

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ
ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION
AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

2025 (23) 3

шілде- қыркүйек

ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)

БАС РЕДАКТОР:

Исахов Асылбек Абдишимович — есептеу теориясы саласында математика бойынша PhD доктор, "Компьютерлік ғылымдар және информатика" бағыты бойынша қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің Басқарма Төрағасы – Ректор (Қазақстан)

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

Колесникова Катерина Викторовна — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі проректор (Қазақстан)

ҒАЛЫМ ХАТШЫ:

Ипалакова Мадина Түлегеновна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі департамент директоры (Қазақстан)

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

Разак Абдул — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Лучино Томмазо де Паолис — Саленто Университеті (Италия) инновация және технологиялық инжиниринг департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры

Лиз Бэкон — профессор, Абертей Университеті (Ұлыбритания) вице-канцлерінің орынбасары

Микеле Пагано — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры

Өтелбаев Мұхтарбай Өтелбайұлы — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Рысбайұлы Болатбек — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Қазақстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Дузаев Нуржан Токсужаевич — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректор (Қазақстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Сейлова Нургуль Абдуллаевна — техника ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультетінің деканы (Қазақстан)

Мұхамедиева Ардак Габитовна — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнес медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)

Абдикаликова Замира Тұрсынбаевна — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Дамелия Максумовна Ескендірова — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — филология ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті медиакоммуникация және Қазақстан тарихы кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Айтмағамбетов Алтай Зуфарович — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Бахтиярова Елена Азизбековна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Канибек Сансызбай — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Тынымбаев Сахиябай — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Алимереб Али Абд — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Янг Им Чу — PhD, Гачон университетінің профессоры (Оңтүстік Корея)

Талеуш Валдас — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры

Мамырбаев Оркен Жұмажанович — PhD, КР ҒЖБМ Ғылым комитеті ақпараттық және есептеу технологиялары институты ӨМК директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан)

Бушув Сергей Дмитриевич — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сәулет университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)

Белошицкая Светлана Васильевна — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің редакторы (Қазақстан)

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Меншік иесі: АҚ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігіне мерзімді баспасөз басылымын есепке қою туралы куәлік № KZ82VPY00020475, 20.02.2020 ж. берілген

Тақырып бағыты: ақпараттық технологиялар, ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар, әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тираж: 100 дана.

Редакция мекенжайы: 050040 Алматы қ., Манас к., 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09.

E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz>

© Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті АҚ, 2025

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz> © Авторлар ұжымы, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Исахов Асылбек Абдиашимович — доктор PhD по математике в области теории вычислимости, ассоциированный профессор по направлению "Компьютерные науки и информатика", Председатель Правления – Ректор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Колесникова Катерина Викторовна — доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, директор департамента по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Разак Абдул — PhD, профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Лучио Томмазо де Паолис — директор отдела исследований и разработок лаборатории AVR департамента инноваций и технологического инжиниринга Университета Саленто (Италия)

Лиз Бэкон — профессор, заместитель вице-канцлера Университета Абертей (Великобритания)

Микеле Пагано — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

Отелбаев Мухтарбай Отелбайұлы — доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Рысбайұлы Болатбек — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Astana IT University (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дузбаев Нуржан Токкужаевич — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна — кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий и кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мухамедиева Ардак Габитовна — кандидат экономических наук, декан факультета бизнеса медиа и управления Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Абдикаликова Замира Турсынбаевна — PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой экономики и бизнеса Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дамеля Максумовна Ескендирова — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — кандидат филологических наук, доцент, профессор, заведующая кафедрой медиакоммуникации и истории Казахстана Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Айтмагамбетов Алтай Зуфарович — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Бахтиярова Елена Ажибековна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Канибек Сансызбай — PhD, ассоциированный профессор, профессор-исследователь кафедры кибербезопасности, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Тынымбаев Сахиябай — кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алмисреб Али Абд — PhD, ассоциированный профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, ассоциированный профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Янг Им Чу — PhD, профессор университета Гачон (Южная Корея)

Талеуш Валлас — PhD, проректор университета имен Адама Мицкевича (Польша)

Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, заместитель директора по науке РГП Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки МНВО РК (Казахстан)

Бушуев Сергей Дмитриевич — доктор технических наук, профессор, директор Украинской ассоциации управления проектами «УКРНЕТ», заведующий кафедрой управления проектами Киевского национального университета строительства и архитектуры (Украина)

Белошницкая Светлана Васильевна — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вычислений и науки о данных Astana IT University (Казахстан)

РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, редактор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ82VPY00020475, выданное от 20.02.2020 г.

Тематическая направленность: информационные технологии, информационная безопасность и коммуникационные технологии, цифровые технологии в развитии социально-экономических систем.

Периодичность: 4 раза в год.

Тираж: 100 экземпляров.

Адрес редакции: 050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09.

E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

© АО Международный университет информационных технологий, 2025

© Коллектив авторов, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

Assylbek Issakhov — PhD in Mathematics in Computability Theory, associate professor in “Computer Science and Informatics,” Chairman of the Board – Rector of the International Information Technology University (Kazakhstan)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Kateryna Kolesnikova — Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for Research, International Information Technology University (Kazakhstan)

ACADEMIC SECRETARY

Madina Ipalakova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Director of the Research Department, International Information Technology University (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD

Abdul Razak — PhD, professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Lucio Tommaso De Paolis — Director of the R&D Department of the AVR Laboratory, Department of Engineering for Innovation, University of Salento (Italy)

Liz Bacon — Professor, Deputy Vice-Chancellor, Abertay University (United Kingdom)

Michele Pagano — PhD, Professor, University of Pisa (Italy)

Mukhtarbay Otelbayev — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bolatbek Rysbauly — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, professor of the Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

Yevgeniya Daineko — PhD, research professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurzhhan Duzbayev — PhD, associate professor, Vice-Rector for Digitalization and Innovation, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bakhtgerai Sinchev — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurgul Seilova — Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies and Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ardak Mukhamediyeva — Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Business, Media and Management, International Information Technology University (Kazakhstan)

Zamira Abdikalikova — PhD, associate professor, Head of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yerlan Shildibekov — PhD, associate professor, Head of the Department of Economics and Business, International Information Technology University (Kazakhstan)

Damilya Yeskendirova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Aigul Niyazgulova — Candidate of Philological Sciences, Professor, Head of the Department of Media Communications and History of Kazakhstan, International Information Technology University (Kazakhstan)

Altai Aitmagambetov — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yelena Bakhtiyarova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Kanibek Sansyzbay — PhD, research professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Sakhybay Tynymbayev — Candidate of Technical Sciences, Professor, Research Professor, Department of Computer Engineering, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ali Abd Almisreb — PhD, associate professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Mohamed Ahmed Hamada — PhD, associate professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yang Im Chu — PhD, Professor, Gachon University (South Korea)

Tadeusz Wallas — PhD, Vice-Rector, Adam Mickiewicz University (Poland)

Orken Mamyrbayev — PhD, Deputy Director for Science, RSE Institute of Information and Computational Technologies, Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Kazakhstan)

Sergey Bushuyev — Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Ukrainian Project Management Association “UKRNET,” Head of the Department of Project Management, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

Svetlana Beloshitskaya — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

EDITOR

Raushan Mrzabayeva — Master of Science, editor, International Information Technology University (Kazakhstan)

«International Journal of Information and Communication Technologies»

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan, Information Committee No. KZ82VPY00020475, issued on 20.02.2020.

Thematic focus: information technology, digital technologies in the development of socio-economic systems, information security and communication technologies

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 100 copies.

