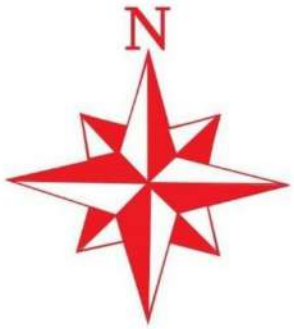
ISSN (печать) 2079-6161
ISSN (онлайн) 2789-6323

КАЗГИДРОМЕТ





30 ЛЕТ
Гидрометеорология
и экология

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Ежеквартальный
научно-технический журнал

АСТАНА

ISSN 2079-6161
eISSN 2789-6323

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ

«Қазгидромет» РМК

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

РГП «Казгидромет»

HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY

RSE «Kazhydromet»

2025

№3 (118) шығарылым

Выпуск №3 (118)

Issue №3 (118)

1995 жылдан бастап шығады
Издается с 1995 года
Founded in 1995

Жылына 4 рет шығады
Выходит 4 раза в год
Published 4 times a year

Астана –Астана –Astana

БАС РЕДАКТОР

Алимбаева Д.К., Бас директор

БАС РЕДАКТОР ОРЫНБАСАРЫ

Саиров С.Б., г.ғ.к., Бас директордың бірінші орынбасары

РЕДАКЦИЯ

Базарбай Л.Б., жетекші ғылыми қызметкер

Елтай А.Ғ., Ph.D, басқарма бастығы

Жаксыбаева А.Е., жетекші ғылыми қызметкер

Кужагельдина Н.У., басқарма бастығы

Кукенова Б.Т., жетекші инженер

Нұрхан М.Қ., жетекші ғылыми қызметкер

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ

Абдрахимов Р.Г. (Алматы, Қазақстан)

Волчек А.А. (Брест, Беларусь)

Гафуров А. (Потсдам, Германия)

Муртазин Е.Ж. (Алматы, Қазақстан)

Мустафаев Ж.С. (Алматы, Қазақстан)

Опп К. (Марбург, Германия)

Островская Е.В. (Астрахань, Ресей)

Полякова С.Е. (Алматы, Қазақстан)

Сальников В.Г. (Алматы, Қазақстан)

Степанов Б.С. (Алматы, Қазақстан)

Терехов А.Г. (Алматы, Қазақстан)

Тілләкәрім Т.А. (Астана, Қазақстан)

Чередниченко А.В. (Алматы, Қазақстан)

Яфязова Р.К. (Алматы, Қазақстан)

Редакция мекенжайы: Қазақстан, Астана қ., Мәңгілік Ел даңғылы, 11/1

E-mail: hydromet.journal@gmail.com

Сайт: https://journal.kazhydromet.kz

Меншік иесі: «Қазгидромет» РМК

Қазақстан Республикасы ақпарат және қоғамдық даму министрлігімен тіркелген 15.05.2023 ж. **№ KZ13VPY00070023 қайта есепке қою туралы куәлігі.**

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Алимбаева Д.К., Генеральный директор

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Саиров С.Б., к.г.н., Первый заместитель генерального директора

РЕДАКЦИЯ

Базарбай Л.Б., ведущий научный сотрудник

Елтай А.Ғ., Ph.D, начальник управления

Жаксыбаева А.Е., ведущий научный сотрудник

Кужагельдина Н.У., начальник управления

Кукенова Б.Т., ведущий инженер

Нұрхан М.Қ., ведущий научный сотрудник

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абдрахимов Р.Г. (Алматы, Казахстан)

Волчек А.А. (Брест, Беларусь)

Гафуров А. (Потсдам, Германия)

Муртазин Е.Ж. (Алматы, Казахстан)

Мустафаев Ж.С. (Алматы, Казахстан)

Опп К. (Марбург, ФРГ)

Островская Е.В. (Астрахань, Россия)

Полякова С.Е. (Алматы, Казахстан)

Сальников В.Г. (Алматы, Казахстан)

Степанов Б.С. (Алматы, Казахстан)

Терехов А.Г. (Алматы, Казахстан)

Тілләкәрім Т.А. (Астана, Казахстан)

Чередниченко А.В. (Алматы, Казахстан)

Яфязова Р.К. (Алматы, Казахстан)

Адрес редакции: Казахстан, г.Астана., проспект Мәңгілік Ел, 11/1

E-mail: hydromet.journal@gmail.com

Сайт: https://journal.kazhydromet.kz

Собственник: РГП «Казгидромет»

ЗарегистрированоМинистерством информации и общественного развития Республики Казахстан. Свидетельство о постановке на переучет **№ KZ13VPY00070023** от 15.05.2023 г.

CHIEF EDITOR

Alimbayeva D., General Director

DEPUTY CHIEF EDITOR

Sairov S., Candidate of Geological Sciences, First Deputy Director General

RESPONSIBLE SECRETARY

Yeltay A., Ph.D, head of unit

e-mail: hydromet.journal@gmail.com

EDITORIAL STAFF

Bazarbay L., Leading Researcher

Yeltay A., Ph.D, head of unit

Zhaksybayeva A., Leading Researcher

Kuzhageldina N., head of unit

Kukenova B., Leading Engineer

Nurkhan M., Leading Researcher

EDITORIAL BOARD

Abdrakhimov R. (Almaty, Kazakhstan)

Volchek A. (Брест, Беларусь)

Gafurov A. (Potsdam, Germany)

Murtazin E. (Almaty, Kazakhstan)

Mustafayev Zh. (Almaty, Kazakhstan)

Opp C. (Marburg, Germany)

Ostrovskaya E. (Astrakhan, Russia)

Polyakova S. (Almaty, Kazakhstan)

Salnikov V. (Almaty, Kazakhstan)

Stepanov B. (Almaty, Kazakhstan)

Terekhov A. (Almaty, Kazakhstan)

Tillakarin T. (Astana, Kazakhstan)

Cherednichenko A. (Almaty, Kazakhstan)

Yafyazova R. (Almaty, Kazakhstan)

Editorial address: 11/1, Mangilik El Avenue, Astana, Kazakhstan

E-mail: hydromet.journal@gmail.com

Website: https://journal.kazhydromet.kz

Proprietary: «Kazhydromet» RSE

Registered by the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan. Rediscount certificate **№ KZ13VPY00070023** dated 15.05.2023.

МАЗМҰНЫ

ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

Алия А. Нурбацина, Жанат Т. Салаватова, Жанибек Ж. Смагулов, Кайрат М. Кулебаев, Ахан Б. Мырзахметов
БҰҚТЫРМА, ЕСІЛ ЖӘНЕ ЖАЙЫҚ ӨЗЕНДЕРІ БАССЕЙНДЕРІНІҢ СИПАТТАМАЛЫҚ УЧАСКЕЛЕРІН ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ТАБИҒИ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ 8

Джамал С. Гусейнов, Наила Н. Исмайлова
ҮЛКЕН ҚАВҚАЗДЫҢ СОЛТҮСТІК-ШЫҒЫС ЖОТАСЫНДАҒЫ АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫ РЕЖИМІНІҢ ҚАЗІРГІ СИПАТТАМАЛАРЫ 22

Андрей А. Бондарович, Даурен М. Нурекенов, Мархаба А. Карменова, Нұрасыл Жомарткан, Юрий С. Каменев
ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚҰРҒАҚ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ АГРОЦЕНОЗДАРДЫҢ СУ РЕЖИМІН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН ӨҢІРЛІК АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖЕЛІСІ 34

Жанат А. Байгазинов, Саян Е. Сальменбаев, Нурлан Ж. Мухамедияров, Касым Ш. Жумадилов, Медет Р. Актаев, Лаура Б. Кенжина, Елена Н. Поливкина, Ажар Ж. Ташекова, Алмагуль А. Мухамедиярова, Валерий Н. Монаенко, Назира Н. Берікбол
ҚАЗАҚСТАННЫҢ ИНДУСТРИЯЛЫҚ ҚАЛАЛАРЫНДА ЗАМАНАУИ АТМОСФЕРАЛЫҚ ТАЛДАУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРДІҢ АУА САПАСЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ 48

Эльмира Т. Ермолдина, Ерлан А. Бекешев, Бибигуль М. Миркаримова, Бахытжан Ш. Бариева, Елена Ю. Степанова, Аскар М. Муканов, Жансая К. Рымжанова
ТОПЫРАҚТАН АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАҒА КӨШУ КЕЗІНДЕ АЛИФАТТЫ КӨМІРСУТЕКТЕР КОНЦЕНТРАЦИЯСЫНЫҢ ШЕКТІ МӘНДЕРІН АНЫҚТАУ 66

Ерлан О. Досжанов, Мудасир Захид, Нурахмад Ахмади, Рахмуддин Ихсас, Айтуган Н. Сабитов, Алмагуль Р. Керимкулова, Оспан М. Досжанов, Арман Н. Жумажанов, Нурбике Т. Байзакова, Дана Н. Ахметжанова, Карина А. Саурыкова, Акбопе Е. Айдарбек
АУЫЗ СУДЫ ТАЗАРТУ ҮШІН ТҰЗ ҚЫШҚЫЛЫМЕН ӨҢДЕЛГЕН ЦЕОЛИТТІҢ ИОН АЛМАСУ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ 78

Наталья В. Серая, Гульжан К. Даумова, Ольга А. Петрова
ТИХАЯ ӨЗЕНІ ЖЕР ҮСТІ СУЛАРЫНЫҢ ҚЫШҚЫЛ-НЕГІЗДІК КҮЙІНІҢ ДИНАМИКАСЫ 88

Раушан А. Джайсамбекова, Александр В. Басманов, Балжан Ш. Аманбаева, Людмила В. Шагарова, Екатерина Г. Шайдуллина
ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДА ТІК ДРЕНАЖДЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ СУАРМАЛЫ ЖЕРЛЕРДІ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТІЛУІН ҰЛҒАЙТУ 103

Вячеслав А.Жарков, Ермекгуль Д. Жапаркулова, Айнур Б. Бейсенкулова, Нурлан Н. Балгабаев, Павел А. Калашников
ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚҰРҒАҚ АЙМАҒЫНДА ТАМШЫЛАТЫП СУАРУ КЕЗІНДЕ ПИЯЗ ӨСІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ 115

Гаухар Мусайф, Жанат З. Толеубекова,Асет А. Ахмадия, Хуралай Молдамурат
ЦЕЛИНОГРАД АУДАНЫНЫҢ АГРОҚАЛАЛЫҚ АУМАҒЫНДА ЖЕР ПАЙДАЛАНУ ӨЗГЕРІСТЕРІН ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ЖӘНЕ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕР НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ 127

Назым Шогеловв , Сергей А. Сартин
2023 ЖЫЛҒЫ АПАТТЫ ӨРТТЕН КЕЙІН «СЕМЕЙ-ОРМАНЫ» РЕЗЕРВАТЫ ЭКОЖҮЙЕСІНЕ КЕЛТІРІЛГЕН ЗИЯНДЫ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУДІ ДИСТАНЦИЯЛЫҚ ЗОНДТАУ ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ 141

ШОЛУ

Айсұлу А. Турсунова, Гаухар Р.Баспакова, Қайрат М.Кулебаев, Гүлсайра Исақан, Ляззат М.Биримбаева
ӘМУДАРИЯ ӨЗЕНІ АЛАБЫНЫҢ ЖЕР БЕТІ СУ РЕСУРСТАРЫ 152

ХРОНИКА

РОМАНОВА СОФИЯ МАКСИМОВНА (75 жылдық мерейтой) 166

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Алия А. Нурбацина, Жанат Т. Салаватова , Жанибек Ж. Смагулов, Кайрат М. Кулебаев, Ахан Б. Мырзахметов
СОВРЕМЕННЫЕ НАТУРНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ УЧАСТКОВ БАССЕЙНОВ РЕК БУКТЫРМА, ЕСИЛЬ И ЖАЙЫК 8

Джамал С. Гусейнов, Наила Н. Исмайлова
СОВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОЗДУХА НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ БОЛЬШОГО КАВКАЗА 22

Андрей А. Бондарович, Даурен М. Нурекенов, Мархаба А. Карменова, Нурасыл Жомарткан, Юрий С. Каменев
РЕГИОНАЛЬНАЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ МОНИТОРИНГОВАЯ СЕТЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА АГРОЦЕНОЗОВ ЗАСУШЛИВЫХ ОБЛАСТЕЙ КАЗАХСТАНА 34

Жанат А. Байгазинов, Саян Е. Сальменбаев, Нурлан Ж. Мухамедияров, Касым Ш. Жумадилов, Медет Р. Актаев, Лаура Б. Кенжина, Елена Н. Поливкина, Ажар Ж. Ташекова, Алмагуль А. Мухамедиярова, Валерий Н. Монаенко, Назира Н. Берікбол
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО ВОЗДУХА В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ГОРОДАХ КАЗАХСТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АТМОСФЕРНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ 48

Эльмира Т. Ермолдина, Ерлан А. Бекешев, Бибигуль М. Миркаримова, Бахытжан Ш. Бариева, Елена Ю. Степанова, Аскар М. Муканов, Жансая К. Рымжанова
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЛИФАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ ИХ МИГРАЦИИ ИЗ ПОЧВЫ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ 66

Ерлан О. Досжанов, Мудасир Захид, Нурахмад Ахмади, Рахмуддин Ихсас, Айтуган Н. Сабитов, Алмагуль Р. Керимкулова, Оспан М. Досжанов, Арман Н. Жумажанов, Нурбике Т. Байзакова, Дана Н. Ахметжанова, Карина А. Саурыкова, Акбопе Е. Айдарбек
ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СВОЙСТВ ЦЕОЛИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО СОЛЯНОЙ КИСЛОТОЙ, ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ 78

Наталья В. Серая, Гульжан К. Даумова, Ольга А. Петрова
ДИНАМИКА КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЕКИ ТИХАЯ 88

Раушан А. Джайсамбекова, Александр В. Басманов, Балжан Ш. Аманбаева, Людмила В. Шагарова, Екатерина Г. Шайдуллина
ПОВЫШЕНИЕ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ 103

Вячеслав А.Жарков, Ермекгуль Д. Жапаркулова, Айнур Б. Бейсенкулова, Нурлан Н. Балгабаев, Павел А. Калашников
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛУКА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ В АРИДНОЙ ЗОНЕ ЮГА КАЗАХСТАНА 115

Гаухар Мусайф, Жанат З. Толеубекова, Асет А. Ахмадия, Хуралай Молдамурат
АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА АГРОУРБАННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЦЕЛИНОГРАДСКОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГЕОДЕЗИИ 127

Назым Шогеловв , Сергей А. Сартин
ОЦЕНКА УЩЕРБА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ РЕЗЕРВАТА «СЕМЕЙ-ОРМАНЫ» ПОСЛЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПОЖАРА 2023 ГОДА НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ 141

ОБЗОР

Айсұлу А. Турсунова, Гаухар Р.Баспакова, Қайрат М.Кулебаев, Гүлсайра Исақан, Ляззат М.Биримбаева
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БАССЕЙНА РЕКИ АМУДАРИЯ 152

ХРОНИКА

РОМАНОВА СОФИЯ МАКСИМОВНА (к 75-летию со дня рождения) 166

CONTENT

SCIENTIFIC ARTICLE

Aliya Nurbatsina, Zhanat Salavatova, Zhanibek Smagulov, Kairat Kulebayev, Akhan Myrzakhmetov
HYDROLOGICAL SURVEYS OF TYPICAL BASIN AREAS OF BUKTYRMA, ESIL, ZHAYIK RIVERS 8

Jamal Huseynov, Naila Ismayilova
MODERN CHARACTERISTICS OF AIR TEMPERATURE REGIME ON THE NORTHEASTERN SLOPE OF THE GREATER CAUCASUS 22

Andrey Bondarovich, Dauren Nurekenov, Markhaba Karmenova, Nurassyl Zhomartkan, Uriy Kamenov
REGIONAL AGROMETEOROLOGICAL MONITORING NETWORK FOR FORECASTING THE WATER REGIME OF AGROCENOSES IN THE ARID REGIONS OF KAZAKHSTAN 34

Zhanat Baigazinov, Sayan Salmenbayev, Nurlan Mukhamediyarov, Kassym Zhumadilov, Medet Aktaev, Laura Kenzhina, Elena Polivkina, Azhar Tashekova, Almagul Mukhamediarova, Valery Monaenko, Nazira Berikbol
ASSESSMENT OF THE IMPACT OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON AIR QUALITY IN INDUSTRIAL CITIES OF KAZAKHSTAN USING MODERN ATMOSPHERIC ANALYSIS AND MODELING SYSTEMS 48

Elmira Ermoldina, Yerlan Bekeshev, Bibigul Mirkarimova, Bakhytzhan Bariev, Yelena Stepanova, Mukanov Askar, Rymzhanova Zhansaya
DETERMINATION OF THRESHOLD VALUES OF ALIPHATIC HYDROCARBON CONCENTRATIONS DURING THEIR MIGRATION FROM SOIL TO ATMOSPHERIC AIR 66

Yerlan Doszhanov, Mudasir Zahid, Noorahmad Ahmadi, Rahmuddin Ihsas, Aitugan Sabitov, Almagul Kerimkulova, Ospan Doszhanov, Arman Zhumazhanov, Nurbike Baizakova, Dana Akhmetzhanova, Karina Saurykova, Akbope Aidarbek
RESEARCH ON THE ION EXCHANGE PROPERTIES IN HYDROCHLORIC ACID-MODIFIED ZEOLITE FOR WATER TREATMENT 78

Natalya Seraya, Gulzhan Daumova, Olga Petrova
DYNAMICS OF ACID-BASE STATE OF SURFACE WATERS OF THE TIKHAYA RIVER 88

Raushan Dzhaisambekova, Alexander Basmanov, Balzhan Amanbayeva, Lyudmila Shagarova, Shaydullina Yekaterina
INCREASING WATER SUPPLY OF IRRIGATED LANDS WITH THE USE OF VERTICAL DRAINAGE IN SOUTHERN KAZAKHSTAN 103

Vyacheslav A. Zharkov, Ermekgul D. Zhaparkulova, Ainur B. Beisenkulova, Nurlan N. Balgabaev, Pavel A. Kalashnikov
FEATURES OF ONION CULTIVATION TECHNOLOGY WITH DRIP IRRIGATION IN THE ARID ZONE OF SOUTHERN KAZAKHSTAN 115

Gaukhar Mussaif, Zhanat Toleubekova, Asset Akhmadiya, Khuralai Moldamurat
ANALYSIS OF LAND USE CHANGES IN THE AGRO-URBAN TERRITORY OF TSELINOGRAD DISTRICT BASED ON REMOTE SENSING AND GEODETIC DATA 127

Nazym Shogelova, Sergey Sartin
ASSESSMENT OF ECOSYSTEM DAMAGE AND RECOVERY IN THE «SEMEY-ORMANY» RESERVE AFTER THE CATASTROPHIC 2023 WILDFIRE BASED ON REMOTE SENSING DATA 141

REVIEW

Aisulu Tursunova, Gaukhar Baspakova, Kairat Kulebayev, Gulsaira Isakan, Lyazzat Birimbayeva
SURFACE WATER RESOURCES OF THE AMUDARIYA RIVER BASIN 152

CHRONICLE

ROMANOVA SOFIA (on 75th anniversary of her birth) 166

Гидрометеорология и экология

Научная статья

СОВРЕМЕННЫЕ НАТУРНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ УЧАСТКОВ БАССЕЙНОВ РЕК БУКТЫРМА, ЕСИЛЬ И ЖАЙЫК

Алия А. Нурбацина[1], Жанат Т. Салаватова[1,2]*, Жанибек Ж. Смагулов[1], Кайрат М. Кулебаев[1], Ахан Б. Мырзахметов[1]

[1] Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан; aliya.nurbatsina@gmail.com (ААН), salavatova.07@gmail.com (ЖТС), zh.zh.smagulov@mail.ru (ЖЖС), kairat.kulebayev@mail.ru (КМК), ahan_myrzahmetov@mail.ru (АБМ)
[2] Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, факультет географии и природопользования, Алматы, Казахстан; salavatova.07@gmail.com (ЖТС)
Автор корреспондент: Жанат Т. Салаватова, salavatova.07@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

полевые исследования, гидрометрические и рекогносцировочные работы, аэрофотосъёмка, профиль реки, расход воды, зоны подтоплений

АБСТРАКТ

В данной работе представлены результаты полевых исследований, проведенных в бассейнах рек Буктырма, Есиль и Жайык в рамках проекта по оценке современных и прогнозных гидрологических изменений бассейнов рек Казахстана на основе моделирования (на примере рек Буктырма, Есиль, Жайык). Одним из основных результатов проводимого научного исследования являлась разработка алгоритма и получение поперечных профилей, ортофотопланов в исследуемых бассейнах, которые будут использоваться для разработки и построения карт площадей затопления пойм рек по отдельным характерным участкам, при помощи гидравлического моделирования. В процессе создания карт будут использоваться цифровые модели рельефа, которые были получены путем аэрофотосъемки местности беспилотным летательным аппаратом. Для определения зоны наводнений были нанесены поперечные профили по длине рек и получены характеристики гидрологических процессов в местах их проявлений. Результаты работы вносят значительный вклад в понимание динамики режима исследуемых рек Казахстана и обеспечивают необходимыми инструментами для управления водными ресурсами и минимизации последствий гидрологических явлений.

По статье:
Получено: 26.05.2025
Пересмотрено:06.08.2025
Принято: 18.09.2025
Опубликовано: 01.10.2025

Для цитирования:
Нурбацина А., Салаватова Ж., Смагулов Ж., Кулебаев К., Мырзахметов А. Современные натурные гидрологические исследования характерных участков бассейнов рек Буктырма, Есиль и Жайык // Гидрометеорология и экология, 118 (3), 2025, 8-21.

1. ВВЕДЕНИЕ

В рамках реализации проекта «Оценка современных и прогнозных гидрологических изменений бассейнов рек Казахстана на основе моделирования (на примере рек Буктырма, Есиль, Жайык)» в летне-осенний периоды 2023 и 2024 годов были проведены полевые работы по обследованию отдельных типичных речных русел запада, востока и севера Казахстана, включающие интрументальные измерения, использованные для сопоставления и верификации расчётных значений расходов и уровней воды, полученных в результате моделирования

Целью полевых исследований являлось проведение комплекса работ, включавших рекогносцировочные, гидрометрические и топогеодезические мероприятия. В рамках полевых изысканий осуществлялось определение уровней высоких вод, измерение расходов, построение поперечных профилей русел, а также аэрофотосъёмка территорий в пределах речных бассейнов. Полученные данные использовались для верификации результатов численного моделирования и последующей разработки карт зон подтопления.

В результате проведения полевых топографо-геодезических исследований была собрана пространственная информация о рельефе, гидрографической сети и морфологических особенностях исследуемой территории. Полученные данные легли в основу построения топографических планов и продольных/поперечных профилей водных объектов, включая русла рек, пойменные участки и прилегающие береговые зоны, с учетом

их характеристик [1]. Такие работы позволили получить детальные съемки местности, которые в дальнейшем будут используемы при разработке карт подтоплений.

Бассейны рек Буктырма, Есиль и Жайык были выбраны как регионы, характеризующие различные географические особенности формирования речного стока, а также находящиеся под активным антропогенным влиянием. Эти регионы являются вододефицитными, располагаемые водные ресурсы ограничены для использования в отраслях экономики, т.е. существует большая вероятность возникновения конфликтов на почве водообеспечения. Региональное повышение температуры воздуха и изменение количества осадков по отдельным сезонам года приводят к изменениям водного режима рек. В условиях быстро меняющегося климата процессы затопления в виде половодий и паводков наносят значительный экономический ущерб, а также в свете неопределенностей водохозяйственного развития на территориях соседних стран, для Казахстана очевидно возникновение новых водных угроз, в том числе водного дефицита для отдельных регионов [2...5].

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования.

Река Буктырма. является наиболее многоводным правобережным притоком р. Ертис. Сток реки и её основных притоков формируется на территории Казахстанского Алтая [6], находящейся на территории Восточно-Казахстанской области. Длина Буктырмы составляет 336 километра, площадь водосбора – 12 660 км^2. Начало река берет из озера Буктарминского (Шангин), на высоте 2600 метров с хребта Южного Алтая, впадает в Буктарминское водохранилище. Основными притоками являются: Белая Берель, Сарымсакты, Тургусун и др. Средний годовой расход воды 214 м^3/с. Бассейн реки Буктырма селеопасен. В бассейне р. Буктырма формируется до 25 % (8,31 км^3) местных водных ресурсов [6]. Ежегодно в период половодья и паводков в бассейне реки Буктырма подвергаются подтоплению и эрозионному воздействию (размывы берегов рек) территории населенных пунктов, участки дорог, мостовые переходы, линии связи и гидротехнические сооружения [7...8]. Река Буктырма селеопасная, часто происходит превышение опасных отметок крупными реками Восточного Казахстана, в том числе и в бассейне реки Буктырма [9]. Половодье на реках определяет особенности питания и водного режима горных рек. Эти особенности зависят от высотных условий водосбора, ориентации хребтов и других факторов. В частности, они выражаются в наличии или отсутствии ледникового питания, различиях в изменчивости годового стока, в его внутригодовом распределении и степени зарегулированности [10] В нижнем течении реки имеются объекты энергетической промышленности, река и ее притоки используются для орошения и водоснабжения населенных пунктов. Высшая точка бассейна находится на высоте 4506 м над уровнем моря, устье реки Буктырма лежит на 4 км ниже [11]

Река Есиль – основная водная артерия Северо-Казахстанской и Акмолинской областей, площадь Есильского речного бассейна 177 тыс. км^2, на территории нашей республики – 113 тыс. км^2. Исток находится в горах Нияз, в верхнем течении река протекает по узкой долине в северо-западном и западном направлении, ниже г. Астана происходит расширение долины на юго-запад, далее на север (перед г. Державинск) и северо-восток (г. Петропавловск). Питание реки Есиль снеговое. Рассматриваемый в проекте бассейн реки Жабай является правым притоком р. Есиль. Сток реки имеет сильно выраженную сезонную и многолетнюю неравномерность. Многолетняя изменчивость водных расходов может достигать десятков и даже сотен раз, что существенно затрудняет эффективное хозяйственное использование речных ресурсов.. В 2014 году произошло одно из самых больших наводнений в истории Атбасара, из-за резкого потепления и хлынувших степных талых вод. В апреле 2017 года в Атбасаре из-за высокого уровня воды (6.1 метра при критическом в 3.45 м), дождя и ветра, создающего волну, город также подвергся подтоплению [12...14]

Река Жайык является трансграничной, охватывает территории России и Казахстана. Река стекает с хребта Уралтау Южно-Уральской горной системы и несет свои воды с севера на юг, впадает в Каспийское море у г. Атырау. Общая длина р. Жайык составляет 2534 км, в пределах Казахстана – 1084 км. Общая площадь бассейна – 872 тыс. км^2, в пределах

Казахстана – 641 тыс. км^2. На территории Казахстана расположено нижнее течение р. Жайык и водосборные площади ее левобережных притоков: Ор, Елек (с крупным притоком Кобда), Шынгырлау. В целом бассейн р. Жайык асимметричен: левобережная (условно южная) его часть по площади в 2 раза превышает правобережную (условно северную), однако правые притоки водоноснее [15].

Методы.

Для эффективного решения поставленных задач и достижения целей исследования использовался интегрированный подход, основанный на сочетании различных научных методов, направленных на комплексное изучение сложных природных процессов. Этот подход включает несколько этапов [16].

Исследование включало последовательную реализацию этапов, охватывающих как подготовительную, так и практическую и аналитическую деятельность. На предварительном этапе исследования осуществлялся сбор и анализ информации, полученной из картографических материалов, литературных источников, а также данных дистанционного зондирования Земли.

Собранная инфорамация позволило сформировать обобщённое представление о гидрографических и морфологических особенностях исследуемой территории. Особое внимание при под-готовке к полевым работам уделялось изучению методических рекомендаций, регламентирующих применение измерительного оборудования и беспилотных летательных аппаратов в условиях полевых исследований. На этапе натурных наблюдений выполнялись замеры уровней паводковых вод, определение расходов и построение морфологических профилей водотоков. Заключительная стадия включала камеральную обработку собранных данных, по результатам которой были получены количественные и пространственные характеристики исследуемых гидрологических объектов [1]

Полевые исследования водотоков проводились с целью сбора первичных данных, получаемых непосредственно на гидрологических постах, а также для получения натурной информации в меженный период. В рамках работ были выполнены гидрометрические измерения расходов воды с использованием прибора ИСВП-ГР-21М1 (гидрометрическая вертушка) совместно с преобразователем ИСО-1, предназначенного для определения средней скорости потока в соответствии с методическими рекомендациями [17]. Одновременно осуществлялись топографические съёмки, включавшие измерение абсолютных отметок рельефа, уровней воды, а также определение среднего уклона руслового участка и построение поперечных профилей. Кроме того, выполнялись работы по исследованию морфологических особенностей русел с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Проведённая аэрофотосъёмка позволила получить ортофотопланы (плановое изображение с верхней проекции) и цифровые модели местности (ЦММ), обеспечивающие высокоточное отображение пространственной структуры исследуемых участков, используемые для дальнейшего пространственного анализа [1, 17].

Полевые работы начинаются с рекогносцировки участка местности. Данный вид работ был выполнен в соответствии с «Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам» [16]. Перед выбором участка для исследований, было проведено детальное изучение района с использованием доступных литературных и архивных материалов, а также других источников, с целью подготовки к рекогносцировочному обследованию реки. В результате предварительного анализа материалов по исследуемой территории были подготовлены: основные особенности гидрологического режима, гидрографические и морфометрические характеристики участка, перечни существующих и ранее действовавших гидрологических постов.

Перед началом гидрометрических работ, опираясь на собранные данные и доступные картографические материалы, а также с использованием программы Google Earth, предварительно были определены перспективные участки рек на карте. Затем проведена рекогносцировка на местности, в ходе которой выбран участок, наиболее подходящий для выполнения исследований. На рисунках 1...3 представлены карты расположения исследуемых гидрологических постов.



Рисунок 1. *Карта расположения исследуемых гидрологических постов бассейна реки Буктырма*

Карта расположения шести гидрологических постов, отобранных для проведения полевых исследований в бассейне реки Буктырма (рисунок 1). Точки наблюдений размещены с учётом морфометрических особенностей русловой сети и пространственного распределения притоков, что позволяет охватить ключевые гидрологические характеристики бассейна.



Рисунок 2. *Карта расположения исследуемых гидрологических постов бассейна реки Есиль*

Расположение пяти гидрологических постов, отобранных для мониторинга водного режима в бассейне реки Есиль (рисунок 2). Пункты наблюдений включают участки на реке Жабай (с. Балкашино, г. Атбасар), а также на реке Есиль в пределах населённых пунктов г. Астана, с. Волгодоновка и на притоке Мойылды (с. Николаевка).



Рисунок 3. *Карта расположения исследуемых гидрологических постов бассейна реки Жайык*

Схема размещения шести гидрологических постов, отобранных для полевых наблюдений в бассейне реки Жайык (рисунок 3). Посты расположены на ключевых участках русловой сети, включая как основное течение реки, так и её притоки, что позволяет учесть пространственную изменчивость стока в пределах бассейна. Размещение постов направлено на охват различных физико-географических зон, в том числе участков с разной степенью антропогенного влияния.

В процессе полевых исследований осуществлялась уточнённая выборка потенциальных точек для размещения поперечных сечений и установки базовых станций GNSS. Для размещения спутниковых станций в зонах русловых гидрографических съемок отбирались наиболее подходящие участки, обеспечивающие оптимальные условия для стабильного спутникового сигнала. Обычно это были открытые территории, такие как не покрытые лесом холмы, высокие подпойменные террасы и другие участки с минимальными преградами для видимости спутников.[1, 18, 19]

Исследование типичных русел рек бассейнов Есиля, Жайыка и Бухтармы осуществлялось посредством инструментальных измерений в комплексе с материалами аэрофотосъёмки, полученными с применением БПЛА.Одновременно с топографическими работами проводились съемочные полеты, предварительно сопровождаемые установкой наземных маркеров для обеспечения пространственной привязки.

