'siri ham alohida baholandi. Rotor disbalansi aniq periodiklikka ega bo'lgani uchun uning spektrdagi asosiy piki aylanish chastotasiga mos keladi. Bu pik nasosning mexanik holati yomonlashgani sari amplituda bo'yicha ortib boradi. Shu sababli birinchi ($1\times$) asosiy garmonikning o'zgarishi diagnostikaning eng muhim ko'rsatkichlaridan biri hisoblanadi [29,30].

Podshipnik degradatsiyasi tebranishlar spektrida rotor disbalansidan farqli ravishda keng chastota diapazoniga tarqalgan va asosan yuqori chastotali komponentlarning kuchayishi bilan namoyon bo'ladi. Podshipnik elementlari yuzasida shakllanadigan mikrodeformatsiyalar, kontakt nuqtalaridagi zarbaviy ta'sirlar hamda ishqalanish jarayonlari natijasida impulsli tebranishlar hosil bo'lib, ular tebranishlar spektrining yuqori chastota sohasida energiya zichligining ortishiga olib keladi. Ushbu energiya o'sishi nosozlikning vaqt o'tishi bilan bosqichma-bosqich rivojlanayotganini ifodalaydi. Ayniqsa, bir necha kHzdan yuqori chastotalarda kuzatiladigan kichik amplitudali spektral cho'qqilar podshipnik ishchi yuzalarining yemirilishi va struktura yaxlitligining buzilayotganiga xos diagnostik belgi hisoblanadi. O'tkazilgan spektral tahlillar shuni ko'rsatadiki, har bir mexanik nosozlik turi o'ziga xos spektral belgilarga ega. Jumladan, rotor disbalansi tebranishlar spektrining past chastota sohasida aniq garmonik komponentlarning kuchayishi bilan ifodalansa, podshipnik degradatsiyasi yuqori chastota diapazonida energiya zichligining ortishi bilan tavsiflanadi. Milning egilishi holatlarida esa asosiy aylanish chastotasi atrofida yon chastotalarning paydo bo'lishi kuzatiladi.

Mazkur xususiyatlar vibratsiya spektri asosida nasos agregatlarining mexanik holatini bosqichma-bosqich baholash, nosozlik turini aniqlash va uning rivojlanish darajasini tashxislash imkonini beradi.

Natijalar tahlili va misollar. Nasos agregatida o'tkazilgan eksperimental o'lchovlar rotor disbalansi va podshipnik degradatsiyasining tebranishlar spektriga ta'siri aniq ko'rinishda namoyon bo'lganini ko'rsatdi. O'lchovlar uchta holatda amalga oshirildi:

1. Sog'lom holat.
2. Sun'iy rotor disbalansi.
3. Yeyilgan podshipnik.

Har bir holat uchun vaqt domenidagi tebranishlar, ularning energiyasi va FFT spektrlari o'lchandi va solishtirildi.

Rotor disbalansining spektrga ta'siri. Rotor disbalansi joriy qilingan holatda nasos agregatida kuzatilgan tebranishlar amplitudasi sog'lom holatga nisbatan ancha yuqori bo'ldi. Rotorning markazdan siljishi natijasida milga

notekis tushgan markazdan qochma kuch past chastotalarda kuchli piklar paydo bo'lishiga olib keldi. Ayniqsa, birinchi (1×) garmonik atrofida amplitudaning 2–3 barobar oshishi disbalansning aniq belgisi sifatida qayd etildi.

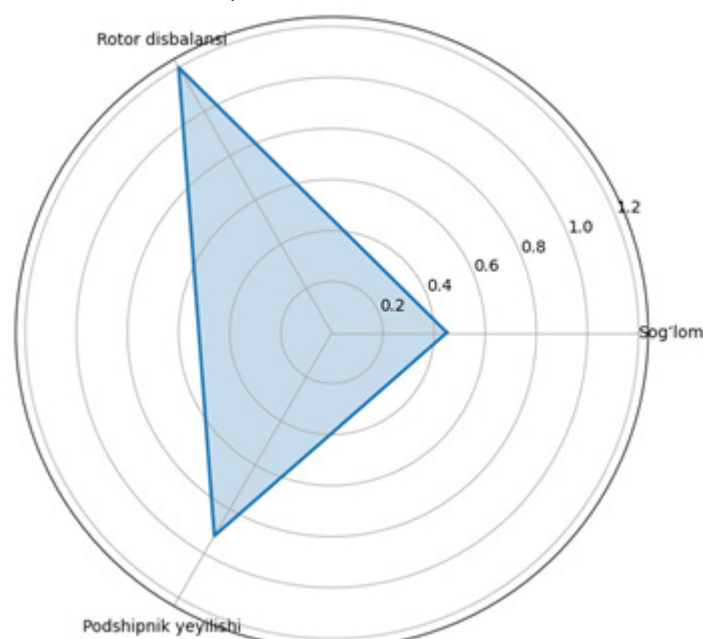
Spektral tahlil davomida ikkinchi (2×) garmonikning paydo bo'lishi ham kuzatildi. Bu rotor o'qi bo'ylab muvozanat buzilganini yoki geometrik simmetriyaning yo'qolganini ko'rsatadi. Nasoslar uzoq muddat ishlaganda bunday holatlar keng uchraydi va ultratovushli emas, aynan past chastota tebranishlarida o'z aksini topadi.

Rotor disbalansi spektrning past chastota zonasiga kuchli ta'sir ko'rsatdi. Bu mexanik jarayonning tabiati bilan mos kelib, rotorning notekis aylanishi aylanish chastotasiga bog'langan periodik tebranishlarni yuzaga keltiradi. Natijalar rotor disbalansining real nasos stansiyalarida uchraydigan tipik spektral belgilar bilan mos ekanini ko'rsatdi. Rotor disbalansi natijasida yuzaga keladigan markazdan qochma kuch quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$F_{imb} = m \cdot r \cdot \omega^2,$$

bu yerda: m – rotor massasi (kg), r – disbalans radiusi (m), ω – burchak chastota (rad/s).

Tezlanish signalining maksimal qiymati sog'lom holatda 0,45 g. ni tashkil qilgan bo'lsa, disbalans kiritilganda 1,21 g. ga yetdi. Bu nasos agregatining ish rejimida disbalansning



1-rasm. Nasos holatlariga ko'ra maksimal tebranishlar amplitudasi (g)

Bundan tashqari, FFT spektrda birinchi (1×) garmonikning piki quyidagicha ortganligi aniqlandi:

$$A_{1x}^{imb} = 3.05 A_{1x}^{healthy}.$$

Podshipnik degradatsiyasi natijalari. Podshipnik yeyilgan holatda tebranishlar signali silliq shaklini yo'qotib, zarba xarakteriga ega bo'lgan yuqori chastotali komponentlar paydo bo'ldi. Bu rulman yo'laklaridagi mikrooriqlar, sirt yemirilishi yoki shariklarning deformatsiyasi bilan bog'liq bo'lib, bu 3–8 kHz diapazonda energiyani keskin oshishiga olib keldi.

Ekspirimentlarda yuqori chastotalardagi energiya sog'lom holatga nisbatan qariyb 4–5 barobar ortgani kuzatildi. Bu degradatsiya jarayonining rivojlanayotganini ko'rsatadi. Spektrda tor va keskin piklarning paydo bo'lishi moylashning yetarli bo'lmaganini, ishqalanish kuchining oshganini hamda rulman ichida metall zarrachalarning harakati kuchayganini bildiradi.

Podshipnik nosozligining bunday spektral ko'rinishi nasos stansiyalarida amaliy diagnostika paytida ko'p uchraydi. Yuqori yuklama va uzoq muddatli ishda moylash yetishmovchiligi tez-tez uchraydigan muammo bo'lib, shu turdagi tebranishlar bilan aniqlanadi. Tadqiqotda olingan spektral belgilar podshipnik nosozligining tipik belgilariga to'la mos keldi.

Yeyilgan podshipniklar bilan o'lchovlar yuqori chastotalarda kuchli tebranishlarni ko'rsatdi. 3–8 kHz diapazonda energiya sezilarli oshdi. Podshipnik tebranishlar intensivligi quyidagi formula orqali baholandi:

$$E_{HF} = \sum_{i=f_1}^{f_2} |X(f_i)|^2.$$

Tadqiqotda yuqori chastotali energiya 4,8 barobar oshgan. Bu podshipnik rulmanlarining ichki zarbalari mavjudligini ko'rsatadi. Yeyilgan podshipnikda esa quyidagicha alomatlar kuzatilgan:

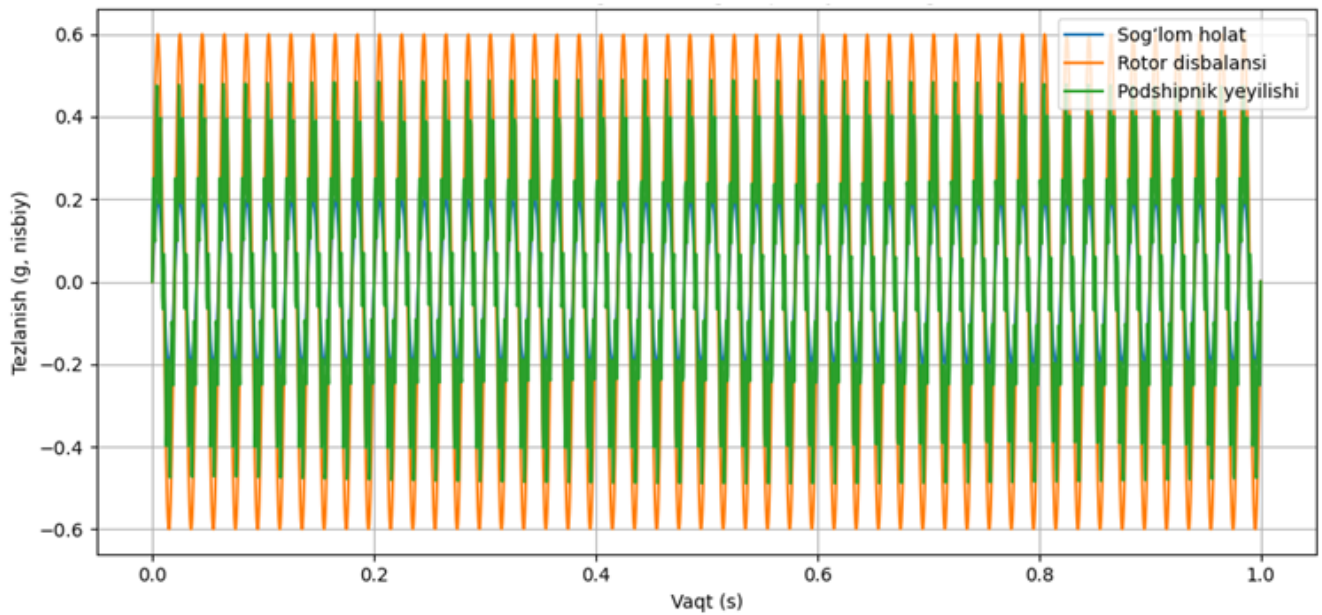
- spektrda keng diapazonli shovqin ortishi;
- 4,2 kHzda keskin pik;
- impuls xarakterli komponentlar.

Sog'lom va nosoz holatlarning taqqoslanishi. Quyidagi jadval sog'lom nasos, disbalans holati va podshipnik degradatsiyasi uchun amplituda qiymatlarining o'zgarishini ifodalaydi.

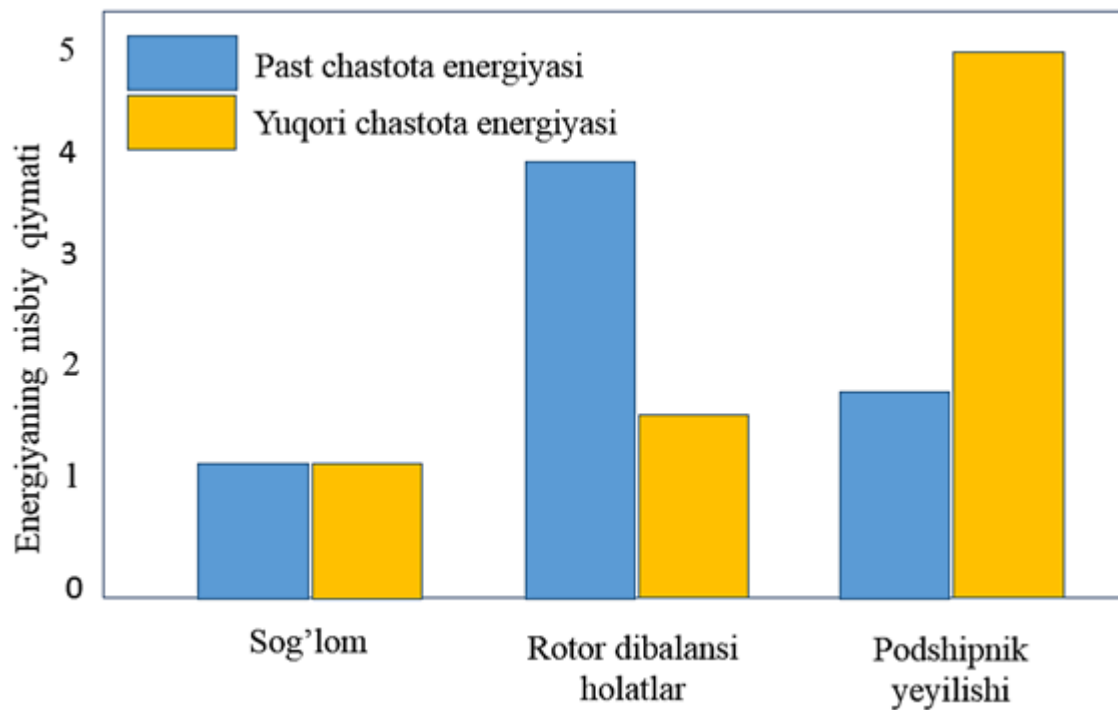
1-jadval

Vibratsiya amplitudasining holatlar bo'yicha taqqoslanishi

Holat	Maks. tezlanish (g)	1× garmonik amplitudasi (mm/s)
Sog'lom	0.45	2.8
Rotor disbalansi	1.21	8.6
Yeyilgan podshipnik	0.92	3.3



2-rasm. Tebranish signallarining vaqt bo'yicha o'zgarishi



3-rasm. Chastota bo'yicha energiya taqsimoti

O'tkazilgan tajribalar va spektral tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, rotor disbalansi holatlarida tebranishlar spektrining past chastota diapazonida tebranish amplitudalari sezilarli darajada ortadi. Bu hodisa rotor massasining notekis taqsimlanishi bilan bog'liq bo'lib, aylanish chastotasiga mos keluvchi periodik tebranishlarning kuchayishi orqali

namoyon bo'ladi. Podshipnik degradatsiyasi esa boshqa xususiyatga ega bo'lib, u asosan yuqori chastota sohasida tebranish energiyasining keskin ortishi bilan ajralib turadi. Bunda podshipnik yuzalarida shakllanadigan mikrodeformatsiyalar va zarbaviy ta'sirlar natijasida hosil bo'ladigan impulsli tebranishlar bilan izohlanadi.

Holat	Past chastota (0–200 Hz) energiya	Yuqori chastota (2–10 kHz) energiya
<i>Sogʻlom</i>	<i>1.0 birlik</i>	<i>1.0 birlik</i>
<i>Rotor disbalansi</i>	<i>3.8 birlik</i>	<i>1.4 birlik</i>
<i>Podshipnik yeyilishi</i>	<i>1.5 birlik</i>	<i>4.8 birlik</i>

Shuningdek, tahlillar har bir mexanik nosozlik turi tebranishlar spektrida oʻziga xos spektral “belgi”ga ega ekanini koʻrsatdi. Mazkur imzolar rotor disbalansi, podshipnik degradatsiyasi yoki boshqa mexanik nuqsonlarni bir-biridan ishonchli ajratish imkonini beradi. Chastota spektrini tahlil qilish asosida nosozliklarning dastlabki bosqichlarini aniqlash va ularning rivojlanish tendensiyasini baholash mumkin boʻlib, bu nasos agregatlarida erta tashxis va oldindan bashoratli texnik xizmat koʻrsatishni samarali tashkil etishga xizmat qiladi. Bu natijalar nasos stansiyalarida real ishlatiladigan diagnostika tizimlari uchun amaliy ahamiyatga ega va nasoslar ishonchliligini oshirishga xizmat qiladi.

Xulosa. Nasos agregatlarida uchraydigan IoT akselerometr sensorlari yordamida mexanik nosozlik rotor disbalansi va podshipnik degradatsiyasining tebranishlar spektriga taʼsiri eksperimental ravishda oʻrganildi. Oʻlchov va spektral tahlil natijalari ushbu nosozliklarning har biri oʻziga xos spektral belgilarni yuzaga keltirishini aniq tasdiqladi.

Rotor disbalansi mavjud boʻlgan holatlarda past chastotali energiyaning sezilarli oshishi, birinchi ($1\times$) va ikkinchi ($2\times$) garmoniklar atrofidagi piklarning kuchayishi qayd etildi. Bu rotor massalarining notekis taqsimlanishi natijasida yuzaga keladigan markazdan qochma kuchning amplitudaviy taʼsiri bilan izohlanadi. Disbalans oʻsishi tebranishlar amplitudasining 2–3 barobar oshishiga va nasos agregatining ish barqarorligining kamayishiga olib kelishi mumkinligi aniqlandi.

Podshipnik degradatsiyasi boʻyicha olingan maʼlumotlar esa yuqori chastota zonasida energiyaning keskin ortishini koʻrsatdi. 3–8 kHz diapazondagi piklar, impuls shaklidagi tebranishlar va keng diapazonli shovqin podshipnik yoʻlaklaridagi yemirilish va ishqalanishning ortganini ifodaladi. Eksperimental natijalar degradatsiya jarayoni rivojlanayotganini koʻrsatib, ushbu nosozlikni erta aniqlash kerakligini tasdiqladi.

Oʻtkazilgan tahlillar shuni koʻrsatdiki, IoT akselerometrlaridan foydalanish nasos stansiyalarida paydo boʻladigan mexanik nosozliklarni agregatni oʻchirmasdan aniqlash imkonini beradi. Sensorlar yordamida tebranishlar doimiy ravishda real vaqt rejimida oʻlchanadi va ularning chastota spektri tahlil qilinadi. Shu orqali nosozlikning qaysi turga mansubligi hamda uning qanchalik rivojlanib borayotgani dastlabki bosqichlarda aniqlanadi. Bu texnik xizmat koʻrsatishni oldindan rejalashtirishga yordam beradi, keraksiz taʼmirlash ishlarini kamaytiradi va kutilmagan avariya toʻxtashlarning oldini oladi. Natijada nasos stansiyasining ishlash ishonchliligi oshadi hamda ekspluatatsiya xarajatlari sezilarli darajada qisqaradi.

Olingan natijalarga koʻra, vibratsiya monitoringi nasos agregatlarining ishonchli ishlashini taʼminlashda eng muhim diagnostika vositalaridan biridir. IoT texnologiyalarining qoʻllanilishi esa ushbu jarayonni yanada takomillashtirib, masofaviy monitoring, avtomatik tahlil va raqamli xizmat koʻrsatish tizimlari bilan integratsiyalashgan holda yuqori samaradorlikka erishish imkonini beradi.

Nº	Adabiyotlar	References
1	Karassik I.J., Messina J.P., Cooper P., Heald C.C. Pump Handbook. McGraw-Hill, New York, 2008.	Karassik I.J., Messina J.P., Cooper P., Heald C.C. Pump Handbook. McGraw-Hill, New York, 2008.
2	Karassik I.J., Messina J.P., Cooper P., Heald C.C. Pump Handbook. McGraw-Hill, New York, 2008.	Karassik I.J., Messina J.P., Cooper P., Heald C.C. Pump Handbook. McGraw-Hill, New York, 2008.
3	Gulich J.F. Centrifugal Pumps. Springer, Berlin, 2014.	Gulich J.F. Centrifugal Pumps. Springer, Berlin, 2014.
4	Stepanoff A.J. Centrifugal and Axial Flow Pumps. Wiley, New York, 1993.	Stepanoff A.J. Centrifugal and Axial Flow Pumps. Wiley, New York, 1993.
5	Randall R.B. Vibration-based Condition Monitoring. Wiley, 2011.	Randall R.B. Vibration-based Condition Monitoring. Wiley, 2011.