Editorial address: 050040. Manas st. 34/1, Almaty. +7 (727) 244-51-09. E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Journal website: <https://journal.iitu.edu.kz>

© International Information Technology University JSC, 2025

© Group of authors, 2025

МАЗМҰНЫ

А.Е. Абдуалиев, Г.Қ. Сембина ГЕНЕТИКАЛЫҚ АЛГОРИТМ ЖӘНЕ БАЙЕСИЯЛЫҚ ГИПЕРПАРАМЕТРЛЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ НЕГІЗІНДЕ АЙМАҚТЫҚ БЮДЖЕТТІ БӨЛҮДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....8	8
А.М. Альжанов, К.Қ. Рахымбек, А.Б. Нугуманова БЛОКЧЕЙННЕН ШАБЫТТАНҒАН КОНСЕНСУС МОДЕЛЬДЕРІ АРҚЫЛЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕГІ СУ ТАСҚЫНЫ БОЛЖАМЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ.....24	24
А.З. Айтмагамбетов, С.Ж. Жұмағали, А.С. Инчин, С.М. Трепашко НАВИГАЦИЯЛЫҚ ПЛОМБА МОДУЛЬДЕРІНІҢ ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУЫН БАҒАЛАУ ҮШІН СТЕНД ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ СЫНАУ.....45	45
С. Аманжолова, Г. Мутанов, С. Муханов, О. Усатова, А. Razaque ZABVIX ЖӘНЕ GRAFANA КӨМЕГІМЕН ЖЕЛІЛІК БЕЛСЕНДІЛІКТІ БАҚЫЛАУҒА ЖӘНЕ SQL ИНЪЕКЦИЯЛЫҚ ШАБУЫЛДАРЫН АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН AI-МЕН ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ЖҮЙЕ.....61	61
Н.Ә. Асан, Д.М. Утебаева, А.Е. Қасенхан, Л.М. Илипбаева БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕЛЕРІНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІНІ ЕНГІЗУ.....84	84
О. Бекмурат, В. Сербин, М. Алиманова, Ү. Базарбаева ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ЖАСӨСПІРІМДЕРДІҢ СУИЦИДТІК БЕЙІМДІЛІГІН БОЛЖАУ.....100	100
А. Белошицкий, Ю. Андрашко, А. Кучанский, А. Нефтисов, М. Гладка ЖАҢА АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ДАҚЫЛДАРЫН ӨСІРУ БОЙЫНША ЖЫЛЫЖАЙ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ОПЕРАЦИЯЛЫҚ ҚЫЗМЕТІНЕ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ҮЛГІСІ.....115	115
Э. Гайсина, А. Кубашева, А. Кумаргалиева, Г. Дашева, П. Шмидт ОНЛАЙН ОҚЫТУ ПЛАТФОРМАЛАРЫНЫҢ ҚАБЫЛДАНУЫНА ЫҚПАЛ ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ТҰРҒЫСЫНАН ЗЕРТТЕУШ.....133	133
Ележанова, Х. Кутуку, Ш. Коданова, А. Кубашева, Ж. Аманбаева DuckDB МЕН ChromaDB НЕГІЗІНДЕ ҚЫЗМЕТКЕРЛЕР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕРДІ ӨНДЕУДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ.....145	145
А.К. Калдарова, М.А. Васкес СТУДЕНТТЕРДІҢ СӨЗДІК ҚОРЫН ДАМУ: WORDWALL ПЛАТФОРМАСЫ НЕГІЗІНДЕГІ ИНТЕРАКТИВТІ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНІҢ ҰҚПАЛЫ.....173	173
К.В. Колесникова, А.В. Нефтисов, И.М. Казамбаев, Т.М. Олех, Ж. Әбдібаев, МӘЛІМЕТТЕРДІ ИНТЕГРАЦИЯЛАУДЫҢ МӘСЕЛЕЛЕР АРАЛЫҚ СУ РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУДАҒЫ ӘДІСТЕМЕЛІК ҚАҒИДАТТАРЫ.....186	186
Л. Курманғазиева, О. Финдик, В. Махатова, Д. Құдабаева, А. Маратұлы ОБЪЕКТІЛЕРДІ ТАҢУ ЖӘНЕ ЫҒЫСУЫН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН КОНВОЛЮЦИЯЛЫҚ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ.....202	202
Г.М. Мауина, Б.Е. Таныкпаева, А.У. Есиркепова, Г.Ж. Өтеген, Х.М. Рай МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН АГРОӨНЕРКӘСІПТІК ТИІМДІЛІК КӨРСЕТКІШТЕРІ БОЙЫНША СЫРТҚЫ ФАКТОРЛАРДЫ БАҒАЛАУ.....222	222
К.К. Мырзабек, А.Б. Хасен, Ш.М.У. Хан УАҚЫТТЫҚ ЫҚТИМАЛДЫ АВТОМАТТАР НЕГІЗІНДЕ ӘУЕ ҚОЗҒАЛЫСЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІН ТАЛДАУ.....238	238
М.К. Рыспаева, О.С. Салыкова ТРАНСФЕРЛІК ОҚЫТУ МЕН RADIMAGENET САЛМАҚТАРЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН СИРЕК ПАТОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН GAN ӘДІСІ АРҚЫЛЫ МЕДИЦИНАЛЫҚ БЕЙНЕЛЕРДІ ГЕ НЕРАЦИЯЛАУ.....254	254
Б. Синчев, А. Синчев, Н. Бахтгерейұлы, А. Муханова	

МЫҢЖЫЛДЫҚ МӘСЕЛЕСІНІҢ ШЕШІМДІЛІГІ: Р ЖӘНЕ NP.....	270
М.У. Сулейменова, Д.М. Мұхаммеджанова, А.С. Бижанова ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ТЕРІНІ ДИАГНОСТИКАЛАУ ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ОҒАН КҮТІМ ЖАСАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	278
А. Тлеубаев, С.Е. Керімқұл, А. Адалбек, Ж.С. Асанова, К.Д. Кулиев АНАЛИТИКАЛЫҚ ИЕРАРХИЯ ПРОЦЕСІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ТЕХНИКАСЫН БАҒАЛАУДЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТӘСІЛІ.....	289
М. Уразғалиева, Х.И. Бюльбюль, Б. Утенова, А. Майлыбаева, А. Муханбетқалиева КӨРНЕКІ ДЕРЕКТЕРДІ КОЛОРИЗАЦИЯЛАУ ҮШІН АВТОКОДЕР НЕГІЗІНДЕГІ НЕЙРОЖЕЛІЛІК МОДЕЛЬДІ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОҚЫТУ.....	303
Р.К. Ускенбаева, Ж.Б. Кальпеева, А.Н. Молдагулова, А.Б. Касымова, Р.Ж. Сатыбалдиева ӨНДІРУШІЛЕР МЕН ИМПОРТТАУШЫЛАРҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН НЕСИЕЛІК БАҒАЛАУ.....	323

СОДЕРЖАНИЕ

А.Е. Абдуалиев, Г.К. Сембина ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО БЮДЖЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И БАЙЕСОВСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ГИПЕРПАРАМЕТР ОВ.....	8
А.М. Альжанов, К.К. Рахымбек, А.Б. Нугуманова ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНСЕНСУСНЫХ МОДЕЛЕЙ, ВДОХНОВЛЁННЫХ БЛОКЧЕЙН ОМ.....	24
А.З. Айтмагамбетов, С.Ж. Жумағали, А.С. Инчин, С.М. Трепашко РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ СТЕНДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МОДУЛЕЙ НАВИГАЦИОННОЙ ПЛОМБЫ.....	45
С. Аманжолова, Г. Мутанов, С. Муханов, О. Усатова, А. Razaque СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СЕТЕВОЙ АКТИВНОСТИ И ОБНАРУЖЕНИЯ SQL- ИНЪЕКЦИЙ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ZABBIX И GRAFANA.....	61
Н.А. Асан, Д.М. Утебаева, А.Е. Касенхан, Л.М. Илипбаева ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ.....	84
О. Бекмурат, В. Сербин, М. Алиманова, У. Базарбаева ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУИЦИДАЛЬНЫХ НАКЛОННОСТЕЙ ПОДРОСТКОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	100
А. Белошицкий, Ю. Андрашко, А. Кучанский, А. Нефтисов, М. Гладка МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НОВЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	115
Э. Гайсина, А. Кубашева, А. Кумарғалиева, Г. Дашева, Р. Schmidt ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРИНЯТИЕ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ ОБУЧЕНИЯ, С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	133
Ш. Ележанова, Х. Кутуку, Ш. Коданова, А. Кубашева, Ж. Аманбаева ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ О СОТРУДНИКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DuckDB и ChromaDB.....	145
А.К. Калдарова, М.А. Васкес РАСШИРЕНИЕ СЛОВАРНОГО ЗАПАСА У СТУДЕНТОВ: ВЛИЯНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ОБУЧАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ WORDWALL.....	173
К.В. Колесникова, А.В. Нефтисов, И.М. Казамбаев, Т.М. Олех, Ж. Абдибаев, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСГРАНИЧНЫМИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ.....	186