Для последующей трансформации изображений и построения ортофотоплана исследуемой территории выполнялась геодезическая привязка опорных точек (маркеров) к государственной геодезической сети либо к стационарной базовой станции с известными координатами. В качестве опорных элементов использовались устойчиво распознаваемые контурные точки местности, хорошо идентифицируемые на всех перекрывающихся участках аэрофотоснимков. Их выбор обеспечивал высокую точность пространственного позиционирования, достигающую до 0,1 мм в масштабе итогового плана. Привязка снимков к местности осуществлялась параллельно с проведением наземных топографо-геодезических работ, что способствовало согласованности данных и повышению точности результирующих продуктов дистанционного зондирования [1, 20]

Промерные работы, направленные на измерение глубин, проводились с целью определения морфологических характеристик руслового дна и выявления особенностей его рельефа. В результате этих работ были построены поперечные профили в пределах гидроствора, на основе которых рассчитывалась площадь поперечного сечения русла в конкретной точке. Следует учитывать, что значения глубин, зафиксированные в разные временные моменты в одной и той же точке, могут различаться в связи с изменением уровня воды. При выполнении промеров на протяжённых участках водотока временные колебания

уровня могут существенно повлиять на сопоставимость полученных данных. С целью нивелирования данного эффекта, все измеренные глубины в завершении работ приводятся к единому расчётному (условному) уровню, зафиксированному на определённый момент времени [21].

Для последующего картографирования зон потенциального подтопления планируется использование гидравлической модели HEC-RAS 5.0.1, предназначенной для выполнения расчётов гидродинамики потоков, транспортировки наносов и оценки гидрохимических параметров водных объектов [22]. Работа в программной среде начинается с построения цифровой модели руслового участка, ввода исходных геометрических и гидрологических данных, после чего выполняется первичный расчёт, сопровождающийся последующим анализом его достоверности. Программный модуль HEC-RAS позволяет моделировать динамику потока как в поперечном, так и в продольном направлении, что обеспечивает высокую детализацию оценки поведения водотока при различных сценариях. В работах Калашникова О. Ю., Нурбацина А. А., Ниязов Д. Б. было применено гидравлическое моделирование с HEC-RAS, которое показывает степень опасности подтоплений в городе Атбасар [23].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Летно-съемочные работы осуществлялись с применением квадрокоптеров моделей Autel EVO II Pro Rugged Bundle и Autel EVO Lite. Управление полетами производилось посредством специализированного программного обеспечения Autel Explorer, обеспечивающего выполнение автоматизированных миссий по заранее заданным маршрутам. Указанные БПЛА осуществляли сбор аэрофотоматериалов высокого разрешения с геопривязкой каждого снимка (рисунок 4). Встроенные модули глобального позициониро-вания (GPS) обеспечивали навигацию в автоматическом режиме и фиксацию координат с позиционной точностью в диапазоне от 3 до 15 метров, что соответствовало требова-ниям к съемке для последующей ортотрансформации. [1, 20, 24].



Рисунок 4. *Использование ПО Autel Explorer для автоматического управления дроном Autel EVO II PRO RUGGED BANDLE*

С учетом погодных условий и размеров площади съемки, аэрофотосъемка осуществлялась на высотах от 60 до 100 метров, при этом средняя площадь охвата одного объекта составляла от 200 до 1300 гектаров (рисунок 5).

Для аэрофотосъемки было установлено продольное перекрытие не менее 80 % и поперечное перекрытие не менее 70 % от площади снимка [20].

Для обработки аэрофотоснимков с квадрокоптера и построения цифровых моделей рельефа использовалось программное обеспечение Agisoft Metashape Professional [25...26]. В процессе фотограмметрической обработки было использовано около 5000 снимков, полученных в бассейнах рек Буктырма, Есиль и Жайык. Был использован набор перекрывающихся снимков местности с дрона, у каждого снимка была GPS-координата, которая позволяет точно на местности посадить снимок. Так же для улучшенной точности использовались опорные точки.



Рисунок 5. *Ортофотоплан участка, подвергающийся затоплению в бассейне р. Жабай – г. Атбасар, с привязкой к географическим координатам*

В результате фотограмметрической обработки были предоставлены ортофотоплан и цифровая модель местности для дальнейшей верификации спутниковых снимков с данными, полученными инструментальным и фотограмметрическим путем. В качестве примера представлен фрагмент аэрофотосъемки река Буктырма – с. Лесная Пристань (рисунок 6).



Рисунок 6. *Фрагмент из ортофотоплана р. Буктырма – с. Лесная Пристань*

Как отмечалось ранее, измерения расходов воды на исследуемых водотоках выполнялись с применением прибора ИСВП-ГР-21М1 в комплекте с преобразователем ИСО-1. Указанное оборудование предназначено для определения осредненной скорости водного потока в открытых природных и искусственных руслах, в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 15126–80 ([14, 17, 27].

Под камеральной обработкой полевых материалов в рамках данного проекта понимается анализ и оценка результатов топографо-геодезических работ, а также аэрофотосъемки (включая фотограмметрическую обработку). Кроме того, она охватывает оценку результатов измерений морфометрических характеристик рек, измерений расходов воды и гидрофизических исследований водных объектов.

Затопления во время паводков и половодий на территории нашей страны – частое явление. В горных районах страны, опасность выхода из берегов можно отметить в бассейне

реки Буктырма [28]; на равнинной части исследуемых районов, можно выделить села Атбасар и Кобда, на реках Жабай и Улкен Кобда, соответственно [29...30]. В связи с частым затоплением близлежащих сел рекой Хамир, в частности в селах Путинцево и Малеевск [31...32] и селе Атбасар рекой Жабай [29, 33] была проведена аэровизуальная фотосъемка местности с использованием дрона Autel EVO Lite+ Premium Bundle/Orange. Произведена съемка устья реки Хамир, в месте впадения в реку Буктырма, и съемка реки Жабай около города Атбасар (рисунок 7).

а) б)



Рисунок 7. *Фотографии слияния рек Хамир и Буктырма (а) и реки Жабай (б), полученные с использованием дрона Autel EVO Lite+ Premium Bundle/Orange (фото авторов)*

В ходе проведения работ дополнительно также определялись: средний уклон участка русла реки, представляющий собой отношение превышения верхней точки участка от условного гидроствора над нижней, определяемого по разности высотных отметок, к соответствующей длине водотока; поперечный профиль участка водотока - поперечный разрез русла по условной линии, перпендикулярной водотоку, характеризующей форму и уклоны дна и берегов, с обозначением высотного положения водной поверхности; извилистость водотока, представляющую собой отношение длины водотока к прямой, соединяющей конечные точки участка [18,21](рисунки 8…10).

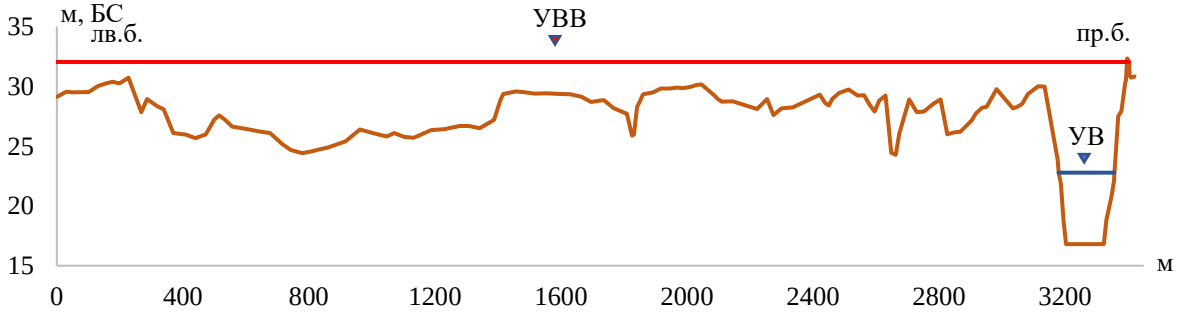


Рисунок 8. *Поперечный профиль р. Жайык – г. Уральск*

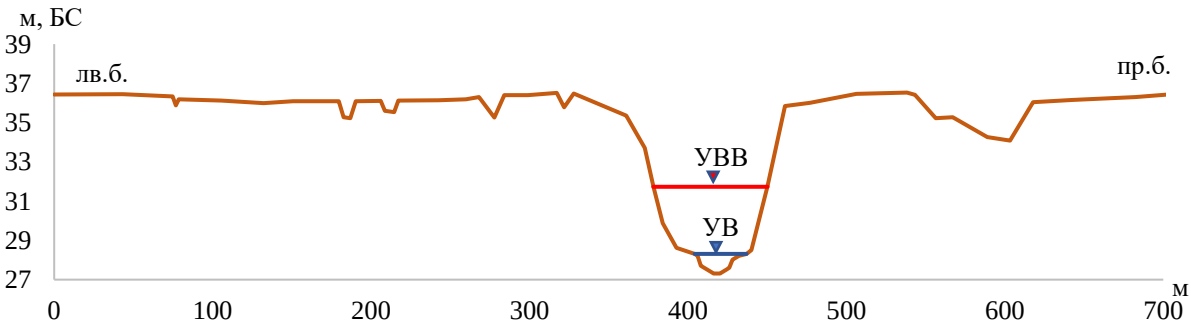


Рисунок 9. *Поперечный профиль р. Шаган – с. Чувашинское*

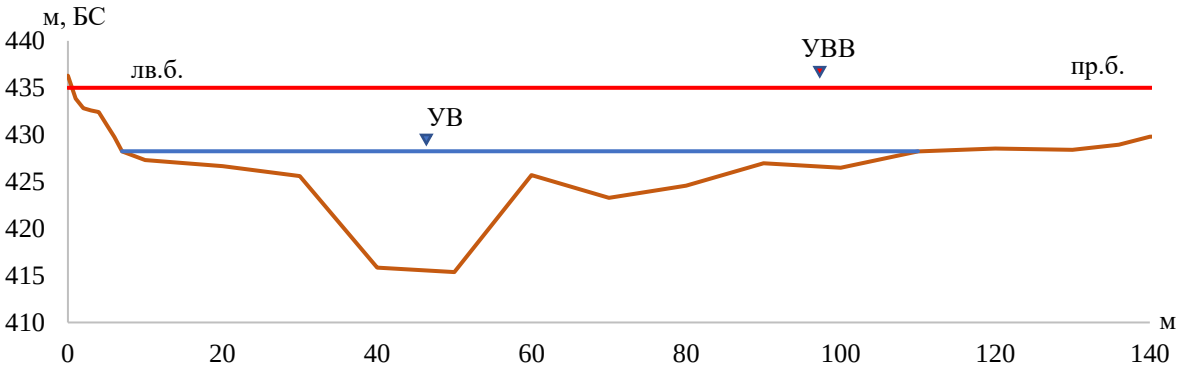


Рисунок 10. *Поперечный профиль р. Буктырма – с. Лесная Пристань*

Основные измеренные морфометрические характеристики исследуемых постов

Аэрофотоснимки и профили створов рек представляют собой ключевые исходные данные для гидравлического моделирования в программном комплексе HEC-RAS. Их высокая точность позволяет формировать детальные цифровые модели местности и создавать геометрическую модель речной системы, необходимую для корректного расчёта параметров потока и анализа затоплений. При этом профили створов обеспечивают сведения о глубине, ширине и форме русла, что критически важно для определения характеристик гидравлического потока.

В ходе полевых наблюдений было установлено, что расходы воды на равнинных реках Западного Казахстана варьировали в широком диапазоне: от 147 м³/с на реке Жайык в районе села Кушум до минимальных значений 0.12 м³/с, зафиксированных на реке Шынгырлау (с. Кентубек) и реке Деркул (с. Белес). В пределах равнинных водотоков Северного Казахстана значения расходов воды колебались от 1.41 м³/с на гидропосту реки Жабай вблизи села Атбасар и до 0,03 м³/с на реке Есиль в районе села Волгодоновка. Русло реки Мойылды вблизи села Николаевка в период наблюдений оказалось полностью пересохшим. На реках горного типа были зафиксированы более высокие значения расходов: от 307 м³/с на реке Буктырма (с. Лесная Пристань) до 98 м³/с на реке Аксу в районе одноимённого населённого пункта (таблица 1).

По данным, зафиксированным наблюдателями гидрологических постов, за последние десятилетия в западных регионах страны прослеживается тенденция к повышению количества атмосферных осадков. Особенно заметное уменьшение отмечено в последние два года, в течение которых атмосферные осадки снизились около 1,5 раза в северном регионе по сравнению с многолетними средними значениями. В то время как в восточном регионе страны количество атмосферных осадков в 1,5 раза увеличились, что и подтверждается исследованиями группой экспертов [34...35].

Рабочие моменты полевых работ представлены на рисунке 11.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненного комплекса работ, включающего полевые исследования на водотоках (реках), были проведены инструментальные измерения с применением современных приборов и оборудований. Были определены основные морфометрические характеристики, такие как расход и уровень воды, средний уклон участка русла реки, поперечный профиль участка водотока.

Для получения цифровой модели рельефа с высоким разрешением на гидрологических постах р. Жабай - г. Атбасар и р. Буктырма - с. Лесная Пристань была проведена аэрофотосъёмка с применением беспилотника, охватившая до 1300 гектаров. По проведенным аэрофотосъемочным работам были построены ортофотопланы исследуемой местности. Параллельно выполнялись топографические работы с использованием современного спутникового приёмника GNSS. После камеральной обработки, были получены точные координаты местности и отметки высот, по которым были построены поперечные профили створа. Топогеодезические измерения и аэрофотосъёмка исследуемых

участков послужили основой для подготовки исходных данных, необходимых для гидравлического моделирования. На базе полученных ортофотопланов и цифровых моделей рельефа в среде ArcGIS сформирована геометрическая основа речного русла, обеспечивающая пространственную привязку и точность расчётов. Эти материалы используются в программном комплексе HEC-RAS для воспроизведения пространственной изменчивости потоков и построения карт зон возможного затопления.

Таблица 1

Морфометрические характеристики створов исследуемых рек

№ пп	Река - створ	Уровень воды над 0 поста, см	Скорость, м/с		Ширина по уровню воды, м	Глубина, м		Площадь водного сечения, м^2	Расход воды, м^3/с
			Ср., $V_{ср.}$	Наиб., V_{max}		Средн., $h_{ср.}$	Наиб., h_{max}		
	Бассейн реки Есиль								
1	р. Есиль – г. Астана	668							
2	р. Есиль – с.Тургень	144	0.26	0.38	11	0.14	0.22	1.57	0.40
3	р. Есиль – с. Волгодоновка	94	0.07	0.08	4	0.12	0.16	0.46	0.03
4	р. Мойылды-с. Николаевка	Русло пересохло							
5	р. Жабай – г. Атбасар	162	0.13	0.27	8	0.7	0.85	5.59	0.74
6	р. Жабай – с. Балкашино	-36	0.05	0.14	9	0.81	1.15	7.26	0.38
	Бассейн реки Жайык								
7	р. Жайык – г. Уральск	24							
8	р. Жайык – с. Кушум	43	0.38	0.74	100	1.75	3.48	175	66.5
9	р. Елек – с. Актобе	97	0.26	0.36	21	0.54	0.9	11.3	2.91
10	р. Улкен Кобда – с. Кобда	217	0.08	0.12	26	0.33	0.53	8.71	0.74
11	р. Чаган – с. Чувашинское	453	0.04	0.09	13,6	0.53	1.05	7.31	0.32
12	р. Деркул – с. Белес	253	0.01	0.03	7	3.34	4.68	134	1.01
13	р. Шынгырлау – с. Кентубек	283	0.01	0.03	8	0.38	0.49	9.84	0.12
	Бассейн реки Буктырма								
14	р. Буктырма – с. Берель	130	2.18	3.53	40	0.83	2.71	36.4	79.3
15	р. Буктырма – с. Барлык (Печи)	91	1.07	1.87	105	1.15	1.54	129	162
16	р. Буктырма – с. Лесная Пристань	316	1.15	2.10	107	1.82	5.1	195	225
17	р. Аксу – с. Аксу	91	0.82	1.29	54	0.54	0.92	29.2	24
18	р. Черновая – с. Аккайнар (Черновая)	233	0.5	0.84	13,7	0.22	0.35	3.06	1.74
19	р. Хамир – с.Малеевск	122	0.49	0.56	57	1.04	1.40	59.8	30

Полевые исследования проводились в период летне-осенней межени в бассейнах равнинных рек Есиль и Жайык и в период окончания весеннего половодья на горных реках в бассейне реки Буктырма. Обобщая полевые исследования, можно сделать вывод, что последние годы были более засушливыми на западе страны и более влажные годы на востоке страны.

Применение вышеизложенных методик проведения полевых работ и натурных измерений будет полезна научно-исследовательским институтам и университетам для проведения исследований, экологическим организациям и природоохранным ведомствам, предприятиям водного хозяйства для управления водными ресурсами

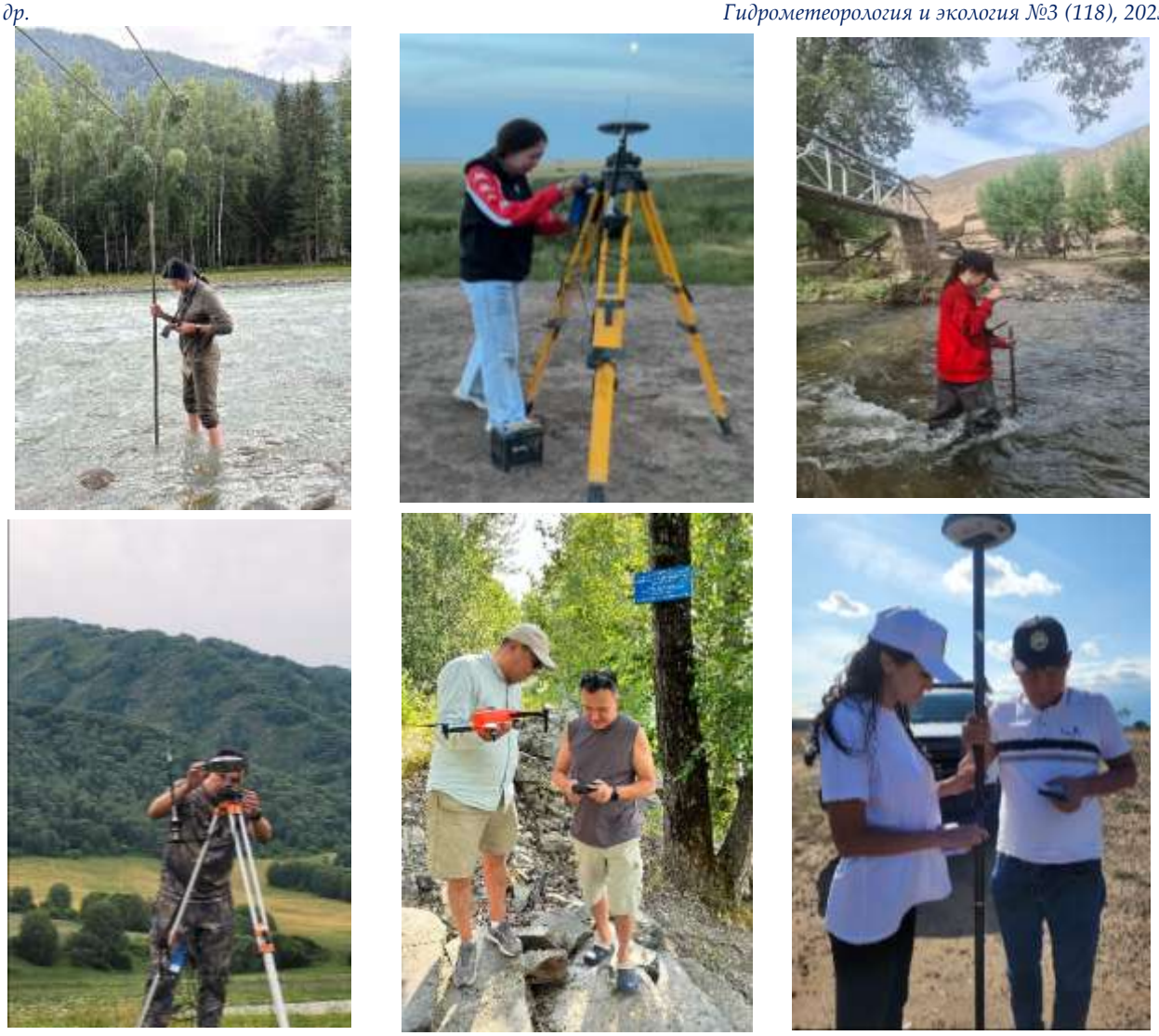


Рисунок 11. *Рабочие моменты проведенных полевых работ.*

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании получены авторами из открытых баз данных РГП «Казгидромет».

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ААН, ЖТС; управление данными –ЖЖС, АБМ.; формальный анализ – КМК, ЖЖС; методология – АБМ, ЖТС; программное обеспечение - АБМ, ЖЖС; отслеживание – ААН, КМК; визуализация – ААН, ЖТН; написание исходного текста – ЖТС, АБМ; написание и редактирование окончательного текста – ААН.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данное исследование было финансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP 19678734 «Оценка современных и прогнозных гидрологических изменений бассейнов рек Казахстана на основе моделирования (на примере рек Буктырма, Есиль, Жайык)»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мырзахметов А, Достаева А., Исақан Г., Қанай М., Салаватова Ж. Обзор полевых обследований отдельных типичных речных русел юга и юго-востока Казахстана // География и водные ресурсы.-2021.С.66-74
2. Didovets I., Krysanova V., Nurbatsina A., et al. Attribution of current trends in streamflow to climate
3. Alimkulov S., Tursunova A., Kulebaev K., Zagidullina A., Myrzahmetov A., Saparova A. Resources of river runoff of Kazakhstan // International Journal of Engineering and Advanced Technology. – 2019. – Vol. 8, No. 6. – P. 2242–2250. – DOI: 10.35940/ijeat.F8626.088619.
4. Plekhanov P. A., Medeu N. N. Extreme Hydrological Phenomena in the Esil River Basin... // Journal of Ecological Engineering. – 2019. – Vol. 20, No. 7. – DOI: 10.12911/22998993/109880.
5. Алимкулов С. К., Турсунова А. А., Сапарова А. А. Ресурсы речного стока Казахстана в условиях будущих климатических и антропогенных изменений // Гидрометеорология и экология. – 2023. – № 1. – С. 57–69. – DOI: 10.54668/2789-6323-2021-100-1-57-69.

6. Чигринец А. Г., Бурлибаева Ш. М. Минимальный сток рек в бассейне р. Бухтарма // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2018. – Т. 50, № 3. – С. 24–37.
7. Болдырев В. И. Реки восточного Казахстана // Природные условия и естественные ресурсы Восточного Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1978. – С. 106–120.
8. Таукенов Т. Р., Ержанова Ж. С. Половодья и паводки на реках бассейна р. Бухтарма... // The latest research in modern science. – 2018. – С. 17–25.
9. Гальперин Р. И., Авезова А., Медеу Н. Н. Много воды – тоже плохо... // География и водные ресурсы. – 2016. – № 1. – С. 31–40.
10. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 691 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Алтай и Западная Сибирь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – Т. 15. – 316 с.
12. Ресурсы поверхностных вод. Акмолинская обл. КазССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1958. – Вып. 1. – 435 с.
13. Makhmudova L., Moldakhmetov M., Mussina A., Sambetbayev D., Zharylkassyn A. Flood hazard assessment in the Yesil River basin // AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society. – 2023. – Vol. 72, No. 8. – P. 1499–1511. – DOI: 10.2166/aqua.2023.060.
14. Региональный экологический центр Центральной Азии. Изменение климата и гидрология в Центральной Азии. – 2019. – URL: https://carececo.org/... (дата обращения: 22.05.2025).
15. Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – Т. 12, Вып. 2. – 510 с.
16. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 1. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 243 с.
17. Минприроды РФ. Определение гидрографических характеристик... – М.: Росгидромет, 2018. – 179 с. – URL: https://meganorm.ru/... (дата обращения: 22.05.2025).
18. Наставление по рекогносцировочным гидрографическим исследованиям рек. Ч. 1. – Л.: Гидрометеоиздат, 1949. – 167 с.
19. Минэкономики РК. Геодезические работы в строительстве. – 2015. – URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35922550 (дата обращения: 22.05.2025).
20. Алимкулов С., Мырзахметов А. Гидрографическая сеть Республики Казахстан // Исследования. – 2023. – № 4 (100). – С. 247–257. – DOI: 10.37884/4-2023/27.
21. Методические указания по гидрологической практике. – Бишкек, 2012. – 16 с.
22. Brunner G. W. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Version 5.0. – U.S. Army Corps of Engineers, 2016. – 962 p.
23. Калашникова О., Нурбацина А., Ниязов ДЖ. Оценка рисков наводнений... // Центральноазиатский журнал исследования климата и устойчивого развития. – 2023. – Т. 2, № 1. – С. 22–45. – DOI: 10.29258/CAJSCR/2023-R1.v2-1/22-45.rus.
24. Минграждданавиации СССР. Руководство по аэрофотосъемочным работам. – М.: Воздушный транспорт, 1988. – 319 с. – URL: https://meganorm.ru/... (дата обращения: 22.05.2025).
25. Agisoft. Руководство пользователя Agisoft Metashape: Professional Edition. Версия 1.8. – Agisoft LLC, 2022. – 105 с.
26. Agisoft. Aerial data processing with GCPs: Orthomosaic & DEM generation [Электронный ресурс] // Agisoft Freshdesk. – URL: https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000153696 (дата обращения: 25.07.2025).
27. Государственный комитет РФ по строительству и ЖКХ. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: 2004. – 72 с. – URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4294815/4294815038.pdf (дата обращения: 22.05.2025).
28. Кудайбергенов А. Река Бухтарма вышла из берегов в ВКО // 365info.kz. – 2016. – 7 июня. – URL: https://365info.kz/2016/06/reka-buhtarma-vyshla-iz-beregov-v-vko (дата обращения: 22.05.2025).
29. Sputnik. Наводнение в Атбасаре... // Sputnik.kz. – 2017. – 15 нояб. – URL: https://ru.sputnik.kz/... (дата обращения: 22.05.2025).
30. Журсин Ж. В Актюбинской области подтоплены дома в селе Кобда... – 2023. – 14 марта. – URL: https://rus.azattyq.org/a/32317159.html (дата обращения: 22.05.2025).
31. Вааль Т. Подъем уровня воды в ВКО будет продолжаться... // Vlast.kz. – 2015. – 28 апр. – URL: https://vlast.kz/... (дата обращения: 22.05.2025).
32. Сосновская О. Аким ВКО Даниал Ахметов: Повторения паводка 2015 года не будет // Altainews.kz. – 2017. – 21 апр. – URL: https://altainews.kz/... (дата обращения: 22.05.2025).
33. Косенов А. 120 домов подтоплено в Атбасаре // Tengrinews.kz. – 2014. – 10 апр. – URL: https://tengrinews.kz/events/120-domov-podtopleno-v-atbasare-253388/ (дата обращения: 22.05.2025).
34. РГП «Казгидромет». Ежегодный бюллетень мониторинга климата Казахстана. – 2022. – URL: https://www.kazhydromet.kz/... (дата обращения: 22.05.2025).
35. РГП «Казгидромет». Ежегодный бюллетень мониторинга климата Казахстана. – 2023. – URL: https://www.kazhydromet.kz/... (дата обращения: 25.07.2025).

REFERENCES

1. Myrzakhmetov, A., Dostayeva, A., Isakhan, G., Kanay, M., & Salavatova, Zh. (2021). Review of field surveys of individual typical river channels of the south and southeast of Kazakhstan. Geography and water resources, (3), 66-74 [in Russian]
2. Didovets, I., Krysanova, V., Nurbatsina, A., Fallah, B., Krylova, V., Saparova, A., ... & Hattermann, F. F. (2024). Attribution of current trends in streamflow to climate change for 12 Central Asian catchments. Climatic Change, 177(1), 16. https://doi.org/10.1007/s10584-023-03673-3
3. Alimkulov, S., Tursunova, A., Kulebaev, K., Zagidullina, A., Myrzahmetov, A., & Saparova, A. (2019). Resources of river runoff of Kazakhstan. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 8(6), 2242–2250. https://doi.org/10.35940/ijeat.F8626.088619
4. Plekhanov, P. A., & Medeu, N. N. (2019). Extreme hydrological phenomena in the Esil River Basin: Genesis, general patterns of manifestation. Journal of Ecological Engineering, 20(7). https://doi.org/10.12911/22998993/109880
5. Alimkulov, S. K., Tursunova, A. A., & Saparova, A. A. (2023). Kazakhstan river flow resources under uncertainty. Hydrometeorology and Ecology, (1), 57–69. https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-100-1-57-69 [in Russian]
6. Chigrinec, A. G., & Burlibaeva, Sh. M. (2018). Minimum river flow in the Buktyrma river basin. Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya, 50(3), 24–37. [in Russian]
7. Boldyrev, V. I. (1978). Rivers of eastern Kazakhstan. Natural conditions and resources. Alma-Ata: Nauka. [in Russian]
8. Taukenov, T. R., & Erzhanova, Zh. S. (2018). Floods and erosion processes in the Buktyrma river basin. In The latest research in modern science: experience, traditions and innovations (pp. 17–25). [in Russian]
9. Gal'perin, R. I., Avezova, A., & Medeu, N. N. (2016). Lots of water is also bad... Geografija i vodnye resursy, (1), 31–40. [in Russian]
10. Shul'c, V. L. (1965). Rivers of Central Asia. Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
11. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. (1959). Altai and Western Siberia (Vol. 15, Pt. 1). Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
12. Resursy poverhnostnyh vod rajonov... (1958). Akmola region of the Kazakh SSR (Issue 1). Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]

13. Makhmudova, L., Moldakhmetov, M., Mussina, A., Sambetbayev, D., & Zharylkassyn, A. (2023). Flood hazard assessment in the Yesil River basin. AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 72(8), 1499–1511. https://doi.org/10.2166/aqua.2023.060
14. The Regional Environmental Centre for Central Asia. (2019). Climate change and hydrology in Central Asia: Case study of river basins. – URL: https://carececo.org/main/ckh/publications/izmenenie-klimata-i-gidrologiya-v-tsentralnoy-azii-issledovanie-otdelnykh-rechnykh-basseynov/ [in Russian]
15. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. (1970). Lower Volga and Western Kazakhstan, Ural-Emba region (Vol. 12, Issue 2). Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
16. Nastavlenija Gidromet. (1973). Hydrological observations and work on large and medium rivers (Issue 6, Part 1). Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
17. Ministerstvo prirodnyh resursov RF. (2018). Determination of hydrographic characteristics by cartographic method (179 p.). https://meganorm.ru/Data2/1/4293730/4293730221.pdf [in Russian]
18. Nastavlenie po rekognoscirovochnym... (1949). Manual on reconnaissance hydrographic studies of rivers: Field work (Part 1). Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
19. Ministerstvo nacional'noj jekonomiki RK. (2015). Geodetic works in construction. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35922550 [in Russian]
20. Alimkulov, S., & Myrzahmetov, A. (2023). Hydrographic network of the Republic of Kazakhstan. Issledovaniya, rezultaty, (4) (100), 247–257. https://doi.org/10.37884/4-2023/27 [in Russian]
21. Metodicheskie ukazanija. (2012). Guidelines for educational practice in hydrology. Bishkek, 15–16 p. [in Russian]
22. Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS river analysis system: User's manual (Version 5.0). U.S. Army Corps of Engineers.
23. Kalashnikova, O., Nurbacina, A., & Nijazov, J. (2023). Flood and flash flood risk assessment for sustainable development in the Zhabay river basin (Kazakhstan). Central Asian Journal of Sustainability and Climate Research, 2(1), 22–45. https://doi.org/10.29258/CAJSCR/2023-R1.v2-1/22-45.rus [in Russian]
24. Ministerstvo grazhdanskoj aviacii SSSR. (1988). Aerial Photography Handbook. Moscow: Vozdushnyj transport. https://meganorm.ru/Data2/1/4293786/4293786503.pdf [in Russian]
25. Agisoft LLC. (2022). Agisoft Metashape: Professional Edition, version 1.8 – User manual.
26. Agisoft LLC. (n.d.). Aerial data processing with GCPs: Orthomosaic & DEM generation. Agisoft Freshdesk. Retrieved July 25, 2025, from https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000153696
27. Gosudarstvennyj komitet RF. (2004). Determination of the main calculated hydrological characteristics (72 p.). URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4294815/4294815038.pdf [in Russian]
28. Kudajbergenov, A. (2016, June 7). The Bukhtarma River overflowed its banks in East Kazakhstan. 365info.kz. –URL: https://365info.kz/2016/06/reka-buhtarma-vyshla-iz-beregov-v-vko [in Russian]
29. Sputnik. (2017, November 15). Flooding in Atbasar: Cheaper to relocate people. Sputnik.kz. – URL: https://ru.sputnik.kz/20171115/navodnenie-v-atbasare-deshevle-pereselit-lyudej-chem-stroit-dambu-3776302.html [in Russian]
30. Zhursin, Z. (2023, March 14). Houses flooded in Kobda village, rescuers opened highway. rus.azattyq.org. – URL: https://rus.azattyq.org/a/32317159.html [in Russian]
31. Vaal', T. (2015, April 28). Water level in East Kazakhstan to rise until April 30. Vlast.kz. – URL: https://vlast.kz/novosti/podem_urovnja_vody_v_vko_budet_prodolzhatsja_do_30_aprelja_kchs-10836.html [in Russian]
32. Sosnovskaja, O. (2017, April 21). Akim of East Kazakhstan: No repeat of 2015 flood. Altainews.kz. – URL: https://altainews.kz/ru/stati/5366-akim-vko-danial-ahmetov-povtoreniya-pavodka-2015-goda-ne-budet.html [in Russian]
33. Kosenov, A. (2014, April 10). 120 houses flooded in Atbasar. Tengrinews.kz. – URL: https://tengrinews.kz/events/120-domov-podtopleno-v-atbasare-253388/ [in Russian]
34. Republican State Enterprise «Kazhydromet». (2022). Annual bulletin of monitoring the state and change of climate in Kazakhstan. – URL: https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana [in Russian]
35. Republican State Enterprise «Kazhydromet». (2023). Annual bulletin of monitoring the state and change of climate in Kazakhstan. - URL: https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana [in Russian]

БҰҚТЫРМА, ЕСІЛ ЖӘНЕ ЖАЙЫҚ ӨЗЕНДЕРІ БАССЕЙНДЕРІНІҢ СИПАТТАМАЛЫҚ УЧАСКЕЛЕРІН ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ТАБИҒИ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ

Алия А. Нурбацина[1], Жанат Т. Салаватова [1,2*], Жанибек Ж. Смагулов[1], Кайрат М. Кулебаев[1], Ахан Б. Мырзахметов[1]

[1] География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан; aliya.nurbatsina@gmail.com, salavatova.07@gmail.com, zh.zh.smagulov@mail.ru, kairat.kulebayev@mail.ru, ahan_myrzahmetov@mail.ru
[2] әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, География және табиғатты пайдалану факультеті, Алматы, Қазақстан; salavatova.07@gmail.com
Автор корреспондент: Жанат Т. Салаватова, salavatova.07@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

далалық зерттеулер,
гидрометриялық және барлау жұмыстары,
аэрофототүсірілім,
өзен профилі,
су ағыны,
су басу аймақтары

АБСТРАКТ

Бұл жұмыста модельдеу негізінде (Бұқтырма, Есіл, Жайық өзендерінің мысалында) Қазақстан өзендері бассейндерінің қазіргі заманғы және болжамды гидрологиялық өзгерістерін бағалау жобасы шеңберінде Бұқтырма, Есіл және Жайық өзендерінің бассейндерінде жүргізілген далалық зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Жүргізілген ғылыми зерттеудің негізгі нәтижелерінің бірі гидравликалық модельдеу көмегімен жекелеген сипаттамалық учаскелер бойынша өзендердің

жайылмаларын су басу алаңдарының карталарын әзірлеу және салу үшін пайдаланылатын алгоритмді әзірлеу және зерттелетін бассейндердегі көлденең профильдерді, ортофотопландарды алу болды. Карталарды жасау процесінде ұшқышсыз ұшу аппаратымен аймақты аэрофототүсірілім арқылы алынған цифрлық рельеф үлгілері пайдаланылатын болады. Су тасқыны аймағын анықтау үшін өзендердің ұзындығы бойынша көлденең профильдер жасалды және олардың көріну орындарындағы гидрологиялық процестердің сипаттамалары алынды. Жұмыс нәтижелері Қазақстанның зерттелетін өзендері режимінің динамикасын түсінуге елеулі үлес қосады және су ресурстарын басқару және гидрологиялық құбылыстардың салдарын барынша азайту үшін қажетті құралдармен қамтамасыз етеді.