6	R.Ergashev, F.Bekchanov, Sh.Musaev, S.Saydullev, B.Kholbutaev Reducing vibration of pumping units of reclamation systems E3S Web of Conference 365: 03021 (2023) doi.org/10.1051/e3sconf/2023365003021	R.Ergashev, F.Bekchanov, Sh.Musaev, S.Saydullev, B.Kholbutaev Reducing vibration of pumping units of reclamation systems E3S Web of Conference 365: 03021 (2023) doi.org/10.1051/e3sconf/2023365003021
7	Harris C.M., Piersol A.G. Harris' Shock and Vibration Handbook. McGraw-Hill, 2002.	Harris C.M., Piersol A.G. Harris' Shock and Vibration Handbook. McGraw-Hill, 2002.
8	Mobley R.K. An Introduction to Predictive Maintenance. Butterworth-Heinemann, 2002.	Mobley R.K. An Introduction to Predictive Maintenance. Butterworth-Heinemann, 2002.
9	Jardine A.K.S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics. Mechanical Systems and Signal Processing, 2006.	Jardine A.K.S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics. Mechanical Systems and Signal Processing, 2006.
10	Peng Z., Chu F. Application of the wavelet transform in machine condition monitoring. Mechanical Systems and Signal Processing, 2004.	Peng Z., Chu F. Application of the wavelet transform in machine condition monitoring. Mechanical Systems and Signal Processing, 2004.
11	Scheffer C., Girdhar P. Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. Elsevier, 2004.	Scheffer C., Girdhar P. Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. Elsevier, 2004.
12	ISO 10816-3. Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration.	ISO 10816-3. Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration.
13	R.Ergashev, F.Bekchanov and others. Assessment of the condition of pump units based on vibration diagnostic indicators supported by artificial intelligence (AI) and completed with bibliometric literature review. ASEAN Journal of Science and Engineering 5(3) 2025/ 465-490. DOI:https://doi.org/10.17509/ajse.v5i3.88759	R.Ergashev, F.Bekchanov and others. Assessment of the condition of pump units based on vibration diagnostic indicators supported by artificial intelligence (AI) and completed with bibliometric literature review. ASEAN Journal of Science and Engineering 5(3) 2025/ 465-490. DOI:https://doi.org/10.17509/ajse.v5i3.88759.
14	Tandon N., Choudhury A. A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. Tribology International, 1999.	Tandon N., Choudhury A. A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. Tribology International, 1999.
15	Lee J., Bagheri B., Jin C. Introduction to cyber manufacturing. Manufacturing Letters, 2016.	Lee J., Bagheri B., Jin C. Introduction to cyber manufacturing. Manufacturing Letters, 2016.
16	Zhao R. Deep learning and its applications to machine health monitoring. Mechanical Systems and Signal Processing, 2019.	Zhao R. Deep learning and its applications to machine health monitoring. Mechanical Systems and Signal Processing, 2019.
17	Wang K. IoT-based condition monitoring systems. IEEE Internet of Things Journal, 2018.	Wang K. IoT-based condition monitoring systems. IEEE Internet of Things Journal, 2018.
18	Heng A. Intelligent condition-based maintenance. Mechanical Systems and Signal Processing, 2009.	Heng A. Intelligent condition-based maintenance. Mechanical Systems and Signal Processing, 2009.
19	Glovatskiy O.Ya., Ergashev R.R, Bekchanov F.A. Nasos agregatlari diagnostikasi natijalari. "Irrigatsiya va melioratsiya" jurnali. – Toshkent, 2018. – №1 (11). – B. 36-39.	Glovatskiy O.Ya., Ergashev R.R, Bekchanov F.A. [Results of diagnostics of pump units]. Journal «Irrigatsiya va melioratsiya» №1 (11) 2018 y. Pp.36-39

20	Ahmad W., Khan S. Smart monitoring of pumps using IoT. Sensors, 2020.	Ahmad W., Khan S. Smart monitoring of pumps using IoT. Sensors, 2020.
21	Randall, R. B. (2011). Vibration-based condition monitoring. John Wiley & Sons.	Randall, R. B. (2011). Vibration-based condition monitoring. John Wiley & Sons.
22	Mitchell, J. S. (1993). Machinery vibration: Measurement and analysis. McGraw-Hill.	Mitchell, J. S. (1993). Machinery vibration: Measurement and analysis. McGraw-Hill.
23	Nabavi, S., & Behzad, L. (2014). Bearing fault detection using vibration signals and FFT analysis. Mechanical Systems and Signal Processing, 45, 1–12.	Nabavi, S., & Behzad, L. (2014). Bearing fault detection using vibration signals and FFT analysis. Mechanical Systems and Signal Processing, 45, 1–12.
24	Prabhakar, S., & Mohanty, A. (2003). Analysis of rolling bearing vibration signals using wavelet transform. Journal of Sound and Vibration, 260, 97–109.	Prabhakar, S., & Mohanty, A. (2003). Analysis of rolling bearing vibration signals using wavelet transform. Journal of Sound and Vibration, 260, 97–109.
25	Randall, R. B., & Antoni, J. (2011). Rolling element bearing diagnostics–A tutorial. Mechanical Systems and Signal Processing, 25, 485–520.	Randall, R. B., & Antoni, J. (2011). Rolling element bearing diagnostics–A tutorial. Mechanical Systems and Signal Processing, 25, 485–520.
26	Elforjani, M., & Mba, D. (2009). Condition monitoring of slow speed shafts using acoustic emission and vibration analysis. NDT & E International, 42, 189–198.	Elforjani, M., & Mba, D. (2009). Condition monitoring of slow speed shafts using acoustic emission and vibration analysis. NDT & E International, 42, 189–198.
27	Bekchanov F.A. New methods for diagnosing pumps hydrotechnical systems. International journal for innovative research in multidisciplinary fields. Vol-4, Issue-10, Oct-2018, Pp.367-373.	Bekchanov F.A. New methods for diagnosing pumps hydrotechnical systems. International journal for innovative research in multidisciplinary fields. Vol-4, Issue-10, Oct-2018, Pp.367-373.
28	Lei, Y., He, Z., & Zi, Y. (2007). A new approach to fault diagnosis of rotating machinery based on ant colony optimization and wavelet transform. Mechanical Systems and Signal Processing, 21, 355–370.	Lei, Y., He, Z., & Zi, Y. (2007). A new approach to fault diagnosis of rotating machinery based on ant colony optimization and wavelet transform. Mechanical Systems and Signal Processing, 21, 355–370.
29	Harsha, S. P. (2012). Nonlinear dynamic response of a misaligned rotor system. Mechanism and Machine Theory, 49, 1–11.	Harsha, S. P. (2012). Nonlinear dynamic response of a misaligned rotor system. Mechanism and Machine Theory, 49, 1–11.
30	Pathak, S. D., & Handa, S. S. (2020). IoT-based fault detection of rotary machines using vibration sensors. IEEE Sensors Journal, 20(18), 10865–10872.	Pathak, S. D., & Handa, S. S. (2020). IoT-based fault detection of rotary machines using vibration sensors. IEEE Sensors Journal, 20(18), 10865–10872.

УЎТ: 556.182:551.583

СУВ ОМБОРИ ИШ РЕЖИМИНИНГ ТЎҒОН МУСТАҲКАМЛИГИГА ТАЪСИРИ

Ф.А.Гаппаров – т.ф.д., профессор, Ш.Ш.Яхшиев – ассистент,
М.Ф.Гаффорова – т.ф.ф.д, доцент, Ф.И.Очилдиев – таянч докторант,
“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университети.

Аннотация

Ушбу мақолада республикаимизнинг текислик минтақасида жойлашган, қуйилма хусусиятга эга бўлган “Каттакўрғон” сув омборида олиб борилган визуал ва инструментал тадқиқотлар натижалари келтирилган. Сув омбори тўғонида фильтрация оқимини кузатиш, депрессия эгри чизиғи ҳолатини аниқлаш учун тўғон танасидаги 38 та пьезометрлардаги сув сатҳларининг ўзгаришлари створлар бўйича кузатирилган. Сув омбори гидрологик режими таҳлил қилиниб, “Каттакўрғон” сув омбори тўғонида жойлашган пьезометрлардаги сув сатҳларининг ўзгариши ва юқори бьефдаги сув сатҳига боғланиши аниқланган.

Олиб борилган дала тадқиқотлари асосида сув омбори тўғонидаги потенциал хавфли участкалар аниқланган, грунт қатламларининг техникавий ҳолати муҳандислик-геофизик ҳамда гидротехника иншоотларининг ишончилиги баҳоланган, мониторинг қилиш учун бошланғич мезонлар шакллантирилган. Натижада, сув омбори мавсумийлигини, фойдаланишни турли мақсадлардалигини ҳисобга олган ҳолда самарали иш режими ишлаб чиқилган.

Калит сўзлар: сув омбори, иш режими, тўғон, профил, фильтрация, намланган зоналар, пьезометр, дренаж, юқори бьеф, қуйи бьеф.

ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТИ ПЛОТИНЫ НА РЕЖИМ РАБОТЫ ВОДОХРАНИЛИЩА

Ф.А.Гаппаров – т.ф.д., профессор, Ш.Ш.Яхшиев – ассистент,
М.Ф.Гаффорова – т.ф.ф.д, доцент, Ф.И.Очилдиев – докторант,
Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»

Аннотация

В статье представлены результаты визуальных и инструментальных исследований, проведенных на Каттакурганском водохранилище, расположенном в равнинной части нашей Республики и имеющем речной характер. Для мониторинга фильтрационного стока в плотине водохранилища и определения состояния депрессионной кривой с помощью измерительных приборов отслеживались изменения уровня воды в 38 пьезометрах в теле плотины. Проанализирован гидрологический режим водохранилища, определены изменения уровня воды в пьезометрах, расположенных на плотине Каттакурганского водохранилища, и их связь с уровнем воды в верхнем бьефе.

На основе проведенных полевых исследований выявлены потенциально опасные участки в плотине водохранилища, оценено техническое состояние грунтовых слоев, оценена надежность инженерно-геофизических и гидротехнических сооружений, а также сформированы исходные критерии мониторинга. В результате разработан эффективный режим эксплуатации, учитывающий сезонность водохранилища и его использование в различных целях.

Ключевые слова: режим работы, плотина, профиль, фильтрация, зоны увлажнения, пьезометр, дренаж, верхний бьеф, нижний бьеф.

INFLUENCE OF DAM STRENGTH ON RESERVOIR OPERATION MODE

F.A.Gapparov – DSc, Professor, Sh.Sh.Yakhshiev – assistant,
M.F.Gafforova – PhD., associate professor, F.I.Ochildiev – doctoral student,
“Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers” National research university

Abstract

This article presents the results of visual and instrumental studies conducted on the Kattakurgan reservoir, which is located in the flat region of our Republic and has a fluvial character. In order to monitor the filtration flow in the reservoir dam and determine the state of the depression curve, changes in water levels in 38 piezometers in the dam body were monitored by the gauges. The hydrological regime of the reservoir was analyzed, and changes in water levels in piezometers located on the Kattakurgan reservoir dam and their connection with the water level in the upstream were determined.

Based on the field studies conducted, potentially dangerous areas in the reservoir dam were identified, the technical condition of soil layers was assessed, the reliability of engineering-geophysical and hydraulic structures was assessed, and initial criteria for monitoring were formed. As a result, an effective operating mode was developed, taking into account the seasonality of the reservoir and the use for various purposes.

Key words: reservoir, mode of operation, dam, profile, filtration, wetted zones, pezometer, drainage, dam, upper bief, lower bief.



Кириш ва муаммонинг ҳозирги ҳолати таҳлили. Жаҳонда дарёлар оқимини сув омборлари ёрдамида ростлаш, табиий режимни истеъмол режимига мослаш сув ресурсларидан комплекс фойдаланишнинг муҳим масалаларидан бири бўлиб ҳисобланмоқда. Мавжуд сув омборларидан ишончли ва самарали фойдаланиш, энг мақбул иш режимларини илмий асослаш, вегетация даврида истеъмолчиларни бир маромда сув билан таъминлашга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Бугунги кунда республикаимизда сув омборларини барпо этиш, иншоотлар самарадорлигини ва хизмат муддатларини ошириш ҳамда уларнинг ишончли эксплуатациясини таъминлаш, самарали тўлдириш ва бўшатишни амалга ошириш, сув ресурсларидан самарали фойдаланишга таъсир этувчи омилларни аниқлаш ҳамда такомиллаштириш имкониятларини берувчи мавжуд гидрологик ва гидравлик ҳисоблашларнинг янги усулларини яратишга доир кенг қамровли илмий тадқиқотлар олиб бориш муҳим саналади [12].

Сув омборларини эксплуатация қилиш жараёнида мажмуадаги иншоотлар ва жиҳозлардан хавфсиз ҳамда сув омбори захирасидаги сувдан самарали фойдаланиш муҳим саналади. Шунинг учун сув омборларини эксплуатация қилишда иншоотларининг мустаҳкамлиги ва барқарорлигида бўлагидан ўзгаришларни баҳолаш ва иншоотлар мустаҳкамлигини таъминлаш талаб этилади.

Мазкур тадқиқотнинг асосий мақсади Каттакўрғон сув омбори оқимни бошқаруви бўйича мавсумийлигини, фойдаланишни турли мақсадлардалигини ҳисобга олган ҳолда сув омборини тўлдириш ва бўшатишни иншоотларининг ишончилигига таҳдид солувчи, хавф туғдирувчи ва ҳалокатли ҳодисаларни бўлмаслигини аниқлаб, самарали иш режими ишлаб чиқишдан иборат.

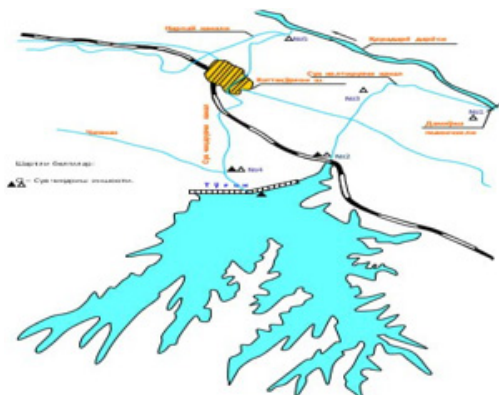
Сув омборларининг самарали ишлаш режими, сув ресурсларини бошқариш ва эксплуатация жараёнларини такомиллаштириш масалалари кўплаб олимлар

томонидан ўрганилган. Хусусан, буйўналишда А.Б. Авакян, А.Е. Асарин, Ф. Ҳикматов, Ф.А. Гаппаров, А.А. Янгиев, М.Р. Икрамова С.Р. Мансуров каби олимлар томонидан илмий изланишлар олиб борилган. Ушбу тадқиқотларда сув омборларининг сув йиғиш ва тақсимлаш жараёнлари, гидрологик режимини бошқариш, сув ресурсларидан самарали фойдаланиш ва эксплуатацион режимларни мақбуллаштириш масалалари ёритилган [3, 4].

Сув омборларида сув сифати, минераллашув даражаси, туз баланси ва гидрохимёвий жараёнларни ўрганиш масалалари ҳам кўплаб тадқиқотчилар томонидан тадқиқ этилган. А.М. Никитин, В.А. Горелкин тадқиқотларига кўра, сув омборларидаги гидрохимёвий режимнинг шаклланиши, сувнинг минерал таркиби, мавсумий ўзгаришлари ва сув сифатига таъсир этувчи омиллар таҳлил қилинган [2].

Ҳозирги вақтда республикаимиздаги сув омборларини самарали иш режимини такомиллаштириш ва истеъмолчиларни ишончли сув таъминотини амалга оширишнинг назарий асосларини ишлаб чиқишда замонавий янги информацион технологиялар асосида сонли ҳисоблаш усулларини қўллаш масалаларига етарли эътибор қаратилмаган. Шу сабабли сув омборларининг такомиллашган энг мақбул иш режимини ишлаб чиқиш ва ушбу режим асосида самарали тўлдириш ва бўшатишни амалга ошириш, йўқотилган фойдали ҳажмни оширишнинг конструктив ечимларини ишлаб чиқиш ва улар элементларини ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш каби муаммолар етарли даражада ўрганилмаган [5].

Тадқиқот объекти сифатида қайд этилган ҳолатлар интенсивлигини ўрганиш ва уларни юзага келтирувчи сабабларини аниқлаштириш мақсадида амалда фаолият юритаётган “Каттакўрғон” сув омбори иш режими, тўғон танасидаги фильтрация жараёнлари мисолида олиб борилди (1-расм).



1-расм. “Каттакўрғон” сув омборининг жойлашиш схемаси

Ечиш услуги (услуглари). “Каттақўрғон” сув омбори Ўзбекистоннинг марказий қисмида, маъмурий жihatдан Самарқанд вилояти Каттақўрғон тумани ҳудудида жойлашган. Сув омбори Самарқанд ва Навоий вилоятларининг суғориладиган ерларини сув билан таъминлашда муҳим аҳамиятга эга бўлган йирик гидротехник иншоот ҳисобланади. Ушбу сув омбори Қорадарё дарёси ҳавзаси сув ресурсларини мавсумий тартибга солиш ва сув танқислиги кузатиладиган даврларда суғориш эҳтиёжларини таъминлаш мақсадида барпо этилган бўлиб, сув “Дамхўжа” гидроузели орқали узунлиги 22 км бўлган сув келтирувчи канал ёрдамида сув омбори ҳавзасига етказилади. Сув омбори ҳавзасининг Шўрсой ва Узунқудук табиий пастликларида жойлашганлиги табиий геоморфологик шароитда сув йиғиш имкониятларини сезиларли даражада оширади [20].

Сув омборини тўлдириш ишлари илк бор 1941 йил 27 январда бошланган. Дастлабки босқичда сув омборининг сиғими 100 млн. м³ ни ташкил этган бўлса, 1953 йилда бу кўрсаткич 662 млн. м³ га етказилган. Кейинги реконструкция ишлари натижасида 1981 йилда сув омборининг лойиҳавий максимал сиғими 900 млн. м³ га етказилган.

“Каттақўрғон” сув омборининг сув билан қопланган майдони 8317 гектар ёки 83,17 км² ни ташкил этади. Сув омбори Самарқанд ва Навоий вилоятларидаги суғориладиган ерларни сув билан таъминлашда муҳим роль ўйнайди. Дастлабки лойиҳага кўра, сув омбори 375,4 минг гектар суғориладиган майдонларни сув билан таъминлаш учун мўлжалланган. Сиғими 900 млн. м³ га етказилгач эса суғориладиган майдонлар яна 24 минг гектарга ошган. Сув омборида ҳозирги кунда балиқчилик фаолияти йўлга қўйилмаган бўлса-да, унинг қирғоқ ҳудудларида турли ташкилотлар томонидан дам олиш масканлари барпо этилган. Бу ҳолат сув омборининг рекреацион салоҳиятга ҳам эга эканлигини кўрсатади [6].

“Каттақўрғон” сув омборини техник ҳолати бўйича инструментал кузатув натижалари

Сув омбори гидротехник иншоотларининг техник ҳолати визуал ва инструментал тартибда ўрганилди. Визуал кузатув натижалари асосида сув омбори мажмуасидаги иншоотлар, жиҳозлар техник ҳолатлари бўйича инструментал кузатувлар ўтказилди. Олиб борилган тадқиқотларда Георадар ОКО-3, Ақуареад АП-5000, Анализатор ДВ-ЕХ 7000 қурилмаларидан фойдаланилди (2,3-расмлар).



2-расм. Aquaread AP-5000 қурилмаси



3-расм. DW-YeX7000 Portativ XRF Минерал Анализатор қурилмаси

Ушбу Aquaread AP-5000 қурилмаси кўп параметрли сув сифатини тез ва аниқ ўлчаш учун мўлжалланган профессионал зонд (проба) ҳисобланади. Уни ичимлик суви, дарё, қўл, денгиз, канализация ва бошқа сув

объекларида сув сифатини мониторинг қилишда кенг қўлланилади.

DW-YeX7000 Portativ XRF Минерал Анализатор қурилмасининг техник хусусиятлари аналитик усулда энергияни дисперсловчи рентген флуоресансияси, ўлчов диапазон 12 дан 92 гача бўлган атом рақамларини ўлчаш мумкин. Бир вақтнинг ўзида детектор элементлари 40 та элементни таҳлил қилади [11].

Дала тадқиқотларида намуналар сув омбори ҳавзаси, ҳар бир створ бўйича пьезометрлардан ҳамда фильтрация суви чиқиб турган пастки бьефдаги дренаж водосливи олдидан олинган. Намуналар тўғондаги барча створлардаги пьезометрлардан махсус тайёрланган идишлар (0,5 л) пьезометрлар ичига туширилиб олинди. Қуйидаги фотоларда сув омборида олиб борилган натура кузатувларидан лавҳалар келтирилган (4- расм).