Л. Курмангазиева, О. Финдик, В. Махатова, Д. Кудабасева, А. Маратулы СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И ОТСЛЕЖИВАНИЯ СМЕЩЕНИЙ ОБЪЕКТОВ.....	202
Г.М. Мауина, Б.Е. Таныкпаева, А.У. Есиркепова, Г.Ж. Өтеген, Х.М. Рай ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АГРОПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕ НИЯ.....	222
К.К. Мырзабек, А.Б. Хасен, Ш.М.У. Хан АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ АВТОМАТОВ С ВРЕМЕННЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ.....	238
М.К. Рыспаева, О.С. Салыкова ГЕНЕРАЦИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ GAN ДЛЯ РЕДКИХ ПАТОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАНСФЕРНОГО ОБУЧЕНИЯ И ВЕСОВ RADIMA GENET.....	254
Б. Синчев, А. Синчев, Н. Бахтгерейулы, А. Муханова РАЗРЕШИМОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ P ПРОТИВ NP.....	270
М.У. Сулейменова, Д.М. Мухаммеджанова, А.С. Бижанова ДИАГНОСТИКА КОЖИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ОПТИМИЗАЦИЯ УХОДА ЗА НЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ...278	
А.Б. Тлеубаев, С.Е. Керимкулов, А. Адалбек, Ж.С. Асанова, К.Д. Кулиев ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ИЕРАРХИИ.....	289
М. Уразгалиева, Х.И. Бюльбюль, Б. Утенова, А. Майлыбаева, А. Муханбеткалиева РАЗРАБОТКА И ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ АВТОКОДИРОВЩИКА ДЛЯ КОЛОРИЗАЦИИ ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	303
Р.К. Ускенбаева, Ж.Б. Кальпеева, А.Н. Молдагулова, А.Б. Касымова, Р.Ж. Сатыбалдиева КРЕДИТНЫЙ СКОРИНГ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ИМПОРТЕРОВ.....	323

CONTENTS

A.E. Abdualiyev, G.K. Sembina OPTIMIZATION OF REGIONAL BUDGET ALLOCATION USING GENETIC ALGORITHM AND BAYESIAN HYPERPARAMETER OPTIMIZATION.....	8
A. Alzhanov, K. Rakhymbek, A. Nugumanova IMPROVING ROBUSTNESS IN AI FLOOD FORECASTING VIA BLOCKCHAIN-INSPIRED CONSENSUS MODELS	24
A.Z. Aitmagambetov, S.Zh. Zhumagali, A.S. Inchin, S.M. Trepashko DEVELOPMENT AND TESTING OF A STAND FOR EVALUATING THE ENERGY CONSUMPTION OF NAVIGATION SEAL MODULES.....	45
S. Amanzholova, G. Mutanov, S. Mukhanov, O. Ussatova, A. Razaque AI-POWERED SYSTEM FOR NETWORK ACTIVITY MONITORING AND DETECTION OF SQL INJECTION ATTACKS USING ZABBIX AND GRAFANA.....	61
N. Assan, D. Utebayeva, A. Kassenkhan, L. Ilipbayeva INTRODUCTION OF AI IN EDUCATION SYSTEMS.....	84
O. Bekmurat, V. Serbin, M. Alimanova, U. Bazarbayeva AI-BASED PREDICTION OF ADOLESCENT SUICIDAL TENDENCIES.....	100
A. Biloshchytskyi, Y. Andrashko, O. Kuchanskyi, A. Neftissov, M. Gladka DECISION-MAKING MODEL FOR GREENHOUSE AGRICULTURAL ENTERPRISE OP- ERATIONS IN THE CASE OF CULTIVATING NEW AGRICULTURAL CROPS.....	115
E. Gaisina, A. Kubasheva, A. Kumargaliyeva, G. Dasheva, P. Shmidt INVESTIGATING FACTORS INFLUENCING THE ADOPTION OF ONLINE LEARNING PLATFORMS FROM AN INFORMATION TECHNOLOGY PERSPECTIVE.....	133



Sh. Yelezhanova, H. Kutucu, Sh. Kodanova, A. Kubasheva, Zh. Amanbayeva APPLICATION OF INTELLIGENT DATA ANALYSIS METHODS TO EMPLOYEE INFORMATION PROCESSING USING DuckDB and ChromaDB.....	145
A.K. Kaldarova, M.A. Vasquez ENHANCING VOCABULARY ACQUISITION IN STUDENTS: THE IMPACT OF WORD-WALL-BASED INTERACTIVE LEARNING TOOLS.....	173
K.V. Kolesnikova, A.V. Neftissov, I.M. Kazambayev, T.M. Olekh, Zh. Abdibayev, METHODOLOGICAL APPROACH TO DATA INTEGRATION IN TRANSBOUNDARY WATER RESOURCES MANAGEMENT.....	186
L. Kurmangazyeva, O. Findik, V. Makhatova, D. Kudabayeva, A. Maratuly CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR RECOGNITION AND TRACKING OF OBJECT DISPLACEMENTS.....	202
G. Mauina, B. Tanykpayeva, A. Yessirkepova, G. Otegen, H.M. Rai EVALUATION OF EXTERNAL FACTORS ON AGROINDUSTRIAL EFFICIENCY INDICATORS USING MACHINE LEARNING METHODS.....	222
K. Myrzabek, A. Khassen, S. Khan PROBABILISTIC TIMED AUTOMATA ANALYSIS OF AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS...	238
M.K. Ryspayeva, O.S. Salykova GAN-BASED MEDICAL IMAGE GENERATION FOR RARE PATHOLOGIES USING TRANSFER LEARNING AND RADIMAGENET WEIGHTS.....	254
B. Sinchev, A. Sinchev, N. Bakhtgereiuly, A. Mukhanova SOLVABILITY OF THE MILLENNIUM PROBLEM: P VS NP.....	270
M.U. Suleimenova, D.M. Mukhammejanova, A.S. Bizhanova AI-BASED SKIN DIAGNOSTICS AND SKINCARE OPTIMIZATION USING MACHINE LEARNING.....	278
A.B. Tleubayev, S.E. Kerimkhulle, A. Adalbek, Z.S. Assanova, K.D. Kuliev AN INTELLIGENT APPROACH TO EVALUATING AGRICULTURAL MACHINERY BASED ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS.....	289
M. Urazgaliyeva, H.İ. Bülbül, B. Utenova, A. Mailybayeva, A. Mukhanbetkaliyeva DEVELOPMENT AND TRAINING OF A NEURAL NETWORK AUTOENCODER MODEL FOR VISUAL DATA COLORIZATION.....	303
R.K. Uskenbayeva, Zh.B. Kalpeyeva, A.N. Moldagulova, A.B. Kassymova, R.Zh. Satybaldiyeva MACHINE LEARNING-BASED CREDIT SCORING FOR MANUFACTURERS AND IMPORTERS.....	323

METHODOLOGICAL APPROACH TO DATA INTEGRATION IN TRANS-BOUNDARY WATER RESOURCES MANAGEMENT

***K.V. Kolesnikova^{1*}, A.V. Neftissov^{2,3}, I.M. Kazambayev², T.M. Olekh⁴,
Zh. Abdibayev⁵***

¹International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan;

²Astana IT University, Astana, Kazakhstan;

³Academy of Physical Education and Mass Sports, Astana, Kazakhstan;

⁴Odessa National Polytechnics University, Odessa, Ukraine;

E-mail: kkolesnikova@iitu.edu.kz

Kolesnikova Kateryna — Doctor of Technical Sciences, professor, professor of Information Systems Department, International Information Technology University, Almaty Kazakhstan

E-mail: kkolesnikova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9160-5982>;

Neftissov Alexandr — PhD, associate professor, Vice-Rector for Science and Innovation, Academy of Physical Education and Mass Sports, Astana, Kazakhstan; researcher, Scientific-Innovation Center Industry 4.0, Astana IT University, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-4079-2025>;

Kazambayev Ilyas — PhD Student, Acting Director of Scientific-Innovation Center Industry 4.0, Astana IT University, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>;

Olekh Tetiana — Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professor of the Higher Mathematics and Systems Modeling Department, Odessa National Polytechnics University, Odessa, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-9187-1885>;

Abdibayev Arhabayuly — PhD student, leading expert of the Digitalization Department, RSE Kazvodkhooz of the Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-3896-9701>.