Мақала жайында:
Жіберілді: 26.05.2025
Қайта қаралды: 06.08.2025
Қабылданды: 18.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

HYDROLOGICAL SURVEYS OF TYPICAL BASIN AREAS OF BUKTYRMA, ESIL, ZHAYIK RIVERS

Aliya Nurbatsina[1], Zhanat Salavatova [1,2*], Zhanibek Smagulov[1], Kairat Kulebayev[1], Akhan Myrzakhmetov[1]

[1] Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; aliya.nurbatsina@gmail.com, salavatova.07@gmail.com, zh.zh.smagulov@mail.ru, kairat.kulebayev@mail.ru, ahan_myrzahmetov@mail.ru
[2] al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Almaty, Kazakhstan; salavatova.07@gmail.com
Corresponding author: Zhanat Salavatova, salavatova.07@gmail.com

KEY WORDS

field research,
hydrometric and reconnaissance work,
aerial photography,
river profile,
water flow,
floodplains

ABSTRACT

This paper presents the results of field studies conducted in the Buktyrma, Esil and Zhayik river basins as part of a project to assess current and projected hydrological changes in Kazakhstan's river basins based on modelling (using the Buktyrma, Esil and Zhayik rivers as examples). One of the main results of the scientific research was the development of an algorithm and the acquisition of cross-sectional profiles and orthophoto plans in the studied basins, which will be used to develop and construct maps of river floodplain inundation areas for individual characteristic sections using hydraulic modelling. Digital terrain models obtained by aerial photography of the area using unmanned aerial vehicles will be used in the process of creating maps. To determine the flood zone, cross-sections were plotted along the length of the rivers and the characteristics of hydrological processes at the sites of their occurrence were obtained. The results of the work contribute significantly to the understanding of the dynamics of the studied rivers in Kazakhstan and provide the necessary tools for water resource management and minimisation of the consequences of hydrological phenomena.

About article:
Received: 26.05.2025
Revised: 06.08.2025
Accepted: 18.09.2025
Published: 01.10.2025

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).

Гидрометеорология и экология

Научная статья

СОВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОЗДУХА НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Джамал С. Гусейнов[1] PhD, Наила Н. Исмайлова[2]

[1] АО «Азербайджанские авиалинии», Национальная Академия Авиации, Баку, Азербайджан; camal_huseynov_88@mail.ru (ДжСГ),
[2] Министерство Экологии и Природных Ресурсов, Национальная Гидрометеорологическая Служба, Баку, Азербайджан; naile_ismayilova40@mail.ru (ННИ)
Автор корреспондент: Джамал С. Гусейнов, camal_huseynov_88@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

температура воздуха,
аномалия температуры воздуха,
изменение климата,
DEM,
многолетняя динамика,
тренд

АБСТРАКТ

Исследуемый объект – северо-восточный склон Большого Кавказа, который также является северо-западной частью Прикаспийского региона. В исследовании рассматривается влияние изменения климата на многолетний температурный режим прикаспийской части Большого Кавказа. В анализах использованы данные наблюдений 8 гидрометеорологических станций за период с 1961 по 2022 год. Проведен сравнительный анализ изменений температуры воздуха в регионе за 1991...2022 гг. с базовым периодом (1961...1990 гг.). Как известно, здесь рассмотрены современные особенности термического режима: установлено, что наименьшая температура приходится на январь, а наибольшая-на июль. В зимний период средняя месячная температура с нижней части среднего горного пояса (1000...1200 м) и до высокогорья имеет отрицательные значения ниже 0°C. За период 1961...2022 гг. рассмотрены десятилетние изменения температуры воздуха. Установлено, что начиная с 1990 г. в регионе наблюдается резкий рост температуры. По сравнению с базовым периодом, в 1991...2022 гг. среднегодовая температура повысилась на 0.9°C. В равнинных районах среднегодовая температура составляет 12...14 °C, в низкогорных – 10...12°C, в среднегорных – 5...10°C, а в высокогорных - ниже 4°C. В декабре (0,4 °C) с наступлением зимы температура снижается, и от нижних частей среднегорья к высокогорью средняя месячная температура опускается ниже 0°C. В течение года максимальное повышение температуры (на 1.5 °C) отмечается в августе и октябре.
Результаты исследования могут быть использованы при строительстве новой инфраструктуры, развитии промышленности и сельского хозяйства. Определение последствий изменений климата позволит расширить меры по смягчению последствий в регионе.

По статье:
Получено: 05.03.2025
Пересмотрено:21.08.2025
Принято: 22.09.2025
Опубликовано:01.10.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

Все синоптические процессы на Земле начинаются с того, что солнечная радиация нагревает поверхность планеты. Температура на поверхности передается через воздух, и

неравномерное распределение этой температуры обуславливает дальнейшее развитие таких метеорологических элементов и явлений, как испарение, осадки, давление, ветер и другие [1]. С другой стороны, известно, что в последние десятилетия под воздействием климатических изменений, усиливающихся на планете, в отдельных регионах происходят изменения некоторых характеристик традиционного климатического режима. Эти изменения проявляются в виде потепления. Глобальное потепление приводит к таянию ледников, активизации разрушительных природных явлений, таких как наводнения, паводки, засухи, опустынивание, оползни и другие [2…4]. Поэтому в настоящее время изучение современного климатического режима и

Для цитирования:
Гусейнов Дж., Исмайлова Н. Современные характеристики температурного режима воздуха на северо-восточном склоне Большого Кавказа // Гидрометеорология и экология, 118 (3), 2025, 22-33.

разработка мероприятий по адаптации к климатическим изменениям имеют особое значение.

Сложное физико-географическое положение и разнообразный рельеф территории Азербайджанской Республики, расположенной на Южном Кавказе, а также высокая климатическая неоднородность затрудняют проведение комплексных климатических исследований на уровне всей страны. Поэтому более целесообразно проводить детальные исследования в пределах отдельных физико-географических районов [5…6].

Современные исследования в прикаспийских регионах показывают, что под воздействием изменения климата в отдельных регионах с 1990-х годов температура воздуха начала постоянно расти [7]. Быстрые изменения уровня Каспийского моря положительно коррелируют с влиянием современных изменений климата [8]. Кроме того, изменения метеоэлементов в этом регионе приводят к изменениям параметров региональной циркуляции [9].

Современные исследования температуры воздуха в прикаспийских регионах Азербайджана немногочисленны. Первую классификацию особенностей распределения температуры воздуха по территории страны, включая северо-восточный склон Большого Кавказского хребта, предоставили Э.М. Шыхлинский и Э.А. Мадатзаде (1968) [10]. В последующие годы Э.Дж. Айюбов, Н.Ш. Гусейнов, Саид Г. Сафаров, Ф.А. Иманов и другие изучали изменения климата и особенности распределения температуры воздуха по поверхности. Однако, со временем влияние климатических изменений в регионе и увеличение статистических данных требуют пересмотра и уточнения данных о температуре воздуха.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование использовало данные наблюдений по температуре воздуха с 1961 по 2022 годы 8 гидрометеорологических станций Национальной службы гидрометеорологии, расположенных в северной части прибрежных территорий Азербайджана (далее – прибрежные территории Каспийского моря) (Таблица 1) [11…13]. С использованием математических, статистических и картографических методов были проведены различные анализы многолетних (1961...2022) временных рядах. В исследовании представлена современная классификация распределения температуры воздуха по территориям и высотным зонам, а общий период был разделен на десятилетия для определения средних математических показателей.

Таблица 1

Основные характеристики гидрометеорологических станций

Станция	Высота, м над уровнем моря	Период наблюдения, используемые в работе, годы	Климатическая норма температуры воздуха (1961-1990), ^{0}C
Шахдаг	2712	2010...2020, 2022	-
Крыз	2071	1961...2022	4.6
Хыналыг	2049	1991...2021	-
Халтан	1104	1986...2022	8.3
Алтыагадж	1099	1961...2022	9.0
Губа	550	1961...2022	10.2
Хачмаз	27	1961...2022	12.5
Набран	14	1998...2021	-

Исследована общая тенденция изменений за 62 года. В ходе анализа таблицы, гистограммы и графики были визуализированы с помощью Microsoft Excel, а электронные карты - с помощью программного обеспечения ArcGIS.

Длинные ряды случайных величин в мгновенной временной фазе (отдельные годы) могут вводить в заблуждение из-за резких выбросов, поэтому для сглаживания графика кривой используется скользящее среднее. Этот метод учитывает мгновенные скачки случайных величин на графиках и обеспечивает сглаживание для различных лет (5, 10 и т.д.). Это позволяет определить динамику рассматриваемой случайной величины в любой временной фазе [10, 14]. Скользящее среднее рассчитывается по следующей формуле (1):

$$X_{1i} = \frac{X_1+X_2+X_3\ldots+X_{10}}{10}, \quad X_{2i} = \frac{X_2+X_3+X_4\ldots+X_{11}}{10} \quad .. \qquad . (1)$$

здесь X_{1i}, X_2... и т.д. – это скользящая средняя температура (случайная величина) за десятилетний период. X_1, X_2 и т.д. являются членами ряда среднегодовых температур для рассматриваемого года и последующих 9 лет (всего 10 лет). Коэффициент скользящей средней для данного года равен математическому среднему показателей за 10 лет, включая данный год. Следующий член скользящей средней снова состоит из показателей этого года и последующих 9 лет. Таким образом, ряды завершаются по этому правилу до конца. Последние 9 чисел в ряду, так как дополнительные цифры отсутствуют, рассчитываются для уменьшающегося количества рядов (9, 8, 7, ...). Последний показатель равен значению температуры в этом году. Расчет десятилетних средних показателей для каждого члена ряда по годам позволяет сгладить резкие отклонения на графике и отражает общую тенденцию динамики.

Основная цель исследования - изучение современных особенностей распределения температуры воздуха, изменения климата и долгосрочной тенденции (1961…2022 гг.) в прикаспийском регионе Большого Кавказа на территории Азербайджанской Республики. Поэтому современный температурный режим за 1991…2022 гг., изменения средних месячных, сезонных и годовых значений температуры воздуха были сопоставлены с базовым периодом (1961…1990 гг.) Всемирной метеорологической организации (ВМО) [12].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Физико-географическое положение, гипсометрические особенности и близость к морю северо-восточного склона Большого Кавказского хребта обуславливают разнообразие климатического режима [5, 6]. Таким образом, контраст высот в регионе от прибрежных равнин (-43 м) до высокогорья на западе (4440 м) составляет примерно 4450 м. Поэтому из 11 типов климата, выделенных Э.А.Мадатзаде для страны, здесь встречаются 6. В регионе встречаются следующие типы климата, зависящие от указанных характеристик: полупустынный и сухо-степной (0...100 м), умеренно-тёплый с примерно равномерным распределением осадков в течение всех сезонов, умеренно-тёплый с сухим летом, умеренно-тёплый с сухой зимой (600...1500 м), холодный с сухой зимой (1400...2700 м), горно-тундровый (выше 2700 м) [4,6].

Климат региона формируется под влиянием холодных воздушных масс, приходящих с севера. На северо-востоке высоких горных хребтов Большого Кавказа происходит конвергенция воздушных масс, которые затем быстро движутся в южном направлении. Иногда такие ветры могут превращаться в сильные штормы со скоростью 20…25 м/с. Эти ветры, проходя над Апшеронским полуостровом и далее над морем, трансформируются и ослабевают [1].

С начала осени до конца весны в регионе теплые и влажные воздушные массы, испаряющиеся с моря, поднимаются вдоль горных склонов и подвергаются конвекции, что создает условия для выпадения осадков во второй половине дня [1, 15, 16].

На территории региона многолетние данные гидрометеорологических станций о распределении среднемесячных температур в течение года представляют особый интерес

(Таблица 2). В северной части прикаспийских территорий самыми холодными месяцами года можно считать январь (-1.8°C) и февраль (-1.3°C). Хотя в эти месяцы среднемесячная температура воздуха на прибрежных равнинах и низкогорных территориях находится в интервале 0-3°C, начиная с нижних частей среднегорья (1000…1200 м), этот показатель становится отрицательным, а в нижних частях высокогорья (2700 м) наблюдается около -6…-7°C. В регионе, начиная с марта (1.9°C), общая среднемесячная температура принимает положительные значения, однако в верхних частях среднегорья и в высокогорье она всё ещё остается ниже 0°C. В высокогорных районах региона, начиная с апреля (7.1°C), среднемесячная температура воздуха поднимается выше 0°C. С мая (12.2°C) начинается потепление, и более высокие показатели температуры воздуха наблюдаются в июне (16.6°C). Здесь самыми теплыми месяцами считаются июль (19.2°C) и август (18.9°C), когда регистрируются максимальные показатели температуры воздуха. В отдельные годы на равнинных территориях (Хачмаз) в июне (2018) среднемесячная температура может достигать 28.0°C, а в августе (2021) – 27.2°C. В регионе, начиная с сентября (14.8°C), температура воздуха начинает снижаться, и в октябре она составляет 9.6°C, а в ноябре – 4.1°C. В декабре (0.4°C) с приходом зимнего сезона воздух снова охлаждается, и среднемесячная температура опускается ниже 0°C, начиная с нижних частей среднегорья и до высокогорья. Учитывая вышесказанное, территория региона, расположенная выше 1000…1200 м, переживает морозный период в декабре, январе, феврале и частично в марте. На территориях, расположенных ближе к прибрежным равнинам, зимой проявляется смягчающее влияние моря, и среднемесячная температура держится в пределах 1…5°C.

Таблица 2

Распределение температуры воздуха по месяцам на северо-восточном склоне Большого Кавказа (1961-2022)

Станция	**Месяцы**												**İl**
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Шахдаг	-7.1	-6.3	-3.6	0.9	6.3	10.2	12.8	12.2	9.1	3.9	-1.9	-5.3	2.6
Крыз	-4.4	-3.8	-0.9	4.4	8.5	12.2	14.3	14.1	10.7	6.2	1.8	-2.1	5.1
Хыналыг	-3.9	-3.2	0.2	4.9	9.4	13.1	15.2	15.3	11.5	7.5	1.4	-1.8	5.8
Халтан	-2.1	-1.0	3.0	8.4	13.1	17.5	19.9	19.8	15.1	10.0	3.9	-0.2	9.0
Алтыагадж	-1.1	-0.6	2.6	8.2	13.0	17.0	19.7	19.2	15.0	9.9	4.9	1.4	9.1
Губа	-0.4	0.2	3.5	9.9	15.3	19.9	22.7	22.0	17.3	11.4	6.0	1.9	10.8
Хачмаз	2.2	2.5	5.4	10.8	16.7	22.0	24.8	24.3	19.7	13.7	8.4	4.4	12.9
Набран	2.5	2.3	5.3	9.6	15.7	20.9	23.9	24.3	20.1	14.2	8.6	5.0	12.7
Регион	**-1.8**	**-1.3**	**1.9**	**7.1**	**12.2**	**16.6**	**19.2**	**18.9**	**14.8**	**9.6**	**4.1**	**0.4**	**8.5**

Среднемесячные экстремальные показатели температуры воздуха на северо-восточном склоне Большого Кавказа в течение года отличаются различными особенностями (Таблица 3). Максимальное значение средней температуры месяца на данном участке достигает наименьших значений в январе (2.8°C) и феврале (2.7°C). Максимальное значение средней температуры региона наблюдается в марте (6.6°C), в апреле – 11.2°C, в мае – 15.3°C, в июне – 20.9°C. Это значение достигает своего максимума в июле (23.0°C) и августе (22.6°C). Сентябрь (18.6°C) становится первым месяцем, когда температура начинает снижаться, достигая 14.1°C в октябре, 8.4°C в ноябре и 5.7°C в декабре. Максимальная среднегодовая температура в регионе составляет около 10.3°C. Согласно расположению станций, максимальные среднегодовые температуры на уровне моря имеют следующие значения: Хачмаз (14.5°C) и Набран (13.6°C), в то время как на высокогорьях Шахдаг температура составляет наименьшие значения – 3.7°C.

Если рассмотреть максимальные показатели среднемесячной температуры воздуха по станциям за отдельные годы в период с 1961 по 2022 годы, то экстремальные значения были зафиксированы следующим образом: в январе 5.6°C (1966, Алтыагадж), в феврале 5.6°C (2022, Хачмаз), в марте 9.3°C (2008, Алтыагадж), в апреле 14.9°C (2012, Губа), в мае 19.6°C (2018, Хачмаз), в июне 25.6°C (2019, Хачмаз), в июле 28.0°C (2018, Хачмаз),

в августе 27.2°C (2021, Хачмаз), в сентябре 24.3°C (1979, Хачмаз), в октябре 20.8°C (1979, Хачмаз), в ноябре 13.6°C (1979, Хачмаз) и в декабре 9.0°C (1979, Агстафа).

Таблица 3

Максимальное и минимальное распределение температуры воздуха по месяцам (1961-2022)

Т, ^{0}C	Станция	Месяцы												İİ
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
$T_{мак}$	Шахдаг	-4.9	-3.6	-0.3	3.4	7.8	12.1	16.4	15.7	12.7	6.6	1.5	-2.1	3.7
	Крыз	2.4	6.2	5.4	9.2	12.1	22.7	19.0	18.9	16.6	10.2	8.8	5.5	7.5
	Хыналыг	1.3	0.9	6.1	10.6	13.0	17.6	20.3	20.0	14.7	11.8	6.1	5.2	8.5
	Халтан	3.9	3.2	8.1	12.6	16.2	21.4	24.0	23.5	17.6	12.8	6.8	5.4	10.6
	Алтыагадж	5.6	5.5	9.3	12.4	16.7	20.6	24.8	23.5	21.0	17.4	9.2	7.5	11.2
	Губа	2.9	4.3	7.8	14.9	19.0	23.9	26.0	26.0	20.7	15.4	10.0	6.9	12.8
	Хачмаз	5.5	5.6	9.1	14.0	19.6	25.6	28.0	27.2	24.3	20.8	13.6	9.0	14.5
	Набран	5.4	5.0	7.2	12.2	17.8	23.0	25.3	26.0	21.4	17.7	11.0	8.1	13.6
	Регион	**2.8**	**2.7**	**6.6**	**11.2**	**15.3**	**20.9**	**23.0**	**22.6**	**18.6**	**14.1**	**8.4**	**5.7**	**10.4**
$T_{мин}$	Шахдаг	-8.6	-10.1	-8.0	-1.1	4.8	8.2	9.8	8.2	6.8	1.5	-8.8	-8.4	1.0
	Крыз	-11.4	-11.3	-5.0	0.2	3.6	7.1	11.0	10.9	7.4	1.5	-5.7	-8.3	3.5
	Хыналыг	-9.8	-8.0	-4.7	0.4	5.2	9.5	11.0	10.5	8.0	4.1	-6.0	-8.9	2.4
	Халтан	-9.2	-6.0	-1.6	4.0	9.4	14.7	17.1	12.1	12.0	5.3	-2.7	-5.8	7.0
	Алтыагадж	-8.8	-7.4	-1.9	4.2	7.8	12.9	14.9	14.9	11.8	5.2	-4.9	-4.1	7.4
	Губа	-7.4	-5.3	-1.2	5.4	6.5	13.9	19.8	19.1	14.0	7.1	0.0	-2.9	9.1
	Хачмаз	-4.2	-2.3	1.6	4.8	10.0	17.5	20.3	22.0	16.7	4.6	2.9	-0.3	11.4
	Набран	-3.8	-4.8	0.5	6.5	13.3	17.0	22.0	21.5	18.2	7.8	4.4	-0.7	11.7
	Регион	**-7.9**	**-6.9**	**-2.5**	**3.1**	**7.6**	**12.8**	**15.7**	**14.9**	**11.8**	**4.6**	**-2.6**	**-4.9**	**6.7**

В северной части прибрежного региона Каспийского моря были проанализированы минимальные значения средних температур (Таблица 3). В этом районе за многолетний период (1961-2022) нижний предел минимальных средних месячных температур наблюдается в январе (-7.9°C) и феврале (-6.9°C), при этом все метеостанции зафиксировали отрицательные значения. Минимальная температура в марте составила (-2.5°C). В этом месяце только в станциях, расположенных в прибрежных низменностях, температура была ниже 0°C. Этот показатель постепенно повышается с апреля (3.1°C), мая (7.6°C) и июня (12.8°C). Минимальная средняя температура достигает своего максимума в июле (15.7°C) и августе (14.9°C). Сентябрь (11.8°C) - это месяц, когда минимальная средняя температура начинает снижаться, а в октябре она уменьшается до 4.6°C. В ноябре этот показатель падает ниже 0°C (-2.6°C), а в декабре достигает -4.9°C. В ноябре низкогорьях и в декабре на прибрежных низменностях фиксируются отрицательные температуры. Среднегодовая минимальная температура на северо-востоке Большого Кавказа составляет 6.7°C, однако на отдельных метеостанциях этот показатель варьируется в пределах от 1.0°C до 11.7°C.

В регионе были рассмотрены минимальные экстремумы, наблюдаемые в отдельные месяцы за многолетний период на метеорологических станциях. Этот показатель составил в январе -11.4°C (1972, Кырыз), в феврале -11.3°C (1976, Кырыз), в марте -8.0°C (2012, Шахдаг), в апреле -1.1°C (2019, Шахдаг), в мае 3.6°C (1990, Кырыз), в июне 8.2°C (2013, Шахдаг), в июле 9.8°C (2013, Шахдаг), в августе 8.2°C (2020, Шахдаг), в сентябре 6.8°C (2019, Шахдаг), в октябре 1.5°C (1977, Кырыз; 2011, Шахдаг), в ноябре -8.8°C (2011, Шахдаг), в декабре -8.9°C (2002, Хыналыг). Экстремумы более высоких температур чаще всего фиксировались на станциях Шахдаг и Кырыз, так как они расположены на больших высотах.

Распределение средней месячной температуры воздуха в регионе в течение года вызывает различные сезонные показатели. Сезонные средние значения изменяются в зависимости от расположения гидрометеорологических станций в пределах высотных поясов. Для всех сезонов соответствующие показатели уменьшаются от прибрежных равнин к высоким горным районам.

В северной части прикаспийского региона самым тёплым временем года является лето. Средняя температура летом в прибрежных низменных районах (Набран, Хачмаз) и в низкогорьях на высоте 500...600 м (Губа) составляет около 22...24°C (рисунок 1).

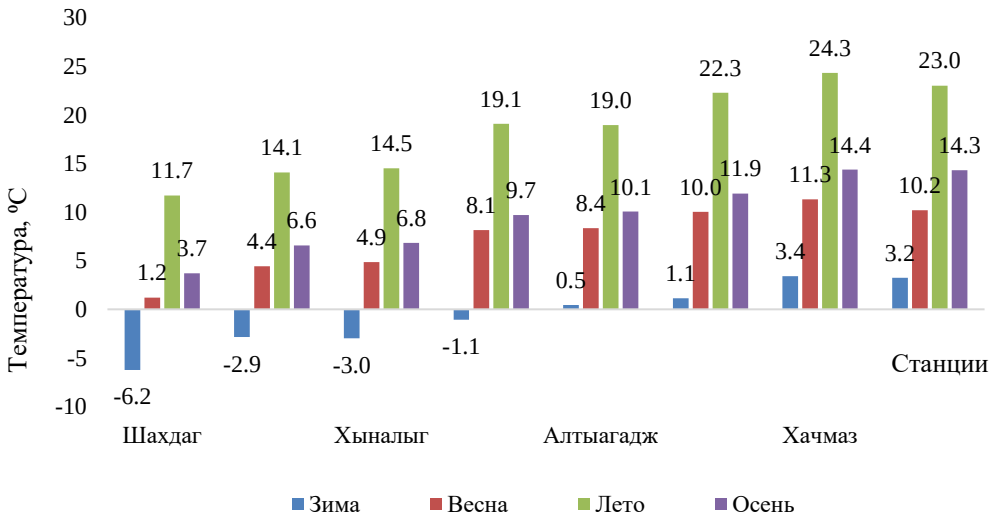


Рисунок 1. *Сезонное распределение температуры воздуха на северо-восточном склоне Большого Кавказа*

В верхней части средней горной зоны (1000...1200 м) этот показатель падает до 19°C. В нижней части высокогорных районов на высоте 2700 м (Шахдаг) средняя температура летом составляет 11...12°C.

Весна и осень характеризуются меньшей температурной изменчивостью. В зависимости от местоположения, средняя температура в сезоны варьируется от 1 до 11°C весной и от 3 до 14°C осенью, начиная от прибрежных территорий и до низкогорных районов. Зима несколько жестче: в нижней части средней горной зоны температура составляет от 0 до 3°C, в нижней части высокогорных районов - от -1°C до -6°C.

Средняя зимняя температура становится более жесткой с увеличением высоты. Среднегодовые показатели температуры воздуха на северо-восточных склонах Большого Кавказа были отображены на карте с использованием технологий ГИС. Карта была смоделирована на основе 3D-модели реального пространства, преобразованного из спутниковых снимков в формат DEM (Цифровая модель рельефа). В 3D-файле, разделенном на реальные высоты, отображены соответствующие температурные показатели. На карте также указаны важные природные и антропогенные объекты. Как видно из карты, большая часть территории покрыта низкогорными и равнинными районами. Эти территории являются самыми теплыми в регионе. Среднегодовая температура воздуха, начиная с 3000 м, становится отрицательной, что, вероятно, указывает на начало линии снегового покрова на этой высоте (рисунок 2).

ГИС-анализ показал, что в северной части прибрежного региона Хазар, который охватывает Конагкенд и Самур-Девечинскую физическую области Большого Кавказа, территория с абсолютной высотой до 500 м составляет 42.9% общей площади области, а средняя температура воздуха здесь составляет около 12...14°C. Площадь, расположенная на высоте от 501 до 1000 м, составляет 19.9%, средняя температура воздуха в этом районе колеблется от 10 до 12°C. 13.6% региона находится на высоте от 1001 до 1500 м, где температура составляет от 8 до 10°C. 8.7% территории расположено на высоте от 1501 до 2000 м, средняя температура воздуха здесь составляет от 6 до 8°C. 6.4% территории находится на высоте от 2001 до 2500 м, температура здесь варьируется от 4 до 6°C. Высокогорная часть региона, расположенная на высоте от 2501 до 3000 м, составляет 4.4% общей площади области (температура от 2 до 4°C), территория на высоте от 3001

до 3500 м составляет 3% (температура от 0 до 2°C), а территория выше 3501 м составляет 1.1% общей площади, где температура воздуха ниже 0°C. На равнинных территориях средняя годовая температура воздуха составляет 12...14°C, на низкогорных – 10...12°C, на средней высоте - от 4 до 8°C, а на высокогорных территориях температура ниже 4°C.

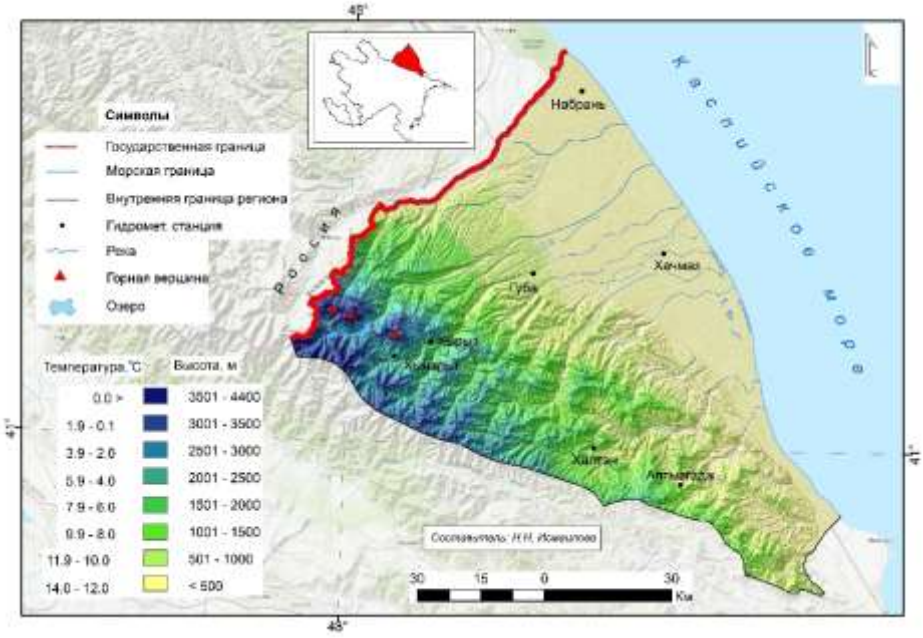


Рисунок 2. *Среднегодовые показатели температуры воздуха (1991…2022)*

Известно, что эта территория является одной из тех, где широко распространены зеленые ландшафты (леса, лесо - степные и другие). Наличие высокой температуры на прибрежных территориях способствует ускорению испарения, началу адвекционных движений в более высокие районы и формированию процессов конвекции в среднегорьях в течение всего года.

Если посмотреть на график многолетней динамики температуры воздуха в северной части прикаспийского региона, можно заметить, что среднегодовые показатели температуры воздуха на всех станциях региона со временем увеличиваются (рисунок 3).