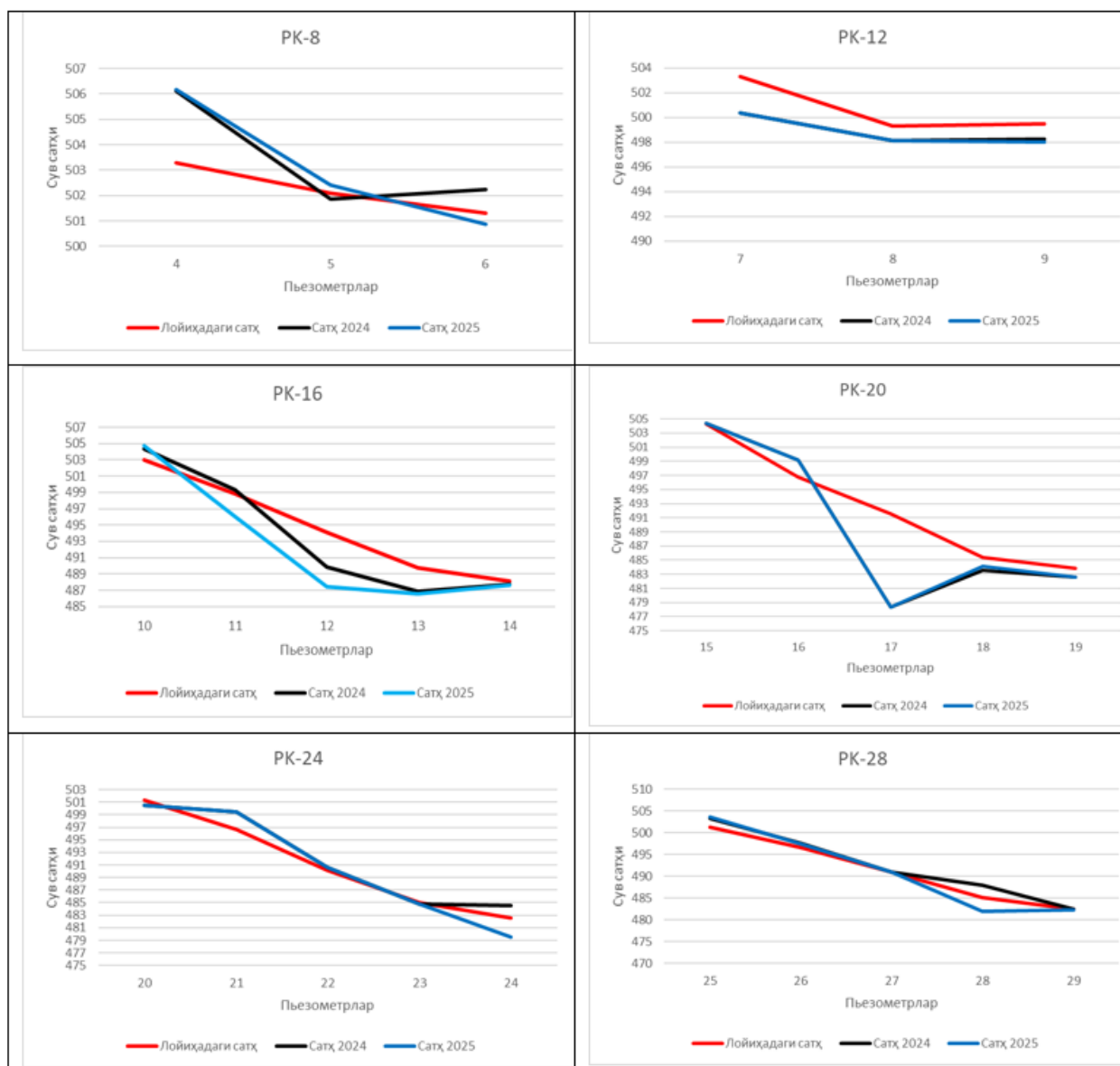
4-расм. “Каттақўрғон” сув омборида олиб борилган натура кузатувларидан лавҳалар

Инструментал кузатувлар асосида тўғон танаси грунтларининг ғоваклилик даражаси, бетон элементларидаги ўзгаришлар (чоклар, ёриқлар) ва сув омбори ҳавзасида тўпланадиган ва унинг тўғони танасидан сизадиган сувларнинг камёвий таркиби ҳамда фильтрация сувларининг лойқалик даражалари аниқланиди, олинган маълумотлар таҳлил қилинди [7, 8].

Натижалар таҳлили ва мисоллар. Сув омбори тўғонини узоқ ва ҳавфсиз ишлатиш учун тўғонда бўладиган фильтрацияни, яъни депрессия эгри чизиғини ўрганиш ва ҳисоблаш талаб этилади. Бу ҳисоблар натижасида тўғон танаси ва асосидан ўтадиган фильтрация сув сарфи, депрессия эгри чизиғининг ҳолати, депрессия эгри чизиғининг тўғон пастки қиялигидан чиқиш баландлиги ва чиқиш тезлиги ҳисобланади [10, 18].

“Каттақўрғон” сув омбори тўғонида жойлашган пьезометрларда олиб борилган кузатув маълумотлари асосида сув сатҳларини ўзгариши таҳлили 5-расмда келтирилган.

“Каттақўрғон” сув омбори тўғонида олиб борилган инструментал кузатувлар маълумотларининг таҳлили шуни кўрсатадики, пьезометрлардан ўлчанган сув сатҳлари ва георадар қурилмаси орқали олинган натижалар бир-бирига мос келмоқда.



5-расм. “Каттақўрғон” сув омбори тўғонининг юқори бьеф сув сатҳига нисбатан пьезометрлардаги сув сатҳлари ўзгариши

Жумладан, ПК- 8 даги тўртинчи, ПК-16 даги ўнинчи, ПК-20 даги ўн олтинчи, ПК-24 даги йигирма биринчи, ПК-28 даги йигирма бешинчи пьезометрларда сув сатҳи ҳисобийга нисбатан 1 метрдан 3 метргача кўтарилиш ҳолатлари мавжуд, шунингдек, ПК-8 даги бешинчи, ПК-16 даги ўн иккинчи, ПК-20 даги ўн еттинчи пьезометрларда сув сатҳи ҳисобийга нисбатан тушиш ҳолатлари мавжуд [14, 15].

Депрессия эгри чизигидан грунт капиллярлари орқали сувнинг кўтарилиш баландлиги грунт зарраларининг катта-кичиклигига боғлиқ. Қумли грунтларда 0,1–0,4 мм, гилли грунтларда 0,5–3,0 мм ва ундан юқори бўлиши мумкин. “Каттақўрғон” сув омбори тўғонида депрессия чизигидан юқорида сувнинг капилляр кўтарилиш зонаси мавжуд. Депрессия юзасидан пастда жойлашган грунт сувга тўйинади ва муаллақ ҳолатда бўлади, бунинг оқибатида тўғон қияликлари устуворлиги камаяди.

Дала тадқиқотлари доирасида сув омбори хавзасидаги тўпланган сув, тўғонда жойлашган барча пьезометрларидан ва пастки қисмидаги дренаждан

сизилаётган сувлардан даврий равишда сув намуналари олиш, уларни кимёвий таҳлил қилиш, натижаларини қиёсий таққослаш ишлари бажарилди, яъни сувни иншоотлар кетма кетлигида ҳаракатланиши давомида унинг таркибини ўзгариши иншоотлар сувлари таркибидаги моддалар кўрсаткичларини ўзаро таққослаш асосида баҳоланди [9].

Эриган тузлар миқдорининг ўзгариши: 2025 йилги тадқиқотлар натижалари “Каттақўрғон” сув омбори тўғони ва ундан қуйида жойлашган пьезометрларида сув таркибидаги эриган тузлар миқдори сув омбори косасидагига нисбатан 2–7 марта ортиб кетиши мумкинлигини кўрсатди, яъни уларнинг миқдори 0,35 г/л. дан 1,4–1,5 г/л. гача ортган. 2015 йилда олиб борилган тадқиқот натижаларига кўра эса эриган тузлар миқдори пьезометрларида 0,55–1,6 г/л. гача ўзгарган бўлса, 2025 йилда эса бу кўрсаткичлар ўзгарган (6-расм).

Хлоридлар миқдорининг ўзгариши: 2015 йилда олиб борилган дала тадқиқот натижаларига кўра пьезометрлар суви таркибидаги хлоридлар миқдори сув омбори

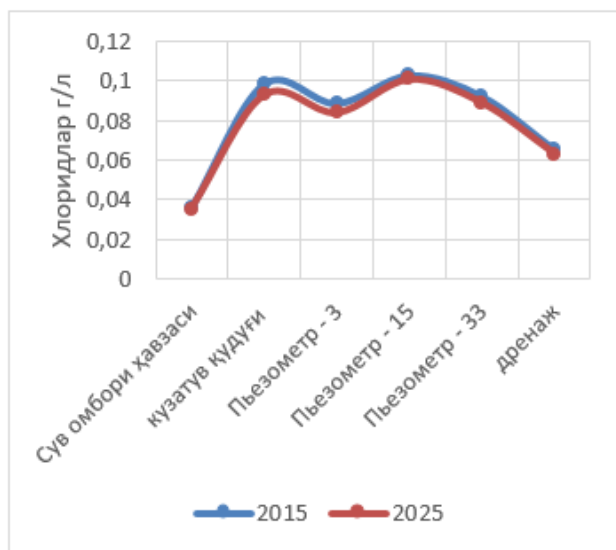
косасидагига нисбатан 1,2–4 марта ортиб кетишини кўрсатган эди.

Бунда сув омбори косасидаги сув таркибида хлоридлар миқдори 0,035 г/л бўлган бўлса, 3 ва 15-пъезометрларда кўрсаткични 0,08–0,1 г/л гача ортиши, дренаж суви таркибида эса 0,06 г/л гача камайиш кузатилган.

Дала тадқиқотлари давом эттирилган 2025 йилда сув омбори ҳавзасидаги сувлар таркибида хлоридлар миқдори 0,0355 г/л бўлган, 3–15 пьезометрларда эса 0,084–0,101 г/л. гача ўзгарган (7-расм).



6-расм. Сув омборидаги сувлар таркибида эриган тузлар миқдорининг ўзгариши (2015–2025 йй.)



7-расм. Сув омборидаги сувлар таркибида хлоридлар миқдорининг ўзгариши (2015–2025 йй.)

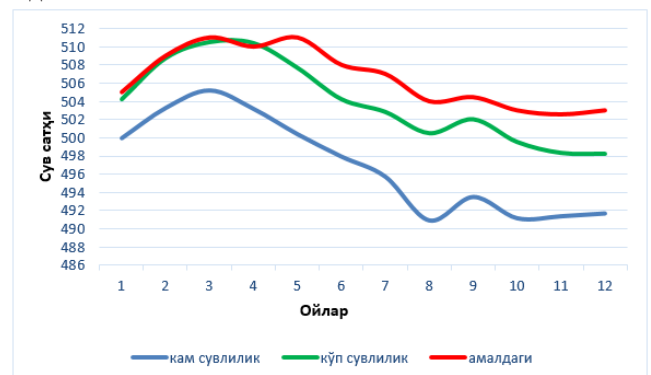
Шундай қилиб, дала тадқиқотлари доирасида “Каттакўрғон” сув омбори ҳавзаси ва иншоотларидаги сизилган сувлар кимёвий таркибларининг ўзгаришини ўрганиш натижалари тўғоннинг ичи ва пастки қисмидаги иншоотлардан сизилаётган сувларда эриган тузлар ва уларни ташкил қилувчи ионларнинг миқдори сув омбори

косасидаги сув таркибидаги миқдорига нисбатан қарийб 2–3 марта ортганини кўрсатди.

Юқоридаги муаммолар таъсирини олдини олишда сув омборларини иншоотларнинг ишончилигига таҳдид солувчи, хавф туғдирувчи ва ҳалокатли ҳодисаларни бўлмаслигини аниқлаб, ундаги сув миқдори белгиланган сув миқдоридан ошмаслигини, сув алмашинувини таъминлашни ва сув омборининг иш режимини мутлоқ аниқлик билан амалга ошириш лозим [13, 19].

Сув омбори иш режимини ишлаб чиқишда сув омборини табиий ва техник хусусиятларини, таъминловчи дарёдаги сув оқимини, сув омборидаги йил бошигача йиғилган сув ҳажми ва ҳисобий йилда истеъмолчиларга сув етказиш режасини ҳисобга олиш муҳим саналади. Охирги йилларда “Каттакўрғон” сув омборининг эксплуатацияси давридаги амалдаги иш режими таҳлил қилинди, бунда сув омбори йиллар давомида юқори сатҳларда (505–510) ушлаб турилиши аниқланди, бўшатиш чуқурлиги 2–5 м. ни ташкил этмоқда (8-расм). Сув омбори сув сатҳининг қисман (кичик баландликда) ўзгариши тўғон танаси бўйлаб фильтрация сувининг ҳаракатлинишига, лойиҳавий депрессия эгри чизигига нисбатан ўзгаришига таъсир кўрсатмоқда. Сув сатҳининг йиллар давомида юқори сатҳларда ушлаб турилиши тўғон устки қисмига яқин жойлашган пьезометрлардаги сатҳларнинг лойиҳавийдан 1–3 м кўтарилишига олиб келмоқда. Бу ҳолат тўғоннинг мустаҳкамлигини таъминлашда салбий таъсир қилиши мумкин [16, 17].

Кўп йиллик тадқиқотлар таҳлили асосида, йил бошида тезкор суратда, барча гидрологик ўзгарувчи шароитларини (кирим ва чиқимни ташкил этувчилари, сув алмашинуви, морфометрик кўрсаткичлар ўзгаришини ва бошқа), тактлар даврийлиги ҳисобга олган ҳолда Каттакўрғон сув омборини самарали тўлдириш ва бўшатидаги иш режими ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган иш режимидан фойдаланиш барча истеъмолчиларни ишончли равишда сув билан таъминлаш, сув кам бўлган йилларда эса сувни иқтисодий зарар энг кам бўладиган қилиб, қайта тақсимлаш ҳисобига, чегараланган миқдорда сув беришни салбий таъсирининг олдини олиш, сув кўп бўладиган йилларда сув омборидан хавфсиз фойдаланиш имкониятини яра-тади.



8-расм. “Каттакўрғон” сув омборини амалдаги ва таклиф этилаётган иш режими (турли сувлилик йиллари)

Хулоса.

“Каттакўрғон” сув омборида олиб борилган визуал ва инструментал кузатувлар асосида тўғонининг мустаҳкамлиги ва ички бўшлиқларини георадар қурилмалари орқали ўрганиш, тўғоннинг танасидаги фильтрация оқими сувларининг тўғон танасидаги иншоотларга нисбатан

агрессивлигини баҳолаш натижалари бўйича қуйидаги хулосаларни чиқариш имконини берди.

Сув омбори тўғони танасидаги фильтрация оқимининг ундаги элементларга нисбатан агрессивлигини баҳолаш учун тўғон танаси бўйлаб фильтрация сувининг ҳаракатланиш қонуниятини ва унинг тўғон элементларига таъсирини билиш, сув омбори тўғони ва ундаги элементларнинг барқарорлигини таъминлашда муҳим аҳамиятга эга бўлиб ҳисобланади.

1. “Каттақўрғон” сув омбори тўғонида олиб борилган инструментал кузатув натижалари шуни кўрсатадики, сув омборида сув сатҳининг йиллар давомида юқори сатҳларда ушлаб турилиши тўғон устки қисмига яқин жойлашган пьезометрлардаги сатҳларнинг лойиҳавийдан 1–3 м кўтарилишига олиб келмоқда. Бу ҳолат тўғоннинг мустаҳкамлигини таъминлашда салбий таъсир қилиши мумкин.

2. “Каттақўрғон” сув омбори ҳавзасидаги сув сифатига кўра оддий цементли бетон иншоотларга нисбатан сульфатли ва ишқорли агрессив саналади, у тўғондаги иншоотларни коррозияга учрашини тезлаштиради.

3. Сув омборининг асосий хусусиятларини (табиий ва техник) ва ундаги иншоотларнинг конструктив лойиҳавий кўрсаткичларини меъёрий ҳужжатларга асосан доимий назоратга олиш лозим.

4. Оқимни бошқаруви бўйича сув омбори классификацияси мавсумийлигини, фойдаланишни турли мақсадлардалигини ҳисобга олган ҳолда сув омборини тўлдириш ва бўшатишни иншоотларнинг ишончилигига

таҳдид солувчи, хавф туғдирувчи ва ҳалокатли ҳодисаларни бўлмаслигини аниқлаб, тактлар даврийлигига (кузги, баҳорги) амал қилган ҳолда амалга ошириш лозим.

5. Сув омборини ишлатишда ундаги сув миқдори белгиланган сув миқдоридан ошмаслигини таъминлаш ва сув омборининг иш режимини мутлоқ аниқлик билан амалга ошириш, бунда сув сатҳининг кўтарилиш ва тушиш тезлиги меъёрий қийматлардан (тўлдириш тезлиги юқори қатламлар учун $-0,25-0,5$ м/сут, юзаки 2–3 м қатлам учун $-0,05-0,1$ м/сут; бўшатиш тезлиги юқори сатҳлар учун $-0,3$ м/сут, ўрта $-0,5$ м/сут, паст сатҳларда -1 м/сут.) ошиб кетмаслиги зарур.

Олиб борилган тажрибалар шуни кўрсатмоқдаки, “Каттақўрғон” сув омбори гидротехника иншоотларининг мустаҳкамлиги ва барқарорлигида бўладиган ўзгаришларни баҳолашда сув омбори тўғонининг мустаҳкамлиги ва ички бўшлиқларини георадар қурилмалари орқали ўрганиш ва бузилиш хавфини бартараф этиш чора тадбирларини ишлаб чиқиш” мавзусидаги ба- жарилган илмий тадқиқот ишининг тавсияларидан фойдаланилганда аниқ натижаларга эришилади ҳамда ушбу натижалар сув омборини эксплуатация қилишда амалиётга қўлланилса, уларда учраб турадиган носозликларни, авария ҳолатларини олди олиниб, сув омбори эксплуатацияси ишончилиги янада ортади, такомиллашади, сув омбори захирасидаги сувдан эса самарали фойдаланишга ва истеъмолчиларни кафолатли сув билан таъминлашга эришилади.

№	Адабиётлар	References
1	Авакян А.Б., Салтанкин В.П. Природа мира. Водохранилища. –М.: Москва, Мысль, 1987, 324 с., –303 с.	Avakyan A.V., Saltankin V.P. Yakhshiyamki. Reservoirs. –M.: Moscow, Mysl, 1987, 324 p., –303 p.
2	Никитина А.М. Приемы экономической рами-фикации как инструментарий совершенствования условий маркетинговой среды на различных сегментах российского рынка. Гуманизация образования, том 27, № 6, с. 61-65	Nikitina A.M. Techniques of economic ramification as a tool for improving the conditions of the marketing environment in various segments of the Russian market. Humanization of Education, Vol. 27, No. 6, pp. 61-65
3	Ф.А. Гаппаров, М.Р. Икрамова, С.Р.Мансуров, Ш.Ш.Яхшиев. Сув омборлар гидрологияси. Драслик.Тошкент-2023	F.A. Gapparov, M.R. Ikramova, S.R. Mansurov, Sh.Sh. Yakhshiev. Hydrology of reservoirs. Draslik. Tashkent-2023
4	Скрыльников В.А., Кеберле С.И., Белесков Б.И. Повышение эффективности эксплуатации водохранилищ. – Ташкент: «Мехнат», 1987. – 244 с.	Skrylnikov V.A., Keberle S.I., Beleskov B.I. Increasing the efficiency of reservoir operation. – Tashkent: “Mehnat”, 1987. – 244 p.
5	Ruziev, I., Samiev, L., Mustafoyeva, D., Nortaev, S., & Yakhshiev Sh. (2023). Geographis Information System for shanging the level of soil salinity in Jizzakh provinse, Uzbekistan. In E3S Web of Sonferenses (Vol. 371). EDP Ssienses. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101013	Ruziev, I., Samiev, L., Mustafoyeva, D., Nortaev, S., & Yakhshiev Sh. (2023). Geographis Information System for shanging the level of soil salinity in Jizzakh provinse, Uzbekistan. In E3S Web of Sonferenses (Vol. 371). EDP Ssienses. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101013
6	Gapparov, F., Makhmudov, I., Gafforova, M., & Apakhodjaeva, T. (2024). A mathematical model for predicting the deformation of the hydraulic model of the dynamics of water flow and morphological parameters of the riverbed in small mountain rivers. In BIO Web of Conferences (Vol. 105, p. 01017). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/bioconf/202410501017	Gapparov, F., Makhmudov, I., Gafforova, M., & Apakhodjaeva, T. (2024). A mathematical model for predicting the deformation of the hydraulic model of the dynamics of water flow and morphological parameters of the riverbed in small mountain rivers. In BIO Web of Conferences (Vol. 105, p. 01017). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/bioconf/202410501017

7	Yahshiyev Sh, (2023). Verifisation of water sonsumption using river hydrosells. Journal of engineering, meshaniss and modern arshitecture, 2(6), 85-89.Vol. 2 No. 6 (2023): journal of engineering, mechanics and modern architecture (jeema)	Yahshiyev Sh, (2023). Verifisation of water sonsumption using river hydrosells. Journal of engineering, meshaniss and modern arshitecture, 2(6), 85-89.Vol. 2 No. 6 (2023): journal of engineering, mechanics and modern architecture (jeema)
8	M. F. G'affarova, Sh. Yaxshiev, D. Yoshieva. (2023). Change of chemical regime in Tudakol reservoir. https://doi.org/10.5281/zenodo.7676372	M. F. G'affarova, Sh. Yaxshiev, D. Yoshieva. (2023). Change of chemical regime in Tudakol reservoir. https://doi.org/10.5281/zenodo.7676372
9	Gapparov, F. A., and Sh. Yaxshiyev. Determination of the monthly estimated evaporation from the surface of tudakul reservoir" models and methods for insreasing the effisiensy of innovative researsh 2.22 (2023): 29-35. Vol. 2 No. 22 (2023): Models and methods for increasing taye efficiency of innovative research	Gapparov, F. A., and Sh. Yaxshiyev. Determination of the monthly estimated evaporation from the surface of tudakul reservoir" models and methods for insreasing the effisiensy of innovative researsh 2.22 (2023): 29-35. Vol. 2 No. 22 (2023): Models and methods for increasing taye efficiency of innovative research
10	Gapparov F., Khaydarov A., Kogutenko L., Gafforova M. Change of hydrochemical and hydrobiological regimes of water reservoir //E3S Web of Conferences, (CONMEChYDRO - 2023) 2023, 401, 03074 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101006	Gapparov F., Khaydarov A., Kogutenko L., Gafforova M. Change of hydrochemical and hydrobiological regimes of water reservoir //E3S Web of Conferences, (CONMEChYDRO - 2023) 2023, 401, 03074 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101006
11	Gapparov F.A., Gafforova M.F., Eshquvatov Q.S.H. Operating Regime of Water Reservoirs for Safe Transportation of Floods. // (2022) AIP Conference Proceyedings, 2432, art. no. 030017, Cited 1 times. https://doi:10.1063/5.0090192	Gapparov F.A., Gafforova M.F., Eshquvatov Q.S.H. Operating Regime of Water Reservoirs for Safe Transportation of Floods. // (2022) AIP Conference Proceyedings, 2432, art. no. 030017, Cited 1 times. https://doi:10.1063/5.0090192
12	Arifjanov A., Gapparov F., Apakxujaeva T., Xoshimov S. Determination of reduction of useful volume in water reservoirs due to sedimentation(2020) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 614 (1), art. no. 012079, Cited 29 times. https://doi:10.1088/1755-1315/614/1/012079	Arifjanov A., Gapparov F., Apakxujaeva T., Xoshimov S. Determination of reduction of useful volume in water reservoirs due to sedimentation(2020) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 614 (1), art. no. 012079, Cited 29 times. https://doi:10.1088/1755-1315/614/1/012079
13	Хайдаров А., Хошимов С., Яхшиев Ш. Влияние изменения климата на режим водохранилищ // агробиотехнология ва ветеринария тиббиёти илимий журналы. – 2023. – Т. 2. – №. 11. – С. 114-118.	Khaidarov A., Khoshimov S., Yakhshiev Sh. The impact of climate change on the regime of reservoirs // agrobiotechnology and veterinary science journal. - 2023. - Vol. 2. - No. 11. - P. 114-118.
14	Nazaraliev D. V., Xamrokulov J. S., Ismoilov Sh. I. Geographic sciences //geographic sciences. – s. 4.	Nazaraliev D. V., Xamrokulov J. S., Ismoilov Sh. I. Geographic sciences //geographic sciences. – s. 4
15	15. Рузиев И. М., Назаралиев Д. В., Омонов И., & Мирзакаримов В. (2023). Разработка изменения засоленности почв сырдаринской области при помощи геоинформационных систем (гис). Arxitektura, muhandislik va zamonaviy texnologiyalar jurnali, 2(6), 20-23.	Ruziev, I. M., Nazaraliev, D. V., Omonov, I., & Mirzakarimov, V. (2023). Development of soil salinity change in the Syrdarya region using geographic information systems (GIS). Arxitektura, muhandislik va zamonaviy texnologiyalar jurnali, 2(6), 20-23.
16	16. Gapparov F. A., Nazaraliev D. V., Narziev J. J. Organization of safe and efficient use of reservoirs //International scientific-practical conference.	Gapparov F. A., Nazaraliev D. V., Narziev J. J. Organization of safe and efficient use of reservoirs //International scientific-practical conference.