© K.V. Kolesnikova, T.M. Olekh, A.V. Neftissov, I.M. Kazambayev, Zh. Abdibayev,

Abstract. This paper presents a methodological approach to data integration in transboundary water resources management under climate and demographic change. A multi-layer architecture is developed to ensure the collection, standardization, and integration of hydrological, climatic, demographic, and energy data using GIS, sat-

ellite monitoring, and machine learning techniques. The WAFLEX, WEAP, and climate-demographic scenario modeling (RCP/SSP) frameworks are applied to assess water balance, forecast deficits, and optimize resource allocation. Central Asian case studies demonstrate the potential of multi-agent modeling to reduce interstate conflicts and enhance socio-economic benefits. The findings indicate that data integration and the use of digital technologies significantly improve adaptive management and the resilience of water systems in a changing climate.

Keywords: transboundary water resources, data integration, climate scenarios, demographic scenarios, hydrological modeling, machine learning, SDG, Central Asia

For citation: K.V. Kolesnikova, A.V. Neftissov, I.M. Kazambayev, T.M. Olekh, Zh. Abdibayev. Methodological approach to data integration in transboundary water resources management//International journal of information and communication technologies. 2025. Vol. 6. No. 23. Pp. 186–201. (In Eng.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.23.3.010>.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

МӘЛІМЕТТЕРДІ ИНТЕГРАЦИЯЛАУДЫҢ МӘСЕЛЕЛЕРАРАЛЫҚ СУ РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУДАҒЫ ӘДІСТЕМЕЛІК ҚАҒИДАТТАРЫ

К.В. Колесникова^{1}, А.В. Нефтисов^{2,3}, И.М. Казамбаев², Т.М. Олех⁴,
Ж. Әбдібаев⁵,*

¹Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан;

²Астана ат Университеті, Астана, Қазақстан;

³Дене шынықтыру және бұқаралық спорт академиясы, Астана, Қазақстан;

⁴Одесса политехникасы ұлттық университеті, Одесса, Украина;

E-mail: kkolesnikova@iitu.edu.kz

Колесникова Катерина — техникалық ғылымдар докторы, профессор, Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры, Алматы, Қазақстан.

E-mail: kkolesnikova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9160-5982>;

Нефтисов Александр — PhD, қауымдастырылған профессор, Ғылым және инновациялар жөніндегі проректор, Дене шынықтыру және бұқаралық спорт академиясы, Астана, Қазақстан; зерттеуші, Industry 4.0 Ғылыми-инновациялық орталығы, Astana IT University.

<https://orcid.org/0000-0003-4079-2025>;

Казамбаев Ильяс — PhD докторанты, Industry 4.0 Ғылыми-инновациялық орталығының директорының м.а., Astana IT University, Астана, Қазақстан.

<https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>;

Олех Татьяна — техникалық ғылымдар кандидаты, қауымдастырылған профессор, Жоғары математика және жүйелік модельдеу кафедрасы, Одесса

Ұлттық Политехникалық Университеті, Украина.

<https://orcid.org/0000-0002-9187-1885>;

Әбдібаев Жанұзақ — PhD докторанты, ҚР Су ресурстары және ирригация министрлігіне қарасты «Қазсушар» РМК Сандықтау департаментінің жетекші маманы, Астана, Қазақстан.

<https://orcid.org/0000-0002-3896-9701>.

© К.В. Колесникова, Т.М. Олех, А.В. Нефтисов, И.М. Казамбаев, Ж. Әбдібаев,

Аннотация. Бұл мақалада климаттық және демографиялық өзгерістер жағдайында мемлекетаралық су ресурстарын басқарудағы мәліметтерді интеграциялауға арналған әдістемелік тәсіл ұсынылады. Гидрологиялық, климаттық, демографиялық және энергетикалық мәліметтерді жинау, стандарттау және біріктіру үшін GIS, спутниктік мониторинг және машиналық оқыту технологияларын қолданатын көпқабатты архитектура әзірленген. WAFLEX, WEAP және RCP/SSP сценарийлік модельдеу құралдары арқылы су балансына баға беріліп, тапшылықты болжау және ресурстарды оңтайландыру жүргізіледі. Орталық Азиядағы кейс-мысалдар көп агенттік модельдеудің мемлекетаралық қақтығыстарды азайту және әлеуметтік-экономикалық тиімділікті арттыру әлеуетін көрсетеді. Зерттеу нәтижелері цифрлық технологияларды қолдану мен деректерді біріктіру бейімделген басқару мен су жүйелерінің орнықтылығын едәуір жақсартатынын.

Түйін сөздер: трансшекаралық су ресурстары, деректерді интеграциялау, климаттық сценарийлер, демографиялық сценарийлер, гидрологиялық модельдеу, машиналық оқыту, ТДМ, Орталық Азия

Дәйексөздер үшін: К.В. Колесникова, А.В. Нефтисов, И.М. Казамбаев, Т.М. Олех, Ж. Әбдібаев. Мәліметтерді интеграциялаудың мәселелераралық су ресурстарын басқарудағы әдістемелік қағидаттары//Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. 2025. Том. 6. № 23. 186–201 бет. (Ағыл). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.23.3.010>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСГРАНИЧНЫМИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

К.В. Колесникова^{1}, А.В. Нефтисов^{2,3}, И.М. Казамбаев², Т.М. Олех⁴,
Ж. Абдибаев⁵,*

¹Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан;

²Астана ИТ университет, Астана, Казахстан;³Академия физической культуры и массового спорта, Астана, Казахстан;

⁴Национальный университет «Одесская политехника», Одесса, Украина;

E-mail: kkolesnikova@iitu.edu.kz



Колесникова Катерина — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационных систем», Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: kkollesnikoa@iitu.edu.kz. <https://orcid.org/0000-0002-9160-5982>;

Нефтисов Александр — PhD, ассоциированный профессор, ректор по науке и инновациям, Академия физической культуры и массового спорта, Астана, Казахстан; научный сотрудник, Научно-инновационный центр «Industry 4.0», Астана ИТ университет, Астана, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-4079-2025>;

Казамбаев Ильяс — докторант, исполняющий обязанности директора Научно-инновационного центра «Industry 4.0», Астана ИТ университет, Астана, Казахстан;

<https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>;

Олех Татьяна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Высшей математики и моделирования систем», Национальный университет «Одесская политехника», Одесса, Украина

<https://orcid.org/0000-0002-9187-1885>;

Абдибаев Жанузак — ведущий специалист отдела цифровизации РГП «Казводхоз», Министерство водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан, Астана, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-3896-9701>.

© К.В. Колесникова, А.В. Нефтисов, И.М. Казамбаев, Т.М. Олех, Ж. Абдибаев,

Аннотация. В статье представлен методологический подход к интеграции данных в управлении трансграничными водными ресурсами с учетом климатических и демографических изменений. Разработана многоуровневая архитектура, обеспечивающая сбор, стандартизацию и интеграцию гидрологических, климатических, демографических и энергетических данных с применением ГИС, спутникового мониторинга и машинного обучения. Используются модели WAFLEX, WEAP и климато-демографическое сценарное моделирование (RCP/SSP) для оценки водного баланса, прогнозирования дефицитов и оптимизации распределения ресурсов. В рамках кейсов Центральной Азии продемонстрированы возможности многоагентного моделирования для снижения межгосударственных конфликтов и повышения социально-экономической выгоды. Результаты показывают, что интеграция данных и использование цифровых технологий позволяют повысить адаптивность управления и устойчивость водохозяйственных систем в условиях изменяющегося климата.

Ключевые слова: трансграничные водные ресурсы, интеграция данных, климатические сценарии, демографические сценарии, гидрологическое моделирование, машинное обучение, цели устойчивого развития, Центральная Азия

Для цитирования: К.В. Колесникова, А.В. Нефтисов, И.М. Казамбаев, Т.М. Олех, Ж. Абдибаев, Методологический подход к интеграции данных в управлении трансграничными водными ресурсами//Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. 2025. Т. 6. No. 23. Стр. 186–201. (На англ.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.23.3.010>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction

Effective management of transboundary water resources is one of the key challenges for sustainable development and deals with an interwoven puzzle in the context of integration of multifaceted information from diverse sectors across countries and different levels of governance (Liu et al., 2020; Rahaman & Varis, 2005). Without reliable, accessible, and interoperable information on water quantity in terms of both quality and availability; reservoir operation, use of water, weather and climate changes, and related energy demands, making decisions that benefit all sides is impossible (UNECE, 2015; Biswas, 2004). Additionally, contemporary water-related conflicts, scarcity due to droughts, ecosystem degradation, and increasing consumption make the demand for reliable data essential (Wolf, 2007; De Stefano et al., 2012), particularly in transboundary basins that may escalate into international scrutiny should a discrepancy occur.