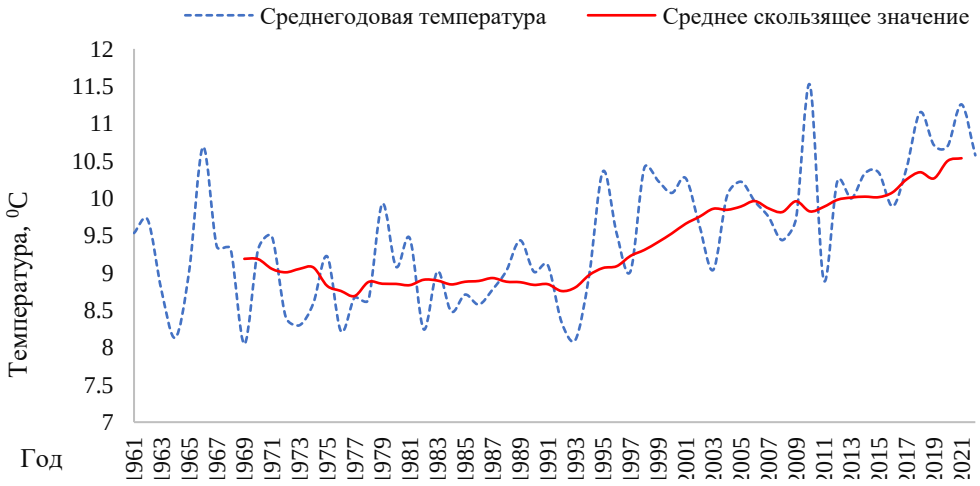


Рисунок 3. *Динамика среднегодовой температуры воздуха в северной части Прикаспийского региона*

На графике показаны усреднённые показатели станций региона с полными временными рядами. С помощью этого метода отслеживалась среднегодовая динамика температуры воздуха в регионе. Как видно из графика, на линии тренда наблюдается положительный наклон, и в течение всего периода отмечается повышение температуры. Коэффициент детерминации показывает, что 40% среднегодовых температурных показателей находятся выше линии тренда.

Анализы тенденций, хотя и отражают изменения за общий период, не могут выразить колебания в небольших фазах многолетнего периода. С этой целью на график добавлена линия скользящего среднего для сглаживания резких выбросов в отдельные годы на протяжении многолетнего периода. График скользящего среднего показывает, что многолетняя температура воздуха начала расти более резко с 1994 года (v = 0.6 °C/год) по сравнению с периодом 1961...1993 годов (v = –0.4°C/год). В регионе в 1961-1983 годах значительных колебаний температуры воздуха не наблюдалось.

В исследовании методом выборки (фильтрации) были выделены холодные и тёплые годы на основе среднегодовых температурных показателей гидрометеорологических станций с полными временными рядами за 1961...2022 гг. Результаты показывают, что самые тёплые годы в регионе - 1966, 1995, 1998, 2010, 2017...2022 гг., а самые холодные годы - 1964, 1969, 1972, 1973, 1976, 1982, 1984, 1986, 1992, 1993 гг. Изучая многолетние данные, можно заметить, что 90 % тёплых лет пришлись на период после 1995 года, а все холодные годы были до 1993 года. Это указывает на усиление современного потепления в регионе, начавшееся после 1993 года. Если не учитывать отдельные годы, то динамика всех станций изменялась с положительным трендом.

В последние годы вызывает интерес исследование воздействия изменения климата на северо-восточные склоны Большого Кавказа. В исследовании по сравнению с базовым периодом в 1991...2022 гг. определено влияние климатических изменений в горном регионе (рисунок 4).

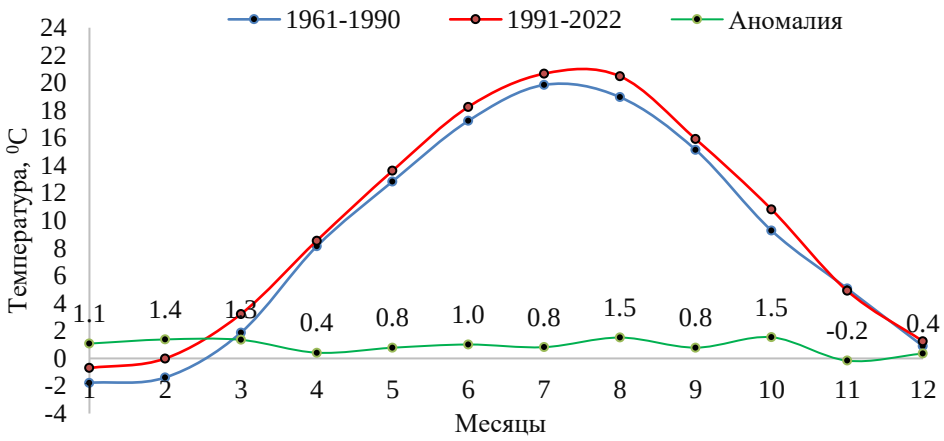


Рисунок 4. *Колебания температуры воздуха в 1991…2022 гг. по сравнению с базовым периодом*

Анализы показывают, что в последние годы повышение температуры воздуха в январе, феврале, марте, июне, августе и ноябре находится на высоком уровне, в диапазоне 1...1.5°C. В регионе в апреле, мае, июле, сентябре и декабре наблюдались колебания температуры в пределах 0.4...0.8°C. В ноябре изменения температуры были незначительными. За многолетний период с 1961 по 2022 год повышение температуры воздуха в регионе составило 0.9°C. На территории региона максимальное повышение температуры воздуха достигло в июне и августе. Если рассмотреть отдельные станции, то наибольшее повышение температуры наблюдалось в Губе (2.0°C в августе; 1.8°C в ноябре), в Халтане (1.8°C в ноябре) и в Хачмазе (1.8°C в августе).

Исследования динамики температуры воздуха в регионе за период с 1961 по 2022 годы был проведен по десятилетиям (рисунок 5). Если взглянуть на график, можно увидеть, что температура в регионе уменьшалась до 1990 года, однако с 1991 года она стабильно увеличивалась. Более низкие температуры воздуха были зафиксированы в период с 1971 по 1990 годы.

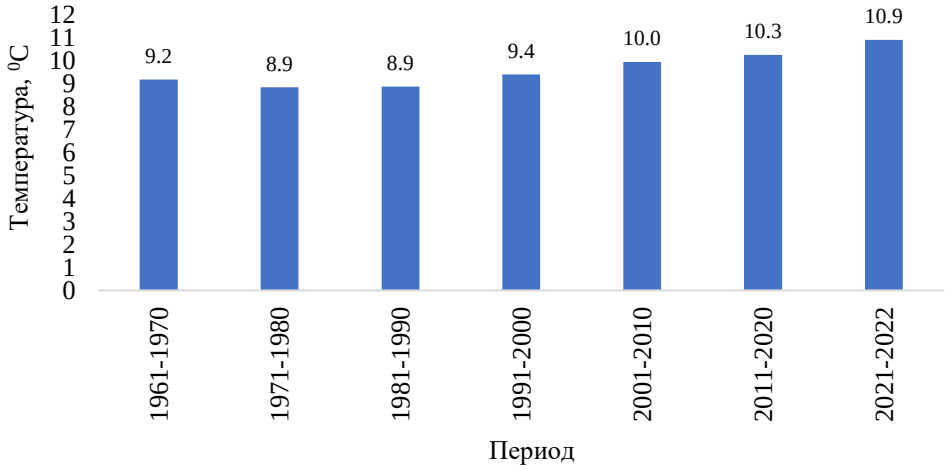


Рисунок 5. *Динамика температуры воздуха в северной части Прикаспийского региона*

Если сравнивать эти десятилетия, начиная с 1961...1970 годов, то температура воздуха в 1971...1980 годах снизилась на 0.3°C, в 1981...1990 годах осталась неизменной, в 1991...2000 годах увеличилась на 0.5°C, в 2001...2010 годах - на 0.6°C, в 2011...2020 годах - на 0.3°C, а в 2021...2022 годах - на 0.6°C. Этот показатель, по сравнению с самым холодным периодом (1971...1990 годы), в 2010...2020 годах увеличился на 1.4°C. Это свидетельствует о резком усилении изменений климата в последние годы.

Полученные результаты, в сравнении с результатами предыдущих исследований, подтверждают их и доказывают наличие многолетних колебаний температурного режима воздуха в регионе, заметных изменений и усиление воздействий климатических изменений [11, 17].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа данных наблюдений за температурой воздуха на северо-восточном склоне Большого Кавказского хребта за период с 1961 по 2022 годы были выявлены следующие выводы.

1. В регионе самый холодный месяц - январь (-1.8°C), самый тёплый - июль (19.2°C). Разница температуры между самым холодным и самым тёплым месяцем составляет 21°C.

2. В равнинных районах среднегодовая температура воздуха составляет 12...14°C, в низкогорьях – 10...12°C, в среднегорьях – 5...10°C, а в высокогорьях температура ниже 4°C.

3. Среднегодовые показатели температуры воздуха во всем регионе увеличились в период с 1961 по 2022 год. Основной рост показателей начался с 1990 года.

4. Сравнительно с 1961...1990 годами, средняя годовая температура в период с 1991 по 2022 год увеличилась в среднем на 0.9°C. За год наибольшее повышение температуры составило 1.5°C в августе и октябре.

Региональные климатические изменения, особенно резкое увеличение в теплый период года, приведут к смещению климатической снеговой линии вверх, эволюции лесов, частым и резким наводнениям в реках, а также расширению территорий полупустынного и сухо-степного климата в низкогорных и равнинных районах. Учитывая, что каналы, снабжающие питьевой водой Апшеронский полуостров, где расположена крупная агломерация страны, питаются из подземных и поверхностных водных ресурсов этого региона, ожидается увеличение дефицита воды, что является

одним из ожидаемых экологических бедствий. Результаты этого исследования могут сыграть роль в изучении современного температурного режима в регионе, пересмотре температурных карт, а также в развитии туризма и сельского хозяйства. Исследование воздействий климатических изменений позволит реализовать адаптационные и митигационные меры в этом регионе.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ДжСГ.; Управление данными – ННИ.; Формальный анализ – ДжСГ, ННИ; Методология – ДжСГ; Программное обеспечение – ДжСГ, ННИ; Отслеживание – ДжСГ, ННИ; Визуализация – ННИ; Написание исходного проекта – ДжСГ, ННИ; Написание и редактирование – ННИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусейнов, Н.Ш. Синоптическая метеорология / Н.Ш. Гусейнов. Баку: Сэда, 2011. 316 с. [на азербайджанском]
2. Гусейнов, Дж.С. Современные особенности изменения климата в северо-восточной части Большого Кавказа // Материалы международной научной конференции на тему «Актуальные проблемы современных природных и экономических наук», Гянджа: 13-14 июня 2022 года. С. 33-37. [на азербайджанском]
3. Махмудов, Р.Н. Современные изменения климата и опасные гидрометеорологические явления / Р.Н. Махмудов. Баку: Национальная академия авиации, 2018. 232 с. [на азербайджанском]
4. Гусейнов, Дж.С. Особенности распределения многолетнего температурного режима на территории Азербайджана // Москва: Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2020. № 4, с. 110-116.
5. Национальный Атлас Азербайджанской Республики [Атлас] / Баку: Государственный Комитет по Земле и Картографии, 2014. 444 с. [на азербайджанском]
6. География Азербайджанской Республики. Физическая география [Том I] / Х.К. Танрывердиев, Г.А. Халилов, М.Ю. Халилов [и др.]. Баку: Европа, 2015. 530 с. [на азербайджанском]
7. Хошахлах, Ф., Катигари, А. Ш., Сабури, Ш. Х., Моджатеди, Н. Ф., Пур, Ф. М., & Оскуйе, Э. А. (2016). Тенденция изменений температуры поверхности Каспийского моря. Изменения природной среды, 2(1), 57–66. [на английском]
8. Молави-Арабшахи, М., Арпе, К., Леруа, С. А. Г. (2016). Осадки и температура в юго-западном регионе Каспийского моря за последние 55 лет: их тенденции и теле-связи с крупномасштабными атмосферными явлениями. Международный журнал климатологии, 36, 2156–2172. https://doi.org/10.1002/joc.4483. [на английском]
9. Кутель, Х. (2010). Обзор влияния Северного море – Каспийского паттерна (NCP) на режимы температуры и осадков на Ближнем Востоке. В: Гёкчекус, Х., Тюркер, У., ЛаМоро, Дж. (ред.) Выживание и устойчивость. Шпрингер, Берлин, Гейдельберг. https://doi.org/10.1007/978-3-540-95991-5_122. [на английском]
10. Климат Азербайджана / Э.М.Шихлинский [и др.]. Баку: изд. Академии Наук Азерб. ССР, 1968. 360 с.
11. Huseynov, N.Sh., Huseynov, J.S. Distribution of the Contemporary Precipitation Regime and the Impact of Climate Change on it within the Territory of Azerbaijan // Barcelona: Journal of Geography & Natural Disasters, 2022. Vol. 12, Is. 4, №:1000254, p.1-7.
12. Халилов, С.Г. Месячные и годовые нормы температуры воздуха и атмосферных осадков в Азербайджанской Республике (1691-1990 гг.) / С.Г. Халилов, С.Г. Сафаров – Баку: Ширваннешр, 2001. 29 с. [на азербайджанском]
13. Махмудов, Р.Н., Дадашова, Ф.С., Расулов, З.Р. Анализ метеорологических условий высокогорной территории Шахдаг // Труды Азербайджанского географического общества, География и природные ресурсы, №2 (17), Баку, 2022, с.3-9. [на азербайджанском]
14. Иманов, Ф.А. Статистические методы в гидрометеорологии / Ф.А. Иманов. Баку: MBM, – 2011, 272 с. [на азербайджанском]
15. Хюсейнли, Ш.С., Джанмамедова, Р.Р., Садыгова, Т.Р., Аббасова, К.А. Оценка влияния изменения климата на температуру поверхностных вод западного побережья Среднего Каспийского моря // Материалы научно-практической конференции на тему «Развитие водного хозяйства Азербайджана связано с именем общенационального лидера Гейдара Алиева», Баку, 5 мая 2023, с. 456-460. [на азербайджанском]
16. Магеррамова, М.М. Оценка современного состояния тепловых ресурсов в экономическом районе Куба-Хачмаз на фоне региональных климатических изменений //Труды Азербайджанского географического общества, XVI том, Баку, 2011, с. 231-233. [на азербайджанском]
17. Сафаров, С.Х., Магеррамова, М.М. Оценка многолетних тенденций изменения средних и экстремальных температур в Куба-Хачмазском экономическом районе // Проблемы обеспечения экологической безопасности природно-хозяйственных систем в рамках географических исследований. Труды Азербайджанского географического общества. XIV том, Баку, 2009, с. 394-400. [на азербайджанском]

REFERENCES

1. Huseynov, N.Sh. Sinopticheskaya meteorologiya. Baku: Seda, 2011. 316 p. [In Azerbaijani].
2. Huseynov, J.S. Sovremennye osobennosti izmeneniya klimata v severo-vostochnoy chasti Bol'shogo Kavkaza // Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Aktual'nye problemy sovremennykh prirodnykh i ekonomicheskikh nauk». Ganja, June 13–14, 2022. P. 33-37. [In Azerbaijani].
3. Makhmudov, R.N. Sovremennye izmeneniya klimata i opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya. Baku: Natsional'naya akademiya aviatsii, 2018. 232 p. [In Azerbaijani].
4. Huseynov, J.S. Osobennosti raspredeleniya mnogoletnego temperaturnogo rezhima na territorii Azerbaidzhana // Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy. Moscow, 2020. No. 4. P. 110-116. [In Russian].

5. Natsional'nyi Atlas Azerbaidzhanskoy Respubliki [Atlas]. Baku: Gosudarstvennyi Komitet po Zemle i Kartografii, 2014. 444 p. [In Azerbaijani].
6. Geografiya Azerbaidzhanskoy Respubliki. Fizicheskaya geografiya [Vol. I] / Tanryverdiev Kh.K., Khalilov G.A., Khalilov M.Yu. et al. Baku: Evropa, 2015. 530 p. [In Azerbaijani].
7. Khoshahlakh, F., Katigari, A.Sh., Sabouri, Sh.H., Modjatedi, N.F., Pour, F.M., Oskouyeh, E.A. (2016). Trend of sea surface temperature changes in the Caspian Sea. Environmental Change, 2(1), 57–66.
8. Molavi-Arabshahi, M., Arpe, K., Leroy, S.A.G. (2016). Precipitation and temperature in the south-western Caspian Sea region over the last 55 years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena. International Journal of Climatology, 36, 2156–2172. https://doi.org/10.1002/joc.4483.
9. Kutiel, H. (2010). Review of the impact of the North Sea–Caspian Pattern (NCP) on temperature and precipitation regimes in the Middle East. In: Gökçekus, H., Türker, U., LaMoreaux, J. (eds.) Survival and Sustainability. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-95991-5_122.
10. Klimat Azerbaidzhana / Shikhlinskii E.M. et al. Baku: Akademiya Nauk AzSSR, 1968. 360 p. [In Russian].
11. Huseynov, N.Sh., Huseynov, J.S. Distribution of the Contemporary Precipitation Regime and the Impact of Climate Change on it within the Territory of Azerbaijan. Journal of Geography & Natural Disasters, 2022, Vol. 12, Is. 4, No. 1000254, P. 1-7.
12. Khalilov, S.G., Safarov, S.G. Mesyachnye i godovye normy temperatury vozdukha i atmosfernykh osadkov v Azerbaidzhanskoy Respublike (1691–1990 gg.). Baku: Shirvanneshr, 2001. 29 p. [In Azerbaijani].
13. Makhmudov, R.N., Dadashova, F.S., Rasulov, Z.R. Analiz meteorologicheskikh uslovii vysokogornoi territorii Shakhdag. Trudy Azerbaidzhanskogo geograficheskogo obshchestva. Geografiya i prirodnye resursy, 2022, No. 2(17), P. 3-9. [In Azerbaijani].
14. Imanov, F.A. Statisticheskie metody v gidrometeorologii. Baku: MBM, 2011. 272 p. [In Azerbaijani].
15. Huseynli, Sh.S., Dzhanmamedova, R.R., Sadygova, T.R., Abbasova, K.A. Otsenka vliyaniya izmeneniya klimata na temperaturu poverkhnostnykh vod zapadnogo poberezh'ya Srednego Kaspiya. Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Razvitie vodnogo khozyaistva Azerbaidzhana svyazano s imenem obshchenatsional'nogo lidera Geidara Alieva». Baku, May 5, 2023. P. 456-460. [In Azerbaijani].
16. Magerramova, M.M. Otsenka sovremennogo sostoyaniya teplovykh resursov v ekonomicheskom raione Kuba-Khachmaz na fone regional'nykh klimaticheskikh izmenenii. Trudy Azerbaidzhanskogo geograficheskogo obshchestva, Vol. XVI. Baku, 2011. P. 231-233. [In Azerbaijani].
17. Safarov, S.Kh., Magerramova, M.M. Otsenka mnogoletnikh tendentsii izmeneniya srednikh i ekstremal'nykh temperatur v Kuba-Khachmazskom ekonomicheskom raione. Trudy Azerbaidzhanskogo geograficheskogo obshchestva, Vol. XIV. Baku, 2009. P. 394-400. [In Azerbaijani].

ҮЛКЕН ҚАВҚАЗДЫҢ СОЛТҮСТІК-ШЫҒЫС ЖОТАСЫНДАҒЫ АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫ РЕЖИМІНІҢ ҚАЗІРГІ СИПАТТАМАЛАРЫ

Джамал С. Гусейнов[1] PhD, Наила Н. Исмайлова[2]

[1] Ұлттық Авиация Академиясы, Баку, Әзірбайжан; camal_huseynov_88@mail.ru
[2]Экология және Табиғи Ресурстар Министрлігі, Ұлттық Гидрометеорология Қызметі, Баку, Әзірбайжан; naile_ismayilova40@mail.ru
Автор корреспондент: Джамал С. Гусейнов, camal_huseynov_88@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

ауа температурасы,
ауа температурасының аномалиясы,
климаттың өзгеруі,
DEM,
көпжылдық динамика,
тренд

АБСТРАКТ

Зерттелетін нысан – Үлкен Кавказдың солтүстік-шығыс жотасы, ол сондай-ақ Каспий маңы өңірінің солтүстік-батыс бөлігі болып табылады. Зерттеуде климаттың өзгеруінің Үлкен Кавказдың каспий маңы бөлігіндегі көпжылдық температуралық режимге әсері қарастырылады. Талдауларда 1961...2022 жылдар аралығындағы 8 гидрометеорологиялық станцияның бақылау деректері пайдаланылды. 1991...2022 жж. кезеңіндегі ауаның температуралық өзгерістері базалық кезеңмен (1961...1990 жж.) салыстырмалы түрде талданды. Белгілі болғандай, мұнда қазіргі жылу режимінің ерекшеліктері қарастырылған: ең төменгі температура қаңтар айына, ал ең жоғарғысы шілде айына сәйкес келеді. Қысқы кезеңде орташа айлық температура орташа таулы белдеудің төменгі бөлігінен (1000...1200 м) бастап биік таулы аймақтарға дейін 0°С-тан төмен теріс мәндерге ие. 1961...2022 жылдар аралығындағы онжылдық температуралық өзгерістер сарапталды. 1990 жылдан бастап аймақта температураның күрт өсуі байқалды. Базалық кезеңмен салыстырғанда 1991...2022 жылдары жылдық орташа температура 0,9°С-қа көтерілген. Жазық өңірлерде жылдық орташа температура 12...14°С, аласа таулы аймақтарда – 10...12°С, орташа таулы белдеуде – 5...10°С, ал биік таулы өңірлерде – 4°С-тан төмен. Желтоқсан айында (0.4°С) қыс маусымының басталуымен температура төмендеп, орташа таулы белдеудің төменгі бөлігінен биік таулы аймақтарға қарай орташа айлық

Мақала жайында:
Жіберілді: 05.03.2025

Қайта қаралды: 21.08.2025
Қабылданды: 22.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

температура 0°C-тан төмен түседі. Жыл ішінде ең жоғарғы температуралық өсім (1.5°C) тамыз және қазан айларында байқалады.
Зерттеу нәтижелері жаңа инфрақұрылым салу, өнеркәсіп пен ауыл шаруашылығын дамыту барысында қолданылуы мүмкін. Климаттық өзгерістердің салдарын анықтау өңірде бейімделу және зардаптарды жұмсарту шараларын кеңейтуге мүмкіндік береді.

MODERN CHARACTERISTICS OF AIR TEMPERATURE REGIME ON THE NORTHEASTERN SLOPE OF THE GREATER CAUCASUS

Jamal Huseynov[1] PhD, Naila Ismayilova[2]

[1] Azerbaijan Airlines CJSC, National Academy of Aviation, Baku, Azerbaijan; camal_huseynov_88@mail.ru
[2] Ministry of Ecology and Natural Resources, National Hydrometeorological Service, Baku, Azerbaijan; naile_ismayilova40@mail.ru
Corresponding author: Jamal Huseynov, camal_huseynov_88@mail.ru

KEY WORDS

air temperature,
temperature anomaly,
climate change,
DEM,
long-term dynamics,
trend

ABSTRACT

The studied object is the northeastern slope of the Greater Caucasus, which is also the northwestern part of the Caspian region. The study examines the impact of climate change on the long-term thermal regime of the Caspian part of the Greater Caucasus. The analyses used observational data from eight hydrometeorological stations for the period 1961...2022. A comparative analysis of air temperature changes in the region for 1991...2022 with the baseline period (1961...1990) was carried out. As is known, the contemporary characteristics of the thermal regime are considered here: it has been established that the lowest temperature occurs in January, while the highest occurs in July. During the winter period, the mean monthly temperature from the lower part of the middle mountain belt (1000...1200 m) up to the high mountains has negative values below 0 °C. Decadal changes in air temperature for the period 1961...2022 were examined. It was established that since 1990 a sharp increase in temperature has been observed in the region. Compared to the baseline period, the mean annual temperature increased by 0.9°C in 1991...2022. In the lowland areas, the mean annual temperature is 12-14°C; in the low-mountain areas, 10-12°C; in the middle-mountain areas, 5...10 °C; and in the high-mountain areas, below 4°C. In December (0.4°C), with the onset of winter, the temperature decreases, and from the lower parts of the middle mountains to the high mountains, the mean monthly temperature drops below 0°C. During the year, the maximum temperature increase (1.5°C) is observed in August and October.
The results of the study can be used in the construction of new infrastructure, as well as in the development of industry and agriculture. Determining the consequences of climate change will allow expanding measures to mitigate the impacts in the region.

About article:
Received: 05.03.2025
Revised: 21.08.2025
Accepted: 22.09.2025
Published: 01.10.2025

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).

Гидрометеорология и экология

Научная статья

РЕГИОНАЛЬНАЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ МОНИТОРИНГОВАЯ СЕТЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА АГРОЦЕНОЗОВ ЗАСУШЛИВЫХ ОБЛАСТЕЙ КАЗАХСТАНА

Андрей А. Бондарович[1]к.г.н., доцент, Даурен М. Нурекенов[1*], Мархаба А. Карменова[1]PhD, Нурасыл Жомарткан[1], Юрий С. Каменев[2] к.с.н.

[1]Лаборатория цифровых технологий и моделирования, Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан; a9130262571@gmail.com (ААБ.), dnurekenov@gmail.com (ДМН), mmm_0582@mail.ru (МАК), nurasyl.1998@mail.ru (НЖ)
[2]Крестьянское хозяйства Хамзин, ВКО, Казахстан; kam.kz@internet.ru (ЮСК)
*Автор корреспондент: Даурен М. Нурекенов, e-mail: dnurekenov@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

агрометеорологическая сеть,
влажность почвы,
гидротермический коэффициент
Селянинова

АБСТРАКТ

В статье обсуждается актуальность проведения наземного инструментального мониторинга за ходом температуры и влаги в почве в условиях дефицита водных ресурсов в засушливых регионах мира. Приведено описание приборной базы агрометеорологических стационаров, развернутых в период 2021…2024 гг. в рамках проектов Министерства образования РК на базе фермерских хозяйств Восточно-Казахстанской области. Приведены предварительные результаты обработки измерений температуры и влажности почвы в метровом слое на поле, которое в течение вегетационных периодов 2022…2024 гг. находилось под сидеральным паром (Люцерна серповидная) на территории ТОО «Опытное хозяйство масличных культур». Измеряемые данные хорошо согласуются с результатами наблюдений Национальной сети «Казгидромет» и удовлетворительно отражают общую динамику хода критических параметров растениеводства в различные по влагообеспеченности вегетационные периоды 2022, 2023, 2024 года. Полученные результаты по динамике температуры воздуха, осадков, а также температуры и влажности почв в метровом слое могут быть полезны руководителям фермерских хозяйств при выборе севооборотов включая различные формы парования полей, которые повышают влагосбережение, что особенно актуально в засушливых условиях Казахстана. Результаты могут представлять интерес для страховых компаний и лиц, принимающим решения в сфере растениеводства.

По статье:
Получено: 13.05.2025
Пересмотрено: 3.09.2025
Принято: 26.09.2025
Опубликовано:01.10.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

Актуальность тематики мониторинга водных ресурсов для Республики Казахстан подтверждает мероприятие[1] «One Water Summit: Towards a Water-Sustainable World» состоявшийся в Эр-Рияде 3 декабря 2024 года. На фоне нарастающего дефицита водных ресурсов что требует их учета в различных формах сформировалась концепция «Зеленая вода» «Green water» к которой отнесены — атмосферные осадки (terrestrial precipitation), эвапорация (evaporation) и влажность почвы в корнеобитаемой зоне (root-zone soil moisture, далее RZSM). При этом основной акцент в данной концепции[2] сделан на RZSM.

Влажность почвы (soil moisture, далее SM) оказывает глубокое воздействие на круговорот воды, энергии, парниковых газов и климат[3…6]. Учет данного параметра позволяет более глубоко понимать разнообразные взаимосвязи в триаде: экосистема-атмосфера-океан и давать более точные прогнозы происходящих глобальных и

Для цитирования:
Бондарович А., Нурекенов Д., Карменова М., Жомарткан Н., Каменов Ю. Региональная агрометеорологическая сеть для прогнозирования водного режима агроценозов засушливых областей Казахстана // Гидрометеорология и экология, 118 (3), 2025, 34-47.

региональных климатических изменений [7]. Безусловно SM – параметр имеющий ключевое значение в растениеводстве и особое значение мониторинг SM преобретает в связи с внедрением инновационных технологий земледелия [8].

Основными источниками информации о поверхностной влажности почв (surface soil moisture, далее SSM) и RZSM являются наземные наблюдения (ground observation) (далее in-situ), инверсия данных дистанционного зондирования (remote sensing inversion) и методы ассимиляции данных (data assimilation methods)[9...13]. Программа ВМО Глобальная система наблюдений за климатом (англ. Global Climate Observing System, далее GCOS) предоставляет открытый доступ и возможность к обмену глобальными данными по SM на платформах: ESA Climate Change Initiative for Soil Moisture, Copernicus Climate Change Service, Soil Moisture Active Passive mission(далее SMAP, продукт NASA), Soil Moisture Ocean Salinity mission (далее SMOS, продукт ESA), Satellite ECV Inventory by the CEOS/CGMS Working Group on Climate (WGClimate), International Soil Moisture Network (далее ISMN) [14]. Среди перечисленных платформ только ISMN предоставляет результаты измерений in-situ SM с более чем 2800 датчиков по всему миру [15]. Несмотря на развитие дистанционных методов и моделирования данные in-situ по-прежнему являются более точными и необходимы для обучения и калибровки моделей [16] и среди наблюдений за SM выделяют: (a) гравиметрические измерения (признаны как эталон), (b) экспресс-измерения с помощью ручных устройств, (c) автоматические станции наблюдения, которые подходят для непрерывного наблюдения на разных глубинах [17…19]. В данной приведена архитектура и предварительный анализ функционирования мониторинговой сети в Восточно-Казахстанской области, которая позволяет получать с низкой погрешностью набор данных для комплексной агрометеорологической оценки.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследуемая территория.

Объектом исследования выбрана территория Восточно-Казахстанской, Абайской, Северо-Казахстанской, Акмолинской и Костанайской областях (рисунок 1), где в силу социально-экономических причин и наличию обширных площадей плодородных почв в середине 1950-х годов в СССР была развернута Целинная кампания, что привело к разнообразным эколого-экономическим проблемам, которые в настоящий момент могут обостриться на фоне глобальных изменений климата [20].

Климат территории исследования характеризуется следующими показателями: средняя температура января -22 ℃, июля +21 ℃., среднее количество осадков 300 мм - 450 мм, высокая эвапотранспирация до 900 мм, что ведет к дефициту почвенной влаги [21].

По классификации климатов Кёппена-Гейгера [22…23], к типу Dfa (Humid continental, no dry season, hot summer) относятся горные районы Восточно-Казахстанской и юг Костанайской областей; к типу Dfb (умеренный континентальный климат) – равнинная часть Восточно-Казахстанской, Акмолинская, Северо-Казахстанская, Павлодарская и Абайская области; к типу BSk (холодный степной климат) – юго-запад Абайской области [24]. Соответственно зонально распределяется растительность и почвы. Естественная растительность на исследуемой территории практически сведена в результате сельскохозяйственного освоения и это показательно на примере Северо-Казахстанской области [25]. На рисунке 1 по данным продукта MCD12Q1 так же хорошо видно, что в выбранном экстенте преобладают именно пахотные земли. В свою очередь Восточно-Казахстанская область, которая расположена в предгорной и горной зоне Южного Алтая [26], обладает большим разнообразием почвенно-климатических условий и в целом на ее территории представлены основные типы почв, характерные для исследуемой территории [27].