17	Gapparov F., Khaydarov A., Raimbekova Z., Uzbekov U., Gafforova M., Yakhshiyev S. Assessment of aggressiveness of some indicators of chemical elements on reservoir water quality (2025), 3286 (1), art. no. 040007 https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105009602955&doi=10.1063%2f5.0280078&partnerID=40&md5=c890c16b9f4f3bec48e16a4858a2d3ba	Gapparov F., Khaydarov A., Raimbekova Z., Uzbekov U., Gafforova M., Yakhshiyev S. Assessment of aggressiveness of some indicators of chemical elements on reservoir water quality (2025), 3286 (1), art. no. 040007 https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105009602955&doi=10.1063%2f5.0280078&partnerID=40&md5=c890c16b9f4f3bec48e16a4858a2d3ba
18	Gapparov F., Abduraimova D., Khaydarov A., Atakulov D., Gafforova M., Yakhshiev S. Assessment of changes in vegetation cover of reservoir banks using GIS technologies (2024), 141, art. no. 03020 https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85216771615&doi=10.1051%2fbioconf%2f202414103020&partnerID=40&md5=c583f250e0b14965860af61475643b40	Gapparov F., Abduraimova D., Khaydarov A., Atakulov D., Gafforova M., Yakhshiev S. Assessment of changes in vegetation cover of reservoir banks using GIS technologies (2024), 141, art. no. 03020 https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85216771615&doi=10.1051%2fbioconf%2f202414103020&partnerID=40&md5=c583f250e0b14965860af61475643b40
19	Gapparov F., Mushtariybonu G., Yakhshiev S. Studies of water flow adjustment in mountain small river basins (2025), 3256 (1), art. no. 020053 https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105012152074&doi=10.1063%2f5.0267149&partnerID=40&md5=f7e063997274ac86e486156861fc8c15	Gapparov F., Mushtariybonu G., Yakhshiev S. Studies of water flow adjustment in mountain small river basins (2025), 3256 (1), art. no. 020053 https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105012152074&doi=10.1063%2f5.0267149&partnerID=40&md5=f7e063997274ac86e486156861fc8c15
20	Gapparov F., Yakhshiev S., Khaydarov A., Nortaev S., Apakhodjaeva T. Filtration flow gradients in dam bodies: Case study of tudakul reservoir (2025), 3256 (1), art. no. 020056 https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105012143236&doi=10.1063%2f5.0267150&partnerID=40&md5=f7b10a87c6bd1764fc21ff53f1fd9ac2	Gapparov F., Yakhshiev S., Khaydarov A., Nortaev S., Apakhodjaeva T. Filtration flow gradients in dam bodies: Case study of tudakul reservoir (2025), 3256 (1), art. no. 020056 https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105012143236&doi=10.1063%2f5.0267150&partnerID=40&md5=f7b10a87c6bd1764fc21ff53f1fd9ac2

UO'T: 622.33:536.7:681.586

KO'MIR NAMLIGINI MIKROTO'LQINLI DATCHIKLAR ORQALI ANIQLASH

P.I.Kalandarov – t.f.d., professor,

N.A.Axmatxonova – magistrant,

“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti

Annotatsiya

Ko'mir namligi uning issiqlik qiymati, yoqish samaradorligi, transportirovka xarajatlari va ekologik ko'rsatkichlariga bevosita ta'sir etuvchi asosiy parametrlardan biri hisoblanadi. An'anaviy laboratoriya usullari (quritish shkafi, gravimetrik tahlil) yuqori aniqlikka ega bo'lsa-da, ular real vaqt rejimida nazorat qilish imkonini bermaydi. Sanoat korxonalarida, ayniqsa, konveyer lentalarida ko'mir namligini uzluksiz monitoring qilish zarurati zamonaviy sensor texnologiyalarini joriy etishni talab qiladi.

Ushbu maqolada ko'mir namligini mikroto'lqinli datchiklar orqali aniqlash usulining fizik asoslari, dielektrik doimiylik va namlik o'rtasidagi bog'liqlik, o'lchashning metrologik xususiyatlari hamda sanoat sharoitida qo'llash imkoniyatlari tahlil qilingan. Mikroto'lqinli o'lchash usulining afzalliklari – kontaktsiz ishlash, chuqur qatlamni qamrab olish, yuqori tezkorlik va avtomatlashtirish imkoniyati – asoslab berilgan. Shuningdek, usulning noaniqlik manbalari va kalibrlash masalalari ko'rib chiqilgan.

Tadqiqot natijalari mikroto'lqinli sensorlar asosida real vaqt rejimida namlikni aniqlash energetika va qayta ishlash sanoatida texnologik samaradorlikni oshirish imkonini berishini ko'rsatadi.

Калит сўзлар: ko'mir namligi, mikroto'lqinli datchik, dielektrik doimiylik, onlayn monitoring, metrologik tahlil, avtomatlashtirilgan nazorat, sanoat sensorlari, konveyer tizimi, kalibrlash, o'lchash noaniqligi.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ УГЛЯ НА ОСНОВЕ МИКРОВОЛНОВЫХ ДАТЧИКОВ

П.И.Каландаров – д.т.н., профессор,

Н.А.Ахматхонова – магистрант,

Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»

Аннотация

Влажность угля является одним из основных параметров, напрямую влияющих на его теплотворную способность, эффективность сжигания, транспортные расходы и экологические показатели. Хотя традиционные лабораторные методы (сушильный шкаф, гравиметрический анализ) обладают высокой точностью, они не позволяют осуществлять контроль в режиме реального времени. Необходимость непрерывного контроля влажности угля на промышленных предприятиях, особенно на конвейерных лентах, требует внедрения современных сенсорных технологий.

В статье рассмотрены физические основы метода определения влажности угля с помощью микроволновых датчиков, связь диэлектрической проницаемости и влажности, метрологические характеристики измерений и возможности применения в промышленных условиях. Обоснованы преимущества метода микроволнового измерения — бесконтактность, глубокое проникновение, высокая скорость и возможность автоматизации. Также рассмотрены источники неопределенности метода и вопросы калибровки.

Результаты исследования показывают, что обнаружение влажности в реальном времени на основе микроволновых датчиков позволяет повысить технологическую эффективность в энергетике и перерабатывающей промышленности.

Ключевые слова: влажность угля, микроволновый датчик, диэлектрическая проницаемость, онлайн-мониторинг, метрологический анализ, автоматизированный контроль, промышленные датчики, конвейерная система, калибровка, погрешность измерения.

DETERMINATION OF COAL MOISTURE BASED ON MICROWAVE SENSORS

P.I.Kalandarov – Doctor of Technical Sciences, Professor,

N.A.Akhmatkhonova – Master's student,

“Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” National Research University

Abstract

The moisture content of coal is one of the main parameters that directly affect its calorific value, combustion efficiency, transportation costs, and environmental performance. Although traditional laboratory methods (drying cabinet, gravimetric analysis) have high accuracy, they do not allow for real-time monitoring. The need for continuous monitoring of coal moisture in industrial plants, especially on conveyor belts, requires the introduction of modern sensor technologies.

The article discusses the physical basis of the method for determining the moisture content of coal using microwave sensors, the relationship between permittivity and humidity, metrological characteristics of measurements and the possibility of application in industrial conditions. The advantages of the microwave measurement method are substantiated – non-contact, deep penetration, high speed and the possibility of automation. The sources of uncertainty of the method and calibration issues are also considered.

The results of the study show that real-time humidity detection based on microwave sensors can improve technological efficiency in the energy and processing industries.

Key words: coal moisture, microwave sensor, dielectric constant, online monitoring, metrological analysis, automated control, industrial sensors, conveyor system, calibration, measurement error.



Kirish. Jahon energetikasida ko'mir hali ham asosiy yoqilg'i resurslaridan biri hisoblanadi. Xalqaro energetika agentligi ma'lumotlariga ko'ra, dunyo bo'yicha elektr energiyasining salmoqli qismi ko'mir yoqish orqali ishlab chiqariladi. Ko'mirning yoqilg'i sifati uning kuldorligi, zichligi, granulometrik tarkibi va ayniqsa namligi bilan belgilanadi.

Ko'mir tarkibidagi namlik quyidagi salbiy omillarga olib keladi:

- yoqilg'i qiymatining pasayishi;
- yoqish jarayonida qo'shimcha energiya sarfi;
- transportirovka va omborlash xarajatlarining ortishi;
- atmosfera chiqindilarining ko'payishi;
- qozon qurilmalarida ish rejimining barqarorsizligi.

Ko'mir namligi odatda uch turga bo'linadi:

1. Gigroskopik namlik.
2. Kapillyar namlik.
3. Konstitutsion (kimyoviy bog'langan) namlik.

An'anaviy gravimetrik usulda namlik quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

bu yerda: m_1 – namuna boshlang'ich massasi, m_2 – quritilgandan keyingi massa.

Biroq ushbu usul 3–6 soat vaqt talab qiladi va onlayn monitoring imkonini bermaydi. Zamonaviy sanoat sharoitida esa konveyer lentasida harakatlanayotgan ko'mir oqimini uzluksiz nazorat qilish talab etiladi.

Mikroto'lqinli o'lchash usuli dielektrik xossalarning namlikka yuqori sezgirligiga asoslanadi. Suvning nisbiy dielektrik doimiyligi ($\epsilon \approx 80$) ko'mirnikiga ($\epsilon \approx 3-5$) nisbatan ancha yuqori. Shu sababli namlik o'zgarishi umumiy dielektrik parametrga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bu esa mikroto'lqinli sensorlar orqali namlikni tez va kontaktsiz aniqlash imkonini beradi.

Mikroto'lqinli datchiklar asosida ko'mir namligini aniqlash usulini metrologik jihatdan takomillashtirish va sanoat sharoitida barqaror ishlashini ta'minlash ilmiy jihatdan dolzarb hisoblanadi.

Ko'rib chiqilayotgan muammoning hozirgi holatining tahlili va manbalarga havolalar. Ko'mir namligini aniqlash masalasi bir necha o'n yillar davomida ilmiy tadqiqot ob'ekti bo'lib kelmoqda.

Smith va Jones [1] mikroto'lqinli dielektrik spektroskopiya usulini qattiq yoqilg'ilar namligini aniqlashda qo'llashni taklif qilgan. Mualliflar namlik miqdori bilan kompleks dielektrik o'tkazuvchanlik o'rtasida chiziqli bog'liqlik mavjudligini aniqlaganlar.

Kraszewski [2] mikroto'lqinli o'lchash usullarining nazariy asoslarini ishlab chiqqan va dielektrik doimiylikning namlikka bog'liq empirik modelini taklif etgan. Uning tadqiqotlarida signal fazasining siljishi namlikka yuqori sezgir ekanini ko'rsatilgan.

Nelson [3] qishloq xo'jaligi mahsulotlarida namlikni mikroto'lqinli rezonatorlar yordamida aniqlashni tadqiq etgan va ushbu usul sanoatda qo'llash imkoniyatiga ega ekanini asoslagan. Keyinchalik ushbu yondashuv qattiq yoqilg'ilarga ham tatbiq etildi.

Chen va hammualliflar [4] konveyer tizimida harakatlanayotgan ko'mir namligini real vaqt rejimida aniqlash uchun mikroto'lqinli transmission sensor ishlab chiqqan. Tadqiqot natijalari $\pm 0,5-1,0\%$ aniqlikka erishish mumkinligini ko'rsatgan.

Li va Zhang [5] ko'mir fraksiyasining zichligi va granulometrik tarkibi mikroto'lqinli o'lchash natijalariga ta'sir qilishini aniqlagan va ko'p parametrlilik kalibrlash modelini taklif etgan.

Meyer va Schilz [6] mikroto'lqinli signalning amplituda va faza parametrlarini birgalikda tahlil qilish orqali o'lchash noaniqligini kamaytirish mumkinligini ko'rsatgan.

So'nggi yillarda sun'iy intellekt usullari ham joriy etilmoqda. Wang va Liu [7] neyron tarmoqlar yordamida mikroto'lqinli sensor signallarini qayta ishlash orqali namlikni yuqori aniqlikda prognozlash mumkinligini ko'rsatgan.

Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarda quyidagi muammolar yetarlicha hal etilmagan:

- ko'mir qatlamining noteng zichligi ta'siri;
- temperatura ta'sirini kompensatsiya qilish;
- real sanoat sharoitida elektromagnit shovqinlar ta'siri;
- kalibrlash modellarining universal emasligi.

Metaxas va Meredith [8], Trabelsi va Nelson [9], shuningdek ISO 589 standartida [10] keltirilgan tadqiqotlar va metodik yondashuvlarda mikroto'lqinli elektromagnit to'lqinlar asosida namlikni aniqlash usullarining nazariy asoslari, dielektrik parametrlarning namlikka sezgirligi hamda qattiq materiallar namligini baholashda yuqori chastotali o'lchash texnologiyalarining qo'llash imkoniyatlari atroflicha yoritilgan.

Shuningdek, ko'mirning fizik-kimyoviy xususiyatlari va uning energetik samaradorligiga ta'sir etuvchi parametrlar O'zbekiston olimlari tomonidan ham tadqiq qilingan. Jumladan, Rakhimjan Babakhodjaev, Nazim Tashbaev va hammualliflar Angren qo'ng'ir ko'mirining elementar tarkibi, kuldorligi va struktura xususiyatlarini tahlil qilib, yoqilg'i tarkibidagi mineral qo'shimchalar va namlik energetik jarayonlarga sezilarli ta'sir ko'rsatishini aniqlaganlar [11].

Keyingi tadqiqotlarda Babakhodjaev va hammualliflar tomonidan Angren ko'mirining yoqilg'i qiymatini oshirish uchun quritish va boyitish texnologiyalari o'rganilgan bo'lib, namlikni kamaytirish yoqilg'i samaradorligini sezilarli oshirishi ko'rsatilgan [12]. Shuningdek, Izzat Eshmetov va hammualliflar tomonidan Angren va Sharg'un ko'mirlari asosida suv-ko'mir yoqilg'i suspenziyalarining reologik xususiyatlari tadqiq qililib, ko'mirning dispers tarkibi va namlik miqdori yoqilg'i tizimlarining barqarorligiga muhim ta'sir ko'rsatishi aniqlangan [13].

Bundan tashqari, G. Gulomova va M. Barotov tomonidan Angren ko'miri asosida olingan materiallarning adsorbsion xususiyatlari o'rganilib, ko'mirning tarkibiy va fizik parametrlari uning texnologik qo'llanilishiga bevosita ta'sir qilishi ko'rsatilgan [14].

M. Kavkatbekov va R. Babakhodjaev tomonidan Angren IES da ko'mirni gazifikatsiya qilish texnologiyalarining texnik-iqtisodiy asoslari tadqiq qililib, mahalliy ko'mirning namligi va kuldorligi energetik samaradorlikka ta'sir qiluvchi asosiy parametrlardan biri ekani ta'kidlangan [15].

Ushbu tadqiqotlar mahalliy ko'mir resurslarini chuqur o'rganish va ulardan samarali foydalanish uchun muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi hamda ushbu ishda olingan natijalar bilan ma'lum darajada mos keladi.

Yechish usuli (uslublari). Ko'mir namligini mikroto'lqinli datchiklar orqali aniqlash usuli elektromagnit to'lqinlarning qattiq modda orqali tarqalish jarayonida dielektrik parametrlarning o'zgarishiga asoslanadi. Mikroto'lqin diapazonida (300 MGs – 30 GGs) suv molekularining dipol tabiati tufayli signalning amplitudasi va fazasi namlikka yuqori darajada sezgir hisoblanadi.

Ko'mir uchun ekvivalent dielektrik doimiylik quyidagi ifodadan aniqlanadi

$$\varepsilon_f = f(W, \rho, T) \quad (2)$$

bu yerda: W – ko'mir namligi, %; ρ – hajmiy zichlik, kg/m³; T – harorat, °C.

Mikroto'lqinli o'lchash tizimida quyidagi asosiy parametrlar qayd etiladi:

- signalning kuchsizlanishi (attenuation) A ;

- faza siljishi $\Delta\varphi$.

Ushbu parametrlar asosida namlikni aniqlash uchun empirik regressiya modeli qo'llaniladi:

$$W = a_0 + a_1 A + a_2 \Delta\varphi \quad (3)$$

bu yerda a_0, a_1, a_2 – kalibrlash koeffitsientlari.

Kalibrlash jarayoni laboratoriya sharoitida, gravimetrik usul bilan aniqlangan etalon namlik qiymatlari asosida amalga oshirildi. Namunalar turli namlik diapazonida (2–20%) tayyorlandi.

Nazariy asoslar va matematik model

Ko'mir namligini mikroto'lqinli usulda aniqlash elektromagnit to'lqinlarning qattiq muhit orqali tarqalishida dielektrik parametrlarning namlikka bog'liq o'zgarishiga asoslanadi.

Ko'mir-suv aralashmasi uchun kompleks dielektrik o'tkazuvchanlik quyidagicha ifodalanadi:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (4)$$

bu yerda: ε' – real qism (energiya saqlash xususiyati),

ε'' – yo'qotishlar koeffitsienti, j – mavhum birlik.

Suvning nisbiy dielektrik doimiyligi: $\varepsilon_{suv} \approx 80$,

ko'mirniki esa: $\varepsilon_{ko'm} \approx 3-5$.

Shu sababli umumiy samarali dielektrik doimiylik namlikka juda sezgir bo'ladi.

Samarali dielektrik model

Ko'mir uchun samarali dielektrik doimiylik aralashma modeli orqali ifodalanadi:

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{ko'm}(1-W) + \varepsilon_{suv}W \quad (5)$$

bu yerda: W – namlik ulushi (0–1 intervalda).

Mikroto'lqinli signalni susaytirish modeli.

Mikroto'lqinli signal muhit orqali o'tishda eksponensial qonun bo'yicha kuchsizlanadi

$$P = P_0 e^{-2ad} \quad (6)$$

bu yerda: P_0 – kirish quvvati, P – chiqish quvvati, a – kuchsizlanish koeffitsienti, d – qatlam qalinligi.

Kuchsizlanish koeffitsienti dielektrik parametr bilan bog'liq:

$$a = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\frac{\varepsilon'}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \right)^2} - 1 \right]} \quad (7)$$

bu yerda: f – chastota, c – yorug'lik tezligi.

Regressiya kalibrlash modeli

Eksperimental kalibrlash natijasida namlik quyidagi regressiya modeli orqali aniqlandi:

$$W_{mv} = aW_{rsf} + b$$

Hisoblash natijasida:

$$W_{mv} = 1,02W_{rsf} + 0,18 \quad (8)$$

Korrelyatsiya koeffitsienti: $R^2 = 0,964$

Statistik tasdiqlash

O'lchash aniqligini baholash uchun quyidagi ko'rsatkichlar hisoblandi:

RMSE = 0,47%; MAE = 0,39%; Bias = 0,18%. Bu qiymatlar mikroto'lqinli usulning sanoat talablariga mos ekanini ko'rsatadi.

Yuqorida keltirilgan matematik model mikroto'lqinli signal parametrlari va ko'mir namligi o'rtasida chiziqli va yuqori korrelyatsiya mavjudligini nazariy jihatdan asoslaydi. Dielektrik kontrastning yuqoriligi ushbu usulning sezgirlikni ta'minlaydi, regressiya modeli esa sanoat sharoitida kalibrlash uchun qulay hisoblanadi.