This is particularly acute in arid and semi-arid regions such as Central Asia, where water resources are limited, and their utilization is intertwined across many countries (Kenshimov et al., 2022; ICWC, 2021). In such setups, transboundary rivers – most notably the Amudarya and Syrdarya – are essentially water lifelines serving sets of more than one state with varied interests in terms of prioritizing water use, infrastructure capacity, and monitoring. Downstream irrigation and drinking water needs often clash with the upstream use for hydropower, thus necessitating transparent and coordinated data exchange mechanisms (UNECE, 2020; Granit et al., 2017).

Nowadays, many of the transboundary rivers and basins have fragmented systems for their data collection, storage, and exchange. Countries also differ in formats, monitoring methods, data frequency, and legal obligations, which makes it challenging to build a comprehensive hydrological map (Sarfaraz et al., 2022; UNEP-DHI, 2016). Nevertheless, experiences realized within international and regional initiatives provide the opportunity to leverage data integration as a platform on which shared water governance can be developed. The most important frameworks include: the UNECE Water Convention (1992), Sustainable Development Goal indicator 6.5.2, UNECE guidelines, GEF and IW:LEARN programmes, and World Bank and UNESCO guidance – collectively these provide conceptual foundations and technical pathways for transboundary data harmonization (UNECE, 2023; GWP, 2009; UNESCO-IHP, 2020).

Central Asia provides an especially illustrative case. Over historical and po-

litical complexities, the region has established a robust architecture of cooperation involving Interstate Commission for Water Coordination (ICWC), Basin Water Organizations (BWOs), National hydrometeorological services, Energy operators such as CDC «Energy», and an array of international partners – UNECE, UNRCCA, GWP, World Bank, etc. (CAWater-Info, 2022; UNRCCA, 2021). It allows transboundary balancing protocols and pilot modeling applications alongside satellite and Earth observation (EO) data integration with the prototype for tracking some of the Sustainable Development Goals (SDG)-based reporting (GEF, 2020; WBG, 2021).

This makes Central Asia a good place for understanding the challenges and opportunities in linking transboundary water data. It provides an example of how different systems like institutional coherence, IT solutions, and analytical models can work together in a politically complex and hydrologically dynamic system (Granit & Lienert, 2020).

This article aims to provide a methodological strategy for data integration in the context of transboundary water resources management. It is based on the synthesis of international experience, an analysis of real-world practices in Central Asia, and the development and use of analytical tools (WAFLEX model or Climate-Demographic Scenario Model). This study has shown how different data (hydrological, climatic, demographic, energy use) can be combined well with each other to form an integrated system capable of supporting coordinated and adaptive decision-making at the regional level.

Literature Review

Data integration in transboundary water resources management is based on interdisciplinary concepts that combine hydrology, systems analysis, water governance, institutional economics, and information technologies (Biswas, 2004; Liu et al., 2020).

One of the key approaches is Integrated Water Resources Management (IWRM), promoted by GWP and UNEP, which emphasizes the need to harmonize data on water quantity and quality, water use, ecosystem needs, and climate change. Within IWRM, data serves as the foundation for developing balanced management strategies under competing interests (GWP, 2009).

The TWO Analysis (Transboundary Waters Opportunity), proposed by SIWI (2008), enables structuring information across social, ecological, and economic dimensions to identify “win-win” solutions and shift from confrontation to cooperation. The methodology focuses on qualitative and quantitative assessment of cooperation potential, where the availability of reliable and comparable data is a critical factor.

Another relevant concept is Socio-hydrology, which conceptualizes the dynamic, reciprocal interactions between humans and water systems (Di Baldassarre et al., 2013). This requires integrating data on water flows, consumption, governance institutions, risk perception, and social resilience.

The Adaptive Participatory Integrated Approach (APIA), widely applied in Southeast Asia, positions data not only as a computational resource but as a commu-

nication tool among stakeholders (Lautze et al., 2011). It is built on iterative cycles of data collection, stakeholder dialogue, adjustment, and reassessment.

At the international level, one of the core legal documents for shared data use is the UNECE Water Convention (1992). Article 6 obliges states to exchange «data and information» in mutually agreeable formats. Implementation committees under the Convention have also published guidance on transparency, monitoring, and data sharing practices (UNECE, 2015; 2023).

In the context of the Sustainable Development Goals (SDGs), Indicator 6.5.2 is used to assess the degree of institutional coordination and mechanisms for data exchange in transboundary basins. Methodological guidance from UNECE and UNESCO (2020) provides step-by-step frameworks for mapping transboundary waters and evaluating cooperation, including data sharing, coordination mechanisms, and joint monitoring systems (UNESCO-IHP, 2020).

Central Asia has developed strong institutional arrangements such as: The Interstate Commission for Water Coordination (ICWC), Basin Water Organizations (BWOs) for the Syrdarya and Amudarya Rivers and the Chu–Talas Commission.

All these bodies include elements of joint data collection and analysis, although levels of openness, automation, and standardization vary (ICWC, 2021; CAWater-Info, 2022).

In transboundary water management, this means using digital technologies to automate, scale, and ensure the interoperability of modern data integration approaches. Some of these tools include Geographic Information Systems (GIS), remote sensing and satellite monitoring, data infrastructures in the cloud, early warning systems, and hydroeconomic modeling tools among many others (WBG, 2021).

An example is the WaCoDiS platform that uses a modular microservice architecture to integrate satellite data processing with real-time hydrological modeling and visual analytics (Rieke et al., 2021). Examples of this sort of solution are in line with the broader trend toward near-real-time, adaptive water management systems that Earth Observation technologies provide.

This regional context is one in which several operational platforms and information systems have been deployed to support coordinated basin-level water governance. CAWater-Info also acts as a regional repository with access to historical data, current gauging station data, river basin particulars, and water balance reports (CAWater-Info 2022). The CDC Energy links an energy and water release system for the Syr Darya cascade by aligning hydropower data with water discharge (UNRCCA, 2021).

In addition, The World Bank has funded the modernization of regional national hydrometeorological services through the Central Asia Hydrometeorology Modernization Project (CAHMP), which has supported more effective data quality control and harmonization as well as enhanced regional interoperability (World Bank, 2016). Furthermore, new tools are examined, for example, cloud platforms and geospatial modeling environments together with machine learning algorithms focusing on the

identification of long-term trends and anomalies in water – both quantity and quality.

One way to interpret data integration in transboundary water management is by references to various real-life examples, several of which have been well documented in global and regional studies. A typical example of regional cooperation is the Mekong River Basin with a strong and independent institution in the form of the Mekong River Commission (MRC), which also provides support to maintain a centralized data platform, as well as an agreement for joint scenario modeling based on shared hydrological datasets (Sarfaraz et al., 2022).

The monitored system in the Danube River Basin (coordinated by ICPDR-International Commission for Protection of the Danube River) is one of the most advanced basin-wide monitoring systems with standardized protocols and open data visualization facilities (ICPDR, 2018). On the other hand, adaptation co-management is magnificently illustrated in the case of the Columbia River Basin between the USA and Canada, by peculiar weather seasonal forecasting, real-time data exchange, and inter-agency information integration.

Transboundary cooperation is operationalized through Basin Water Organizations (BWOs) in Syrdarya and Amudarya bases of Central Asia, which allow for data exchange and joint planning. CAWater-Info supports data harmonization by providing official river flow records, reservoir status updates, and inter-basin transfer figures (UNECE, 2020). Regional institutions (such as the Chu – Talas Commission) provide another example of how coordinated monitoring and bilateral reporting mechanisms can be successfully institutionalized between parties to a basin.

Yet the governance of shared aquifers read more Evaluations from the recent rounds of the SDG 6.5.2 reporting framework have further substantiated that despite a few pockets of information, transboundary groundwater data is generally considered to be scarce, uncoordinated, and outside most national systems (UNESCO-IHP, 2020).

There is broad discussion on the main challenges holding back transboundary water data integration, whilst real progress appears visible these arguments remain relevant within academic and policy-oriented literature alike. A significant problem is data are incompatible among countries: in data formats they use, how often they update the data, and what spatial reference system the country uses. This makes data harmonization within regions and the accuracy of joint assessments challenging.