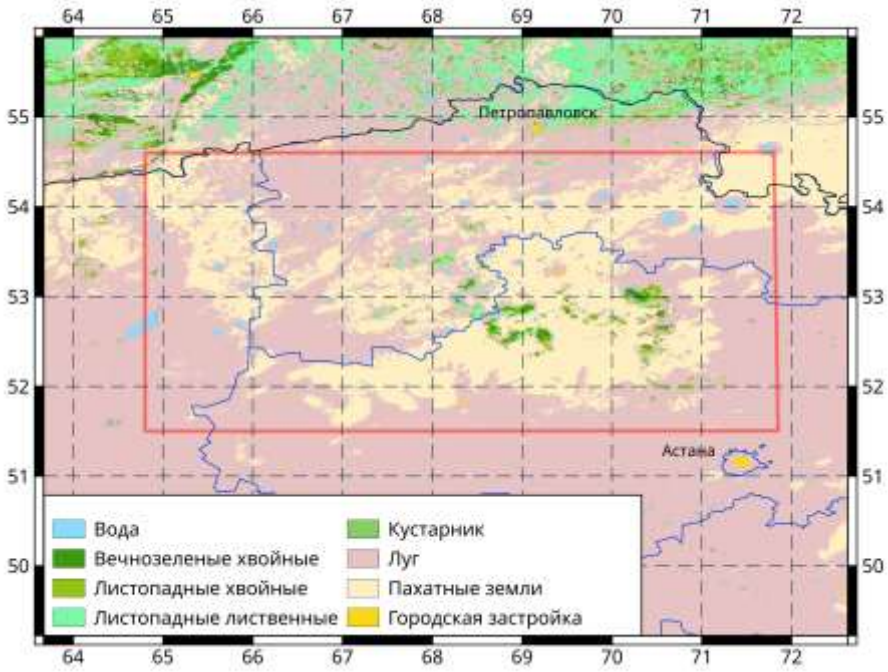


Рисунок 1. *Классификация типов подстилающей поверхности по данным продукта MCD12Q1 за 2024 г для территории Северного и Восточного Казахстана. Красными прямоугольниками обозначены области исследования (координаты 49.20…50.75 с.ш. 81.0…82.75 в.д)*

Материалы.

Мониторинговая сеть состоит из 3-х опорных стационаров, где установлены автоматические агрометеорологические станции в различных почвенно-климатических условиях Восточно-Казахстанской и соседней Абайской областей. Агрометеорологические станции оснащены стандартным набором измерительных приборов от ведущих мировых производителей (таблица 2).

Таблица 2

Основные характеристики приборов регистрации и датчиков агрометеорологической станции AWS310

Элемент станции/датчик (высота-глубина установки, см)	Параметры	Производитель, страна
Даталоггер, блок электроники метеостанции, смонтированный в боксе с радиационной защитой. (+150)	Даталоггер, источник питания 220В, регулятор заряда аккумулятора, резервный аккумулятор 12V/26Ah) – 1шт. Ethernet интерфейс для GSM роутера, 3G-модем, интерфейсы для датчиков: WXT536, Осадкомера RG13, QMT107, Delta PR2/6-SDI12, Мачта 2м, кабель для сервисного обслуживания.	ТОО «SKYMAX TECHNOLOGIES», РК
Мультисенсор «MeteoMS» WXT-536 (+200)	а) Скорость ветра: диапазон 0…60 м/с, точность +-0,3 м/с (2 %), разрешение 0,1 м/с; б) Направление ветра: диапазон 0 … 360°, точность +-2°, разрешение 1°; в) Осадки: площадь сбора 60 см², разрешение 0,01 мм, точность 5 %; г) Температура воздуха: диапазон -52 … 60 ℃, точность 20 ℃ +-0,3 ℃ , разрешение 0,1 ℃ ; д) Относительная влажность воздуха: диапазон 0 … 100 %, точность +-3 % (0 … 90 %), +-5 % (90 … 100 %), разрешение 0,1 %; е) Атмосферное	«Vaisala», Финляндия

Элемент станции/датчик (высота-глубина установки, см)	Параметры	Производитель, страна
	давление: диапазон 600 … 1100 гПа, точность+- 0,5 гПа (0 … 30 ℃), +-1 гПа (-52 … 60 ℃), разрешение 0,1 гПа.	
Осадкомер RG13 (+100)	Летние и зимние осадки. Плювиометр. Диаметр отверстия – 225 мм, Площадь отверстия – 400 см2, Количество дождевой воды – не ограничено, Чувствительность (дождевая вода на импульс) – 0,2 мм.	«Vaisala», Финляндия
Датчик температуры почвы QMT107 (+5, 0, -5, -10, -20, -50, -100).	Температура почвы: диапазоны от -40 до +80 ℃, точность +-0,3v.	«Vaisala», Финляндия
Датчик объемной влажности почвы PR2/6-SDI12 (-10, -20, -30,-40,-60, -100).	Принцип измерения (FDR), Объемная влажность почвы: диапазоны измерения 0...100% (точность +/-3 %); Стекловолоконная трубка для измерителя влажности почвы Delta PR2/6, длина 1 метр.	«Delta-T Devices», Великобритания

В соответствии с поставленными задачами для организации стационаров были выбраны репрезентативные в почвенно-климатическом отношении участки по градиенту общего увлажнения территории. Важным условием также является размещение стационаров на территории действующих фермерских хозяйств в непосредственной близостью с участками пашни (таблица 3 и рисунок 2). На стационаре «ОХМК 1» наблюдения проводятся с сентября 2021 года. На поле, где установлена станция «ОХМК 1» в течение трех лет произрастала люцерна серповидная (лат. *Medicago falcata*), которая, как и многие виды семейства Бобовых (*Fabaceae*) позволяет улучшать естественное плодородие почв. Кроме того, люцерна серповидная обладает хорошими адаптационными свойствами к различным экологическим факторам[28]. Наблюдения на данном стационаре позволят внести новые данные в многолетнюю дискуссию о целесообразности применении в севооборотах пара с позиции влагосбережения и улучшения естественного плодородия почв, а также применения различных видов пара-механический, химический или сидеральный[29].

Таблица 3

Места размещения агрометеорологических стационаров

№ Стационара, название, дата установки	Административная единица, фермерское хозяйство	Координаты WGS84	Почвенно-климатические условия
№1 «ОХМК 1», 20.09.2021	с. Солнечное, Усть-Каменогорск	50.085636 82.716296	Климат умеренно-влажный. Холодный период – с ноября по март. Минимум температуры воздуха в январе -49 ℃, в июле +4 ℃. Максимум – +8 ℃ в январе и +43 ℃ в июле. Среднегодовое кол-во осадков 519 мм. Тип почвы: Горные черноземы выщелоченные и оподзоленные*
№2 «Алтын Казан», 15.11.2024	с. Сулусары, Жарминский район, Абайская область, ТОО «Алтын Казан и К»	49.511944, 81.786111	Климат континентальный. Средние температуры января от -16 до -18 ℃, июля 20…22 ℃. Среднегодовое количество атмосферных осадков 200…300° мм. Тип почвы: предгорные темно-каштановые почвы*
№3 «ОХМК 2», 18.11.2024	с. Луговое, Шемонаихинский район,	50.738889, 81.816694	Климат умеренно-влажный. Холодный период – с ноября по март. Минимум температуры воздуха в

№ Стационара, название, дата установки	Административная единица, фермерское хозяйство	Координаты WGS84	Почвенно-климатические условия
	Восточно-Казахстанская область ТОО «Опытное хозяйство масличных культур»		январе -49 ℃, в июле +4 ℃. Максимум— +8 ℃ в январе и +43 ℃ в июле. Среднегодовое кол-во осадков 519 мм. Тип почвы: предгорные черноземы обыкновенные и южные*

* Название типов почв приведены по работе [27]



Рисунок 2. *Автоматическая агрометеорологическая станция на территории ТОО «Алтын Казан и К» (Фото Нурекенов, февраль 2025 г.)*

Для обработки и визуализации результатов анализа данных были использованы методы дескриптивной статистики и корреляционный анализ. Для выявления различий во влагообеспеченности вегетационных периодов был рассчитан гидротермический коэффициент Селянинова [30, 31], который рекомендован к использованию Всемирной метеорологической организацией [32].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В статье будут приведены результаты анализа данных 2022…2024 гг. только одного из стационаров («ОХМК 1»), организованном в 2021 году совместно с ТОО «Опытное хозяйство масличных культур». Измеряемые параметры следующие: температура воздуха [℃], солнечная радиация [W/m²], относительная влажность воздуха [%], сумма осадков [mm], влажность листа [%], скорость ветра [m/s], направление ветра -румбы [℃], атмосферное давление [kPa], температура [℃] и влажность [%] почвы каждые 10 см до глубины 100 см. За период с 2022 по 2024 годы в среднем регистрировалось от 719 до 744 измерений в месяц, что соответствует почти полному объёму суточных или почасовых наблюдений. Рассчитан один из важнейших агрометеорологических показателей - даты устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0, 5 и 10 °С. В качестве даты начала (окончания) вегетационного периода в международной практике [33…35] принят устойчивый переход среднесуточных температур воздуха через 5 ℃ (таблица 4).

Таблица 4

Даты перехода устойчивых среднесуточных температур воздуха через 0, 5 и 10 ℃ и продолжительность вегетационного периода в 2022…2024 гг. по данным «ОХМК1»

Год	Дата перехода устойчивых среднесуточных температур воздуха			
	через 0 ℃/обратный переход через 0 ℃	через 5 ℃/обратный переход через 5 ℃	через 10 ℃/обратный переход через 10 ℃	Продолжительность вегетационного периода, суток
2022	27.03…7.11	11.04…28.09	27.04…28.09	171
2023	10.04…26.10	22.04…23.10	5.05…23.09	185
2024	25.03…08.11	14.04…12.10	28.04 - 12.09	182

Самым продолжительным вегетационным периодом был 2023 год, а самый короткий вегетационный период 2022 года. Анализ данных за вегетационные периоды (май-октябрь 2022…2024 гг.) показал, что наиболее теплообеспеченным был период 2023 г. наиболее увлажненными периодами, были 2023 и 2024 гг. Для этой цели был произведен также расчет гидротермического коэффициента Селянинова (таблица 5). Из таблицы 5. видно, что, основным лимитирующим фактором в степной зоне является сумма осадков, так как варьирование суммы активных температур для благоприятного роста по культурам отмечается в довольно широком диапазоне [35]. Несмотря на самые низкие значения ГТК в 2022 году, с точки зрения растениеводства 2022 год был относительно благоприятным благодаря структуре распределения осадков по вегетационному периоду. Наиболее важными для формирование будущего урожая являются май-июнь частично июль и сумма осадков за эти месяцы распределилась следующим образом: 2022 год – 119.8 мм, 2023 год – 58 мм, 2024 год – 172.4 мм. Наиболее неблагоприятным 2023 год, когда засуха в июне и июле, связанная с практическим отсутствием осадков июнь – 9 мм, июль – 14 мм и сравнительно высокими значениям солнечной радиации июнь – 7040.8 Вт/м^2, июль – 6169.8 Вт/м^2 и среднемесячными температурами воздуха июнь – 20.4 ℃, июль – 21.4 ℃ (таблица 5), что в итоге привело к катастрофическим потерям почвенной влаги. В июне-июле 2023 отмечены самые низкие значения влаги в корнеобитаемом слое до 30 см (таблица 6.), а также сравнительно высокие значения температуры почвы (таблица 7). Кроме того, мы видим, что основной объем осадков в 2023 году пришелся на время уборочной кампании - август, сентябрь, октябрь, когда избыточные осадки, как и во время посевной являются негативным фактором [36]. Важно отметить, что осадки август-октябрь 2023 года позволили сформировать сравнительно хороший стартовый влагозапас в метровом слое почвы 2024 года (234 мм) (таблица 7), который пополнился также осадками мая (70 мм) (таблица 5). Затем влагозапас на фоне высоких температур июня и июля уменьшился и держался на уровне 180 мм/м. В целом полученные данные по «ОХМК1» подтвердили умеренный прогноз на развитие засушливых явлений по Восточному Казахстану на 2024 год [37].

Таблица 5

Среднемесячные температура и влажность воздуха, сумма осадков, скорость ветра и солнечная радиация, и ГТК Селянинова за вегетационные периоды 2022…2024 гг. по данным «ОХМК1»

Месяц	Средняя температура воздуха, ℃	Средняя солнечная радиация, Вт/м2	Сумма осадков, мм	Средняя влажность воздуха, %	Средняя скорость ветра, м/с	Сумма осадков (Т > 10 ℃)	Сумма температур (Т > 10 ℃)	ГТК Селянинова
2022 год								
май	17.88	6354.90	10.6	48.68	1.23	115.6	2782.03	0.42
июнь	19.12	6224.50	66	73.82	0.97			
июль	19.75	6359.06	43.2	71.29	0.81			

август	16.59	5818.00	12.8	72.81	0.71			
сентябрь	13.90	3688.03	7	53.28	0.96			
октябрь	5.61	2264.45	55.4	65.26	1.09			
Среднее / сумма	15.47	5118.16	195	64.19	0.96			
2023 год								
май	12.98	6224.29	34.8	0.05	1.16			
июнь	20.42	7040.80	9	0.79	0.80			
июль	21.39	6169.81	14.2	11.50	0.65			
август	19.08	4988.52	84.4	6.37	0.40	242.4	2794.31	0.87
сентябрь	12.55	3002.70	115.6	5.04	0.37			
октябрь	8.07	1920.48	110.4	1.24	0.70			
Среднее / сумма	15.75	4891.10	368.4	4.16	0.68			
2024 год								
май	15.18	5543.61	70	0.40	0.82			
июнь	20.07	6768.57	39.2	3.86	0.32			
июль	21.73	6002.03	63.2	5.18	0.27			
август	20.10	5217.74	42	0.37	0.38			
сентябрь	10.02	3464.40	49	0.02	0.33	228.4	2777.8	0.82
октябрь	6.38	1851.81	43.6	0.01	0.48			
Среднее / сумма	15.58	4808.03	307	1.64	0.43			

Таблица 6

Среднемесячные данные по объемной влажности почвы на 6 уровнях (0…60 см) и влагозапас в метровом слое за вегетационные периоды 2022…2024 гг.

	Глубины(см)							
Год/Месяц	**0(soil_1)**	**10(soil_2)**	**20 (soil_3)**	**30 (soil_4)**	**40 (soil_5)**	**50 (soil_6)**	**60 (soil_7)**	**Влагозапас в метровом слое. (soil_9)**
2022								
май	2.04	18.43	36.99	41.12	35.49	32.89	30.65	318.29
июнь	6.97	15.19	26.15	36.31	33.83	32.89	30.97	317.85
июль	4.19	9.23	19.55	30.53	32.01	32.47	30.41	307.20
август	2.96	8.48	16.09	26.08	30.91	31.74	29.29	248.28
сентябрь	1.09	7.06	14.95	24.38	30.26	31.48	28.78	242.14
октябрь	7.35	7.26	18.00	24.17	29.37	30.83	28.09	239.04
Среднее	4.10	10.94	21.95	30.43	31.98	32.05	29.70	278.80
2023								
май	4.43	16.21	26.35	29.60	32.88	30.07	35.36	222.09
июнь	0.89	4.93	12.10	19.13	22.01	23.20	29.73	190.72
июль	1.29	4.17	11.38	17.43	18.95	19.22	23.61	131.65
август	7.92	12.91	19.18	21.09	19.51	18.58	22.21	119.06
сентябрь	11.02	15.36	20.12	21.13	20.70	18.64	22.03	115.31

октябрь	18.85	25.59	34.04	31.36	30.81	23.22	23.79	125.30
Среднее	7.40	13.20	20.53	23.29	24.14	22.15	26.12	150.69
2024								
май	7.54	13.57	23.44	26.80	29.21	29.82	32.24	234.18
июнь	5.62	6.69	16.02	21.54	22.49	23.42	27.03	204.12
июль	3.41	6.86	15.36	20.70	21.53	22.33	25.34	182.70
август	2.12	5.12	14.33	20.29	21.72	22.33	25.38	187.12
сентябрь	5.07	11.22	21.15	22.89	20.52	21.33	24.64	180.53
октябрь	5.26	13.34	20.05	21.23	20.01	20.84	24.02	172.82
Среднее	4.84	9.47	18.39	22.24	22.58	23.34	26.44	193.45

Таблица 7

Среднемесячные данные по температуре почвы на 6 уровнях (0…60 см) за вегетационные периоды 2022…2024 гг.

Глубины(см)							
Год/Месяц	**0(temp_1)**	**10 (temp_2)**	**20(temp_3)**	**30 (temp_4)**	**40 (temp_5)**	**50 (temp_5)**	**60 (temp_7)**
2022							
май	20.71	18.45	17.02	15.37	14.37	13.51	12.54
июнь	21.42	20.48	19.59	18.29	17.59	16.94	16.17
июль	22.28	21.44	20.73	19.59	18.99	18.39	17.70
август	19.05	18.56	18.24	17.40	17.13	16.88	16.50
сентябрь	15.71	15.77	15.80	15.19	15.13	15.10	14.90
октябрь	6.02	7.17	7.94	7.88	8.32	8.82	9.24
Среднее	17.53	16.98	16.55	15.62	15.26	14.94	14.51
2023							
май	13.84	13.04	12.08	10.77	10.17	9.72	9.17
июнь	22.06	19.74	18.12	16.45	15.58	14.96	14.24
июль	23.60	21.84	20.56	19.18	18.49	17.87	17.19
август	18.87	18.93	18.77	17.98	17.78	17.54	17.21
сентябрь	12.26	13.35	13.79	13.47	13.70	13.93	14.02
октябрь	7.59	8.74	9.19	8.90	9.13	9.50	9.82
Среднее	16.37	15.94	15.42	14.46	14.14	13.92	13.61
2024							
май	15.15	14.20	13.32	12.03	11.49	11.01	10.44
июнь	18.70	17.61	16.67	15.31	14.68	14.20	13.60
июль	22.58	21.23	20.44	19.16	18.54	17.89	17.21
август	20.07	19.92	19.89	19.15	18.94	18.64	18.25
сентябрь	9.66	11.58	12.34	12.17	12.52	12.91	13.14
октябрь	5.44	6.92	7.50	7.27	7.56	7.98	8.37
Среднее	15.27	15.24	15.03	14.18	13.95	13.77	13.50

Для понимания согласованности хода критических параметров приведем график динамики отдельным параметров внутри вегетационного периода 2022 года: ход температуры воздуха и температуры почвы на поверхности (0 см), 10 см и 20 см (рисунок 3), а также суммы осадков и влажности почвы в 20 см слое (рисунок 4). Кроме того, приводим динамику температуры воздуха и осадков за этот же период метеостанции Казгидромета «Усть-Каменогорск» (номер ID 5008270). На графике видна хорошая согласованность: а)

хода температуры воздуха и осадков по станции «ОХМК1» и «Усть-Каменогорск»; б) хода температуры воздуха и почвы на трех уровнях (0…20 см). При этом видим перегрев поверхности почвы, наблюдаемый в мае, июне и июле. Подобный перегрев как правило зависит от выбранной технологии земледелия [38]. Например, технологии, исключающие глубокую обработку почвы и мульчирование, демонстрируют в течение вегетации оптимальные температуры для развития и роста растений [39].

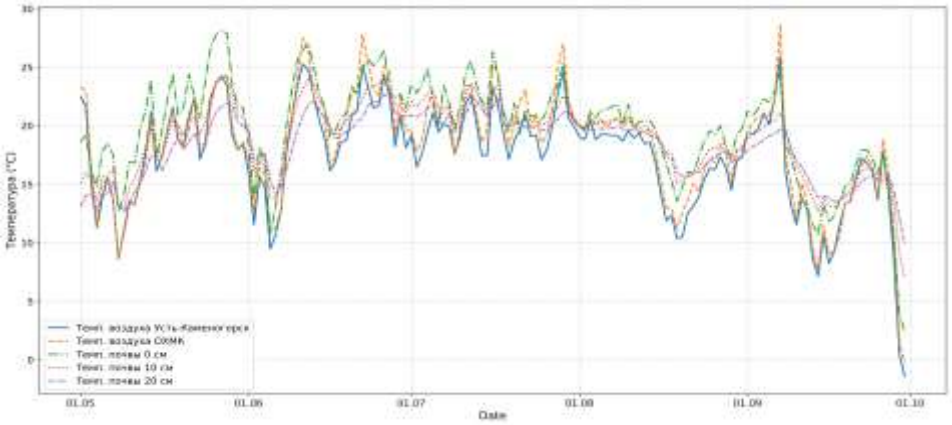


Рисунок 3. *Ход температуры воздуха и температуры почвы 0, 10, 20 см за вегетационный период (1 мая…30 сентября) 2022 года*

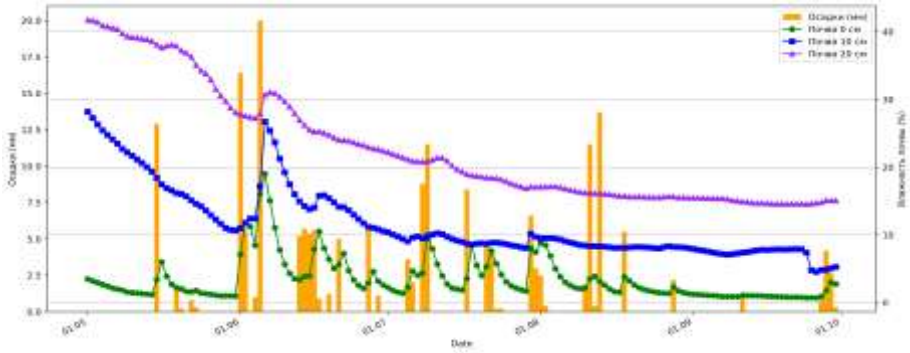
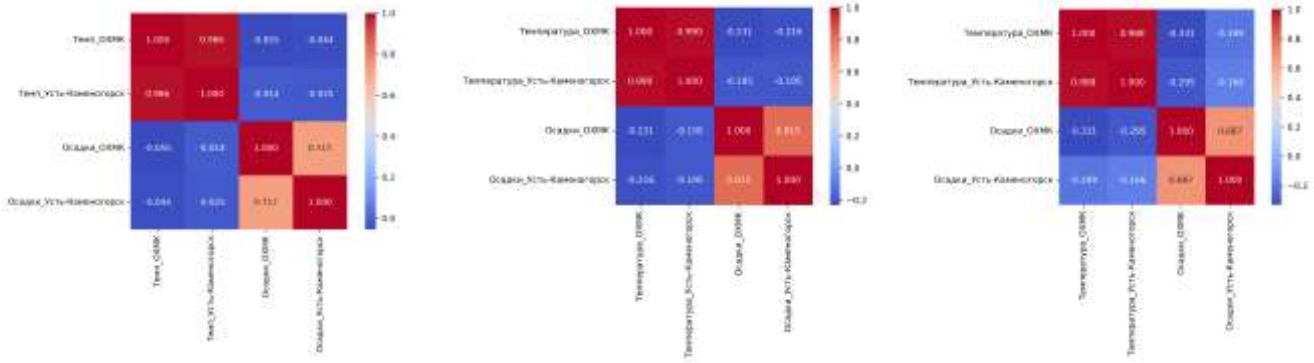


Рисунок 4. *Ход осадков и влажности почвы 0, 10, 20 см за вегетационный период (1 мая…30 сентября) 2022 года*

Хорошую согласованность между ходом параметров на станциях «ОХМК 1» и «Усть-Каменогорск» (номер ID 5008270) демонстрируют тепловые карты, отображающих коэффициенты корреляции Пирсона между среднесуточной температурой воздуха и суммой осадков (Рисунок 5, а,б,в).



а) 2022 год б) 2023 в) 2024

Рисунок 5. *Корреляция температуры и осадков за вегетационные периоды 2022…2024 гг. между станциями «ОХМК 1» и «Усть-Каменогорск»*

На 5 рисунке видно, что наиболее высокая корреляция температурных показателей между станциями фиксировалась в 2023 году (r ≈ 0.99), тогда как в 2022 и 2024 годах значения были несколько ниже. Это подтверждает общую синфазность температурного режима региона, при этом 2023 год можно охарактеризовать как наиболее климатически стабильный по температурному фону. Такая стабильность создаёт благоприятные условия для построения единых температурных сценариев при прогнозировании вегетационного развития культур. Показатели корреляции осадков традиционно демонстрировали большую изменчивость. В 2023 году отмечалась наиболее высокая положительная корреляция между станциями по величинам осадков (r ≈ 0.82), что указывает на синхронность атмосферных процессов, определяющих влагозапасы. В 2022 и особенно в 2024 году уровень корреляции был ниже, что может свидетельствовать об усилении локальных конвективных процессов и нестабильности атмосферной циркуляции.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате предварительного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Существующая мониторинговая сеть состоит из высокоточных современных измерительных приборов, данные измерения которых хорошо согласуются с результатами наблюдений Национальной сети «Казгидромет» и удовлетворительно отражают общую динамику хода критических параметров растениеводства в различные по влагообеспеченности вегетационные периоды 2022, 2023, 2024 года.

2. Данные организуемой агрометеорологической сети возможно использовать для калибровки прогнозных климатических моделей и валидации данных ДЗЗ.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании получены авторами из открытых и платных источников.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ААБ; управление данными – ДМН, НЖ; формальный анализ – ААБ, МАК; методология – ААБ; руководство –МАК, ААБ; визуализация – ДМН, НЖ; написание исходного текста –ААБ; написание и редактирование окончательного текста – ДМН, НЖ.

БЛАГОДАРНОСТЬ

При необходимости указывается информация.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках грантового финансирования по научным и научно-техническим программам на 2024–2026 гг. по теме «Мониторинг и прогнозирование водного режима агроценозов Казахстана в условиях глобальных изменений климата» (ИРН AP23489072).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саммит "Единая вода": на пути к миру, устойчивому к воздействию воды [Электрон. ресурс] // Министерство водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан. – URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/water/documents/details/783067?lang=ru (дата обращения: 28.01.2025).
2. Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., Van der Ent, R. J., Fetzer, I., te Wierik, S., Porkka, M., ... & Rockström, J. (2022). A planetary boundary for green water. Nature Reviews Earth & Environment, 3(6), 380-392. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8
3. Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., ... & Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. Earth-Science Reviews, 99(3-4), 125-161. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004
4. Liu, Y., & Li, Y. (2019). Synergy and trade-off between carbon sequestration and soil water balance: impact of revegetation choices. Environmental Earth Sciences, 78(23), 651.
5. Humphrey, V., Berg, A., Ciais, P., Gentine, P., Jung, M., Reichstein, M., ... & Frankenberg, C. (2021). Soil moisture–atmosphere feedback dominates land carbon uptake variability. Nature, 592(7852), 65-69. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03325-5
6. Boyer, T., Bartow-Gillies, E., Abida, A., Ades, M., Adler, R., Adusumilli, S., ... & Feely, R. A. (2023). Introduction [in “State of the Climate in 2022 “]. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0090.1

7. Qiao, L., Zuo, Z., Zhang, R., Piao, S., Xiao, D., & Zhang, K. (2023). Soil moisture–atmosphere coupling accelerates global warming. Nature Communications, 14(1), 4908. https://doi.org/10.1038/s41467-023-40641-y
8. Zhang, X., Feng, G., & Sun, X. R. (2024). Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture. Journal of Agriculture and Food Research, 101473. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101473
9. Albergel, C., Rüdiger, C., Pellarin, T., Calvet, J. C., Fritz, N., Froissard, F., ... & Martin, E. (2008). From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter: an assessment of the method based on in-situ observations and model simulations. Hydrology and Earth System Sciences, 12(6), 1323-1337. https://doi.org/10.5194/hess-12-1323-2008
10. Li, P., Zha, Y., Shi, L., Tso, C. H. M., Zhang, Y., & Zeng, W. (2020). Comparison of the use of a physical-based model with data assimilation and machine learning methods for simulating soil water dynamics. Journal of Hydrology, 584, 124692., ISSN 0022-1694. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124692
11. Wyatt, B. M., Ochsner, T. E., & Zou, C. B. (2021). Estimating root zone soil moisture across diverse land cover types by integrating in-situ and remotely sensed data. Agricultural and Forest Meteorology, 307, 108471. Qin Jun, Tian Jiaxin, Yang Kun, Lu Hui, Li Xin, Yao Ling, Shi Jiancheng, Bias correction of satellite soil moisture through data assimilation, Journal of Hydrology, Volume 610, 2022, 127947, ISSN 0022-1694. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127947
12. Qin, J., Tian, J., Yang, K., Lu, H., Li, X., Yao, L., & Shi, J. (2022). Bias correction of satellite soil moisture through data assimilation. Journal of Hydrology, 610, 127947, ISSN 0022-1694. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127947
13. Liu, E., Zhu, Y., Lü, H., Horton, R., Gou, Q., Wang, X., ... & Pan, Y. (2023). Estimation and assessment of the root zone soil moisture from near-surface measurements over Huai River Basin. Atmosphere, 14(1), 124. https://doi.org/10.3390/atmos14010124
14. Global Climate Observing System (GCOS) https://gcos.wmo.int/ru/node/24885
15. Dorigo, W., Himmelbauer, I., Aberer, D., Schremmer, L., Petrakovic, I., Zappa, L., ... & Sabia, R. (2021). The International Soil Moisture Network: serving Earth system science for over a decade. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2021, 1-83. https://doi.org/10.5194/hess-25-5749-2021
16. Ikonen, J., Vehviläinen, J., Rautiainen, K., Smolander, T., Lemmetyinen, J., Bircher, S., & Pulliainen, J. (2016). The Sodankylä in situ soil moisture observation network: An example application of ESA CCI soil moisture product evaluation. Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems, 5(1), 95-108. https://doi.org/10.5194/gi-5-95-2016
17. Reynolds, S. G. (1970). The gravimetric method of soil moisture determination Part IA study of equipment, and methodological problems. Journal of Hydrology, 11(3), 258-273. https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90066-1
18. Robinson, D. A., Campbell, C. S., Hopmans, J. W., Hornbuckle, B. K., Jones, S. B., Knight, R., ... & Wendroth, O. (2008). Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review. Vadose zone journal, 7(1), 358-389. https://doi.org/10.2136/vzj2007.0143
19. Hodges, B., Tagert, M. L., Paz, J. O., & Meng, Q. (2023). Assessing in-field soil moisture variability in the active root zone using granular matrix sensors. Agricultural Water Management, 282, 108268, ISSN 0378-3774. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108268
20. Беляев, В. И., Силантьева, М. М., Никулин, А. М., & Бондарович, А. А. (2021). Кулунда: сельское хозяйство и низкоэмиссионные технологии устойчивого землепользования: коллективная монография. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/temperaturnyy-rezhim-vozduha-i-pochvy-po-dannym-meteorologicheskoy-i-pochvenno-gidrologicheskoy-monitoringovoy-seti-v-kulundinskoy (дата обращения: 07.04.2025).
21. Nyssanbayeva, A. S., Cherednichenko, A. V., Cherednichenko, V. S., Abayev, N. N., & Madibekov, A. S. (2019). Bioclimatic conditions of the winter months in Western Kazakhstan and their dynamics in relation to climate change. International journal of biometeorology, 63, 659-669.
22. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
23. Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Scientific data, 5(1), 1-12. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214
24. Kazakhstan. Climate Change Overview Country Summary. The Climate Change Knowledge Portal (CCKP) [Электронный ресурс: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/kazakhstan (дата обращения 28.01.2025)].
25. Пермитина В. Н., Байбулов А. Б. Растительность лесостепной зоны Северного Казахстана, классификация и антропогенная трансформация // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2019. – Т. 18, № 1. – С. 360–364. – DOI: https://doi.org/10.14258/pbssm.2019072.
26. Chupakhin, V. Physical Geography of Kazakhstan; Mektep Press: Almaty, Kazakhstan, 1968; p. 260. [Google Scholar]
27. Uspanov, U.U.; Evstifeev, Y.G.; Storozhenko, D.M.; Lobova, E.V.; Kolkhozhaev, M.K.; Kotin, N.I.; et al. Soil Map of the Kazakh SSR; Ed. Voronina, L.M.; Scale: 1 cm to 25 km. Available online: http://www.etomesto.ru/map-kazakhstan_pochva-1976/ (accessed on 19 March 2025).
28. Осипова В. В. Влияние разных доз минеральных удобрений на формирование надземной массы люцерны серповидной в условиях мерзлотных засоленных почв Якутии // Вестник Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева. – 2021. – № 2 (47). – С. 54–58.
29. Żarczyński, P. J., Krzebietke, S. J., Sienkiewicz, S., & Wierzbowska, J. (2023). The Role of Fallows in Sustainable Development. Agriculture, 13(12), 2174. https://doi.org/10.3390/agriculture13122174
30. Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата //Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Т. 20. – С. 165-177.
31. Селянинов Г. Т. Принципы агроклиматического районирования СССР //Вопросы агроклиматического районирования СССР. М.: МСХ СССР. – 1958. – С. 7-14.
32. Svoboda, M., & Fuchs, B. (2016). World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series, 2. [Электронный https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf (дата обращения 12.02.2024)].
33. Crabtree, B. (2010). In Search for Sustainability in Dryland Agriculture, Crabtree Agricultural Consulting, Australia. 204. URL: www. no-till. com. au (19. 3. 2023.).

34. Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., & Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. International journal of agricultural sustainability, 7(4), 292-320.
35. Байшоланов С. С. и др. Агроклиматическое районирование сельскохозяйственных культур в Северном Казахстане //Гидрометеорология и экология. – 2017. – №. 3 (86). – С. 17-28.
36. Саранча, сайгаки, засуха и ливни. 2023 год назвали худшим для аграриев [Электрон. ресурс]. – 2023. – URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/sarancha-saygaki-zasuha-livni-2023-god-nazvali-hudshim-510903/ (дата обращения: 28.01.2025).
37. Засуху прогнозируют в следующем агросезоне в Казахстане [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://apk-news.kz/news/item-4319 (дата обращения: 12.04.2025).
38. Ральф М., Беляев В. И., Бондарович А. А., Понькина Е. В., Щербинин В. В., Быков Н. И. Сравнительный анализ температурного режима южных черноземов в условиях сухостепной зоны Кулундинской равнины Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 11 (157). – С. 48–56.
39. Беляев В. И., Бондарович А. А., Понькина Е. В., Щербинин В. В., Шмидт Г., Мацюра А. В., ... Рудев Н. В. Температурный режим воздуха и почвы по данным метеорологической и почвенно-гидрологической мониторинговой сети в Кулундинской равнине за вегетационные периоды 2013–2016 гг. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (149). – С. 30–37.

REFERENCES

1. Sammit "Edinaya voda": na puti k miru, ustojchivomu k vozdejstviyu vody [Elektron. resurs] // Ministerstvo vodnyh resursov i irrigacii Respubliki Kazahstan. – URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/water/documents/details/783067?lang=ru (data obrashcheniya: 28.01.2025).
2. Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., Van der Ent, R. J., Fetzer, I., te Wierik, S., Porkka, M., ... & Rockström, J. (2022). A planetary boundary for green water. Nature Reviews Earth & Environment, 3(6), 380-392. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8
3. Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., ... & Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. Earth-Science Reviews, 99(3-4), 125-161. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004
4. Liu, Y., & Li, Y. (2019). Synergy and trade-off between carbon sequestration and soil water balance: impact of revegetation choices. Environmental Earth Sciences, 78(23), 651.
5. Humphrey, V., Berg, A., Ciais, P., Gentine, P., Jung, M., Reichstein, M., ... & Frankenberg, C. (2021). Soil moisture–atmosphere feedback dominates land carbon uptake variability. Nature, 592(7852), 65-69. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03325-5
6. Boyer, T., Bartow-Gillies, E., Abida, A., Ades, M., Adler, R., Adusumilli, S., ... & Feely, R. A. (2023). Introduction [in "State of the Climate in 2022 "].https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0090.1
7. Qiao, L., Zuo, Z., Zhang, R., Piao, S., Xiao, D., & Zhang, K. (2023). Soil moisture–atmosphere coupling accelerates global warming. Nature Communications, 14(1), 4908. https://doi.org/10.1038/s41467-023-40641-y
8. Zhang, X., Feng, G., & Sun, X. R. (2024). Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture. Journal of Agriculture and Food Research, 101473. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101473
9. Albergel, C., Rüdiger, C., Pellarin, T., Calvet, J. C., Fritz, N., Froissard, F., ... & Martin, E. (2008). From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter: an assessment of the method based on in-situ observations and model simulations. Hydrology and Earth System Sciences, 12(6), 1323-1337. https://doi.org/10.5194/hess-12-1323-2008
10. Li, P., Zha, Y., Shi, L., Tso, C. H. M., Zhang, Y., & Zeng, W. (2020). Comparison of the use of a physical-based model with data assimilation and machine learning methods for simulating soil water dynamics. Journal of Hydrology, 584, 124692., ISSN 0022-1694. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124692
11. Wyatt, B. M., Ochsner, T. E., & Zou, C. B. (2021). Estimating root zone soil moisture across diverse land cover types by integrating in-situ and remotely sensed data. Agricultural and Forest Meteorology, 307, 108471. Qin Jun, Tian Jiaxin, Yang Kun, Lu Hui, Li Xin, Yao Ling, Shi Jiancheng, Bias correction of satellite soil moisture through data assimilation, Journal of Hydrology, Volume 610, 2022, 127947, ISSN 0022-1694. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127947
12. Qin, J., Tian, J., Yang, K., Lu, H., Li, X., Yao, L., & Shi, J. (2022). Bias correction of satellite soil moisture through data assimilation. Journal of Hydrology, 610, 127947, ISSN 0022-1694. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127947
13. Liu, E., Zhu, Y., Lü, H., Horton, R., Gou, Q., Wang, X., ... & Pan, Y. (2023). Estimation and assessment of the root zone soil moisture from near-surface measurements over Huai River Basin. Atmosphere, 14(1), 124. https://doi.org/10.3390/atmos14010124
14. Global Climate Observing System (GCOS) https://gcos.wmo.int/ru/node/24885
15. Dorigo, W., Himmelbauer, I., Aberer, D., Schremmer, L., Petrakovic, I., Zappa, L., ... & Sabia, R. (2021). The International Soil Moisture Network: serving Earth system science for over a decade. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2021, 1-83. https://doi.org/10.5194/hess-25-5749-2021
16. Ikonen, J., Vehviläinen, J., Rautiainen, K., Smolander, T., Lemmetyinen, J., Bircher, S., & Pulliainen, J. (2016). The Sodankylä in situ soil moisture observation network: An example application of ESA CCI soil moisture product evaluation. Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems, 5(1), 95-108. https://doi.org/10.5194/gi-5-95-2016
17. Reynolds, S. G. (1970). The gravimetric method of soil moisture determination Part IA study of equipment, and methodological problems. Journal of Hydrology, 11(3), 258-273. https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90066-1
18. Robinson, D. A., Campbell, C. S., Hopmans, J. W., Hornbuckle, B. K., Jones, S. B., Knight, R., ... & Wendroth, O. (2008). Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review. Vadose zone journal, 7(1), 358-389. https://doi.org/10.2136/vzj2007.0143
19. Hodges, B., Tagert, M. L., Paz, J. O., & Meng, Q. (2023). Assessing in-field soil moisture variability in the active root zone using granular matrix sensors. Agricultural Water Management, 282, 108268, ISSN 0378-3774. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108268
20. Belyaev, V. I., Silant'eva, M. M., Nikulin, A. M., & Bondarovich, A. A. (2021). Kulunda: sel'skoe hozyajstvo i nizkoemissionnye tekhnologii ustojchivogo zemlepol'zovaniya: kollektivnaya monografiya. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/temperaturnyy-rezhim-vozduha-i-pochvy-po-dannym-meteorologicheskoy-i-pochvenno-gidrologicheskoy-monitoringovoy-seti-v-kulundinskoy (data obrashcheniya: 07.04.2025).

21. Nyssanbayeva, A. S., Cherednichenko, A. V., Cherednichenko, V. S., Abayev, N. N., & Madibekov, A. S. (2019). Bioclimatic conditions of the winter months in Western Kazakhstan and their dynamics in relation to climate change. International journal of biometeorology, 63, 659-669.
22. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
23. Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Scientific data, 5(1), 1-12. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214
24. Kazakhstan. Climate Change Overview Country Summary. The Climate Change Knowledge Portal (CCKP) [Elektronnyj resurs: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/kazakhstan (data obrashcheniya 28.01.2025)].
25. Permitina V. N., Bajbulov A. B. Rastitel'nost' lesostepnoj zony Severnogo Kazahstana, klassifikaciya i antropogennaya transformaciya // Problemy botaniki YUzhnoj Sibiri i Mongolii. – 2019. – T. 18, № 1. – S. 360–364. – DOI: https://doi.org/10.14258/pbssm.2019072.
26. Chupakhin, V. Physical Geography of Kazakhstan; Mektep Press: Almaty, Kazakhstan, 1968; p. 260. [Google Scholar]
27. Uspanov, U.U.; Evstifeev, Y.G.; Storozhenko, D.M.; Lobova, E.V.; Kolkhozhaev, M.K.; Kotin, N.I.; et al. Soil Map of the Kazakh SSR; Ed. Voronina, L.M.; Scale: 1 cm to 25 km. Available online: http://www.etomesto.ru/map-kazakhstan_pochva-1976/ (accessed on 19 March 2025).
28. Osipova V. V. Vliyanie raznyh doz mineral'nyh udobrenij na formirovanie nadzemnoj massy lyucerny serpovidnoj v usloviyah merzlotnyh zasolennyh pochv YAkutii // Vestnik Severo-Kazahstanskogo universiteta im. M. Kozybaeva. – 2021. – № 2 (47). – S. 54–58.
29. Żarczyński, P. J., Krzebietke, S. J., Sienkiewicz, S., & Wierzbowska, J. (2023). The Role of Fallows in Sustainable Development. Agriculture, 13(12), 2174. https://doi.org/10.3390/agriculture13122174
30. Selyaninov G. T. O sel'skohozyajstvennoj ocenke klimata //Trudy po sel'skohozyajstvennoj meteorologii. – 1928. – T. 20. – S. 165-177.
31. Selyaninov G. T. Principy agroklimaticheskogo rajonirovaniya SSSR //Voprosy agroklimaticheskogo rajonirovaniya SSSR. M.: MSKH SSSR. – 1958. – S. 7-14.
32. Svoboda, M., & Fuchs, B. (2016). World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series, 2. [Электронный https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf (дата обращения 12.02.2024)].
33. Crabtree, B. (2010). In Search for Sustainability in Dryland Agriculture, Crabtree Agricultural Consulting, Australia. 204. URL: www. no-till. com. au (19. 3. 2023.).
34. Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., & Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. International journal of agricultural sustainability, 7(4), 292-320.
35. Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., & Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. International journal of agricultural sustainability, 7(4), 292-320.
36. Bajsholanov S. S. i dr. Agroklimaticheskoe rajonirovanie sel'skohozyajstvennyh kul'tur v Severnom Kazahstane //Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2017. – №. 3 (86). – S. 17-28.
37. Sarancha, sajgaki, zasuha i livni. 2023 god nazvali hudshim dlya agrariev [Elektron. resurs]. – 2023. – URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/sarancha-saygaki-zasuha-livni-2023-god-nazvali-hudshim-510903/ (data obrashcheniya: 28.01.2025).
38. Zasuhu prognoziruyut v sleduyushchem agrosezone v Kazahstane [Elektron. resurs]. – Rezhim dostupa: https://apk-news.kz/news/item-4319 (data obrashcheniya: 12.04.2025).
39. Ral'f M., Belyaev V. I., Bondarovich A. A., Pon'kina E. V., SHCHerbinin V. V., Bykov N. I. Sravnitel'nyj analiz temperaturnogo rezhima yuzhnyh chernozemov v usloviyah suhostepnoj zony Kulundinskoj ravniny Altajskogo kraya // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – № 11 (157). – S. 48–56.
40. Belyaev V. I., Bondarovich A. A., Pon'kina E. V., SHCHerbinin V. V., SHmidt G., Macyura A. V., ... Rudev N. V. Temperaturnyj rezhim vozduha i pochvy po dannym meteorologicheskoj i pochvenno-gidrologicheskoj monitoringovoj seti v Kulundinskoj ravnine za vegetacionnye periody 2013–2016 gg. // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – № 3 (149). – S. 30–37.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚҰРҒАҚ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ АГРОЦЕНОЗДАРДЫҢ СУ РЕЖИМІН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН ӨҢІРЛІК АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖЕЛІСІ

Андрей А. Бондарович[1] г.ғ.к., доцент, Даурен М. Нурекенов[1*], Мархаба А. Карменова[1] PhD, Нұрасыл Жомарткан[1], Юрий С. Каменев[2] а.ғ.к.

[1]Сандық технологиялар және модельдеу зертханасы, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен , Қазақстан; a9130262571@gmail.com, dnurekenov@gmail.com, mmm_0582@mail.ru, nurasyl.1998@mail.ru
[2]Хамзин шаруа қожалығы, ШҚО, Қазақстан; kam.kz@internet.ru
*Автор корреспондент: Даурен М. Нурекенов, e-mail: dnurekenov@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

АБСТРАКТ

агрометеорологиялық желі,
топырақтың ылғалдылығы,
Селяниновтың
гидротермиялық коэффициенті

Мақалада әлемнің құрғақ аймақтарында су ресурстарының тапшылығы жағдайында топырақтағы температура мен ылғалдың барысына жердегі аспаптық мониторинг жүргізудің өзектілігі талқыланады. Шығыс Қазақстан облысының фермерлік шаруашылықтары базасында ҚР Білім Министрлігінің жобалары шеңберінде 2021...2024 жылдар кезеңінде орналастырылған агрометеорологиялық стационарлардың аспаптық базасының сипаттамасы келтірілген. 2022...2024 вегетациялық кезеңінде егістіктегі метрлік қабаттағы топырақ температурасы мен ылғалдылығын өлшеудің алдын-ала нәтижелері келтірілген. "Майлы дақылдардың тәжірибелік шаруашылығы" ЖШС аумағында жасыл көң буы (орақ тәрізді жоңышқа) астында болды. Өлшенетін деректер "Қазгидромет" Ұлттық желісінің бақылауларының нәтижелерімен жақсы сәйкес келеді және 2022, 2023, 2024 жылғы ылғалмен қамтамасыз етілуі бойынша әртүрлі вегетациялық кезеңдердегі өсімдік шаруашылығының сыни параметрлері барысының жалпы динамикасын қанағаттанарлықтай көрсетеді. Ауа температурасының, жауын-шашынның, сондай-ақ метрлік қабаттағы топырақтың температурасы мен ылғалдылығының динамикасы бойынша алынған нәтижелер фермер қожалықтарының басшыларына ылғалды үнемдеуді арттыратын, әсіресе Қазақстанның құрғақ жағдайларында өзекті болып табылатын егістік будың әртүрлі нысандарын қоса алғанда, ауыспалы егістерді таңдау кезінде пайдалы болуы мүмкін. Нәтижелер сақтандыру компаниялары мен өсімдік шаруашылығы шешімдерін қабылдаушылар үшін қызығушылық тудыруы мүмкін.

Мақала жайында:
Жіберілді: 13.05.2025
Қайта қаралды: 03.09.2025
Қабылданды: 26.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

REGIONAL AGROMETEOROLOGICAL MONITORING NETWORK FOR FORECASTING THE WATER REGIME OF AGROCENOSES IN THE ARID REGIONS OF KAZAKHSTAN

Andrey Bondarovich[1] Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Dauren Nurekenov[1],
Markhaba Karmenova[1] PhD, Nurassyl Zhomartkan[1], Uriy Kamenov[2] Candidate of Agricultural Sciences

[1]Digital Technologies and Modeling Laboratory, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Kazakhstan; a9130262571@gmail.com, dnurekenov@gmail.com, mmm_0582@mail.ru, nurasyl.1998@mail.ru
[2]Khamzin peasant farm, East Kazakhstan region, Kazakhstan; kam.kz@internet.ru
* Corresponding author: Dauren Nurekenov, dnurekenov@gmail.com

KEY WORDS

agrometeorological network,
soil moisture,
Selyaninov hydrothermal coefficient

ABSTRACT

The article discusses the relevance of conducting ground-based instrumental monitoring of temperature and moisture in the soil in conditions of water scarcity in arid regions of the world. The description of the instrument base of agrometeorological hospitals deployed in the period 2021-2024 within the framework of projects of the Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan on the basis of farms in the East Kazakhstan region is given. The preliminary results of processing measurements of soil temperature and humidity in a meter layer in a field that during the growing season of 2022...2024 are presented. It was located under sideral steam (Sickle alfalfa) on the territory of the Experimental Farm of Oilseeds LLP. The measured data are in good agreement with the results of observations by the National Kazhydromet Network and satisfactorily reflect the overall dynamics of the critical parameters of crop production in the growing seasons of 2022, 2023, and 2024, depending on moisture availability. The results obtained on the dynamics of air temperature, precipitation, as well as soil temperature and humidity in the meter layer can be useful to farm managers when choosing crop rotations, including various forms of field steaming, which increase moisture conservation, which is especially important in the arid conditions of Kazakhstan. The results may be of interest to insurance companies and decision makers in the field of crop production.

About article:
Received: 13.05.2025
Revised: 03.09.2025
Accepted: 26.09.2025
Published: 01.10.2025

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).

Гидрометеорология и экология

Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО ВОЗДУХА В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ГОРОДАХ КАЗАХСТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АТМОСФЕРНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Жанат А. Байгазинов[1] PhD, Саян Е. Сальменбаев[2*], Нурлан Ж. Мухамедияров[1,3], Касым Ш. Жумадилов[4] PhD, Медет Р. Актаев[1], Лаура Б. Кенжина[2] PhD, Елена Н. Поливкина[2] PhD, Ажар Ж. Ташекова[2] PhD, Алмагуль А. Мухамедиярова[5], Валерий Н. Монаенко[2], Назира Н. Берікбол[6]

[1] АО «Парк ядерных технологий», Курчатов, Казахстан; baygazinov@pnt.kz (ЖАБ), mukhamediyarov@pnt.kz (НЖМ), medet_aktaev@mail.ru (МРА)
[2] Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан; salmenbayev@gmail.com (СЕС), laurakenzhina@nnc.kz (ЛБК), polivkina@nnc.kz (ЕНП), esenzholova@nnc.kz (АЖТ), monaenko@nnc.kz (ВНМ)
[3] ТОО "Научно-исследовательский центр «EventumLab», г. Семей, Казахстан; mukhamediyarov@pnt.kz (НЖМ)
[4] НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Казахстан; zhumadilovk@gmail.com (КШЖ)
[5] ТОО «СемАз», г. Семей, Казахстан; mukhamediyarova88@mail.ru (ААМ)
[6] НАО «Университет имени Шакарима», г. Семей, Казахстан; nazira_berikbolova@mail.ru (ННБ)
Автор корреспондент: Саян Е. Сальменбаев, salmenbayev@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

качество воздуха, загрязняющие вещества, метеорологические параметры, корреляционный анализ, обратные траектории, переноса воздушных масс

АБСТРАКТ

В статье проведен ретроспективный анализ зависимостей между метеорологическими параметрами окружающей среды и уровнями загрязнения городов Усть-Каменогорск и Павлодар в 2024 году. Анализ корреляционных зависимостей позволил выявить значимые, средние и слабые связи между климатическими факторами и загрязняющими веществами. Так, например, температура воздуха оказывала решающее влияние на концентрации SO_2 и CO в Усть-Каменогорске, а в Павлодаре – на содержание NO и O_3. Влажность и скорость ветра определяли механизмы рассеивания и накопления загрязнителей в г. Усть-Каменогорск. Отдельное внимание было уделено межкомпонентным корреляциям, отражающим фотохимические процессы и источники загрязнения. Анализ обратных траекторий показал, что воздух поступает с разных направлений, а загрязняющие вещества могут переноситься на большие расстояния.

По статье:
Получено: 03.07.2025
Пересмотрено: 13.08.2025
Принято: 22.09.2025
Опубликовано: 01.10.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

Качество атмосферного воздуха напрямую влияет на здоровье населения и устойчивое развитие городов. В результате автомобильных, промышленных и энергетических выбросов в атмосферу попадает большое количество различных вредных веществ [1...2], что приводит к негативным последствиям, включая увеличение заболеваемости населения и ухудшение экологической ситуации в целом [3]. Ключевую роль в динамике концентраций загрязняющих веществ играют метеорологические параметры: температура, влажность, атмосферное давление и скорость ветра. Понимание этих зависимостей необходимо для прогнозирования эпизодов высокого загрязнения и разработки эффективных профилактических мер по снижению выбросов вредных веществ в атмосферу.

Целью настоящего исследования является выявление и количественная оценка взаимосвязи между метеорологическими параметрами и концентрациями загрязняющих

Для цитирования:
Байгазинов Ж., Сальменбаев С., Мухамедияров Н., Жумадилов К., Актаев М., Кенжина Л., Поливкина Е., Ташекова А., Мухамедиярова А., Монаенко В., Берікбол Н. Исследование влияния метеорологических параметров на качество воздуха в индустриальных городах Казахстана с использованием современных систем атмосферного анализа и моделирования // Гидрометеорология и экология, 118 (3), 2025, 48-65.

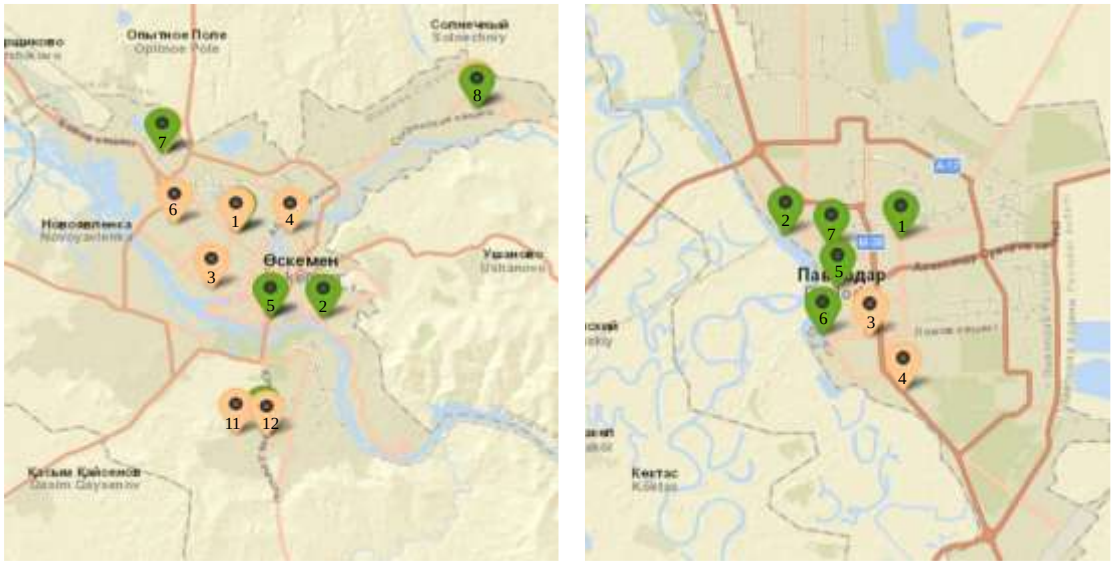
веществ в атмосфере двух индустриально развитых городов Казахстана с использованием современных программных средств анализа.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе были использованы материалы опубликованные РГП «Казгидромет» в бюллетенях состояния воздушного бассейна, а также бюллетенях о состоянии окружающей среды Восточно-Казахстанской и Абайской, а также Павлодарской областей за 2024 год [4…5].

Наблюдение за состоянием атмосферного воздуха в г. Усть-Каменогорск проводится на 10 постах наблюдения (рисунок 1), 5 из которых являются только автоматическими (№2, №3, №4, №6, №11), на оставшихся 5, помимо автоматических измерений, также производится ручной отбор проб.

Наблюдение за состоянием атмосферного воздуха на территории г. Павлодар проводится на 7 постах мониторинга (рисунок 1), 5 из которых являются автоматическими (с 3 по 7 станцию).



г. Усть-Каменогорск *г. Павлодар*

Рисунок 1. *Схема расположения постов наблюдения [6]*

Суммарное количество показателей, определяемых по г. Усть-Каменогорск, составило 21, при этом перечень загрязнителей, определяемых на автоматических станциях, большей частью ограничен диоксидом серы, оксидом углерода, диоксидом азота и сероводородом. Взвешенные частицы (PM2.5, PM10) и озон определяются только на двух автоматических станциях (№2 и №3). На ручных постах проводятся измерения гамма-фона и проводится отбор проб на определение содержания оксида азота, фенола, фтористого- и хлористого водорода, формальдегида, серной кислоты, хлора, бериллия, кадмия, меди, свинца, цинка и бензапирена.

Число показателей, определяемых по г. Павлодар, составило 12. При этом основными определяемыми загрязнителями являются диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, сероводород, озон. На трех автоматических станциях (№5, №6 и №7) также определяется аммиак. Ручной отбор проб производится на станциях №1 и №2, определяемыми параметрами являются взвешенные частицы (пыль), оксид азота, диоксид серы, оксид углерода, сероводород, фенол хлор, хлористый водород.

Анализ данных проводился в среде RStudio (2025.05.0+496, R4.5.1). Для анализа и визуализации данных атмосферного воздуха применялся специализированный пакет OpenAir, предназначенный для обработки данных мониторинга загрязняющих веществ [7]. Чтобы минимизировать вероятность случайных зависимостей в анализ включались

только переменные имеющие высокую достоверность связи ($p \leq 0,05$). Давление воздуха было исключено из моделей из-за высокой мультиколлинеарности с температурой ($r \leq -0,91$).

Для построения обратных траекторий движения воздушных масс использовались архивные метеорологические данные лаборатории воздушных ресурсов (NOAA, США) (Архивные метеоданные GDAS1) и специализированный пакет SplitR [7]. Метод траекторного моделирования достаточно широко используется в научной среде с целью выявления возможных источников загрязнения атмосферного воздуха или путей распространения аллергенов [9…10].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Корреляционный анализ по г. Усть-Каменогорск

В таблице 1 представлены данные по анализу корреляционных связей между концентрациями атмосферных загрязняющих веществ и ключевыми метеорологическими параметрами (температура, давление, влажность, скорость ветра) в г. Усть-Каменогорск.

Таблица 1

Корреляционные зависимости между метеопараметрами и содержанием загрязнителей в воздухе г. Усть-Каменогорск

Исследуемый метеопараметр	pm25	pm10	SO_2	CO	NO_2	NO	O_3	H_2S	C_6H_6O	HF	Cl_2	HCl	H_2SO_4	$C_{20}H_{12}$	Pb	Cd	Zn	Cu	Be
Температура	-0.22	-0.4	**0.9**	**-0.89**	0.37	0.31	0.48	0.11	0.14	-0.31	-0.3	**-0.58**	-0.42	0.39	0.32	0.5	-0.39	-0.51	-0.56
Давление воздуха	0.1	0.28	**-0.81**	**0.86**	-0.44	-0.41	-0.54	-0.36	-0.04	0.5	0.27	**0.67**	0.52	-0.27	-0.21	-0.46	0.33	0.44	**0.62**
Влажность	-0.25	0.11	-0.33	**0.69**	**-0.59**	-0.56	-0.46	0.1	-0.53	0.25	-0.04	0.35	**0.64**	-0.05	0.28	**-0.81**	**0.8**	0.48	**0.8**
Скорость ветра	0.48	0.53	**-0.8**	**0.69**	-0.03	-0.19	-0.15	0.06	-0.07	0.17	**0.67**	0.47	0.29	-0.46	**-0.64**	-0.43	0.25	0.56	0.31

* коэффициенты корреляции при уровне значимости 0.05 выделены жирным шрифтом, при уровне значимости 0,01 – дополнительно выделены подчеркиванием.

Анализ полученных корреляционных зависимостей позволил обнаружить прямые и обратные корреляции между содержанием загрязняющих веществ в атмосфере исследуемых городов и погодными условиями.

Влияние температуры

Температурные изменения оказывают значительное влияние на динамику атмосферных загрязнителей, особенно SO_2 и CO. Анализ данных показал сильную положительную корреляцию между температурой и SO_2 ($r = 0.9$) и выраженную отрицательную связь с CO ($r = -0.89$). Умеренная отрицательная корреляция наблюдается для хлористого водорода ($r = -0.58$).

На рисунке 2 показаны сезонные колебания концентраций SO_2, CO и хлористого водорода (HCl), а также графики зависимости их концентраций от температуры воздуха.

Из рисунка 2 видно, что концентрация SO_2 имеет выраженные сезонные изменения. Самый высокий уровень концентрации наблюдается в июле, а затем идет снижение к октябрю. Это может быть связано с увеличением промышленной активности или неблагоприятными метеорологическими условиями (штиль, туман, инверсия температуры), которые способствовали накоплению загрязняющих веществ. Рост концентрации SO_2 с повышением температуры подтверждается трендом регрессионной линии (рисунок 2).

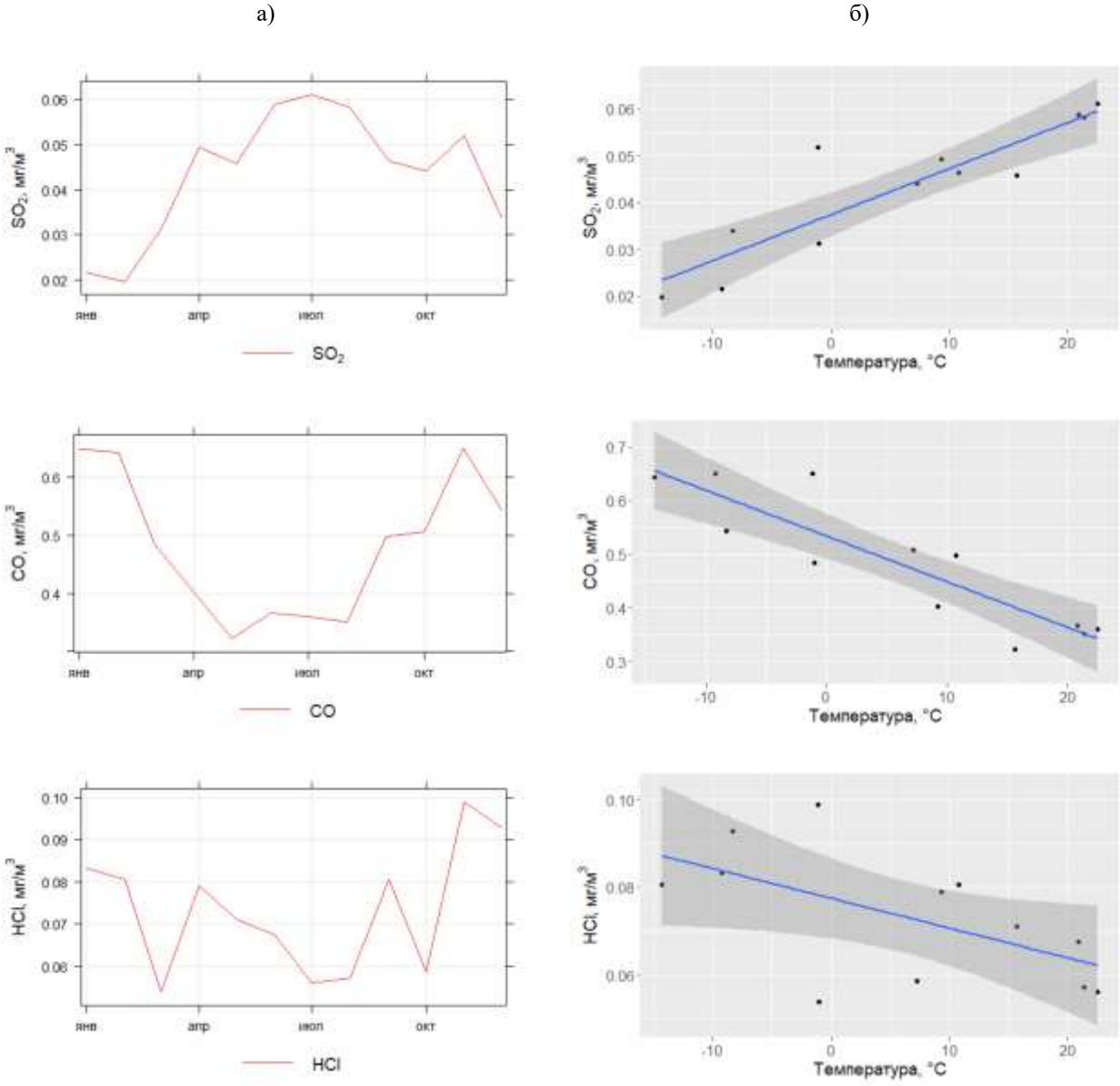


Рисунок 2. *Графики а) сезонных изменении концентрации SO_2, CO, HCl и б) зависимости концентрации SO_2, CO, HCl от температуры*

Уровень угарного газа (CO) заметно изменяется в течение года. Его максимальная концентрация наблюдается зимой, после чего содержание CO снижается весной и летом, а осенью вновь возрастает (рисунок 2). Это подтверждается отрицательной корреляцией между температурой окружающей среды и уровнем CO (рисунок 2). Возможными причинами таких сезонных колебаний являются интенсивное использование отопительных систем в холодное время года, зачастую с низкой эффективностью. Дополнительно к этому зимой, в целом, наблюдается увеличение времени работы двигателей внутреннего сгорания автотранспорта, что также способствует росту выбросов CO.

Что касается HCl то ее колебания не имеют четкой сезонной структуры, хотя в целом, летом наблюдается некоторый минимум (рисунок 2). Зависимость от температуры менее выражена – при повышении температуры концентрация HCl немного снижается (рисунок 2). Как известно выделение хлора (Cl_2) и HCl может происходить в процессе технологических процессов, сопровождающихся обжигом глинистых минералов, плавке медных, никелевых, кобальтовых и других руд [12]. Так как одним из значимых источников поступления Cl_2 и HCl в воздух населенных пунктов является сжигание

каменного угля и хлорсодержащих полимеров [12…13], то вполне вероятно, что в холодное время года усиливается загрязнение атмосферы бытовым дымом и дымом от котельных. При этом, конечно же, не стоит забывать и про аварийные выбросы хлора, как, например, в случае произошедшем 19.05.2025 г. на «Усть-Каменогорском титаномагниевом комбинате» [14].