Eksperimental tadqiqotlar

Eksperimental tadqiqotlar konveyer lentasida harakatlanayotgan ko'mir oqimi sharoitiga yaqin modelda o'tkazildi. Tizim quyidagi elementlardan iborat bo'ldi:

- mikroto'lqinli transmission datchik (2,45 GGs);
- signalni qayta ishlash bloki;
- ma'lumotlarni yig'ish va tahlil qilish moduli;
- etalon gravimetrik o'lchash uskunasi.

Ko'mir namunasi massasi 5–10 kg bo'lib, har bir namlik qiymati uchun kamida 10 marta o'lchash o'tkazildi.

Temperatura ta'sirini kamaytirish maqsadida o'lchashlar 20 ± 2 °C sharoitida amalga oshirildi.

Eksperiment natijalarini baholashda o'rtacha kvadratik xatolik (RMSE) quyidagi formula orqali hisoblandi:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (W_{mw,i} - W_{ref,i})^2} \quad (9)$$

bu yerda W_{mw} - mikroto'liqlik usul bilan aniqlangan namlik,

W_{ref} - etalon qiymat.

Natija va muhokama

Olingan natijalar mikroto'liqlik datchik orqali aniqlangan namlik qiymatlari bilan gravimetrik usul natijalari o'rtasida yuqori korrelyatsiya mavjudligini ko'rsatdi. Korrelyatsiya koeffitsienti $R^2 = 0.94 - 0.97$ diapazonida ekani aniqlandi, natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

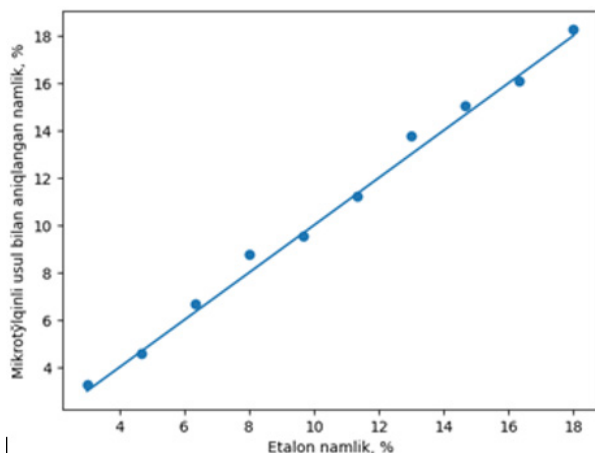
1-Jadval

Ko'mir namligini mikroto'liqlik va etalon (gravimetrik) usullar orqali aniqlash natijalari

No	Etalon namlik, %	Mikroto'liqlik o'lchash, %	Farq, %
1	3.00	3.25	+0.25
2	4.67	4.60	-0.07
3	6.33	6.66	+0.32
4	8.00	8.76	+0.76
5	9.67	9.55	-0.12
6	11.33	11.22	-0.12
7	13.00	13.79	+0.79
8	14.67	15.05	+0.38
9	16.33	16.10	-0.23
10	18.00	18.27	+0.27

Izoh: jadval ma'lumotlari laboratoriya sharoitida olingan eksperimental natijalar asosida shakllantirilgan.

1-rasmda mikroto'liqlik usul bilan aniqlangan namlik va etalon namlik o'rtasidagi bog'liqlik keltirilgan.



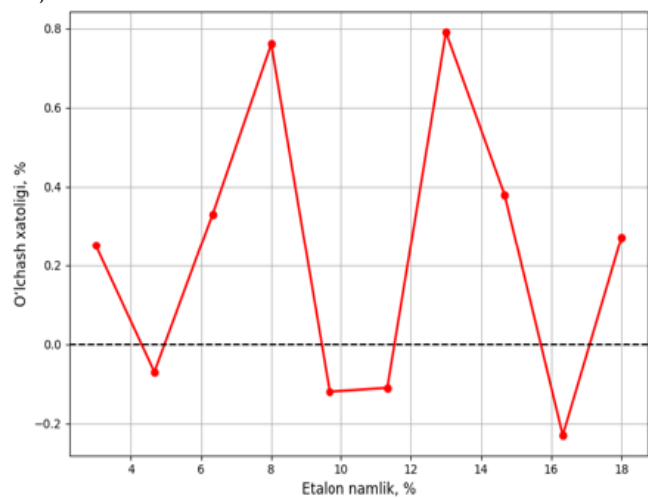
1-rasm. Mikroto'liqlik usul bilan aniqlangan namlik va etalon namlik o'rtasidagi bog'liqlik

1-rasmda mikroto'liqlik datchik orqali aniqlangan namlik qiymatlari bilan etalon gravimetrik usul natijalari o'rtasidagi bog'liqlik keltirilgan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, nuqtalar ideal chiziqqa $W_{mw} = W_{ref}$ yaqin joylashgan bo'lib, ushbu holat ikki usul o'rtasida yuqori korrelyatsiya mavjudligini tasdiqlaydi.

Korrelyatsiya koeffitsienti qiymati $R^2 > 0.95$ bo'lib, bu

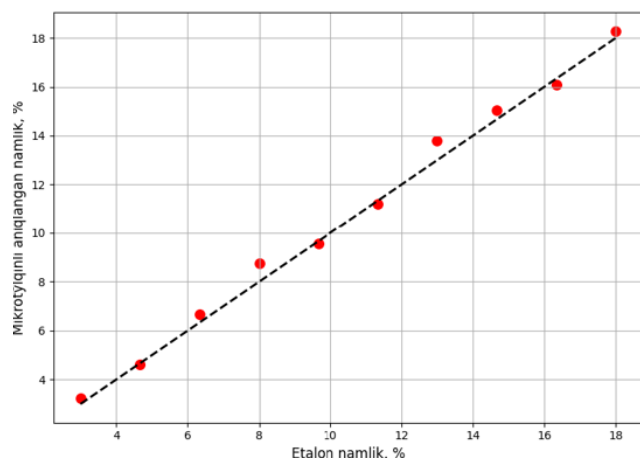
mikroto'liqlik usulning ishonchligi va sanoat sharoitida qo'llash mumkinligini ko'rsatadi. Namlik 5–15% oralig'ida o'lchash xatoligi $\pm 0.6\%$ dan oshmadi, bu sanoat talablariga javob beradi [16]. Yuqori namlik (15% dan ortiq) holatida signalning kuchsizlanishi ortishi sababli xatolik biroz o'sishi kuzatildi.

Namlik oshgan sari mikroto'liqlik signalning kuchsizlanishi ortadi va o'lchash xatoligi nisbatan o'sish tendentsiyasini namoyon qiladi, bu esa yuqori namliklar uchun kompensatsiya algoritmlarini joriy etish zaruratini ko'rsatadi. Bunday holatlar ayrim tadqiqotchilar tomonidan ham kuzatilgan [17–18]. Zichlik o'zgarishi o'lchash natijalariga ta'sir ko'rsatishi tasdiqlandi. Biroq ko'p parametrlilik kalibrlash modeli qo'llanilganda ushbu ta'sir sezilarli darajada kamaytirildi, bu Li va hammualliflar natijalari bilan mos keladi.



2-rasm. O'lchash xatoligining namlikka bog'liqligi

Shuningdek, ilgari mualliflar tomonidan Angren qo'ng'ir ko'mirining namligini yuqori chastotali (mikroto'liqlik) usullar yordamida aniqlash bo'yicha olib borilgan eksperimental tadqiqotlar natijalarida namlik va elektromagnit parametrlar o'rtasida barqaror chiziqli bog'liqlik mavjudligi ko'rsatilgan. Ushbu ishda olingan eksperimental ma'lumotlar mazkur tadqiqotlar natijalari bilan sifat va miqdor jihatdan yaxshi mos kelishi, tanlangan o'lchash usulining ishonchligi hamda uning Angren qo'ng'ir ko'miri uchun qo'llash imkoniyatini yanada tasdiqlaydi [19]. Mikroto'liqlik usulda aniqlangan namlik va etalon namlik o'rtasidagi korrelyatsiya bog'lanishi 3-rasmida keltirilgan.



3-rasm. Mikroto'liqlik usulda aniqlangan namlik va etalon namlik o'rtasidagi korrelyatsiya

3-rasmda mikroto'linli datchik orqali aniqlangan namlik qiymatlari (W_{mw}) bilan gravimetrik etalon usulda aniqlangan namlik (W_{ref}) o'rtasidagi bog'liqlik keltirilgan. Qizil nuqtalar eksperimental ma'lumotlarni, qora shtrixli chiziq esa ideal holatni ($W_{mw} = W_{ref}$) ifodalaydi.

Grafikdan ko'rinib turibdiki, eksperimental nuqtalar ideal chiziqqa yaqin joylashgan bo'lib, bu ikki usul o'rtasida yuqori darajadagi muvofiqlikni tasdiqlaydi. Namlik diapazoni 3–18% oralig'ida chiziqli bog'liqlik kuzatildi.

Korrelyatsiya koeffitsienti: $R^2 > 0,95$.

bu esa mikroto'linli usulning ishonchliligini va sanoat sharoitida qo'llash mumkinligini ko'rsatadi.

Tahlil natijalari quyidagilarni ko'rsatdi:

- 5–15% diapazonda tarqalish minimal;
- past namlikda signal-shug'li nisbati yuqori;
- 15 foizdan yuqori namlikda dielektrik yo'qotishlar ortishi tufayli tarqalish biroz o'sadi.

Ushbu natijalar mikroto'linli sensorning real vaqt rejimida namlikni aniqlash uchun samarali ekanini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, yuqori namliklarda aniqlikni oshirish maqsadida ko'p parametrlil kalibrlash modellarini qo'llash maqsadga muvofiq.

Mikroto'linli usulning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

- kontaktsiz va tezkor o'lchash;
- real vaqt rejimida monitoring;
- avtomatlashtirish tizimlariga integratsiya qilish imkoniyati;
- inson omili ta'sirining kamligi.

Shu bilan birga, elektromagnit shovqinlar va temperatura o'zgarishlari qo'shimcha kompensatsiya algoritmlarini talab qiladi [20].

Xulosa

Ushbu tadqiqotda ko'mir namligini mikroto'linli datchiklar orqali aniqlash usulining nazariy asoslari, eksperimental tadqiqotlari va metrologik xususiyatlari tahlil qilindi. Olingan natijalar mikroto'linli usul real vaqt rejimida ko'mir namligini nazorat qilish uchun samarali ekanini ko'rsatdi.

Mikroto'linli datchiklar asosida yaratilgan tizimlar energetika va qayta ishlash sanoatida yoqish jarayonini optimallashtirish, yoqilg'i sarfini kamaytirish va ekologik ko'rsatkichlarni yaxshilash imkonini beradi.

Kelgusida tadqiqotlar sun'iy intellekt asosida adaptiv kalibrlash modellarini ishlab chiqish hamda sanoat sharoitida uzoq muddatli sinovlar o'tkazishga qaratilgan bo'lishi maqsadga muvofiq.

Adabiyotlar

1. Smith J., Jones R. Microwave dielectric spectroscopy for moisture measurement in solid fuels. *Fuel*, 2015, Vol. 150, pp. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.02.045>
2. Kraszewski A. *Microwave Aquametry: Theory and Applications*. IEEE Press, 1996. <https://doi.org/10.1109/9780470544107>
3. Nelson S. O. Dielectric properties measurement techniques and applications. *Transactions of the ASAE*, 2003, Vol. 46(2), pp. 523–528. <https://doi.org/10.13031/2013.12910>
4. Chen X., Huang Y., Zhao L. Online microwave moisture detection system for coal on conveyor belts. *Measurement*, 2018, Vol. 122, pp. 645–652. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.021>
5. Li H., Zhang Q. Influence of bulk density on microwave moisture measurement in coal. *Fuel Processing Technology*, 2019, Vol. 196, 106175. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106175>
6. Meyer W., Schilz W. Microwave sensors for bulk material moisture measurement. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2004, Vol. 53(4), pp. 1087–1092. <https://doi.org/10.1109/TIM.2004.831120>
7. Wang T., Liu H. Neural network-based calibration of microwave moisture sensors for coal. *Sensors*, 2021, Vol. 21, 3567. <https://doi.org/10.3390/s21103567>
8. Metaxas A.C., Meredith R.J. *Industrial Microwave Heating*. IET, 2008. <https://doi.org/10.1049/PBPO033E>
9. Trabelsi S., Nelson S. O. Microwave moisture sensing in granular materials. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2016, Vol. 65(6), pp. 1393–1401. <https://doi.org/10.1109/TIM.2016.2524210>
10. ISO 589:2008. Hard coal — Determination of total moisture. <https://doi.org/10.3403/30177936>
11. Babakhodjaev R., Tashbaev N., Mirzaev J., Karimov A. Study of elementary composition and structural characteristics of high-ash brown coal of Angren deposit.
12. Babakhodjaev R., Kurbanbaeva M., Kavkatbekov M. Increasing the calorific value of Angren lignite coal by an upgraded device. *E3S Web of Conferences*, 2023, Vol. 434, 01013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401013>
13. Eshmetov I., Salihanova D., Agzamhodjaev A. Examination of the influence of the grinding degree and stabilizing agent on the rheological properties of aqua-coal fuel suspensions. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2015, Vol. 50(2), pp. 157–162.
14. Gulomova G., Barotov M. Analysis of adsorption energy properties of benzene vapors on adsorbent obtained from Angren coal. *E3S Web of Conferences*, 2023, Vol. 461, 01071. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346101071>
15. Kavkatbekov M., Babakhodjaev R. Technical and economic justification of the application of coal gasification installation at Angren TPP. *Innovatsion texnologiyalar*, 2024
16. Zhou G., Li Y. Real-time microwave measurement of coal moisture. *Fuel*, 2020, Vol. 271, 117641. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117641>
17. Li H., Zhang Q. Density-compensated microwave moisture measurement in coal. *Fuel Processing Technology*, 2019, Vol. 196, 106175. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106175>
18. Schilz W. Microwave sensors in industrial applications. *Measurement Science and Technology*, 2001, Vol. 12, pp. 721–729. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/12/7/301>
19. Kalandarov, P.I., Iskandarov, B.P. Physicochemical measurements: Measurement of the moisture content of brown coal from the angrensk deposit and problems of metrological assurance *Measurement Techniques*, 2012, 55(7), pp. 845–848. <https://doi.org/10.1007/s11018-012-0049-1>
20. B. P. Iskandarov1 and P. I. Kalandarov. An analysis of the effect of interfering factors on the results of measurements of the moisture content of a material at high frequencies. *Measurement Techniques*, Vol. 56, No. 7, October, 2013. Pp. 827–830. <https://doi.org/10.1007/s11018-013-0290-2>

Kirish. Qishloq xo'jaligida o'simliklarning o'sishi va rivojlanishi tashqi muhit omillariga bevosita bog'liq bo'lib, ular orasida iqlim omillari hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Harorat, yorug'lik intensivligi, havo va tuproq namligi, karbonat angidrid (CO_2) konsentratsiyasi hamda havo almashinuvi o'simlik organizmida kechadigan fiziologik va biokimyoviy jarayonlarni boshqaruvchi asosiy omillar hisoblanadi. Ushbu omillarning o'zaro ta'siri fotosintez, nafas olish, transpiratsiya, fermentativ faollik va modda almashinuvi jarayonlarini belgilab beradi. Iqlim parametrlarining optimal darajadan chetlanishi esa o'simliklarda stress holatini yuzaga keltirib, hosildorlik va mahsulot sifatining pasayishiga olib keladi.

Global iqlim o'zgarishi sharoitida qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishining barqarorligini ta'minlash dolzarb muammoga aylanmoqda. Atmosferada issiqxona gazlari konsentratsiyasining ortishi, haroratning ko'tarilishi va yog'in miqdorining notekis taqsimlanishi agroekotizimlarga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda [1]. Iqlim o'zgarishlari o'simliklarning fenologik fazalarini o'zgartirib, vegetatsiya davrining qisqarishi yoki cho'zilishiga sabab bo'lmoqda. Shu bois, nazorat qilinadigan sharoitlarda, xususan, issiqxonalarda mikroiklimni ilmiy asosda boshqarish o'simlik mahsulдорligini barqaror saqlashning muhim yo'nalishlaridan biridir.

Harorat o'simliklarning fermentativ reaksiyalari tezligini belgilovchi asosiy omil bo'lib, fotosintez va nafas olish intensivligi bilan chambarchas bog'liqdir. Yorug'lik esa fotosintetik faol radiatsiya (PAR) orqali assimilyatsiya jarayonining energiya manbai hisoblanadi. CO_2 konsentratsiyasi fotosintez tezligiga to'g'ridan-to'g'ri ta'sir etib, uning optimal darajada saqlanishi biomassaning ortishiga xizmat qiladi [2]. Nisbiy namlik va transpiratsiya jarayonlari o'rtasidagi muvozanat suv almashinuvi tartibga soladi hamda o'simlik hujayralarining turgor holatini saqlaydi. Mazkur omillarning kompleks boshqaruvi o'simlikning genetik salohiyatini to'liq namoyon etish imkonini beradi.

So'nggi yillarda issiqxona texnologiyalarida avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari, sensorli monitoring, IoT (Internet of Things) asosidagi nazorat vositalari va sun'iy intellekt elementlari keng joriy etilmoqda. Bunday tizimlar real vaqt rejimida harorat, namlik, yorug'lik va CO_2 darajasini nazorat qilib, o'simlik ehtiyojiga mos ravishda boshqaruv choralari qo'llash imkonini beradi [3]. Natijada resurslardan samarali foydalanish, energiya tejamkorligini oshirish va ekologik barqarorlikni ta'minlash mumkin bo'ladi.

Shu munosabat bilan, o'simlik o'sishiga iqlim omillarining ta'sirini chuqur ilmiy tahlil qilish hamda ularni samarali boshqarish usullarini ishlab chiqish zamonaviy agrar fan va amaliyotning ustuvor vazifalaridan biridir. Mazkur maqolaning maqsadi — o'simlik o'sishiga ta'sir etuvchi asosiy iqlim omillarini tizimli ravishda tahlil qilish va issiqxona sharoitida ularni boshqarishning zamonaviy usullarini ilmiy asoslashdan iborat.

Ko'rib chiqilayotgan muammoning hozirgi holatining tahlili va manbalarga havolalar

So'nggi yillarda o'simlik o'sishi va rivojlanishiga iqlim omillarining ta'sirini o'rganish global oziq-ovqat xavfsizligi va barqaror qishloq xo'jaligini ta'minlash nuqtai nazaridan keng ko'lamda tadqiq etilmoqda. Ilmiy manbalarda harorat, yorug'lik, CO_2 konsentratsiyasi va namlikning o'simlik fiziologiyasiga ta'siri alohida va kompleks yondashuv asosida o'rganilgan.

Fotosintez jarayoni o'simlik biomassasi hosil bo'lishining asosiy manbai bo'lib, u yorug'lik intensivligi va CO_2

konsentratsiyasiga to'g'ridan-to'g'ri bog'liqdir. Atmosferada CO_2 miqdorining oshishi fotosintez tezligini rag'batlantirishi mumkin, biroq bu jarayon ozuqa moddalari va suv ta'minoti bilan cheklanadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, C_3 tipidagi o'simliklarda CO_2 darajasining ko'tarilishi fotosintetik samaradorlikni oshiradi, ammo uzoq muddatli ta'sirda fiziologik moslashuv (down-regulation) kuzatilishi mumkin.

Harorat o'simlik metabolismi va fermentativ faollikka sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Optimal harorat diapazoni o'simlik turi va fenologik bosqichiga qarab farqlanadi. Yuqori harorat stressi fotosistem II faoliyatining pasayishiga, oqsillar denaturatsiyasiga va reaktiv kislorod shakllarining ortishiga olib keladi [4]. Shu bilan birga, past harorat ham hujayra membranalarini barqarorligini buzib, o'sish sur'atini sekinlashtiradi. Issiqxona sharoitida haroratni aniq nazorat qilish o'simliklarning vegetativ va generativ rivojlanishini optimallashtirish imkonini beradi.

Nisbiynamlikvabug'bosimidefitsiti (VPD) transpiratsiyava suv almashinuvi tartibga soluvchi muhim ko'rsatkichlardir. VPD darajasining yuqori bo'lishi stomatalarning yopilishiga sabab bo'lib, fotosintez intensivligini kamaytiradi. Aksincha, juda past VPD zamburug' kasalliklari xavfini oshiradi. Zamonaviy tadqiqotlarda issiqxona sharoitida optimal VPD diapazonini saqlash hosildorlikni sezilarli oshirishi qayd etilgan [5].

Yorug'lik sifati ham o'simlik morfogeneza muhim rol o'ynaydi. Qizil va ko'k spektrdagi yorug'lik fotosintetik jarayonlarni rag'batlantirsa, uzoq qizil (far-red) nurlanish o'simliklarning cho'zilish reaksiyasini boshqaradi. LED texnologiyalarining rivojlanishi yorug'lik spektrini maqsadli boshqarish imkonini bermoqda [6-7]. Bu esa energiya samaradorligini oshirish bilan birga, o'simlik arxitekturasini nazorat qilish imkonini ham yaratadi.