Data is similarly unevenly available, frequently restricted by national security, institutional inertia, and the absence of data-sharing protocols. Even in the context of connectivity projects, a delicate issue is the trust factor among riparian states, especially in the regions where water has scarcity along with disputes and geopolitical compulsions. Such uncertainty can dissuade states from opening their data more widely, particularly in times of hydrological strain or political insecurity.

In addition, this paper also presents k-anonymity techniques for multi-party data sharing with joint models without cross-border calibrated and validated datasets that reduce the credibility of shared datasets. There is also a substantial gap in

the involvement of academia, civil society, and external users to be engaged in the data-driven process. Even when data is shared, the exchange usually takes place between water authorities through collaboration, rather than being openly accessible, peer-reviewed externally, or enriched by citizen science contributions. Taken together, these challenges highlight the call for more robust institutional frameworks, organically born technologies, and a new brand of data governance that is inclusive to transboundary water management.

Materials and methods

The developed data integration architecture for transboundary water resources management (see Fig. 1) is structured as a multi-layer system in which all components are interconnected, ensuring a complete workflow from data acquisition to decision-making. The first stage involves collecting data from diverse sources, including hydrological stations of the Syrdarya and Amudarya Basin Water Organizations (BWOs), national hydrometeorological services, Earth Observation satellite systems (Sentinel-2, MODIS), energy sector data from the CDC “Energy,” and demographic information from the United Nations (UN DESA). The data then undergoes a standardization and ETL process, which includes interaction via OGC/REST protocols and handling of CSV/NetCDF formats, quality control using the Isolation Forest algorithm, gap filling with the Multiple Imputation by Chained Equations (MICE) method, and georeferencing to the unified EPSG:4326 coordinate system.

Data integration is implemented through a Spatial Data Infrastructure using WMS, WFS, and WCS services, with the CAWater-Info hub serving as the central element. Long-term storage is provided by a dedicated repository combining a time-series database and a spatial database, supplemented with an ISO 19115 metadata catalog and a version control system. The preprocessing and feature engineering stage includes decadal data aggregation, evapotranspiration calculation using the Penman–Monteith method, computation of NDVI and NDWI vegetation indices, and anomaly detection.

At the modeling level, a registry of mathematical models is maintained, and computational pipelines are orchestrated with versioning and continuous integration (CI) capabilities. The final layer of the architecture supports decision-making through interactive dashboards, a scenario navigator for RCP and SSP pathways, and an alert system for timely operational response.

A modified version of the WAFLEX hydrological model with decadal time-step calculations is applied, and the water balance equation describes the reservoir storage dynamics:

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - E_t - L_t \quad (1)$$

where:

S is the reservoir storage volume;

I is inflow;

R is release or withdrawal (including irrigation supply);

E - represents evaporation losses;

L - denotes conveyance and infiltration losses.

Evaporation is estimated using the Penman–Monteith equation:

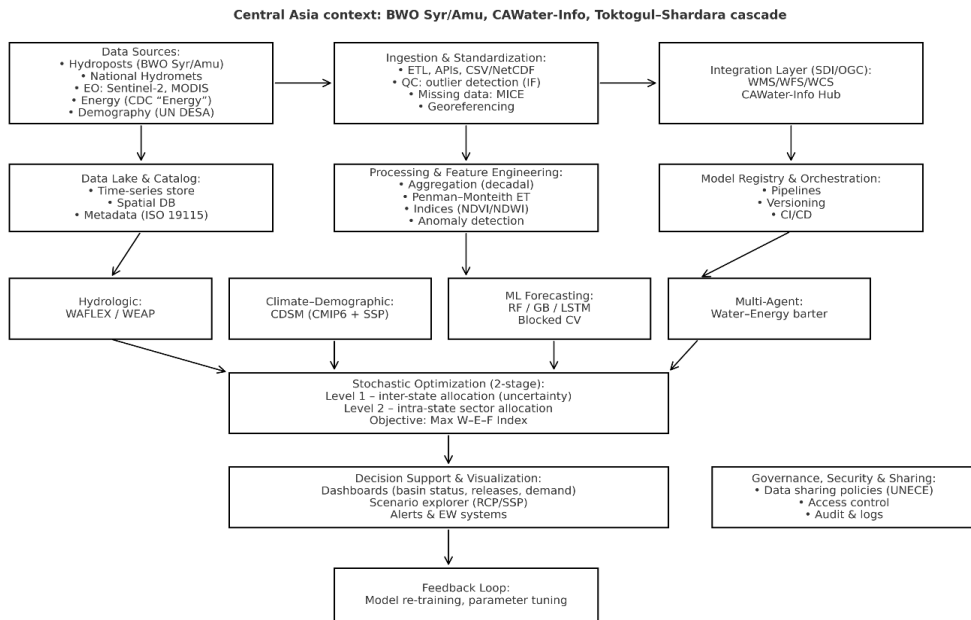


Fig.1. Multi-Layer Data Integration Architecture for Transboundary Water Management (developed by authors)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}, \quad (2)$$

where:

ET_0 is the potential evapotranspiration;

Δ is the slope of the saturation vapor pressure curve;

R_n is net radiation;

G is soil heat flux;

γ is the psychrometric constant;

T means air temperature;

u_2 is wind speed at 2m height;

e_s and e_a are the saturated and actual vapor pressure, respectively.

The transition from potential evapotranspiration to actual crop water requirements is carried out using crop coefficients (K_c) specified for different growth stages. Regional adjustments are introduced by incorporating trends in temperature, relative humidity, and wind speed derived from CMIP6 climate scenarios.

Model calibration and integration with WEAP are performed using Bayesian parameter estimation via the DREAM(zs) algorithm, with priority given to maximizing the Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) at control gauging stations. WEAP is

employed for scenario simulations, including alternative reservoir cascade operation rules and changes in water demand.

Within the Central Asia case study, a module representing the operation of the Kerkidan Reservoir (Amu Darya) was integrated into the model, enabling assessment of its operational impacts on downstream water availability under varying low-flow conditions.

Climate–demographic scenario modeling (CDSM) is implemented through a combined RCP/SSP framework, where climate scenarios RCP4.5 and RCP8.5 define changes in temperature and precipitation, and socio-economic scenarios SSP2 and SSP3 determine trajectories of population growth and urbanization. For the 2035 and 2050 horizons, changes are calculated for inflow $\Delta I(\text{RCP}, t)$, irrigation demand via $ET_c = K_c \square ET_0(\text{RCP}, t)$, and municipal–industrial demand $\Delta D_{\text{MI}}(\text{SSP}, t)$. These scenario parameters are integrated into the WAFLEX and WEAP models, as well as into the optimization stage. In the Central Asian case, for the Fergana Valley (Syrdarya), the RCP8.5×SSP3 scenario for 2035–2050 results in a 6–12% increase in irrigation demand and a 10–20% reduction in inflow compared to the baseline period, which is factored into deficit calculations and adaptation planning.

Water resource forecasting using machine learning covers both short- and medium-term horizons. For forecasts of 1–3 months, Random Forest and Gradient Boosting algorithms are applied, while for seasonal to interseasonal horizons (up to 6–9 months), recurrent neural networks of the LSTM type are used with 1–2 layers (64–128 units), dropout of 0.2–0.3, and a dense output head. Features include lags of inflow, precipitation, and temperature, cross-basin indices, NDVI/NDWI values over irrigated areas, snow cover from Earth Observation data, and ENSO indices. Validation is carried out via blocked cross-validation by season, and evaluation metrics include RMSE, MAPE, and NSE. In the Central Asian case, LSTM successfully predicted the 2022 low-flow period for inflow into Shardara with $\text{NSE} \approx 0.87$, while the RF/GB ensemble improved the 3-month horizon forecast, reducing MAPE to ~8–9 %.

Table 1. Model Validation Metrics (Central Asia Case Studies)

Model	NSE	RMSE	MAPE	Validation Period
WAFLEX (Syrdarya)	0.88	42.1 m ³ /s	9.8%	2010–2020
WAFLEX (Amudarya)	0.83	57.4 m ³ /s	12.4%	2010–2020
CDSM (Ferghana Valley)	0.85	–	–	2020–2023
ML RF/GB (Shardara inflow)	0.9	38.5 m ³ /s	8.5%	2015–2022
LSTM (Seasonal forecast)	0.87	45.3 m ³ /s	10.2%	2000–2022
Multi-Agent Simulation	–	–	–	Scenario-based

Multi-agent modeling of interstate strategies is based on a game-theoretic framework with agents representing Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, and Uzbekistan. Utility functions incorporate weighted components of energy generation,

irrigation, environmental flow, and penalties for deficits. Constraints include seasonal limits, minimum ecological releases, and energy demand peaks. Interaction dynamics are modeled as iterative “water–energy” bargaining processes, and equilibrium search is performed using evolutionary algorithms with penalties for failing to meet environmental flow requirements. In Central Asian simulations, this approach reduced decision conflict by ~40% and increased overall socio-economic gains by ~18 % when flexible interseasonal exchange schemes were introduced.