Влияние влажности

На рисунке 3 показаны сезонные колебания концентраций CO, NO_2, H_2SO_4, Cd, Zn и Be, а также графики зависимости их концентраций от влажности воздуха.

Как можно увидеть из полученных графиков прослеживается сильная положительная корреляция между влажностью воздуха и концентрациями Be и Zn и умеренно положительная корреляция для CO и H_2SO_4. Отрицательные корреляции наблюдаются для NO_2 и Cd.

Влияние скорости ветра

На рисунке 4 приведены корреляционные зависимости между концентрациями SO_2, CO, Cl_2, Pb и силой ветра. Как видно из графиков, при увеличении силы ветра концентрации SO_2 и Pb уменьшаются, что очевидно связано с их рассеиванием. Концентрации же CO и Cl_2 напротив увеличиваются, что видимо связано с источником их поступления – дымом от сжигания ископаемого топлива и хлорсодержащих полимеров, который ветер сносит от частного сектора и городских котельных до метеостанций.

Взаимосвязь между загрязняющими веществами

Понимание того, как различные переменные связаны друг с другом, может вызывать некоторые затруднения, когда количество этих переменных относительно велико. Одним из полезных методов является построение корреляционной матрицы, которая обеспечивает визуальное представление отношений между переменными. Могут использоваться различные варианты визуализации [15]. В данном случае корреляции кодируются по форме, цвету, числовому значению. Положительные корреляции наклонены в правую сторону, отрицательные – в левую. При идеальной корреляции проводится линия под углом 45 градусов, при нулевой корреляции – форма описана кругом. Насыщенность цвета указывает на силу связи, чем он насыщеннее, тем сильнее связь.

На рисунке 5 представлена матрица загрязняющих веществ по г. Усть-Каменогорск.

Анализ коэффициентов корреляции между различными атмосферными загрязнителями позволил выявить некоторые статистически значимые взаимосвязи, которые вероятно могут отразить особенности формирования химического состава воздуха и потенциальные источники загрязнения. Так наличие большого количества значимых межкомпонентных корреляций могут свидетельствовать о комплексной природе загрязнения, где один источник выбрасывает сразу несколько загрязнителей, либо имеется вклад различных источников. Это типично для предприятий черной и цветной металлургии, ТЭЦ, химических производств.

Сильная положительная корреляция между концентрациями PM2.5 и PM10 (r = 0.9) указывает на их общее происхождение. Основными источниками этих частиц являются выбросы от сжигания ископаемого топлива, почвенная, дорожная, строительная пыль и вторичные аэрозолеобразующие процессы [16…17].

Отрицательные корреляции между оксидом углерода (CO), диоксидом азота (NO_2) и озоном (O_3) могут указывать на фотохимические реакции, в которых неметановые углеводороды и оксид азота (NO) находясь в атмосфере, в которой также присутствуют водяной пар и кислород, под действием ультрафиолетового солнечного излучения преобразуются в формальдегид (H_2CO), озон и диоксид азота [18].

$$CO + CH_4 + RH + NO \xrightarrow{h\nu,\ H_2O,\ O_2} H_2CO + O_3 + NO_2 + P$$

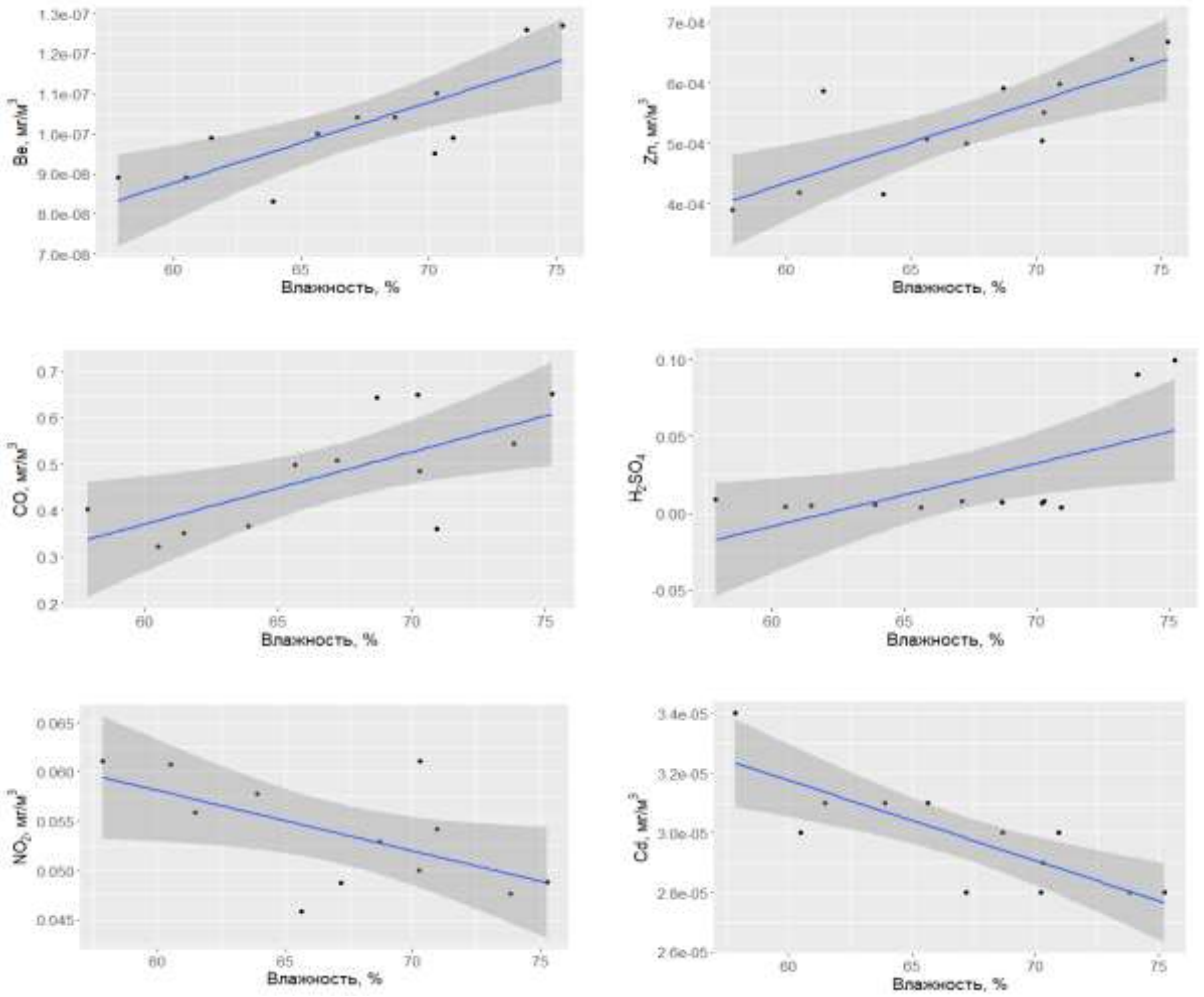


Рисунок 3. *Зависимость концентрации Be, Zn, CO, H_2SO_4, NO_2, Cd, от влажности*

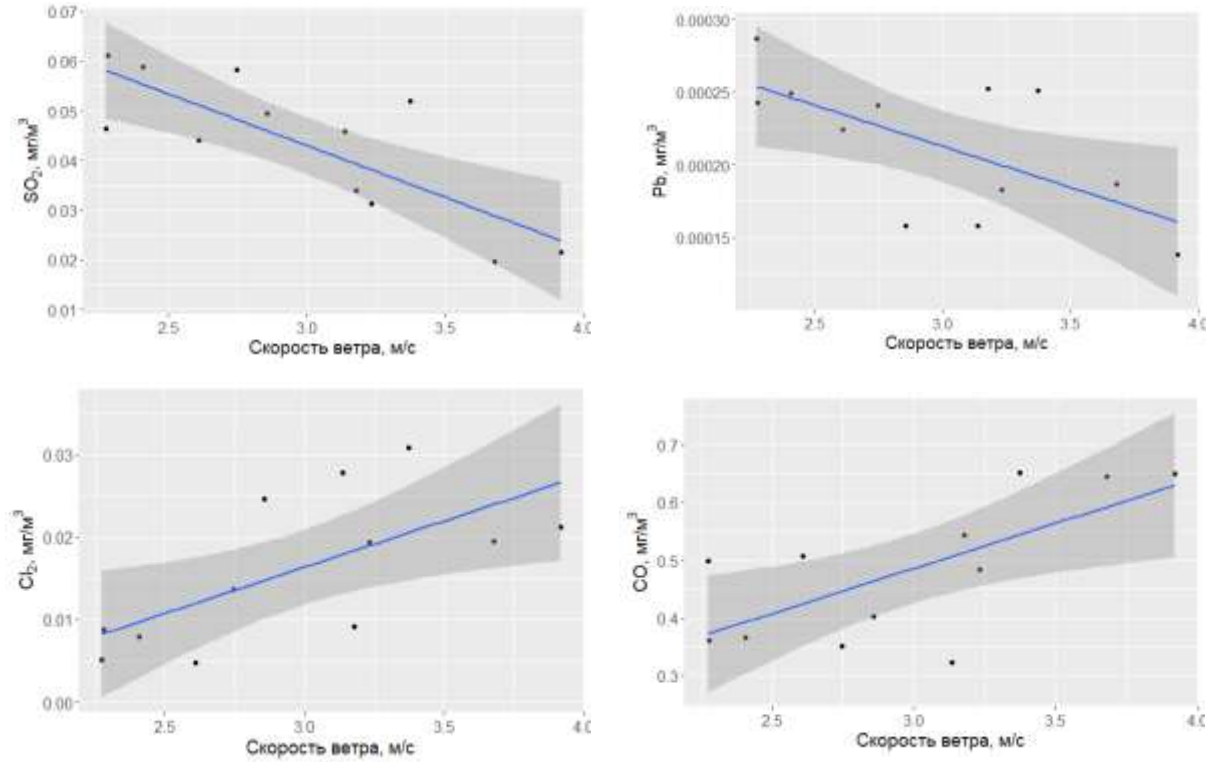


Рисунок 4. *Зависимость концентрации SO_2, Pb, Cl_2, CO от силы ветра*

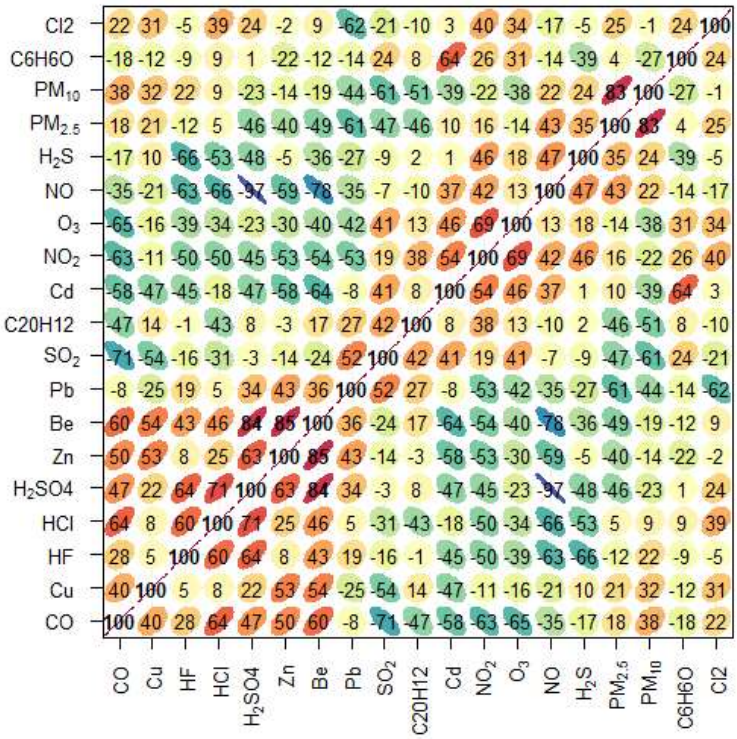


Рисунок 5. *Корреляционная матрица загрязняющих веществ по г. Усть-Каменогорск*

Озон сам непосредственно в атмосферу природными или антропогенными источниками не выбрасывается, а образуется в ходе фотохимических процессов из газов-предшественников (CO, CH_4, NO_x, летучих органических соединений) [18…20]. В дневное время наблюдается динамическое равновесие между O_3 и NO_2, поскольку NO_2 фотолизуется с образованием O_3, а O_3 реагирует с NO, образуя NO_2 [21…22].

Сильная отрицательная корреляция между CO и SO_2 может указывать на различные источники выбросов. SO_2 в данном случае связан с промышленными процессами, тогда как CO – с неполным сгоранием топлива в зимний период.

Высокая положительная корреляция между HF и H_2SO_4 (r = 0.64), также между HF и HCl (r = 0.6) может указывать на совместное присутствие этих кислотных компонентов в выбросах от промышленных предприятий, в частности от ТЭЦ и химических производств. Такая связь представляет особую экологическую значимость, поскольку обе компоненты способны вызывать кислотные осадки, негативно влияющие на здоровье населения и окружающую среду [23].

Корреляционный анализ по г. Павлодар

В таблице 2 представлены данные по анализу корреляционных связей между концентрациями атмосферных загрязняющих веществ и ключевыми метеорологическими параметрами (температура, давление, влажность, скорость ветра) в г. Павлодар.

Влияние температуры

Основными загрязнителями, реагирующими на температурные изменения атмосферы г. Павлодар, являются оксид азота (NO) и озон (O_3). Так, прослеживается умеренная отрицательная связь между температурой и наличием в воздухе NO (r = -0.63) и умеренная положительная связь по отношению к O_3 (r = 0.65).

Таблица 2

Корреляционные зависимости между метеопараметрами и содержанием загрязнителей в воздухе г. Павлодар

Исследуемый метеопараметр	pm10	SO_2	CO	NO_2	NO	O_3	H_2S	C_6H_6O	Cl_2	HCl
Температура	0.58	-0.21	-0.55	-0.57	**-0.63**	**0.65**	0.08	0.00	0.26	0.38
Давление воздуха	-0.49	0.29	**0.66**	0.35	0.40	**-0.70**	-0.13	0.00	-0.19	**-0.59**
Влажность	-0.24	0.04	0.31	0.34	0.37	**-0.59**	0.24	0.00	0.07	-0.28
Скорость ветра	-0.56	0.03	0.08	0.34	0.47	-0.17	0.08	0.00	-0.39	-0.06

* коэффициенты корреляции при уровне значимости 0.05 выделены жирным шрифтом

На рисунках 19…22 показаны сезонные колебания концентраций данных загрязнителей, а также графики зависимости их концентраций от температуры воздуха.

Из рисунка 19 видно, что максимальные значения концентраций NO наблюдались в первые зимние месяцы, далее с марта месяца концентрация NO резко снизилась и практически не менялась на протяжении года. Возможно, это связано с увеличением выбросов NO при сжигании ископаемого топлива в зимний период, что в совокупности со слабой вертикальной диффузией в холодное время года привела к росту загрязнения. Как видно из рисунка 20, с повышением температуры концентрация NO снижается. Такой тренд может указывать как на снижение выбросов от отопительных систем, усиление фотохимических реакций, протекающих при высоких температурах, так и возможно на усиление атмосферной турбулентности, способствующей рассеиванию NO.

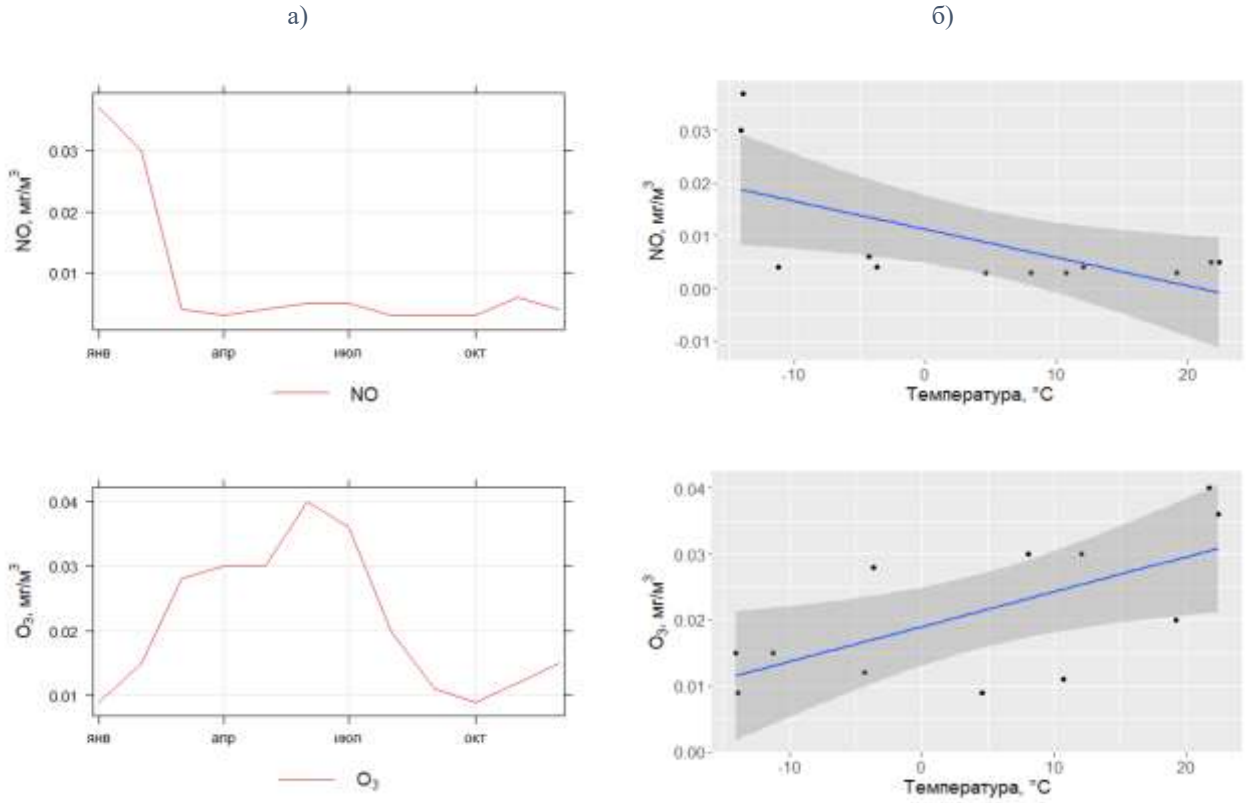


Рисунок 6. *Графики а) сезонных колебаний концентрации NO, O_3 и б) зависимости концентрации NO, O от температуры*

Концентрация O_3 варьируется в зависимости от времени года. Максимальные значения наблюдаются в весенне-летний период, минимальные значения приходятся на осень и зиму (рисунок 6). Это свидетельствует о сезонной зависимости концентрации O_3, связанной с изменениями солнечной активности, фотохимических процессов и

атмосферных условий. Линия тренда с доверительным интервалом показывает устойчивую связь, чем выше температура – тем выше концентрация озона (рисунок 6), что подтверждает фотохимическое происхождение O_3.

Влияние влажности

На рисунке 7 показана зависимость концентрации O_3 от влажности. С увеличением влажности концентрация озона снижается, что может быть связано с тем, что при высокой влажности усиливаются процессы разрушения озона за счет активного взаимодействия с водяным паром [24].

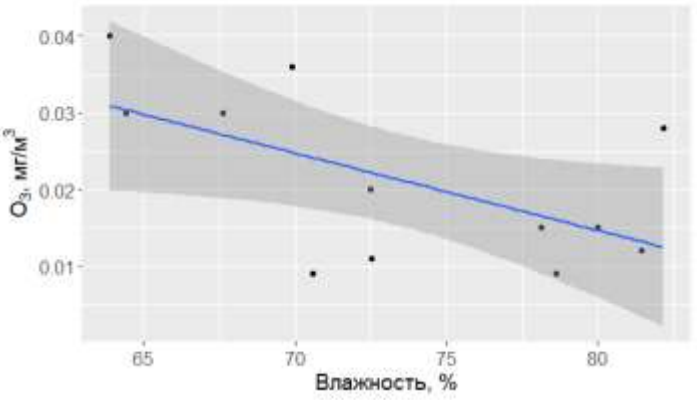


Рисунок 7. *Зависимость концентрации O_3 от влажности*

Взаимосвязь между загрязняющими веществами

На рисунке 8 представлена матрица загрязняющих веществ по г. Павлодар. Анализ корреляционной матрицы позволил выявить связи между некоторыми атмосферными загрязнителями и оценить возможные источники их образования, а также взаимного влияния. Так, наблюдается сильная положительная корреляция между содержанием NO_2 и NO (r = 0.97), что может указывать на общий источник выбросов – чаще всего это автотранспорт и процессы сжигания топлива [25].

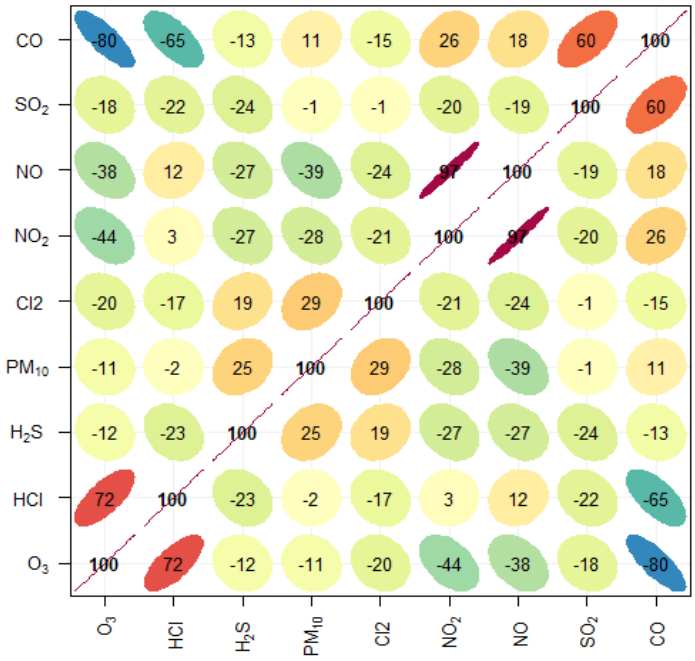


Рисунок 8. *Корреляционная матрица загрязняющих веществ по г. Павлодар*

Сильная отрицательная корреляция между CO и O_3 (r = -0.80), как уже было указано ранее, может указывать на участие CO в фотохимических реакциях образования озона.

Умеренная положительная корреляция между SO_2 и CO может указывать на возможные общие источники образования: сжигание угля, мазута, дизельного топлива, промышленные выбросы. Так, например, загрязняющие вещества, выбрасываемые автомобильными двигателями, включают CO_2, CO, углеводороды, SO_2, NO_x и твердые частицы [26…28]. Впоследствии в атмосфере в результате химических реакций образуются вторичные загрязнители, включая NO_2, O_3, углеводороды, серную кислоту и различные оксиды азота – образующие азотную кислоту и нитратные аэрозоли. Сжигание угля также приводит к выделению большого количества газообразных и твердых загрязнителей, включая SO_2, CO, NO_x, тяжелые металлы и бензопирен, негативно влияющих на здоровье человека [27…30].

Умеренная положительная корреляция между O_3 и HCl (r = 0.72) может указывать на общие источники – промышленные выбросы, выхлопные газы, сжигание мусора, приводящие к выбросу галогеносодержащих соединений, NO_x, SO_2 и т.д., и косвенно приводящие к образованию O_3 в результате протекания фотохимических реакций.

Выявление возможных источников загрязнения атмосферы с использованием модели HYSPLIT

По данным сети мониторинга РГП «Казгидромет», в апреле, октябре и ноябре 2024 года уровень загрязнения воздуха г. Усть-Каменогорск оценивался как высокий, в остальные месяцы как повышенный. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Павлодар в январе и октябре 2024 года оценивался как высокий, в остальные месяцы как повышенный.

г. Усть-Каменогорск.

В *апреле* уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Усть-Каменогорск определялся значением стандартного индекса (СИ = 5.0) и наибольшей повторяемости (НП = 10 %) по сероводороду (H_2S) в районе поста №4 (ул. Широкая, 44). Для данного пункта были построены обратные траектории движения воздушных масс, т.е. траектории показывающие направления откуда пришли эти воздушные массы прежде, чем достигли расположения метеостанции (рисунок 9). Траектории рассчитывались на 9 апреля 2024 г., как наиболее загрязненного дня по H_2S (0.037 мг/м^3). Запуск траекторий производился для каждого часа (с 0 до 23 ч), высота в расчетной точке составила 10 м, т.к. на этой высоте проводятся стандартные метеорологические наблюдения за скоростью и направлением ветра [31], продолжительность траекторий составила 3 часа.



Рисунок 9. *Траектории движения воздушных масс 9 апреля 2024 г.*

Основные 2 направления, откуда приходили воздушные массы 9 апреля 2024 года, это южное (Ю) и западное направления (З). В меньшей степени выделяются юго-западное (ЮЗ) и юго-восточное (ЮВ) направления. В виду отсутствия данных о почасовых концентрациях загрязняющих веществ по каждой метеостанции, определить локальные источники загрязнения H_2S не представляется возможным. Из всех возможных источников образования H_2S можно предположить следующие: природные источники, очистные сооружения, выбросы автомобильного транспорта, дым от сжигания каменного угля [32…36].

В *октябре* месяце уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Усть-Каменогорск определялся значением СИ=5.4 (высокий уровень) и НП=9% (повышенный уровень) по H_2S в районе поста №4 (ул. Широкая, 44). Наиболее загрязненным днем по выбросам H_2S оказался 2 октября. Обратные траектории, построенные для данного дня, представлены на рисунок 10.



Рисунок 10. *Траектории движения воздушных масс 2 октября 2024 г.*

Основное направление поступления воздушных масс в этот день это северо-западное направление (СЗ). Также выделяется ЮВ направление. Остальные потоки выражены слабо.

В *ноябре* месяце уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Усть-Каменогорск определялся значением СИ=6.0 (высокий уровень) по хлору в районе поста №7 (ул. М. Тынышпаева, 126) и НП=12% (повышенный уровень) по хлороводороду в районе поста №1 (ул. Рабочая, 6). Так как в бюллетенях РГП «Казгидромет» отсутствовали ежедневные данные по хлору и хлороводороду, то обратные траектории рассчитывались на весь месяц. Запуск траекторий производился каждые 3 часа, высота в расчетной точке составила 10 м, продолжительность траекторий – 24 часа. Полученные визуализации представлены на рисунках 11…12.

При анализе полученных траекторий (рисунок 11) можно увидеть, что за 24 часа воздушные потоки могут распространяться на сотни и тысячи километров, таким образом нельзя исключить влияние на загрязнение г. Усть-Каменогорск трансграничного переноса загрязнителей [37]. Преимущественное направление ветра в данный период – ЮВ, остальные направления менее выражены.

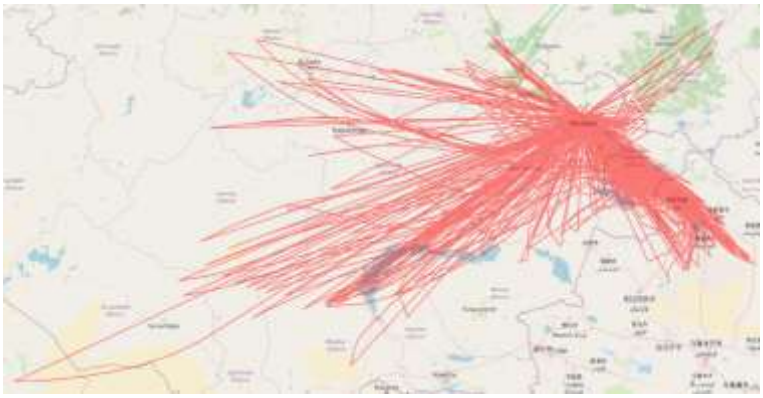


Рисунок 11. *Траектории движения воздушных масс в ноябре 2024 г.*

Анализ кластеров обратных траекторий демонстрирует высокую степень вариативности в направлениях движения воздушных потоков и подтверждает сложный характер циркуляции воздушных масс (рисунок 12).

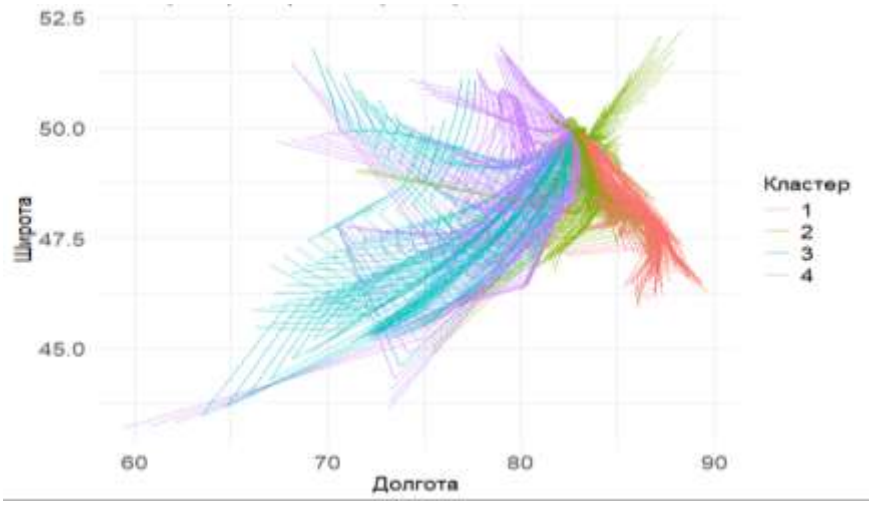


Рисунок 12. *Кластеризация траекторий движения воздушных масс в ноябре 2024 г.*

г. Павлодар

В *январе* 2024 года уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Павлодар определялся значением СИ = 4.6 (повышенный уровень) по оксиду азота и НП = 34 % (высокий уровень) по диоксиду азота в районе поста №4 (ул. Каз. Правды). Наиболее загрязненным днем по концентрации диоксида азота оказался 31 января 2024 г. (0.518 мг/м^3). На рисунке 13 представлены обратные траектории движения воздушных масс.

Преобладающее направление ветра – Ю и ЮВ. В качестве локальных источников образования оксида и диоксида азота могут быть автотранспорт и выбросы от сжигания топлива. Также, как видно из рис. 29, данные загрязнители могут быть привнесены и со стороны г. Аксу Павлодарской области, где также имеются промышленные предприятия.

В *октябре* месяце уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Павлодар определялся значением СИ=9.3 (высокий уровень) по оксиду углерода в районе поста №7 (ул. Торайгырова-Дюсенова) и НП=5% (повышенный уровень) по оксиду углерода в районе поста № 4 (ул. Каз. Правды). Наиболее загрязненным днем по концентрации оксида углерода оказался 5 октября 2024 г. (50 мг/м^3) (рисунок 14).



Рисунок 13. *Траектории движения воздушных масс 31 января 2024 г.*

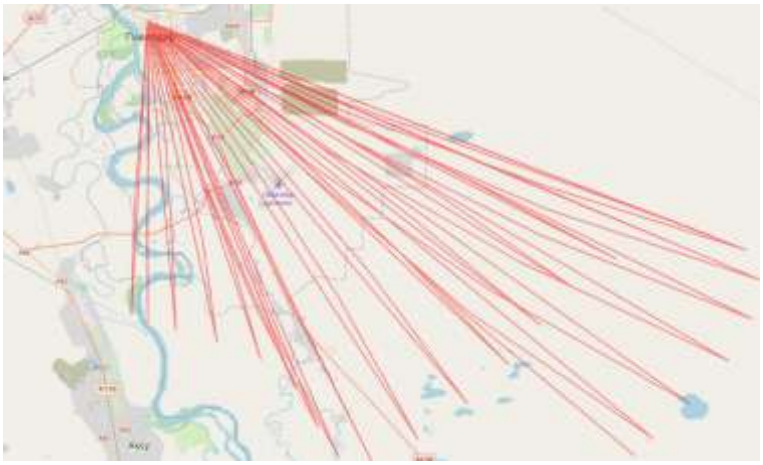


Рисунок 14. *Траектории движения воздушных масс 5 октября 2024 г.*

Преобладающее направление ветра за эти сутки ЮВ. Предположительные источники оксида углерода – автотранспорт и выбросы от сжигания ископаемого топлива.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ атмосферных данных двух индустриальных городов Казахстана выявил статистически значимые зависимости между концентрациями загрязняющих веществ и метеорологическими параметрами. Установлено, что температура оказывает решающее влияние на уровни SO_2 и CO в Усть-Каменогорске, а в Павлодаре – на концентрации NO и O_3. Корреляционные зависимости влажности и скорости ветра позволили оценить возможные механизмы рассеивания и накопления загрязнителей. Дополнительно выявлены межкомпонентные корреляции, указывающие на общее происхождение некоторых загрязнителей (например, PM2.5 и PM10), а также на фотохимические процессы, влияющие на концентрации CO, NO_2 и O_3. Анализ обратных траекторий показал, что в течение суток происходят значительные изменения в направлениях ветра, при этом воздушные потоки могут распространяться на сотни и тысячи километров, влияя на перенос загрязняющих веществ. Кластеризация обратных траекторий позволила выявить сложный характер атмосферной циркуляции и продемонстрировала разнообразие траекторий поступления воздушных потоков в зону исследования.