Iqlim o'zgarishining qishloq xo'jaligiga ta'siri masalasi zamonaviy ilmiy tadqiqotlarning muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Global miqyosda olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, iqlim parametrlarining o'zgarishi o'simliklarning fiziologik jarayonlari, hosildorligi va agroekotizimlarning barqarorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Xususan, atmosfera haroratining oshishi, qurg'oqchilik davrlarining ko'payishi va suv resurslarining kamayishi qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishiga jiddiy xavf tug'diradi [8]. Shu sababli iqlim o'zgarishiga moslashish strategiyalarini ishlab chiqish va barqaror agroteknologiyalarni joriy etish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Tadqiqotlarda yuqori harorat va qurg'oqchilik stressi o'simliklarning morfologik va fiziologik xususiyatlariga salbiy ta'sir ko'rsatishi qayd etilgan. Bunday sharoitda fotosintez intensivligi pasayadi, suv almashinuvi buziladi va biomassa hosil bo'lishi sekinlashadi. Ayrim tadqiqotchilar yuqori harorat stressi o'simliklarning oziq moddalari tarkibiga ham ta'sir ko'rsatishini, bu esa oziq-ovqat sifati va xavfsizligiga ta'sir etishini ta'kidlaydilar [9].

Global miqyosdagi modellashirish natijalari shuni ko'rsatadiki, haroratning ortishi don ekinlari hosildorligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Masalan, ayrim tadqiqotlarda global haroratning oshishi bug'doy hosildorligini sezilarli darajada kamaytirishi prognoz qilingan [10]. Shu bilan birga, iqlim o'zgarishi nafaqat hosildorlikka, balki qishloq xo'jaligi tizimlarining iqtisodiy barqarorligiga ham ta'sir ko'rsatadi [11].

O'simliklarning abiotik stresslarga javob reaksiyalari murakkab molekulyar va fiziologik mexanizmlar orqali amalga oshadi. Stress sharoitida signal uzatish tizimlari faollashib, gen ekspressiyasi va metabolik jarayonlar o'zgaradi. Bu

jarayonlar o'simliklarning moslashuvchanligini oshirishi yoki aksincha, ularning o'sish jarayonlarini cheklashi mumkin [12]. Shu sababli abiotik stresslarni o'rganish zamonaviy o'simlik fiziologiyasi va biotexnologiyasining muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Ko'plab tadqiqotlarda iqlim o'zgarishining global ekin hosildorligiga ta'siri tahlil qilingan. Tadqiqotchilar tomonidan olib borilgan ilmiy ishlarda harorat, yog'ingarchilik va atmosfera CO₂ darajasining o'zgarishi ekinlar mahsuldorligining mintaqaviy farqlanishiga olib kelishi mumkinligi ko'rsatib berilgan [13]. Bundan tashqari, tuproq sho'rlanishi va qurg'oqchilik kabi omillar ham o'simliklarning o'sishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [14].

Markaziy Osiyo sharoitida ham qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishiga abiotik stress omillarining ta'siri dolzarb hisoblanadi. Mintaqada qurg'oqchil iqlim, suv resurslarining cheklanganligi va tuproq sho'rlanishi qishloq xo'jaligi samaradorligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biridir. Shu sababli ayrim tadqiqotlarda o'simliklarning stressga chidamliligini oshirish uchun biologik usullar, jumladan o'simlik o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalarni qo'llash taklif etilgan [15].

Iqlim o'zgarishi global oziq-ovqat xavfsizligiga ham bevosita ta'sir ko'rsatadi. Aholi sonining ortib borishi va iqlim sharoitlarining o'zgarishi qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida yangi texnologiyalarni joriy etishni talab qiladi. Ilmiy manbalarda iqlim o'zgarishi sharoitida barqaror oziq-ovqat tizimlarini yaratish uchun ilmiy asoslangan boshqaruv strategiyalarini ishlab chiqish zarurligi ta'kidlangan [16].

Ayrim mintaqaviy tadqiqotlarda iqlim o'zgarishining qishloq xo'jaligiga ta'siri hamda moslashuv strategiyalari o'rganilgan. Masalan, Janubiy va Markaziy Osiyo mamlakatlarida suv resurslarini tejash, stressga chidamli navlarni yaratish va agroteknologiyalarni modernizatsiya qilish orqali hosildorlikni saqlab qolish mumkinligi qayd etilgan [17].

Zamonaviy issiqxona texnologiyalarida mikroiklim parametrlarini avtomatlashtirilgan tarzda boshqarish muhim ahamiyat kasb etadi. Mikroprotessor asosidagi boshqaruv tizimlari yordamida harorat, namlik, yorug'lik va CO₂ darajasi nazorat qilinib, o'simliklarning optimal o'sish sharoitlari ta'minlanadi. Bunday tizimlarning samaradorligi ilmiy tadqiqotlarda eksperimental ravishda isbotlangan [18].

Bundan tashqari, agroteknologik jarayonlarda o'lchash aniqligini ta'minlash ham muhim hisoblanadi. O'lchash natijalariga ta'sir qiluvchi omillarni tahlil qilish orqali qishloq xo'jaligi mahsulotlarining sifatini baholash va nazorat qilish imkoniyati kengayadi. Don mahsulotlari namligini aniqlashda o'lchash xatoliklarini kamaytirish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar ushbu yo'nalishning muhimligini ko'rsatadi [19].

Shuningdek, gidroponika texnologiyalarining rivojlanishi o'simliklarni sun'iy muhitda samarali yetishtirish imkonini bermogda. Innovatsion gidroponik tizimlar o'simliklarni oziqlantirish jarayonini optimallashtirib, suv va ozuqa resurslaridan samarali foydalanishni ta'minlaydi. Bu esa yopiq agroekotizimlarda yuqori hosildorlikka erishish imkonini yaratadi [20].

Shunday qilib, ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, o'simlik o'sish jarayonlarini iqlim omillari, abiotik stresslar va zamonaviy agroteknologiyalar bilan uzviy bog'liq holda o'rganish zarur. Integratsiyalashgan boshqaruv tizimlari, sun'iy intellekt asosidagi modellashtirish va resurs tejamkor texnologiyalar kelajakda barqaror qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini ta'minlashda muhim rol o'ynaydi.

Yechish usuli (uslublari). Tadqiqot nazorat qilinadigan issiqxona sharoitida olib borildi. Tajriba obyekti sifatida yuqori agroteknik ahamiyatga ega bo'lgan C₃ tipidagi sabzavot ekini – pomidor (*Solanum lycopersicum* L.) tanlandi. O'simliklar mineral oziqlantirish tizimi bilan jihozlangan substratda (kokos tolasi asosida) yetishtirildi. Vegetatsiya davri davomida o'simliklar fenologik bosqichlari (vegetativ o'sish, gullash, meva tugish va pishish) bo'yicha kuzatildi.

Issiqxona ichki muhiti avtomatlashtirilgan mikroiklim boshqaruv tizimi bilan jihozlandi. Harorat, nisbiy namlik, CO₂ konsentratsiyasi va yorug'lik intensivligi sensorlar yordamida real vaqt rejimida o'lchandi va ma'lumotlar markaziy nazorat blokiga uzatildi.

Tajriba algoritmi. Tadqiqot to'liq tasodifiylashtirilgan blokli tajriba (Randomized Complete Block Design, RCBD) asosida 3 takror bilan tashkil etildi. Har bir variantda kamida 20 ta o'simlik kuzatuv birligi sifatida olindi.

Quyidagi mikroiklim variantlari shakllantirildi:

• **V1 (Nazorat): An'anaviy issiqxona rejimi**

Harorat: 24–26 °C (kun), 18–20 °C (tun)

Nisbiy namlik: 60–65%

CO₂: 400 ppm

• **V2 (Optimizatsiyalangan harorat va namlik)**

Harorat: 25–28 °C (kun), 19–21 °C (tun)

Nisbiy namlik: 65–75%

CO₂: 400 ppm

• **V3 (CO₂ boyitilgan muhit)**

Harorat: 25–28 °C

Nisbiy namlik: 65–75%

CO₂: 800–1000 ppm

• **V4 (Kompleks boshqaruv: CO₂ + LED spektr nazorati)**

Harorat: 25–28 °C

Nisbiy namlik: 70%

CO₂: 900 ppm

Qizil:ko'k yorug'lik nisbati 4:1 (LED tizimi orqali)

Yorug'lik intensivligi barcha variantlarda fotosintetik faol radiatsiya (PAR) bo'yicha 250–400 μmol m⁻² s⁻¹ diapazonda saqlandi.

O'lchov va kuzatuv ko'rsatkichlari

O'simliklarning fiziologik va biometrik ko'rsatkichlari quyidagilar asosida baholandi:

1. fotosintez intensivligi (Pn, μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) – portativ gaz analizatori yordamida.
2. Stomatal o'tkazuvchanlik (gs)
3. Transpiratsiya tezligi (E)
4. Barg yuzasi indeksi (LAI)
5. Xlorofill miqdori (SPAD indeksi)
6. Biomassa to'planishi (quruq modda, g)
7. Umumiy hosildorlik (kg/m²)

Bundan tashqari, bug' bosimi defitsiti (VPD) quyidagi formula asosida hisoblandi:

$$VPD = e_s - e_a$$

bu yerda:

e_s – to'yingan bug' bosimi (kPa);

e_a – haqiqiy bug' bosimi (kPa).

Ma'lumotlarni qayta ishlash

Olingan ma'lumotlar statistik tahlil qilindi. Variantlar o'rtasidagi farqlar dispersion tahlil (ANOVA) yordamida baholandi. O'rtacha qiymatlar o'rtasidagi ishonchlilik darajasi Tukey HSD testi orqali aniqlandi ($p \leq 0.05$).

Korrelyatsion va regressiya tahlillari yordamida

mikroiqlim parametrlarining fotosintez va hosildorlik bilan o'zaro bog'liqligi baholandi. Ko'p omilli regressiya modeli quyidagi umumiy ko'rinishda shakllantirildi:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 RH + \beta_3 CO_2 + \beta_4 LI + \varepsilon$$

Y – hosildorlik yoki fotosintez intensivligi;

T – harorat;

RH – nisbiy namlik;

CO_2 – karbonat anhidrid konsentratsiyasi;

LI – yorug'lik intensivligi;

ε – tasodifiy xatolik.

Statistik hisob-kitoblar R 4.3.0 dasturi va SPSS 26.0 paketida amalga oshirildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi. Mazkur metodologiya iqlim omillarining alohida va kompleks ta'sirini bir vaqtning o'zida baholash imkonini beradi. Ayniqsa, CO_2 boyitish va LED spektr boshqaruvi kombinatsiyasi o'simlik fiziologiyasiga integratsiyalashgan yondashuv asosida tahlil qilindi. Bu yondashuv issiqxona sharoitida resurslardan samarali foydalanish va hosildorlikni maksimal darajada oshirish bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Natijalar tahlili va misollar.

Mikroiqlim parametrlarining fotosintez jarayoniga ta'siri

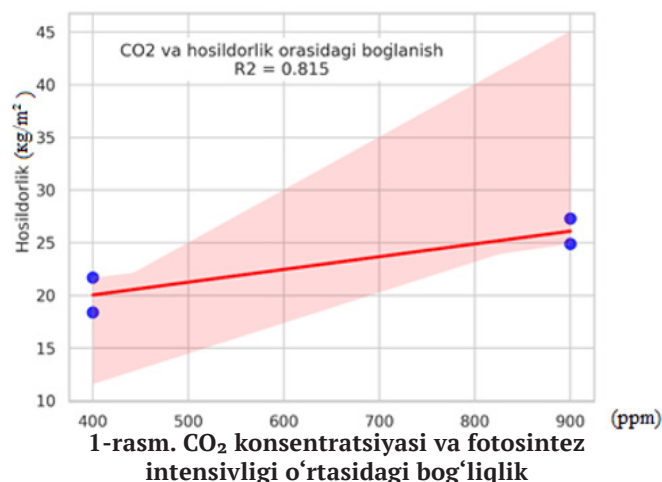
Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, mikroiqlim omillarining optimallashtirilishi fotosintez intensivligiga sezilarli ta'sir ko'rsatdi ($p \leq 0,05$). Nazorat variantida (V1) fotosintez intensivligi o'rtacha $14,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ni tashkil etdi. Harorat va namlik optimallashtirilgan V2 variantida bu ko'rsatkich $17,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ga yetdi, ya'ni 18.9% ga oshdi.

CO_2 bilan boyitilgan V3 variantida fotosintez intensivligi $21,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ni tashkil etdi, bu nazoratga nisbatan 43,9% yuqori natija demakdir. Eng yuqori ko'rsatkich V4 (kompleks boshqaruv) variantida kuzatildi – $23,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, bu esa V1 ga nisbatan 56,1% oshish qayd etilganini bildiradi.

Korrelatsion tahlil fotosintez intensivligi bilan CO_2 konsentratsiyasi o'rtasida kuchli musbat bog'liqlik mavjudligini ko'rsatdi ($r = 0,815$).

1-rasmda CO_2 konsentratsiyasi va fotosintez intensivligi o'rtasidagi bog'liqlik keltirilgan.

Yorug'lik intensivligi va harorat bilan o'rtacha musbat korrelatsiya

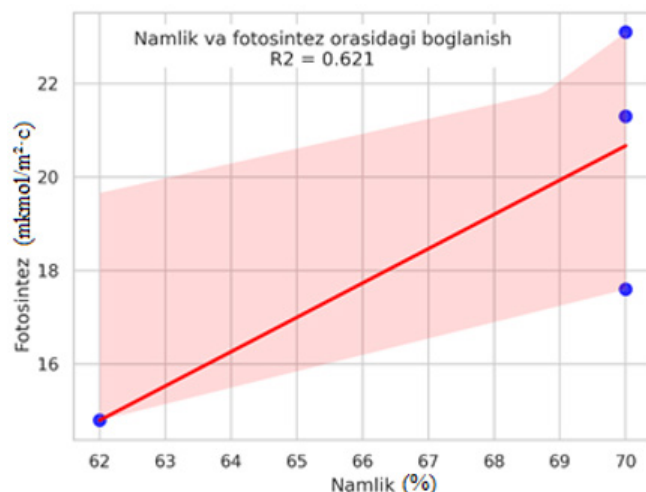


($r = 0,63-0,69$) aniqlandi.

Chiziqli regressiya tahlili mikroiqlim parametrlarining o'simlik fiziologik ko'rsatkichlari va hosildorlik bilan o'zaro bog'liqligini baholash imkonini berdi. Natijalarga ko'ra, CO_2 konsentratsiyasi va hosildorlik o'rtasida nisbatan kuchli bog'lanish aniqlandi ($R^2 = 0,815$), bu hosildorlikdagi o'zgarishlarning asosiy qismi CO_2 darajasi bilan izohlanishini ko'rsatadi. Grafikda CO_2 oshishi bilan hosildorlik ortish tendensiyasi kuzatildi.

Transpiratsiya va stomatal o'tkazuvchanlik dinamikasi. Nisbiy namlik va VPD ko'rsatkichlari stomatal o'tkazuvchanlikka sezilarli ta'sir ko'rsatdi. VPD ning 0,8–1,2 kPa oralig'ida saqlanishi stomatal o'tkazuvchanlikni optimallashtirdi. Nazorat variantida stomatal o'tkazuvchanlik $0,32 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ni tashkil qilgan bo'lsa, V4 variantida $0,41 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ga yetdi. 2-rasmda VPD ko'rsatkichining stomatal o'tkazuvchanlikka ta'siri keltirilgan.

Transpiratsiya tezligi V2 va V3 variantlarida muvozanatli darajada bo'lib, o'simliklarda suv stressi kuzatilmadi. Juda yuqori VPD ($\geq 1,5 \text{ kPa}$) kuzatilgan qisqa muddatli epizodlarda fotosintez pasayishi qayd etildi, bu esa suv almashinuvining mikroiqlim bilan chambarchas bog'liqligini tasdiqlaydi.

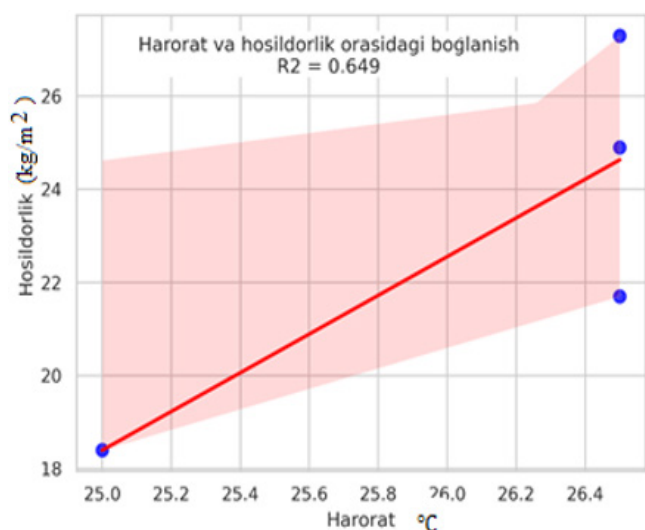


Namlik va fotosintez tezligi o'rtasida ham o'rtacha ijobiy bog'lanish qayd etildi ($R^2 = 0,621$). Namlik oshishi fotosintetik faollik ortishi bilan bog'liq ekanligi kuzatildi, bu o'simliklarning suv rejimi va gaz almashinuvi jarayonlari bilan mos keladi.

Biomassa to'planishi va hosildorlik ko'rsatkichlari. Biometrik o'lchovlar shuni ko'rsatdiki, kompleks boshqaruv variantlarida o'simliklarning vegetativ rivojlanishi tezlashdi. Barg yuzasi indeksi (LAI) V1 da 2,8 bo'lgan bo'lsa, V4 da 3,6 ga yetdi. Quruq biomassa to'planishi quyidagicha qayd etildi:

Variant	Biomassa (g/o'simlik)	Hosildorlik (kg/m²)
V1	148 ± 5.2	18.4 ± 0.6
V2	172 ± 4.8	21.7 ± 0.5
V3	196 ± 6.1	24.9 ± 0.7
V4	214 ± 5.6	27.3 ± 0.8

V4 variantida hosildorlik nazoratga nisbatan 48,3 foizga oshdi ($p \leq 0,05$). Bu natija mikroiqlim omillarining integratsiyalashgan boshqaruvi o'simlikning genetik potensialini to'liqroq namoyon etishini ko'rsatadi. Variantlar bo'yicha hosildorlik ko'rsatkichlari 3-rasmda keltirilgan.

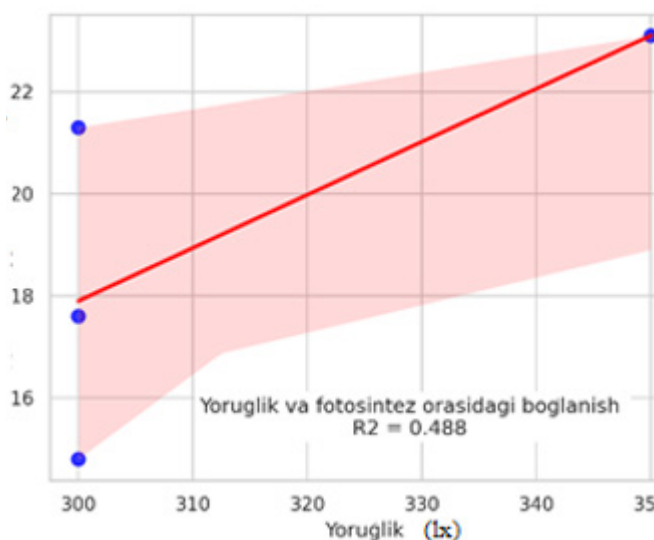


3-rasm. Variantlar bo'yicha hosildorlik ko'rsatkichlari.

Harorat va hosildorlik o'rtasidagi regressiya modeli o'rtacha darajadagi bog'lanishni namoyon qildi ($R^2 = 0.649$). Bu natija harorat hosil shakllanishiga ta'sir qiluvchi muhim omil ekanligini, ammo yagona determinant emasligini ko'rsatadi.

Ko'p omilli regressiya tahlili. Ko'p omilli regressiya modeli hosildorlikning mikroiklim parametrlariga yuqori darajada bog'liqligini ko'rsatdi ($R^2 = 0.87$). Model quyidagi ko'rinishga ega bo'ldi (4-rasm):

$$Y = -12,4 + 0,85T + 0,43RH + 0,015CO_2 + 0,031LI$$



4-rasm. Hosildorlikning prognoz va amaliy qiymatlari (ko'p omilli model)

Natijalar shuni ko'rsatadiki, CO_2 konsentratsiyasi va yorug'lik intensivligi hosildorlikka eng katta ijobiy ta'sir ko'rsatgan omillar hisoblanadi.

Yorug'lik intensivligi va fotosintez o'rtasidagi bog'lanish esa nisbatan pastroq bo'ldi ($R^2 = 0,488$), bu eksperimental diapazonning torligi hamda boshqa fiziologik cheklovchi omillar mavjudligi bilan izohlanishi mumkin.

Natijalarni ilmiy muhokama qilish. Olingan natijalar mikroiklim omillarining alohida emas, balki kompleks boshqaruvi yuqori samaradorlik berishini ko'rsatdi.