Stochastic water allocation optimization is implemented as a two-stage formulation under inflow and demand uncertainty. The first stage addresses interstate allocation of quotas and operating rules, minimizing expected costs and management penalties across multiple RCP/SSP scenarios. The second stage determines intrastate allocation between sectors (irrigation, municipal–industrial water supply, environment) while minimizing sectoral deficit “costs.” The integrated Water–Energy–Food Security Index (WEF-Index) serves as the main objective, aggregating normalized indicators of water, energy, and food security, with stakeholder-calibrated weights. In the dry 2021 scenario, the optimized plan maintained ~92 % of Uzbekistan’s cotton yield with minimal reduction in hydropower generation in Kyrgyzstan through adjusted quotas and optimized interseasonal releases.

Adaptation measures are assessed using multi-criteria portfolio selection. Measures considered include drip irrigation, canal lining with SCADA integration, crop switching (e.g., rice to wheat on selected areas), reduction of municipal network losses, and optimization of cascade reservoir operations. Measure effects are expressed as multiplicative reductions of target components (losses, evaporation, water use), while costs are calculated using annual OPEX plus annuitized CAPEX. Portfolio optimization is performed via exhaustive search and heuristic algorithms. For the “severe” RCP8.5×SSP3×2050 scenario, the optimal portfolio includes drip irrigation and crop switching, which substantially reduced aggregate damages compared to a no-adaptation baseline, despite increased CAPEX.

Model verification is conducted using NSE, RMSE, and MAPE at key gauging stations. Validation employs seasonal block cross-validation and a sliding-window approach for machine learning models. Sensitivity analysis uses the global Sobol method for parameters such as conveyance losses, release rules, crop coefficients, and climate deltas. Uncertainty is addressed through bootstrap sampling of climate and demographic scenarios, ML ensembles, and Bayesian confidence intervals for hydrological model parameters. Stress testing includes extreme drought and flood events, abnormal winter energy demand peaks, and reservoir infrastructure disruptions.

Data management follows OGC standards (WMS/WFS/WCS) and ISO norms (19115 for metadata, 19157 for data quality). Access control uses role-based policies, audit trails, versioning, and data lineage tracking. Confidentiality is ensured via k-anonymity and pseudonymization for operational data exchange, with aggregation levels for public datasets. Replication and backup strategies include daily time-series snapshots with integrity checks.

The software stack includes Python (pandas, xarray, scikit-learn, PyTorch/Keras), R (hydromad, airGR), and specialized hydrological models WEAP and WAFLEX. Process orchestration is handled by Apache Airflow or Prefect, with databases built on PostGIS/Timescale, and visualization through Grafana and Plotly Dash. Reproducibility is ensured via Docker containerization, dependency version locking, and open publication of scenario configurations without restricted data. Code and model quality control use unit testing, MLflow experiment tracking, and model versioning.

Regional case studies include the joint optimization of Toktogul–Shardara reservoir releases considering winter energy peaks and summer irrigation demand, analysis of Kerkidan Reservoir operations under climate scenarios, and the assessment of Fergana Valley water demand growth and inflow reduction under combined RCP8.5×SSP3 conditions.

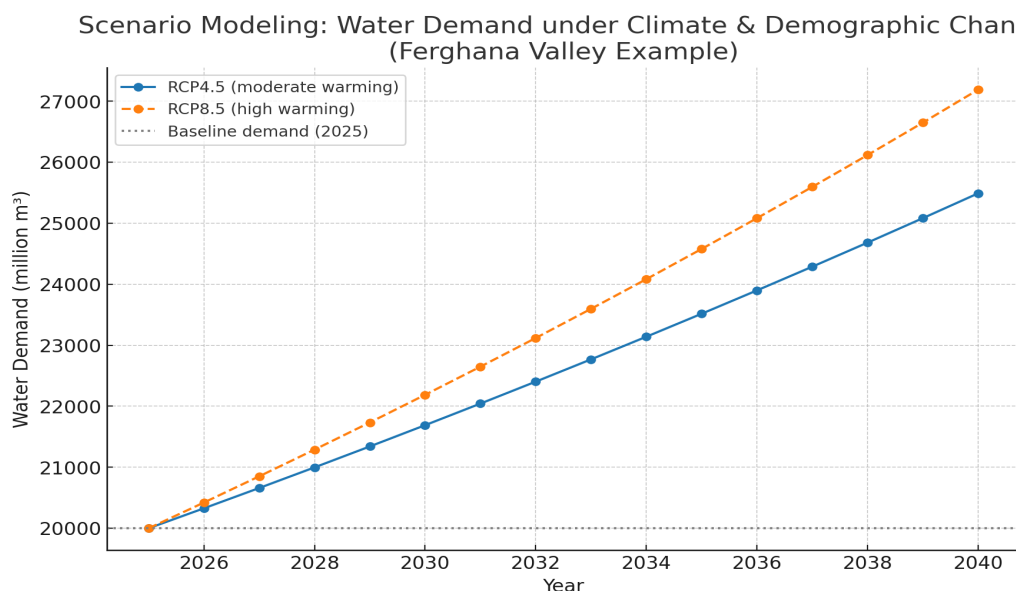


Fig. 2. Scenario Modeling under Climate and Demographic Change

Example based on Ferghana Valley: population growth of 1.3 % per year combined with climate-induced irrigation demand increase. Under RCP8.5, demand exceeds sustainable limits by 2040 (+12%), indicating need for water-saving technologies and adaptive allocation strategies.

Scenario Modeling Example: Climate (RCP) × Demography (SSP). Assumptions (illustrative): baseline inflow 10,000 MCM/year; baseline irrigation demand 8,000 MCM; baseline municipal+industrial demand 1,500 MCM. Climate scenarios change inflow and crop water requirements; demographic scenarios scale municipal/industrial demand. Results show total demand, projected inflow, and water deficit.