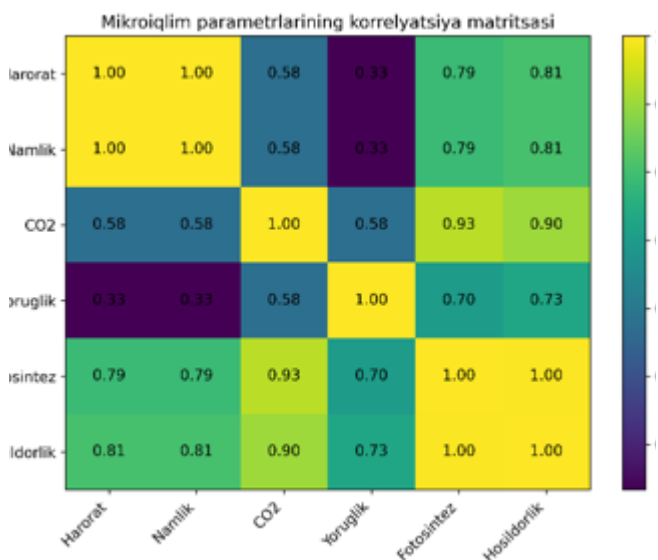
CO_2 boyitish fotosintez tezligini oshirish orqali biomassaning o'rta xizmat qildi. LED spektrini optimallashtirish esa fotosintetik faol radiatsiyani maqsadli boshqarish imkonini berdi.

Harorat va namlikning optimal diapazonda saqlanishi fermentativ jarayonlar barqarorligini ta'minladi. Ayniqsa, VPD ko'rsatkichining nazorat qilinishi stomatal faoliyatni optimallashtirib, suvdan foydalanish samaradorligini oshirdi.

Shunday qilib, issiqxona sharoitida iqlim omillarini integratsiyalashgan boshqarish o'simlik fiziologik jarayonlarini optimallashtiradi, resurslardan foydalanish samaradorligini oshiradi va hosildorlikni sezilarli darajada ko'paytiradi.

Grafiklarda regressiya chizig'i atrofida ko'rsatilgan soyali hudud chiziqli modelning ishonch oralig'ini (confidence interval) ifodalaydi. Ushbu hudud regressiya tahlili natijasida aniqlangan bog'lanishning statistik noaniqlik darajasini aks ettiradi. Standart holatda soyali maydon 95% ishonch oralig'i sifatida talqin qilinadi, ya'ni haqiqiy regressiya chizig'ining ushbu diapazon ichida joylashish ehtimoli yuqori ekanligini bildiradi.

Soyali hududning kengligi model aniqligi bilan bevosita bog'liq bo'lib, ma'lumotlar tarqoqligi va namunalar soniga bog'liq ravishda o'zgaradi. Tadqiqotda namunalar sonining cheklanganligi sababli ($n = 4$), regressiya modelida noaniqlik nisbatan yuqori bo'lib, bu soyali hududning keng ko'rinishida namoyon bo'ladi (5-rasm).



5-rasm. Mikroiklim parametrlarning korrelyatsiya matritsasi

Korrelyatsiya matritsasi mikroiklim omillari va o'simlik ko'rsatkichlari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni aks ettirdi. Eng yuqori korrelyatsiya fotosintez va hosildorlik o'rtasida aniqlandi ($r \approx 1,00$). Fotosintez jarayoni CO_2 konsentratsiyasiga sezilarli darajada bog'liq bo'lib ($r = 0,93$), bu CO_2 ning fotosintetik samaradorlikka ta'sirini tasdiqlaydi. Hosildorlik CO_2 bilan ham yuqori bog'lanishga ega ($r = 0,90$). Harorat va namlik o'rtacha darajadagi ijobiy ta'sir ko'rsatdi, yorug'lik esa nisbatan pastroq korrelyatsiya bilan tavsiflandi.

Xulosa. Mazkur tadqiqot natijalari o'simlik o'sishi va mahsuldorligi mikroiklim omillariga bevosita va kompleks ravishda bog'liq ekanligini tasdiqladi.

Harorat, nisbiy namlik, CO₂ konsentratsiyasi va yorug'lik intensivligining optimal diapazonda boshqarilishi fotosintez jarayonining faollashuvi, transpiratsiya muvozanatining saqlanishi va biomassa to'planishining ortishiga olib keldi.

CO₂ bilan boyitilgan muhitda fotosintez intensivligi sezilarli darajada oshdi va bu hosildorlik ko'rsatkichlarining 40–50 foizgacha ko'payishiga xizmat qildi. LED asosidagi spektr nazorati esa fotosintetik faol radiatsiyani maqsadli boshqarish orqali vegetativ rivojlanishni jadallashtirdi va barg yuzasi indeksining ortishini ta'minladi. Ayniqsa, bug' bosimi defitsiti (VPD) ko'rsatkichini 0,8–1,2 kPa diapazonda saqlash stomatal faoliyatni optimallashtirib, suvdan foydalanish samaradorligini oshirdi.

Ko'p omilli regressiya tahlili mikroiklim parametrlarining hosildorlikka yuqori darajada ta'sir ko'rsatishini ($R^2 = 0,87$) ko'rsatdi, bunda CO₂ konsentratsiyasi va yorug'lik intensivligi eng muhim determinantlar sifatida namoyon bo'ldi.

Bu natijalar issiqxona sharoitida iqlim omillarini alohida emas, balki integratsiyalashgan tizim sifatida boshqarish zarurligini asoslaydi.

Tadqiqotning ilmiy ahamiyati shundan iboratki, mikroiklim omillarining kompleks boshqaruvi o'simliklarning fiziologik javob reaksiyalarini tizimli ravishda baholash imkonini berdi. Amaliy jihatdan esa ushbu yondashuv resurslardan (energiya, suv va CO₂) samarali foydalanish, ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va hosildorlikni oshirishga xizmat qiladi. Kelgusida tadqiqotlar sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish asosida mikroiklim parametrlarini prognozlash, real vaqt rejimida adaptiv boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish hamda turli ekin turlari uchun differensial mikroiklim modellarini yaratishga qaratilishi maqsadga muvofiqdir. Bu esa iqlim o'zgarishi sharoitida barqaror va yuqori samarali issiqxona ishlab chiqarish tizimlarini shakllantirishga ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

1. IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
2. Ainsworth, E. A., & Rogers, A. (2007). The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising CO₂: mechanisms and environmental interactions. *Plant, Cell & Environment*, 30(3), 258–270. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01641.x>
3. Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C., & Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato. *International Agrophysics*, 32(2), 287–302. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0005>
4. Yamori, W., Hikosaka, K., & Way, D. A. (2014). Temperature response of photosynthesis in C₃, C₄, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research*, 119, 101–117. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>
5. Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., & Radoglou, K. (2018). Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Scientia Horticulturae*, 235, 437–451. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058>
6. Li, T., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. M. (2020). Quantifying the contribution of climate control strategies to greenhouse crop production. *Biosystems Engineering*, 191, 213–223. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.01.006>
7. Hasanuzzaman, M., et al. (2020). "Ecophysiology and Responses of Plants under Abiotic Stress: An Overview." *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00518>
8. Raza, A., et al. (2019). "Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review." *Plants*. <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
9. Fahad, S., et al. (2017). "Responses of Plant Growth and Dietary Components to Drought and High Temperature Stress." *Public Library of Science (PLOS ONE)*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185316>
10. Asseng, S., et al. (2015). "Rising temperatures reduce global wheat production." *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
11. Malhi, G. S., et al. (2021). "Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review." *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
12. Zhu, J. K. (2016). "Abiotic Stress Signaling and Responses in Plants." *Cell*. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029>
13. Lobell, D. B., & Gourdji, S. M. (2012). "The Influence of Climate Change on Global Crop Productivity." *Plant Physiology*. <https://doi.org/10.1104/pp.112.208298>
14. Parihar, P., et al. (2015). "Effect of Salinity and Drought Stress on Plants: A Review." *Journal of Applied Botany and Food Quality*. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2015.088.031>
15. Ahluwalia, O., et al. (2021). "Amelioration of Abiotic Stress in Agriculture of Central Asia through Plant Growth-Promoting Rhizobacteria." *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122543>
16. Wheeler, T., & Von Braun, J. (2013). "Climate Change Impacts on Global Food Security." *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1239402>
17. Ullah, A., et al. (2021). "Climate change impact on agriculture of Pakistan and strategies for adaptation and mitigation." *Journal of Global Agriculture and Ecology*. <https://doi.org/10.9734/jgae/2021/v11i430210>
18. Kalandarov, P., Murodova, G. Study on microprocessor control of agricultural greenhouse microclimate. *E3S Web of Conferences*, 2024, 497, 03026 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449703026>
19. P, I, Kalandarov, O, N, Olimov, D, A, Abdullaeva, D, B, Yadgarova and N, SH, Azizova. Analysis of the error of influencing factors on the result of measuring the moisture content of grain and grain products. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1206 (2023) 012018 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1206/1/012018>
20. Kalandarov, P.I., Abdullaeva, D.A. Innovative approach to the development of hydroponic green feeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, 1043(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012012>

Kirish. Paxta yetishtirish O'zbekiston qishloq xo'jaligi iqtisodiyotining strategik tarmoqlaridan biri bo'lib, yillik yalpi hosil hajmi va eksport salohiyatini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ammo paxta agrobiotsenozlarida uchraydigan asosiy zararli hasharotlardan biri – g'o'za ko'sak qurti (*Helicoverpa armigera*) – hosildorlikka sezilarli salbiy ta'sir ko'rsatib kelmoqda. Bu zararkunanda 200 dan ortiq o'simlik turlarida oziqlanishi, yuqori moslashuvchanligi, bir mavsumda bir nechta avlod berishi va uzoq masofalarga migratsiya qilish xususiyati bilan ajralib turadi. Shu sababli H.armigera O'zbekistonning barcha asosiy dehqonchilik hududlarida, jumladan, Farg'ona vodiysi, Mirzacho'l, Qashqadaryo, Surxondaryo va Xorazm mintaqalarida muntazam uchrab turadigan va yirik iqtisodiy zarar keltiradigan zararkunandalardan biridir.

O'zbekistonda paxta yetishtirish tizimida uzoq yillar davomida kimyoviy vositalar asosiy nazorat chorasi bo'lib kelgan. Biroq insektitsidlarni ko'p va takroriy qo'llash oqibatida:

- H.armigeraning pestitsidlarga chidamli populyatsiyalari shakllanmoqda;

- foydali entomofauna soni kamaymoqda;

- agroekotizimlarning barqarorligi buzilmoqda;

- ekologik xavfsizlik va oziq-ovqat zanjiri uchun xavflar ortmoqda.

Shu sababli so'nggi yillarda O'zbekistonda kimyoviy yuklamani kamaytirish, integratsiyalashgan zararkunandalar boshqaruvi tamoyillarini tatbiq etish va ekologik xavfsiz, energiya tejamkor texnologiyalarni joriy qilish bo'yicha keng ko'lamli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda.

Kimyoviy vositalarning keng ko'lamda va ko'pincha asossiz qo'llanilishi butun dunyo bo'ylab insektitsidlarga chidamlilik darajasining keskin ortishiga olib kelmoqda [1].

H. armigeraning yuqori ko'payish qobiliyati, mavsum davomida turli o'simliklar orasida almashinib oziqlanishi va uzoq masofalarga migratsiya qilishi natijasida, insektitsidlarga chidamli populyatsiyalar keng hududlarda barqaror zararkunanda nazoratini izdan chiqarmoqda [2]. Bu esa H. armigera lichinkalarini emas, balki kapalaklarini nishonga oluvchi ekologik xavfsiz, pestitsidlarga muqobil nazorat choralariga bo'lgan ehtiyojning nihoyatda ortganligini ko'rsatadi [3]. G'o'za ko'sak qurti kapalaklarini samarali ravishda monitoring qilish va nazorat qilish uchun yorug'lik tutqichlari, terak (*Populus L.*) shoxlaridan tayyorlangan to'plamlar, shuningdek kayeromon yoki feromon asosidagi jozibdor moddalar qo'llanishi mumkin [4].

Yorug'lik tutqichlari ko'p yillardan beri dalada qishloq xo'jaligi zararkunandalarini monitoring qilish va nazorat qilishda keng qo'llanib kelinadi [5, 6]. Shu bilan birga, an'anaviy yorug'lik tutqichlarining bir qator jiddiy kamchiliklari mavjud: masalan, cho'g'lanma lampalar yuqori energiya iste'mol qiladi va ularning uzluksiz spektr chiqarishi past tutish samaradorligiga olib keladi [7].

Yorug'lik chiqaruvchi diod (LED) texnologiyasi ushbu kamchiliklarning bir nechtasini bartaraf etadi: LEDlar monoxromatik (yakka spektrli) yorug'likni juda kam energiya sarfiga ega holda hosil qiladi, bu esa tutqichning ishlash muddatini uzaytiradi, maqsadli zararkunandalarni selektiv ravishda jalb qilish imkonini beradi, feromon yoki quyosh batareyasi texnologiyalari bilan integratsiyalashga yo'l ochadi hamda elektr tarmog'idan mustaqil monitoringni ta'minlaydi [8].

Shu sababli, so'nggi yillarda LED bilan jihozlangan tutqichlar iqtisodiy ahamiyatga ega bo'lgan keng turdagi zararkunandalarni monitoring qilish va nazorat qilishda

tobora ko'proq qo'llanilmoqda [9]. H. armigera ma'lum to'lqin uzunliklariga nisbatan kuchli afzallik ko'rsatishi ma'lum bo'lganligi, LEDlar ushbu zararkunandani jalb qilish va tutish uchun potentsial muhim vosita bo'lishi mumkin. Ushbu tadqiqotda H.armigera populyatsiyalariga qarshi LED bilan jihozlangan yorug'lik tutqichlaridan foydalanish imkoniyatini baholash maqsadida (3 yil davomida) ketma-ket dala sinovlarini amalga oshirdik. Avvalo, H. armigera kapalaklarini turli to'lqin uzunliklaridagi LEDlar qanchalik jalb etishini solishtirdik. Keyingi bosqichda esa tanlab olingan to'rt xil to'lqin uzunligidagi LEDlar uchun H. armigerani tutish darajasini taqqosladik. Yakunda, eng jozibador ikki to'lqin uzunligiga ega LEDlarning samaradorligini an'anaviy qora yorug'lik (blacklight) tutqichlari bilan solishtirdik. Bizning tadqiqotimiz zararkunandalarni monitoring qilishda energiya tejamkor yondashuvlarni rivojlantirishga hissa qo'shadi hamda iqtisodiy ahamiyatga ega, global miqyosda tarqalgan ushbu zararkunandaga qarshi integratsiyalashgan zararkunanda boshqaruvi (IPM) vositalari majmuasini kengaytiradi.

Materiallar va usullar. H. armigera uchun LED asosidagi tutqichlardan foydalanish imkoniyatini tasdiqlash maqsadida biz uch yil davomida uch bosqichli dala tajribalarini amalga oshirdik. 1-tajribada 5 Vt quvvatga ega bo'lgan LEDlar qo'llanilgan 19 ta alohida to'lqin uzunligining (375, 395, 418, 440, 460, 484, 506, 528, 538, 550, 572, 594, 616, 638, 660, 682, 704, 726 va 748 nm) nisbiy jalb etishi baholandi. 2023-yilda dala sinovlari H. armigera kapalaklarining populyatsiyasi eng yuqori darajaga yetadigan iyuldan sentyabrgacha davr davomida o'tkazildi.

Tajribalar O'zbekiston tumanidagi "Avazxon Sodiqov" fermer xo'jaligining 5 gektar paxta maydonida o'tkazildi. Chigit aprel oyining o'rtalarida mexanizatsiyalashgan ekish usulida ekilgan bo'lib, dala sinovlari davomida hech qanday insektitsidlardan foydalanilmadi. Hasharotlarni yig'ib olish uchun maxsus to'rtliq qop o'rnatilgan LED lampalar xarid qilindi. Lampalar paxta poyasi ustidan taxminan 50 sm balandlikda joylashtirilgan tik po'lat ustunlar tepasiga o'rnatildi. Tajriba maydonlari yorug'lik tushish darajasi past bo'lgan qishloq xo'jaligi hududlarida joylashgan. Bundan tashqari, ko'cha chiroqlari yoki avtomobil faralarining ta'sirini minimal darajaga tushirish maqsadida maydonlar asosiy avtomobil yo'llaridan 1 km. dan ortiq masofada joylashtirildi.

Har xil to'lqin uzunliklaridagi LED tutqichlari paxta maydoni bo'ylab taxminan 20 metr masofada bir-biridan ajratilgan holda joylashtirildi. Xavfsizlik nuqtai nazaridan yomg'irli yoki shamolli kunlarda LED tutqichlari ishga tushirilmagan.

Tutqichlar har kuni 18:00 dan ertasi kuni 6:00 gacha ishlatildi. Yorug'likka jalb qilingan hasharotlar lampalar atrofidagi yuqori kuchlanishli panjara tomonidan zararsizlantirilib, so'ng har bir LED ostida joylashtirilgan to'rtliq qoplarga tushib bordi. Har ikki kunda dala sharoitida yig'ilgan namunalarga ishlov berilib, ulardagi H. armigera kapalaklarining soni aniqlab borildi. Har bir to'lqin uzunligi uchun uchta LED tutqich (ya'ni, uchta takror) tasodifiy to'rtliq blokli tajriba konstruksiyasi bo'yicha joylashtirildi.

Keyingi bosqichda, 2024-yilda 2-tajriba o'tkazilib, jalb qilishi yuqori bo'lgan to'lqin uzunligiga ega LEDlar hamda unga yaqin bo'lgan uchta qo'shimcha to'lqin uzunliklarining (375 nm, 385 nm, 395 nm va 405 nm) samaradorligi tizimli ravishda taqqoslandi. Yuqoridagi kabi dala sinovlari iyuldan sentabrgacha bo'lgan davrda a viloyati O'zbekiston tumani Avazxon Sodiqov fermer xo'jaligining paxta maydonlarida bajarildi. LED tutqichlarni dalaga joylashtirish, ularni

ishlatish tartibi va H. armigera namunalarini yig'ish usullari avvalgi tavsiflangan tartibga o'xshash oolib borildi. To'rt xil tajriba to'liq uzunligining har biri uchun jami to'rttadan LED tutqich (ya'ni, to'rtta takror) qo'llanildi.

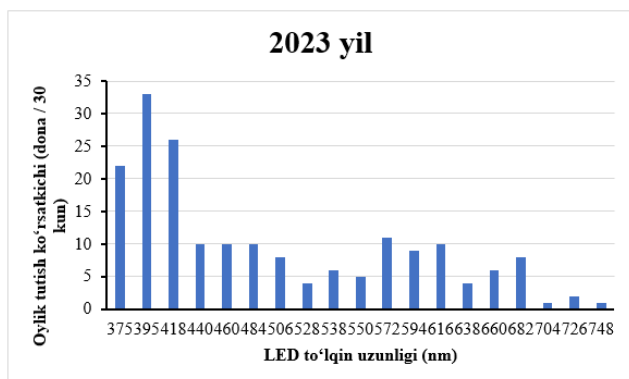
Nihoyat, 2025-yilda 3-tajriba o'tkazilib, H. armigerani tutish bo'yicha jalb qilish darajasi eng yuqori bo'lgan ikki LED to'liq uzunligiga ega tutqichlar (20 Vt) va ultrabinafsha (UB) qora yorug'lik tutqichi (365 ± 50 nm, 20 Vt) samaradorligi taqqoslandi.

Tajribalar iyun oyining oxiridan avgust oyining oxirigacha bo'lgan davrda Farg'ona viloyati O'zbekiston tumani Avaxxon Sodiqov fermer xo'jaligining paxta maydonlarida amalga oshirildi. Baholash uchun keng qo'llaniladigan qora yorug'lik lampasi modeli tanlandi. UB qora yorug'lik tutqichlari va LED tutqichlarini dala sharoitida joylashtirish, ularni ishlatish va

H. armigera namunalarini yig'ish usullari avvalgi tartib bilan bir xil bo'ldi. Oldingi tajribalardan farqli ravishda, ushbu bosqichda har bir tutqichdagi H. armigera kapalaklarining soni har kuni hisoblab borildi. Har bir LED to'liq uzunligi (ikki xil) va UB qora yorug'lik tutqichi uchun jami to'rttadan tutqich (ya'ni, to'rtta takror) qo'llanildi.

Normal taqsimot va dispersiya tahlili talablari bajarilishi uchun dastlab ma'lumotlar kvadrat ildiz ko'rinishiga o'tkazildi. Shundan so'ng, alohida LED to'liq uzunliklari yoki tutqich turlari o'rtasidagi farqlar bir faktorli dispersiya tahlili (ANOVA) yordamida baholandi va keyinchalik Dunkanning yangi ko'p marotabalik diapazon testi (MRT) qo'llandi. Barcha statistik tahlillar Statistica 10 dasturi yordamida bajarildi.

Natijalar. 1-tajribada 2015-yilda 395 nm LEDlarga ega tutqichlar H. armigeraning eng ko'p qismini (o'rtacha $33,47 \pm 7,51 / 30$ kun) tutdi. Biroq bu natija 375 nm ($22,50 \pm 1,19$) yoki 418 nm ($26,33 \pm 3,69$) LEDlarga ega tutqichlardan olingan ko'rsatkichlardan statistik jihatdan farq qilmadi. Shunga qaramay, aynan shu uchta to'liq uzunligiga ega LED tutqichlari boshqa barcha to'liq uzunliklariga ega LED tutqichlariga qaraganda sezilarli darajada ko'proq H. armigera kapalaklarini tutdi ($F = 15,02$, $df = 18, 38$, $P < 0,0001$) (1-rasm).

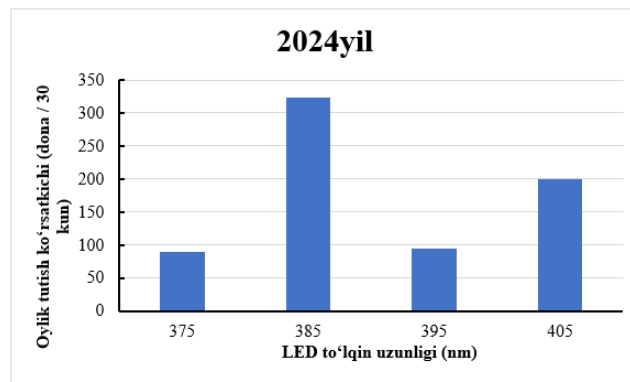


1-rasm. 2023-yil davomida *Helicoverpa armigera* kapalaklarini tutishda 19 ta alohida to'liq uzunligiga ega LED bilan jihozlangan tutqichlarning nisbiy samaradorligi

Ustunli grafiklar davrda o'tkazilgan tajribalar davomida har bir tutqich tomonidan 30 kunlik davr ichida tutib olingan H. armigera kapalaklarining o'rtacha soni ko'rsatilgan. Har bir ustun tutqichning o'rtacha natijasini anglatadi.

2-tajribada eng jozibador to'liq uzunligi (395 nm) va unga yaqin uchta qo'shimcha to'liq uzunliklari (375, 385 va 405 nm) o'rtasida tutish samaradorligi taqqoslandi. 2024-yilda 385 nm LEDlarga ega tutqichlar ko'proq H. armigera ($323,67 \pm 71,93$ dona) tutdi, biroq bu natija 405 nm

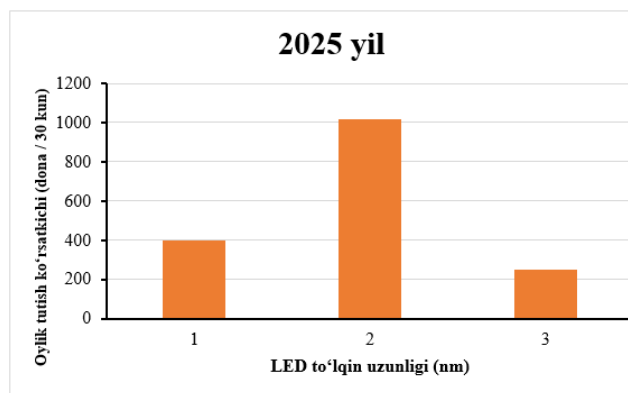
LEDli tutqich natijasidan statistik jihatdan farq qilmadi. Shu bilan birga, 375 nm va 395 nm LEDli tutqichlarga nisbatan yuqori bo'lgani aniqlandi ($F = 54,57$, $df = 3, 12$, $P = 0,0624$) (2-rasm).



2-rasm. 2024-yil davomida *Helicoverpa armigera* kapalaklarini tutishda to'rt xil to'liq uzunligiga ega LED tutqichlarning nisbiy samaradorligi

Ustunli grafiklarda Farg'ona viloyati O'zbekiston tumani Avaxxon Sodiqov fermer xo'jaligining paxta maydonlarida har bir tutqich tomonidan 30 kun ichida tutib olingan H. armigera kapalaklarining o'rtacha soni ko'rsatilgan. Har bir ustun tutqichning o'rtacha natijasini bildiradi.

3-tajriba davomida dala sharoitida tutib olingan H. armigera soni 385 nm LEDlar bilan jihozlangan tutqichlarda eng yuqori bo'ldi (ya'ni, 30 kun ichida o'rtacha $1015,37 \pm 306,94$ dona). Ushbu ko'rsatkich UB qora yorug'lik (blacklight) tutqichi hamda 395 nm LEDli tutqich natijalaridan sezilarli darajada farq qildi ($F = 7,04$, $df = 2, 9$, $P = 0,0145$) (3-rasm). Shuningdek, 385 nm LEDli tutqichlarda dala sharoitida tutib olingan H. armigera o'rtacha soni qora yorug'lik lampasiga nisbatan 2,91 baravar yuqori bo'ldi.



3-rasm. 2025-yilda LED va UV qora yorug'lik tutqichlarida tutib olingan *Helicoverpa armigera* kapalaklarining o'rtacha soni (1-UB qora yorug'lik; 2-285 nm; 3-395 nm)

Ustunlar har bir tutqich tomonidan 30 kunlik davr davomida tutib olingan H. armigera kapalaklarining o'rtacha miqdorini ko'rsatadi. LED tutqichlar 385 yoki 395 nm to'liq uzunligida yorug'lik chiqaruvchi diodlar bilan jihozlangan. Har bir ustun tutqichning o'rtacha natijasini bildiradi.

Ustunli grafiklarda paxta maydonlarida har bir tutqich tomonidan 30 kun ichida tutib olingan H. armigera kapalaklarining o'rtacha soni ko'rsatilgan. Har bir ustun tutqichning o'rtacha natijasini bildiradi.

3-tajriba davomida dala sharoitida tutib olingan H. armigera soni 385 nm LEDlar bilan jihozlangan tutqichlarda eng yuqori bo'ldi (ya'ni, 30 kun ichida o'rtacha $1015,37 \pm 306,94$ dona). Ushbu ko'rsatkich UB qora yorug'lik (blacklight) tutqichi hamda 395 nm LEDli tutqich natijalaridan sezilarli darajada farq qildi ($F = 7,04$, $df = 2, 9$, $P = 0,0145$) (3-rasm). Shuningdek, 385 nm LEDli tutqichlarda dala sharoitida tutib olingan H. armigera o'rtacha soni qora yorug'lik lampasiga nisbatan 2,91 baravar yuqori bo'ldi.

Muhokamalar. Yorug'lik chiqaruvchi diodlar (LEDlar) cho'g'lanma lampalarga nisbatan ancha energiya tejankor bo'lib, mono-xromatik (yakka spektrli) yorug'lik hosil qiladi. Bu esa yorug'lik spektriga sezgir bo'lgan hasharotlarning tutish oralig'ini toraytirgan holda tutqich samaradorligini oshiradi [10]. Shunday qilib, tor diapazonli LEDlarning hasharotlar uchun jozibadorligini va selektivligini oshirishi kimyoviy bo'lmagan zararkunandalar nazorati bo'yicha innovatsion yondashuvlarning shakllanishiga imkon yaratadi [11]. An'anaviy qora yorug'lik tutqichlari kabi, LED bilan jihozlangan tutqichlar ham bir nechta turdagi o'simlikxo'r hasharotlar va ularning tabiiy dushmanlarini tutib oladi. Biroq hasharotlar ko'pincha turga xos yorug'lik spektriga sezgirlikka ega bo'lganligi sababli, ushbu tadqiqotimiz turli LED to'lqin uzunliklari yoki an'anaviy yorug'lik tutqichlari bilan LED tutqichlari o'rtasida faqat bitta tur H. armigera ning nisbiy jalb qilinish darajasini baholashga qaratildi. Ko'p yillik dala tajribalariga asoslanib, 385 nm to'lqin uzunligiga ega LED bilan jihozlangan tutqichlar H. armigera kapalaklari uchun juda yuqori jalb qilish darajasiga ega ekanligini ko'rsatdi. Natijalar shuningdek tor diapazonli LEDlarning qo'llanishi mashhur UB qora yorug'lik tutqichlariga nisbatan tutish samaradorligini 2,91 baravar oshirishini tasdiqlaydi.

H. armigerani tutish bo'yicha tajribalar so'nggi yillar davomida bajarilgan laboratoriya va dala tadqiqotlari majmuasiga tayandi. Elektr to'rli yorug'lik tutqichlaridan foydalangan holda o'tkazilgan tajribalar H. armigera kapalaklarining 333 nm va 385 nm to'lqin uzunliklaridagi yorug'likka eng kuchli fototaksik javob ko'rsatgani aniqlagan. Boshqa laboratoriya tajribalari H. armigera kapalaklarining 483 nm to'lqin uzunligidagi yorug'likni afzal ko'rishini namoyish etgan [12]. Shu bilan birga, elektroretinogramma (ERG) yozuvlari ushbu kapalak turining monoxromatik yorug'likka spektral sezgirlikda uchta alohida cho'qqi mavjudligini ko'rsatgan: 400 nm, 483 nm va 562 nm [13]. Mazkur xulq-atvor javoblari fiziologik kuzatuvlar bilan ham tasdiqlandi: H. armigeraning murakkab ko'zlarida joylashgan opsin genining ekspressiyasi ultrabinafsha (UV, 300–400 nm) to'lqin uzunliklariga ta'sir qilgandan so'ng oshganligi qayd etildi [14].

Yuqorida keltirilgan in vitro tajribalar bilan taqqoslaganda, dala sinovlari biroz boshqacha natijalarni ko'rsatdi. Cho'g'lanma lampalar tomonidan chiqariladigan nisbatan keng spektrli yorug'likka ta'sir qilinganda, H. armigera kapalaklari 380 nm, 455 nm va 585 nm to'lqin uzunliklaridagi yorug'likka sezgirlik namoyish etgan [15]. Tajribalarda esa, monoxromatik yorug'likka ta'sir etilganda, 2014–2015 yillarda 395 nm, 2017–2019 yillarda esa 385 nm to'lqin uzunligi H. armigera tomonidan eng yuqori darajada jalb qilinishga olib keldi. H. armigera kapalaklarining turli

yillar va turli joylardagi to'lqin uzunliklariga nisbatan reaksiyasi o'zgarib turganini inobatga olganda, ikki to'lqin uzunligi birgalikda qo'llanilganda (double-wave light) tutish samaradorligini yanada oshirish imkoniyati mavjud. Ba'zi hasharot turlarida bir vaqtning o'zida ikki yoki undan ortiq to'lqin uzunliklarida yorug'lik chiqarilishi ularning jozibadorligini va tutish samaradorligini oshirishi ma'lum bo'lgan. Shuningdek, H. armigerani tutishda qo'llangan [16] bo'lib, ular LED yorug'lik tutqichlarining monitoring va zararkunandalarni nazorat qilishdagi samaradorligini yanada kuchaytirishi mumkin.

Vengriyadagi avvalgi tadqiqotlar migrant paxta g'oz qurti bo'yicha yorug'lik tutqichlari va feromonli tutqichlar natijalari o'rtasida sezilarli tafovutlar mavjudligini ko'rsatgan, ya'ni H. armigera erta yozda yorug'lik tutqichlari yordamida aniqlanmagan [17]. Ushbu tadqiqotda esa 2023–2024 yillarda olingan natijalar o'zaro izchil bo'lib, H. armigerani eng ko'p tutgan to'lqin uzunligi 395 nm LEDlar bo'ldi. 2025-yilning iyun-avgust oylarida an'anaviy UV qora yorug'lik tutqichlari bilan 385 nm yoki 395 nm LED tutqichlari o'rtasida tutish ko'rsatkichlari o'xshash bo'ldi. Shunday qilib, bizning tadqiqotimizda turli yorug'lik tutqichlari orasida tutish samaradorligi bo'yicha mavsumiy farqlar aniqlanmadi.

Tadqiqotda yetarlicha yoritilmay qolgan jihatlardan biri hasharotlarning sutkalik ritmi va ularning ayrim xulq-atvor reaksiyalarining foto-yoki skoto-periodlarga bog'liqligidir. Tadqiqotlarda LED asosidagi tutish tizimlari, masalan, qarag'ay ipak qurti Dendrolimus abulaeformis eng faol javobni 23:30 dan 1:00 gacha ko'rsatishini namoyish etgan. Shu bilan birga, H. armigera kapalaklari asosan 2:00 dan 4:00 gacha bo'lgan vaqt oralig'ida tutqichlarga tushishi aniqlangan. Demak, H. armigeraning tungi faolligi va fototaksisini chuqur o'rganish LED tutqichlaridan foydalanishning optimal vaqtini aniqlashga yordam beradi. Bu esa tutish samaradorligini oshirish bilan birga qishloq hududlarida sun'iy yorug'lik ifloslanishining ortiqcha kuchayib ketishining oldini oladi.

Xulosa: O'tkazilgan uch yillik dala tajribalari Helicoverpa armigera kapalaklarining yorug'lik spektriga sezgirliги tor diapazonli LEDlar yordamida samarali boshqarilishi mumkinligini ko'rsatdi. Tajriba natijalari 385 nm va 395 nm to'lqin uzunligiga ega LED tutqichlar paxta maydonlarida an'anaviy UV qora yorug'lik tutqichlariga nisbatan 2,9 baravar yuqori tutish samaradorligini ta'minlashini tasdiqladi. Bu LEDlarning monoxromatik nuri kapalaklarning fototaksik xatti-harakatiga bevosita mos kelishi bilan izohlanadi.

Shuningdek, dala sharoitida olingan natijalar LED texnologiyalarining energiya tejankorligi, uzoq muddatli ishlash imkoniyati, selektiv jalb qilish xususiyati va ekologik xavfsizligi tufayli H. armigera populyatsiyasini monitoring qilishda istiqbolli vosita ekanini ko'rsatdi. Ushbu yondashuv pestitsid yuklamasini kamaytirish, erta ogohlantirish tizimini kuchaytirish va integratsiyalashgan zararkunanda boshqaruvi (IPM) samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Umuman, tadqiqot natijalari 385 nm to'lqin uzunligidagi LED tutqichlar H. armigerani dalada aniqlash va monitoring qilishda eng optimal texnologiya ekanini ilmiy asoslab berdi hamda ularni keng amaliyotga joriy etish qo'shimcha iqtisodiy va ekologik samaradorlik yaratishini ko'rsatdi.

Nº	Adabiyotlar	References
1	Zhang, S., 2018. Resistance monitoring of agricultural pests and suggestions of applying insecticides in 2017 in China. China Plant Prot. 38, 52-56.	Zhang, S., 2018. Resistance monitoring of agricultural pests and suggestions of applying insecticides in 2017 in China. China Plant Prot. 38, 52-56.
2	Jorgensen, S., Aktipis, P., Brown, A., Carriere, Z., Downes, Y., Dunn, S., Epstein, R.R., Frisvold, G., Hawthorne, G.B., Grohn, Y.T.D., Gujar, G.T., 2018. Antibiotic and pesticide susceptibility and the Anthropocene operating space. Nat. Sustain. 1, 632-641	Jorgensen, S., Aktipis, P., Brown, A., Carriere, Z., Downes, Y., Dunn, S., Epstein, R.R., Frisvold, G., Hawthorne, G.B., Grohn, Y.T.D., Gujar, G.T., 2018. Antibiotic and pesticide susceptibility and the Anthropocene operating space. Nat. Sustain. 1, 632-641
3	Lu, Y.H., Jiang, Y.Y., Liu, J., Zeng, J., Yang, X.M., Wu, K.M., 2018. Adjustment of cropping structure increases the risk of cotton bollworm outbreaks in China. Chin. J. Appl. Entomol. 55, 19-24	Lu, Y.H., Jiang, Y.Y., Liu, J., Zeng, J., Yang, X.M., Wu, K.M., 2018. Adjustment of cropping structure increases the risk of cotton bollworm outbreaks in China. Chin. J. Appl. Entomol. 55, 19-24
4	Guo, Y.Y., 1998. Studies on Cotton Bollworm. China Agriculture Press, Beijing.	Guo, Y.Y., 1998. Studies on Cotton Bollworm. China Agriculture Press, Beijing.
5	Cowan, T., Gries, G., 2009. Ultraviolet and violet light: attractive orientation cues for the Indian meal moth, <i>Plodia interpuncteUa</i> . Entomol. Exp. Appl. 131, 148-158	Cowan, T., Gries, G., 2009. Ultraviolet and violet light: attractive orientation cues for the Indian meal moth, <i>Plodia interpuncteUa</i> . Entomol. Exp. Appl. 131, 148-158
6	Shimoda, M., Honda, K., 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. Appl. Entomol. Zool. 48, 413-421	Shimoda, M., Honda, K., 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. Appl. Entomol. Zool. 48, 413-421
7	Duehl, A.J., Cohnstaedt, L.W., Arbogast, R.T., Teal, P.E.A., 2011. Evaluating light attraction to increase trap efficiency for <i>Tribolium castaneum</i> (Coleoptera: tenebrionidae). J. Econ. Entomol. 104, 1430-1435	Duehl, A.J., Cohnstaedt, L.W., Arbogast, R.T., Teal, P.E.A., 2011. Evaluating light attraction to increase trap efficiency for <i>Tribolium castaneum</i> (Coleoptera: tenebrionidae). J. Econ. Entomol. 104, 1430-1435
8	McQuate, G.T., 2014. Green light synergistically enhances male sweetpotato weevil response to sex pheromone. Sci. Rep. 4, 4499	McQuate, G.T., 2014. Green light synergistically enhances male sweetpotato weevil response to sex pheromone. Sci. Rep. 4, 4499
9	Park, J.H., Sung, B.K., Lee, H.S., 2015. Phototactic behavior 7: phototactic response of the maize weevil, <i>Sitotroga zeamais motsch</i> (Coleopter: Curculionidae), to lightemitting diodes. J. Kor. Soc. Appl. Biol. Chem. 58, 373-376. Agri. Food 3, 135	Park, J.H., Sung, B.K., Lee, H.S., 2015. Phototactic behavior 7: phototactic response of the maize weevil, <i>Sitotroga zeamais motsch</i> (Coleopter: Curculionidae), to lightemitting diodes. J. Kor. Soc. Appl. Biol. Chem. 58, 373-376. Agri. Food 3, 135
10	Cohnstaedt, L., Gillen, J.I., Munstermann, L.E., 2008. Light-emitting diode technology improves insect trapping. J. Am. Mosq. Contr. Assoc. 24, 331-334	Cohnstaedt, L., Gillen, J.I., Munstermann, L.E., 2008. Light-emitting diode technology improves insect trapping. J. Am. Mosq. Contr. Assoc. 24, 331-334
11	Gomez, C., Izzo, L.G., 2018. Increasing efficiency of crop production with LEDs. AIMS	Gomez, C., Izzo, L.G., 2018. Increasing efficiency of crop production with LEDs. AIMS

12	Wei, G.S., Zhang, Q.W., Zhou, M.Z., Wu, W.G., 2000. Studies on the phototaxis of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hubner). Acta Biophys. Sin. 16, 89-95	Wei, G.S., Zhang, Q.W., Zhou, M.Z., Wu, W.G., 2000. Studies on the phototaxis of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hubner). Acta Biophys. Sin. 16, 89-95
13	Wei, G.S., Zhang, Q.W., Zhou, M.Z., Wu, W.G., 2002. Characteristic response of the compound eyes of <i>Helicoverpa armigera</i> to light. Acta Entomol. Sin. 45, 323-328	Wei, G.S., Zhang, Q.W., Zhou, M.Z., Wu, W.G., 2002. Characteristic response of the compound eyes of <i>Helicoverpa armigera</i> to light. Acta Entomol. Sin. 45, 323-328
14	Yan, S., Zhu, J.L., Zhu, W.L., Zhang, X.F., Li, Z., Liu, X.X., Zhang, Q.W., 2014. The expression of three opsin genes from the compound eye of <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera: Noctuidae) is regulated by a circadian clock, light conditions and nutritional status. PLoS One 9, e111683	Yan, S., Zhu, J.L., Zhu, W.L., Zhang, X.F., Li, Z., Liu, X.X., Zhang, Q.W., 2014. The expression of three opsin genes from the compound eye of <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera: Noctuidae) is regulated by a circadian clock, light conditions and nutritional status. PLoS One 9, e111683
15	Gu, G.H., Chen, X.B., Han, J., Ge, H., Chen, H.X., 2004. Study on phototaxis action of moth of cotton bollworm. J. Tianjin Agri. Coll. 11, 32-36	Gu, G.H., Chen, X.B., Han, J., Ge, H., Chen, H.X., 2004. Study on phototaxis action of moth of cotton bollworm. J. Tianjin Agri. Coll. 11, 32-36
16	Xiu, C.L., Li, G.P., Gao, Y., Li, A.L., Lu, Y.H., 2020. Trapping efficacy of combined application of food attractants and different traps on <i>Helicoverpa armigera</i> moths. Plant Prot. 46, 229-233	Xiu, C.L., Li, G.P., Gao, Y., Li, A.L., Lu, Y.H., 2020. Trapping efficacy of combined application of food attractants and different traps on <i>Helicoverpa armigera</i> moths. Plant Prot. 46, 229-233
17	Keszthelyi, S., Nowinszky, L., Szeoke, K., 2016. Different catching series from light and pheromone trapping of <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera: Noctuidae). Biologia 71, 818-823	Keszthelyi, S., Nowinszky, L., Szeoke, K., 2016. Different catching series from light and pheromone trapping of <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera: Noctuidae). Biologia 71, 818-823
18	Park, J.H., Sung, B.K., Lee, H.S., 2015. Phototactic behavior 7: phototactic response of the maize weevil, <i>Sitotroga zeamais</i> motsch (Coleopter: Curculionidae), to lightemitting diodes. J. Kor. Soc. Appl. Biol. Chem. 58, 373-376. Agri. Food 3, 135	Park, J.H., Sung, B.K., Lee, H.S., 2015. Phototactic behavior 7: phototactic response of the maize weevil, <i>Sitotroga zeamais</i> motsch (Coleopter: Curculionidae), to lightemitting diodes. J. Kor. Soc. Appl. Biol. Chem. 58, 373-376. Agri. Food 3, 135
19	Gomez, C., Izzo, L.G., 2018. Increasing efficiency of crop production with LEDs. AIMS	Gomez, C., Izzo, L.G., 2018. Increasing efficiency of crop production with LEDs. AIMS
20	Shimoda, M., Honda, K., 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. Appl. Entomol. Zool. 48, 413-421	Shimoda, M., Honda, K., 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. Appl. Entomol. Zool. 48, 413-421