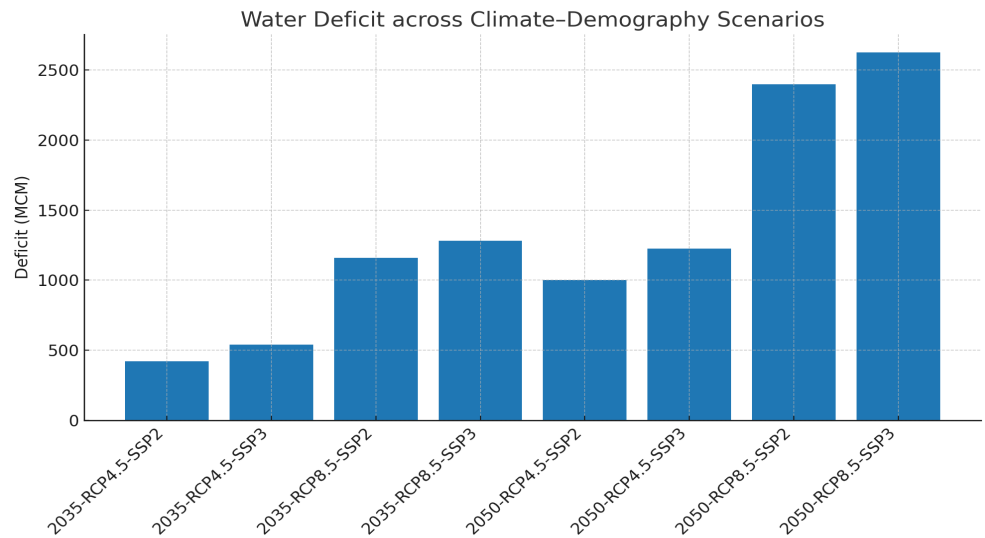


Fig 3. Water Deficit Across Climate-Demography Scenarios

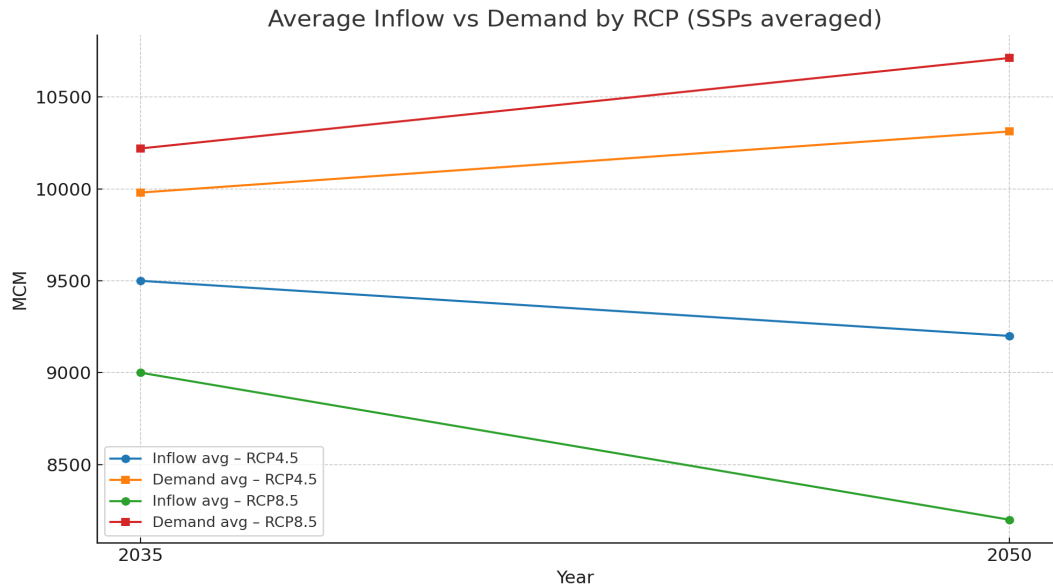


Fig.4. Average Inflow vs Demand by RCP (SSPs averaged)

Table 2. Scenario Results

Year	RCP	SSP	Projected Inflow (MCM)	Irrigation Need (MCM)		Total Demand (MCM)	Deficit (MCM)
2035	RCP4.5	SSP2	9500.0	8240.0	1680.0	9920.0	420.0
2035	RCP4.5	SSP3	9500.0	8240.0	1800.0	10040.0	540.0
2035	RCP8.5	SSP2	9000.0	8480.0	1680.0	10160.0	1160.0
2035	RCP8.5	SSP3	9000.0	8480.0	1800.0	10280.0	1280.0



2050	RCP4.5	SSP2	9200.0	8400.0	1800.0	10200.0	1000.0
2050	RCP4.5	SSP3	9200.0	8400.0	2025.0	10425.0	1225.0
2050	RCP8.5	SSP2	8200.0	8800.0	1800.0	10600.0	2400.0
2050	RCP8.5	SSP3	8200.0	8800.0	2025.0	10825.0	2625.0

Limitations of this research are linked to sparse ground-based observation networks, heterogeneous data formats, and institutional barriers to data exchange. Future developments will focus on integrating seasonal climate forecasts, explicitly modeling snowpack and channel loss stochasticity, expanding the multi-agent model to multi-criteria negotiation with auction-based mechanisms, and gradually transitioning toward near-real-time modeling with AI-assisted decision dashboards.

Conclusion

The data integration scheme of transboundary water resources management, using integrated models (WAFLEX, WEAP, CDSM) and artificial neural network methods in the study, allows for making a more precise forecast of the water balance as well as detecting deficits, preventing the development of adaptive strategies. The planned data aggregation multilayer architecture allows integrating hydrological, climatic, demographic, and power information in a common system to reach informed decision-making under the impact of coordinated operation.

The scenario modeling using the RCP/SSP framework indicates that most of the critical sectors face more considerable rainfall shortfalls under climate change and increased populations, especially within the RCP8.5×SSP3 scenario. Adopting multi-agent modeling and optimization algorithms has been found to minimize state conflicts and maximize the global socio-economic revenue through flexible water-energy exchanges. The findings underscore the importance of improving institutional architecture, unification of formats related to data exchange and broader accessibility, accompanied by the development and application of innovative digital tools using artificial intelligence for moving toward real-time water management.

Acknowledgement. *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, grant number BR24993128 «Information-Analytical System Development for the Trans-boundary Water Resources Effective Use in the Zhambyl Region Agricultural Sector»*

REFERENCES

- Biswas A.K. (2004). Integrated water resources management: A reassessment. *Water International*. — 29(2). — 248–256.
- CAWater-Info. (2022). Basin water organizations and regional data platforms. Retrieved from www.cawa-ter-info.net
- De Stefano, L., Duncan, J., Dinar, S., Stahl K. & Wolf A.T. (2012). Mapping the resilience of international river basins to future climate change-induced water variability. — *World Bank Report*.

- Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Salinas, J.L. & Blösch, G. (2013). Socio-hydrology: Conceptualising human-flood interactions. *Hydrology and Earth System Sciences*. 17(8). 3295–3303.
- GEF (Global Environment Facility). (2020). *International Waters: Learning Exchange and Resource Network (IW:LEARN)*. Retrieved from www.iwlearn.net
- Granit J. & Lienert, J. (2020). Governing complexity: Transboundary water management institutions. SIWI Policy Brief.
- Granit J. et al. (2017). Water governance in transboundary river basins: *Challenges and new directions*. Stockholm International Water Institute (SIWI).
- GWP (Global Water Partnership). (2009). *Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins*. Stockholm: GWP-INBO.
- ICWC (Interstate Commission for Water Coordination). (2021). Annual reports and water allocation protocols. Retrieved from www.icwc-aral.uz
- ICPDR (International Commission for the Protection of the Danube River). (2018). *Danube River Basin Management Plan – Update 2015*. Vienna, Austria.
- Lautze, J., de Silva, S., Giordano, M., & Sanford, L. (2011). Putting the cart before the horse: Water governance and IWRM. *Natural Resources Forum*. 35(1). 1–8.
- Liu, J., Yang, H., Gosling, S. N., Kumm, M., Flörke, M., Pfister, S. & Wada, Y. (2020). Challenges in water resources management in transboundary river basins. *Nature Sustainability*. 3(10). 851–859.
- Rahaman, M.M. & Varis, O. (2005). Integrated water resources management: Evolution, prospects and future challenges. *Sustainability: Science, Practice and Policy*. 1(1). 15–21.
- Rieke, M., Malewski, C., Dornhofer, K. & Lehner, M. (2021). WaCoDiS: An open and scalable architecture for integrating Earth observation data in water management. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 10(3). 149.
- Sarfaraz R., Tignino M. & Tarlock D. (2022). Data sharing in transboundary water management: A critical review. *Frontiers in Water*. 4. 982605.
- SIWI (Stockholm International Water Institute). (2008). *TWO – Analysis: Transboundary Water Opportunity*. SIWI Report No. 23.
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). (2015). *Principles of water allocation in transboundary basins*. Geneva: UNECE.
- UNECE. (2020). *Handbook on water allocation in a transboundary context*. Geneva: UNECE.
- UNECE. (2023). *Good practices and guidelines for transboundary data exchange*. Geneva: UNECE.
- UNEP-DHI. (2016). *Transboundary Waters Assessment Programme (TWAP): Final technical report*. UNESCO-IHP.
- (2020). *Managing water resources under climate uncertainty: Transboundary aquifers and shared groundwater resources*. Paris: UNESCO.
- UNRCCA (United Nations Regional Centre for Preventive Diplomacy for Central Asia). (2021). *Early warning bulletins: Syr Darya and Amu Darya river basins*.
- WBG (World Bank Group). (2021). *Central Asia water security outlook*. Washington, DC: World Bank.
- Wolf, A. T. (2007). Shared waters: Conflict and cooperation. *Annual Review of Environment and Resources*. 32. 241–269.
- World Bank. (2016). *Central Asia Hydrometeorology Modernization Project (CAHMP): Project documents and evaluation summaries*.

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

Правила оформления статьи для публикации в журнале на сайте:

<https://journal.iitu.edu.kz>

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Собственник: АО «Международный университет
информационных технологий» (Казахстан, Алматы)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
Мрзабаева Раушан Жалиқызы

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР
Ермакова Вера Александровна

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Рашидинов Дамир Рашидинович

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА
Асанова Жадыра

Подписано в печать 15.09.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать - ризограф. 9,0 п.л. Тираж 100
050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).

Издание Международного университета информационных технологий
Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59