Перспективным направлением для дальнейших исследований является применение более сложных моделей для анализа нелинейных зависимостей, моделирования распространения и рассеивания загрязнителей, для чего потребуется получение и использование более детализированных данных по содержанию загрязнителей в воздухе исследованных городов, чем в информации, предоставляемой РГП «Казгидромет».

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании, получены авторами из одного источника: РГП «Казгидромет» МЭПР РК.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ЖАБ, НЖМ, КШМ; управление данными – ААМ, АЖТ, ННБ; формальный анализ – МРА, ЕНП, ЛБК; методология – НЖМ, СЕС; программное обеспечение – ВНМ; руководство – ЖАБ, НЖМ; визуализация – СЕС; написание исходного текста – ЖАБ, СЕС; написание и редактирование окончательного текста ЖАБ, СЕС.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR27101493 «Разработка стратегии снижения загрязнения воздуха в промышленных городах Казахстана, основанная на идентифицировании распределения источников загрязнения»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крюкова С.В., Симакина Т.Е. Оценка влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – №5-2. – С. 299-305.
2. Кряжевских К.А., Дорофтеева Д.А. Проблема загрязнения городов и пути решения // Вопросы российской юстиции. – 2023. – №24. – С. 318-324.
3. Давыдова И.С., Гапоненко А.В. Проблема загрязнения атмосферного воздуха в городах // Sciences of Europe. – 2017. – №14-2(14) – С. 3-5.
4. Информационные бюллетени о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. – [Электрон. ресурс]. – https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy, дата обращения: 22.05.2025
5. Ежедневные бюллетени состояния воздушного бассейна – [Электрон. ресурс]. – https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhednevnyy-byulleten-sostoyaniya-vozdushnogo-basseyna-nmu/2024, дата обращения: 22.05.2025
6. Карта текущих и прогнозных данных качества атмосферного воздуха Республики Казахстан – [Электрон. ресурс]. – http://ecodata.kz:3838/app_dem_visual/, дата обращения: 07.05.2025 г.
7. Carslaw D.C., Ropkins K. OpenAir – An R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software, 2012, Vol. 27-28. Pp. 52-61. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.008
8. Stein, A.F., Draxler, R.R, Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2015, Vol. 96, pp. 2059-2077, http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1
9. Василевич М.И., Щанов В.М. Применение траекторного подхода с использованием модели HYSPLIT при оценке переноса воздушных масс от возможных источников эмиссии. Известия Коми научного центра УрО РАН – 2019 – №3 (39) – С. 18-22.
10. Pérez I., Artuso F., Mahamud M., Kulshrestha U., Sánchez M.L., García M. Applications of Air Mass Trajectories. Advances in Meteorology, 2015, pp. 1-20, https://doi.org/10.1155/2015/284213
11. Global Data Assimilation System (GDAS1). NOAA Air Resources Laboratory – [Электрон. ресурс]. – https://www.ready.noaa.gov/data/archives/gdas1/, дата обращения: 22.05.2025
12. Яковенко В.А. Хлор в атмосферном воздухе населенных мест // Гигиена и санитария. – 1936. – №9. – С. 8-15.
13. Потапов П.К. Поражение лёгких при интоксикации продуктами пиролиза хлорсодержащих полимерных материалов / диссертация на соискание учёной степени кандидата медицинских наук. Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. – 2021 г. – 128 с.
14. Информационно-коммуникационная платформа Zakon.kz – [Электрон. ресурс]. – https://www.zakon.kz/sobytiia/6477947-v-ustkamenogorske-zafiksirovali-prevyshenie-khlora-provoditsya-proverka.html, дата обращения: 30.05.2025
15. Friendly M., Corrgrams: Exploratory Displays for Correlation Matrices. The American Statistician, 2002, 56 (4), pp. 316-324 https://doi.org/10.2307/3087354
16. Zhang G., Ding C., Jiang X., Pan G., Wei X., Sun Y. Chemical Compositions and Sources Contribution of Atmospheric Particles at a Typical Steel Industrial Urban Site. Sci Rep., 2020, Vol.10(1):7654. https://doi.org/10.1038/s41598-020-64519-x
17. Pant P., Harrison Roy M., Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review, Atmospheric Environment, 2013, Vol. 77, pp. 78-97. ISN 1352-2310. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.028
18. Белан Б.Е., Савкин Д.Е., Толмачев Г.Н. Зависимость образования озона в приземном слое от температуры воздуха // Оптика атмосферы и океана. – 2017. – №11. – С. 971-979. – https://doi.org/10.15372/AOO20171110

19. Белан Б.Д. Тропосферный озон. 5. Газы – предшественники озона. // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 22. №03. – С. 230-268.
20. Ravina M., Caramitti G., Panepinto D. et al. Air quality and photochemical reactions: analysis of NOx and NO2 concentrations in the urban area of Turin, Italy. Air Qual Atmos Health, 2022, Vol.15, pp. 541-558. https://doi.org/10.1007/s11869-022-01168-1
21. Kanaya Y., Masato F., Hajime A., Nobuyuki T., Yuichi K., Yoko Y., Makoto K., Yutaka K.. Urban photochemistry in central Tokyo: 2. Rates and regimes of oxidant (O_3 + NO_2) production. Journal of Geophysical Research, 2008, Vol. 113. D06301. https://doi.org/10.1029/2007JD008671
22. Sanford S., The relation between ozone, NOx and hydrocarbons in urban and polluted rural environments. Atmospheric Environment, 1999, Vol. 33, Issue 12. pp. 1821-1845. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00345-8
23. Чомаева М.Н. Взаимовлияние негативного воздействия кислотных осадков на окружающую среду и человека // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – №5-3. – С. 27-29
24. Котельников С.Н., Степанов Е.В. Роль водного аэрозоля в разложении озона в приземной атмосфере // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2019. – №9. – С. 23-30.
25. Carslaw D.C., & Beevers S.D. Estimations of road vehicle primary NO_2 exhaust emission fractions using monitoring data in London. Atmospheric Environment, 2005, Vol. 39(1), pp.167–177. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.08.053
26. State of Air Report 2005. A report on the state of the air in South Africa, 2009 – Электронный ресурс: https://www.gov.za/sites/default/files/gcis_document/201409/state-air-report-2005.pdf, дата обращения: 23.05.2025
27. Folinsbee LJ. Human health effects of air pollution. Environ. Health Perspect., 1993, Vol.100, pp. 45-56. https://doi.org/10.1289/ehp.9310045
28. Kazemi G.M., Laneve G., Rezaei H. et al. Monitoring Trends of CO, NO_2, SO_2, and O_3 Pollutants Using Time-Series Sentinel-5 Images Based on Google Earth Engine. Pollutants, 2023, Vol.3, pp. 255-279. https://doi.org/10.3390/pollutants3020019
29. Abdelkareem M., Tan Y., El Attar R.M. et al. Assessing the emissions of CO, SO_2, and NO_X and predicting potential zones of CO concentration from sugarcane factories in Egypt. J. Earth Syst. Sci., 2020, Vol.129, №.91. https://doi.org/10.1007/s12040-020-1339-7
30. Monks P.S., Granier C., Fuzzi S. et al. Atmospheric composition change – global and regional air quality. Atmospheric Environment, 2009. Vol.43, Issue 33. pp. 5268-5350, ISSN 1352-2310, https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.021
31. Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 14 июня 2017 года № 345. Об утверждении Правил метеорологического обеспечения гражданской авиации – [Электрон. ресурс]. – https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1700015358, дата обращения: 22.06.2025
32. Kourtidis K., Kelesis A., & Petrakakis M. Hydrogen sulfide (H_2S) in urban ambient air. Atmospheric Environment, 2008. Vol. 42(32), pp.7476–7482. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.05.066
33. Traven L., Linšak Ž., Crvelin G. et al. Atmospheric parameters play an important role in driving hydrogen sulphide concentrations in ambient air near waste management centres. Environ. Monit Assess. 2023, Vol. 195, №1451, https://doi.org/10.1007/s10661-023-12047-2
34. Галкин С. Исследование вклада угольной энергетики в загрязнение атмосферного воздуха города усть-каменогорска сероводородом // Вестник ВКТУ. – 2022. – Вып.4. – С. 8-19
35. Масштабное исследование воздуха г. Усть-Каменогорска – [Электрон. ресурс]. – https://nauka.kz/page.php?page_id=1001&lang=1&news_id=10037&new, дата обращения: 22.06.2025
36. Qian Y., Wenjia W., Jiale C., Han L., Zimeng Zh., Piaopiao K. Lei D., Zhang L., Zhao Y. Surface-Air Exchanges of H2S and SO2 in an Urban Wetland in Eastern China. Science of The Total Environment, 2024, Vol. 951, pp.175701, ISSN 0048-9697. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175701
37. Кондратьев И.И. Атмосферный трансграничный перенос загрязняющих веществ из центров эмиссии восточной Азии на юг Дальневосточного региона России // Вестник ДВО РАН. – 2008. – №1. – С. 107-112.

REFERENCES

1. Kryukova S.V., Simakina T.E. (2015). Otsenka vliyaniya meteorologicheskikh parametrov na kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfere Sankt-Peterburga [Assessment of the influence of meteorological parameters on the concentration of pollutants in the atmosphere of St. Petersburg]. Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk, pp. 299-305 [in Russian].
2. Kryazhevskikh K.A., Dorofteeva D.A. (2023) Problema zagryazneniya gorodov i puti resheniya [The problem of urban pollution and solutions]. Voprosy rossiiskoi yustitsi, No.24. pp. 318-324 [in Russian].
3. Davydova I.S., Gaponenko A.V. (2017) Problema zagryazneniya atmosfernogo vozdukha v gorodakh [The problem of air pollution in cities] Sciences of Europe, No.14-2(14). pp. 3-5 [in Russian].
4. Informatsionnye byulleteni o sostoyanii okruzhayushchei sredy Respubliki Kazakhstan – Elektronnyi resurs: https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy, date of access: 22.05.2025 [in Russian].
5. Ezhednevnye byulleteni sostoyaniya vozdushnogo basseina – Elektronnyi resurs: https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhednevnyy-byulleten-sostoyaniya-vozdushnogo-basseyna-nmu/2024, date of access: 22.05.2025 [in Russian].
6. Map of current and forecast atmospheric air quality data for the Republic of Kazakhstan – [Electronic resource]. – http://ecodata.kz:3838/app_dem_visual/, date of access: May 7, 2025.
7. Carslaw D.C., Ropkins K. (2012) OpenAir – An R package for air quality data analysis // Environmental Modelling & Software, Vol. 27-28б pp. 52-61. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.008
8. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., and Ngan F. (2015) NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling systemю Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol.96, pp. 2059-2077, http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1
9. Vasilevich M.I., Shchanov V.M. (2019) Primenenie traektornogo podkhoda s ispol'zovaniem modeli HYSPLIT pri otsenke perenosa vozdushnykh mass ot vozmozhnykh istochnikov emissii [Application of the trajectory approach using the HYSPLIT model in assessing the transfer of air masses from potential emission sources]. Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN, №3 (39). pp.18-22 [in Russian].

10. Pérez I., Artuso F., Mahamud M., Kulshrestha U., Sánchez M.L., García M. (2015) Applications of Air Mass Trajectories. Advances in Meteorology, pp. 1-20, https://doi.org/10.1155/2015/284213
11. Global Data Assimilation System (GDAS1). NOAA Air Resources Laboratory https://www.ready.noaa.gov/data/archives/gdas1/
12. Yakovenko V.A. (1936) Khlor v atmosfernom vozdukhe naselennykh mest [Chlorine in the atmospheric air of populated areas]. Gigiena i sanitariya. – No.9. – pp. 8-15 [in Russian].
13. Potapov P.K. (2021) Porazhenie legkikh pri intoksikatsii produktami piroliza khlorsoderzhashchikh polimernykh materialov [Lung damage due to intoxication with pyrolysis products of chlorine-containing polymeric materials]. Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata meditsinskikh nauk. Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe voennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Voenno-meditsinskaya akademiya imeni S.M. Kirova» ministerstva oborony Rossiiskoi Federatsii, Sankt-Peterburg, pp. 128. [in Russian].
14. Informatsionno-kommunikatsionnaya platforma Zakon.kz – Elektronnyi resurs: https://www.zakon.kz/sobytiia/6477947-v-ustkamenogorske-zafiksirovali-prevyshenie-khlora-provoditsya-proverka.html, date of access: 30.05.2025 [in Russian].
15. Friendly M. (2002) Corrgrams: Exploratory Displays for Correlation Matrices. The American Statistician, 2002, 56 (4), pp. 316-324 https://doi.org/10.2307/3087354
16. Zhang G., Ding C., Jiang X., Pan G., Wei X., Sun Y. (2020) Chemical Compositions and Sources Contribution of Atmospheric Particles at a Typical Steel Industrial Urban Site. Sci Rep., Vol.10(1):7654, https://doi.org/10.1038/s41598-020-64519-x
17. Pant P., Harrison Roy M. (2013) Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review, Atmospheric Environment, Vol. 77, pp. 78-97, ISN 1352-2310, https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.028
18. Belan B.E., Savkin D.E., Tolmachev G.N. (2017) Zavisimost' obrazovaniya ozona v prizemnom sloe ot temperatury vozdukha [Dependence of ozone formation in the surface layer on air temperature]. Optika atmosfery i okeana, No.11, pp. 971-979, https://doi.org/10.15372/AOO20171110 [in Russian].
19. Belan B.D. (2009) Troposfernyi ozon. 5. Gazy – predshestvenniki ozona [Tropospheric ozone. 5. Gases - precursors of ozone]. Optika atmosfery i okeana, Vol.22, №3, pp. 230-268 [in Russian].
20. Ravina M., Caramitti G., Panepinto D. et al. (2022) Air quality and photochemical reactions: analysis of NOx and NO_2 concentrations in the urban area of Turin, Italy. Air Qual Atmos Health, Vol.15, pp. 541–558. https://doi.org/10.1007/s11869-022-01168-1
21. Kanaya Y., Fukuda M., Akimoto H., Takegawa N., Komazaki Y., Yokouchi Y., Koike M., Kondo Y. (2008) Urban photochemistry in central Tokyo: 2. Rates and regimes of oxidant (O_3 + NO_2) production. Journal of Geophysical Research, Vol. 113, D06301, https://doi.org/10.1029/2007JD008671
22. Sanford Sillman (1999) The relation between ozone, NOx and hydrocarbons in urban and polluted rural environments. Atmospheric Environment, Vol. 33, Issue 12, pp. 1821-1845, https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00345-8
23. Chomaeva M.N. (2020) Vzaimovliyanie negativnogo vozdeistviya kislotnykh osadkov na okruzhayushchuyu sredu i cheloveka [The mutual influence of the negative impact of acid precipitation on the environment and humans] Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk, №5-3, pp. 27-29 [in Russian].
24. Kotel'nikov S.N., Stepanov E.V. (2019) Rol' vodnogo aerozolya v razlozhenii ozona v prizemnoi atmosphere [The role of water aerosol in ozone decomposition in the surface atmosphere] Kratkie soobshcheniya po fizike FIAN, №9, pp. 23-30 [in Russian].
25. Carslaw D.C., & Beevers S.D. (2005) Estimations of road vehicle primary NO_2 exhaust emission fractions using monitoring data in London. Atmospheric Environment, Vol. 39(1), pp.167–177. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.08.053
26. State of Air Report 2005. (2009) A report on the state of the air in South Africa, – Elektronnyi resurs: https://www.gov.za/sites/default/files/gcis_document/201409/state-air-report-2005.pdf, date of access: 23.05.25
27. Folinsbee LJ. (1993) Human health effects of air pollution. Environ. Health Perspect., Vol.100, pp. 45-56. https://doi.org/10.1289/ehp.9310045
28. Kazemi G.M., Laneve G., Rezaei H. et al. (2023) Monitoring Trends of CO, NO_2, SO_2, and O_3 Pollutants Using Time-Series Sentinel-5 Images Based on Google Earth Engine. Pollutants, Vol.3, pp. 255-279. https://doi.org/10.3390/pollutants3020019
29. Abdelkareem M., Tan Y., El Attar R.M. et al. (2020) Assessing the emissions of CO, SO_2, and NO_X and predicting potential zones of CO concentration from sugarcane factories in Egypt. J. Earth Syst. Sci., Vol.129, №.91. https://doi.org/10.1007/s12040-020-1339-7
30. Monks P.S., Granier C., Fuzzi S. et al. (2009) Atmospheric composition change – global and regional air quality. Atmospheric Environment, Vol.43, Issue 33. pp. 5268-5350, ISSN 1352-2310, https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.021
31. Prikaz Ministra po investitsiyam i razvitiyu Respubliki Kazakhstan ot 14 iyunya 2017 goda № 345. Ob utverzhdenii Pravil meteorologicheskogo obespecheniya grazhdanskoi aviatsii [Order of the Minister of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan dated June 14, 2017 No. 345. On approval of the Rules for meteorological support of civil aviation] – Elektronnyi resurs: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1700015358, date of access: 22.06.2025 [in Russian].
32. Kourtidis K., Kelesis A., & Petrakakis M. Hydrogen sulfide (H_2S) in urban ambient air (2008). Atmospheric Environment, Vol. 42(32), pp.7476–7482. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.05.066
33. Traven L., Linšak Ž., Crvelin G. et al. (2023) Atmospheric parameters play an important role in driving hydrogen sulphide concentrations in ambient air near waste management centres. Environ. Monit Assess., Vol. 195, №1451, https://doi.org/10.1007/s10661-023-12047-2
34. Galkin S. (2022) Issledovanie vklada ugol'noi energetiki v zagryaznenie atmosfernogo vozdukha goroda ust'-kamenogorska serovodorodom [Study of the contribution of coal power engineering to atmospheric air pollution in the city of Ust-Kamenogorsk with hydrogen sulfide] Vestnik VKTU, Vyp.4, pp. 8-19 [in Russian].
35. Masshtabnoe issledovanie vozdukha g. Ust'-Kamenogorska [National Science Portal Large-scale study of air in Ust-Kamenogorsk] – Elektronnyi resurs: https://nauka.kz/page.php?page_id=1001&lang=1&news_id=10037&new, date of access: 22.06.2025 [in Russian].
36. Qian Y., Wenjia W., Jiale C., Han L., Zimeng Zh., Piaopiao K. Lei D., Zhang L., Zhao Y. Surface-Air Exchanges of H2S and SO2 in an Urban Wetland in Eastern China (2024). Science of The Total Environment, Vol. 951, pp.175701, ISSN 0048-9697. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175701
37. Kondrat'ev I.I. (2008) Atmosfernyi transgranichnyi perenos zagryaznyayushchikh veshchestv iz tsentrov emissii vostochnoi Azii na yug Dal'nevostochnogo regiona Rossii [Atmospheric transboundary transport of pollutants from emission centers in East Asia to the south of the Far Eastern region of Russia] Vestnik DVO RAN, №1, pp. 107-112 [in Russian].

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ИНДУСТРИЯЛЫҚ ҚАЛАЛАРЫНДА ЗАМАНАУИ АТМОСФЕРАЛЫҚ ТАЛДАУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРДІҢ АУА САПАСЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Жанат А. Байгазинов[1] PhD, Саян Е. Сәлменбаев[2*], Нурлан Ж. Мухамедияров[1,3], Касым Ш. Жумадилов[4] PhD, Медет Р. Актаев[1], Лаура Б. Кенжина[2] PhD, Елена Н. Поливкина[2] PhD, Ажар Ж. Ташекова[2] PhD, Алмагуль А. Мухамедиярова[5], Валерий Н. Монаенко[2], Назира Н. Берікбол[6].

1 «Ядролық технологиялар паркі» АҚ, Курчатов, Қазақстан; baygazinov@pnt.kz, mukhamediyarov@pnt.kz, medet_aktaev@mail.ru
2 ҚР ҰЯО РМК Радиациялық қауіпсіздік және экология институтының филиалы, Курчатов, Қазақстан; salmenbayev@gmail.com, laurakenzhina@nnc.kz, polivkina@nnc.kz, esenzholova@nnc.kz, monaenko@nnc.kz
3 «EventumLab» ғылыми-зерттеу орталығы» ЖШС, Семей, Қазақстан; mukhamediyarov@pnt.kz
4 «Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КЕАҚ, Астана, Қазақстан; zhumadilovk@gmail.com
5 «СемАз» ЖШС, Семей қ., Қазақстан; mukhamediyarova88@mail.ru
6 «Шәкәрім университеті» КЕАҚ, Семей қ., Қазақстан; nazira_berikbolova@mail.ru
Корреспондент автор: Саян Е. Сәлменбаев, salmenbayev@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

ауа сапасы,
ластаушы заттар,
метеорологиялық көрсеткіштер,
корреляциялық талдау,
ауа массасын тасымалдаудың кері траекториялар

Мақала жайында:
Алынды: 03.07.2025
Қайта қаралды: 13.08.2025
Қабылданды: 22.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

АБСТРАКТ

Бұл зерттеуде Қазақстанның екі өнеркәсіптік қаласы – Өскемен мен Павлодардағы метеорологиялық көрсеткіштер мен атмосфералық ластаушы заттардың концентрациялары арасындағы байланыс қарастырылды. Корреляциялық тәуелділіктерді талдау климаттық факторлар мен ластаушы заттардың арасындағы маңызды, қалыпты және әлсіз байланыстарды анықтауға мүмкіндік берді. Нәтижесінде Өскемен қаласында температура мен SO_2, CO концентрацияларының, ал Павлодарда температура мен NO, O_3 деңгейлерінің арасында айтарлықтай байланыс анықталды. Сонымен қатар, жел жылдамдығы мен ылғалдылық ластаушы заттардың таралуы мен жиналуына ықпал ететіні көрсетілді. Фотохимиялық процестер мен ластану көздерін көрсететін құрам аралық корреляцияға ерекше назар аударылды. Кері траекторияларды талдау ауаның әртүрлі бағыттардан келетінін және ластаушы заттардың алыс қашықтықтан тасымалдануы мүмкін екенін көрсетті.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON AIR QUALITY IN INDUSTRIAL CITIES OF KAZAKHSTAN USING MODERN ATMOSPHERIC ANALYSIS AND MODELING SYSTEMS

Zhanat Baigazinov[1] PhD, Sayan Salmenbayev[2]*, Nurlan Mukhamediyarov[1,3], Kassym Zhumadilov[4] PhD, Medet Aktaev[1], Laura Kenzhina[2] PhD, Elena Polivkina[2] PhD, Azhar Tashekova[2] PhD, Almagul Mukhamediarova[5], Valery Monaenko[2], Nazira Berikbol[6]

[1] JSC "Park of Nuclear Technologies", Kurchatov, Kazakhstan; baygazinov@pnt.kz, mukhamediyarov@pnt.kz, medet_aktaev@mail.ru
[2] Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" of RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan; salmenbayev@gmail.com, laurakenzhina@nnc.kz, polivkina@nnc.kz, esenzholova@nnc.kz, monaenko@nnc.kz
[3] LLP "Scientific Research Center "EventumLab", Semey, Kazakhstan; mukhamediyarov@pnt.kz
[4] L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; zhumadilovk@gmail.com
[5] LLP "SemAz", Semey, Kazakhstan; mukhamediyarova88@mail.ru
[6] Shakarim University, Semey, Kazakhstan; nazira_berikbolova@mail.ru
* Corresponding author: Sayan Salmenbayev, salmenbayev@gmail.com

KEY WORDS

air quality,
pollutants,
meteorological parameters,
correlation analysis,
backward trajectories of air masses transfer

About article:
Received: 03.07.2025
Revised: 13.08.2025
Accepted: 22.09.2025
Published: 01.10.2025

ABSTRACT

This paper examines the influence of meteorological parameters on air pollution levels in two industrial cities of Kazakhstan – Ust-Kamenogorsk and Pavlodar. The analysis is based on air quality monitoring data from both automatic and manual observation stations, as well as GDAS1 meteorological records for 2024. Data analysis was performed using RStudio and the OpenAir package. Correlation analysis revealed statistically significant relationships between meteorological conditions (temperature, humidity, wind speed) and concentrations of various pollutants, such as SO_2, CO, NO, O_3. Particular attention is paid to seasonal variations and photochemical processes affecting the formation of ozone and secondary pollutants. The backward trajectory method (SplitR) was applied to determine potential pollutant source directions, highlighting the contribution of both local and transboundary emissions. Cluster analysis of air mass trajectories confirmed the complex and multidirectional nature of atmospheric circulation.

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).

Гидрометеорология и экология

Научная статья

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЛИФАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ ИХ МИГРАЦИИ ИЗ ПОЧВЫ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Эльмира Т. Ермолдина PhD, Ерлан А. Бекешев, Бибигуль М. Миркаримова* д.т.н., Бахытжан Ш. Бариева к.б.н., Елена Ю. Степанова, Аскар М. Муканов, Жансая К. Рымжанова

Филиал РГП «Инфракос» в г. Алматы, Алматы, Казахстан; ermoldina@mail.ru (ЭТЕ); chemist_e@mail.ru (ЕАБ); bibigulm@mail.ru (БММ); barievabch@mail.ru (БШБ); s.ell@mail.ru (ЕЮС); askarmukanov85@gmail.com (АММ); Rymzhanova110@gmail.com (ЖКР)
*Автор корреспондент: Бибигуль М. Миркаримова, e-mail: bibigulm@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ракетно-космическая деятельность,
предельные алифатические углеводороды,
углеводороды нефти,
естественный тип почвы,
влагоёмкость,
миграция,
микроклимат,
подпороговая концентрация,
наименьшая концентрация

АБСТРАКТ

В статье рассматривается процесс определения подпороговой концентрации (ППК) по воздушно-миграционному показателю вредности, который отражает способность вредных веществ мигрировать из почвы в атмосферный воздух. Установление ППК является важным шагом в оценке рисков для здоровья человека и экосистем, поскольку оно помогает определить безопасные уровни воздействия загрязняющих веществ. В работе анализируются современные методы исследования, а также учитываются факторы, влияющие на миграцию веществ, такие как температура, влажность и состав почвы. Практическое применение ППК рассматривается в контексте разработки стратегий по снижению загрязнения воздуха и защиты здоровья населения. На основании полученных экспериментальных данных была выбрана величина, близкая к предельно допустимой концентрации (ПДК) для атмосферного воздуха. В этой связи была изучена концентрация алифатических углеводородов, равная 400 мг/кг в почве. Это исследование позволяет оценить потенциальное воздействие таких концентраций на окружающую среду и здоровье человека, а также выявить возможные риски, связанные с загрязнением почвы и воздуха.

1. ВВЕДЕНИЕ

В условиях современного индустриального общества качество окружающей среды становится все более актуальной темой для научных исследований и общественного обсуждения. Одним из ключевых аспектов охраны здоровья населения и экосистемы в целом является контроль за загрязнением воздуха.

Актуальность данной области исследования подтверждается значительным количеством опубликованных материалов, которые свидетельствуют о растущем интересе учёных и специалистов к этой теме. Увеличение числа публикаций указывает на то, что проблема привлекает внимание научного сообщества и является предметом активных исследований [1…18].

Загрязнение почв нефтепродуктами представляет серьёзную экологическую проблему, особенно в контексте последующего перехода летучих компонентов нефти в атмосферный воздух. Легкие алифатические углеводороды (C_2-C_{10}) обладают высокой летучестью и способны испаряться из загрязненной почвы, внося вклад в загрязнение атмосферного воздуха. По оценкам, при разливе нефти до 20…40% её лёгких фракций может удаляться из почвы именно за счёт испарения [9]. Это означает, что значительная доля насыщенных алифатических углеводородов способна мигрировать в воздух,

По статье:
Получено: 26.03.2025
Пересмотрено:31.07.2025
Принято: 25.08.2025
Опубликовано: 01.10.2025

Для цитирования:
Ермолдина Э., Бекешев Е., Миркаримова Б., Бариева Б., Степанова Е., Муканов А., Рымжанова Ж. Определение пороговых значений концентраций алифатических углеводородов при их миграции из почвы в атмосферный воздух и моделирования // Гидрометеорология и экология, 118 (3), 2025, 66-77.

особенно при наличии благоприятных условий. Действительно, чем короче углеводородная цепь и ниже молекулярная масса, тем выше давление насыщенного пара соединения и тем легче оно переходит в газовую фазу. Таким образом, низкомолекулярные алканы (например, пропан, гексан) слабо сорбируются грунтом и быстро улетучиваются, тогда как более тяжёлые фракции остаются в почве надолго [10]. Эти свойства подтверждаются и практическими наблюдениями: так, в [9] показано, что уже в первые дни после загрязнения почвы происходит интенсивное испарение наиболее летучих компонентов нефти.

Высокая миграционная способность легких углеводородов означает, что путь «почва–атмосфера» является критическим с точки зрения воздействия на качество воздуха и здоровье населения. Отмечается, что на поведение и миграцию углеводородов в почве влияет широкий комплекс факторов – как природных, так и техногенных [11]. В частности, температура окружающей среды, влажность почвы и её гранулометрический состав существенно сказываются на скорости испарения и объёме переходящих в воздух загрязнителей. Повышение температуры ускоряет испарение углеводородов, тогда как высокая влажность способна частично подавлять выход паров за счёт сорбции воды в поровом пространстве. Таким образом, для оценки воздушной миграции необходимо учитывать микроклиматические и почвенные условия, которые могут либо усиливать, либо ограничивать испарение летучих органических соединений из грунта.

В последние 25 лет в научной литературе активно обсуждаются и развиваются экспериментальные методы выявления и количественной оценки миграционных процессов углеводородов из почвы в воздух. Газовая хроматография (ГХ) как метод является «золотым стандартом» для анализа углеводородов благодаря высокой чувствительности и специфичности. С помощью ГХ можно раздельно идентифицировать отдельные алканы в сложной смеси, что важно при изучении состава и происхождения углеводородных выбросов. Например, для оценки нефтяного загрязнения применили ГХ с детектором по ионизации пламени (ГХ-ИД), с помощью которого определяли распределение н-алканов в пробах среды [12]. Газовая хроматография часто сочетается с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС) для более точного определения концентраций. В частности, разработанный Департаментом охраны окружающей среды штата Массачусетс метод Air-Phase Petroleum Hydrocarbons (APH) предусматривает отбор проб воздуха в герметичные канистры с последующим анализом на ГХ-МС, позволяющим количественно измерять содержание летучих алифатических углеводородов в диапазонах C_5-C_8 и C_9-C_{12} [13]. Такой подход даёт возможность контролировать концентрации отдельных фракций углеводородов в воздухе с уровнем обнаружения порядка нескольких мкг/м^3.

Метод флюкс-камер используется для измерения выбросов углеводородов из почвы. Например, были применены статические камеры для измерения эмиссии C_2-C_{10} углеводородов из лесных и заболоченных почв, используя газовую хроматографию [14]. Аналогичный метод использовали для измерения выбросов углеводородов с биоремедиационных полигонов нефтеотходов [15]. Эти камеры позволяют точно фиксировать интенсивность миграции углеводородов и состав паров, включая метан и алифатические углеводороды. Кроме того, был использован микрометеорологический подход для измерения флюксов углеводородов с загрязнённых почв с помощью метода флюкс-градиента, установив два уровня для отбора воздуха. Эти данные были использованы для оценки флюксов нефти и углеводородов в атмосферу и демонстрируют использование методов для полевых исследований загрязнённых территорий [16]. Для оперативного мониторинга миграции углеводородов широко используют фотоионизационные газоанализаторы (например, «Колион-1»). Эти приборы позволяют быстро определять суммарную концентрацию летучих углеводородов в воздухе с использованием метода для экспресс-диагностики нефтяных загрязнений [17]. Эти

приборы подходят для быстрого отслеживания изменений концентраций и определения горячих точек загрязнения.

Важной задачей является определение воздушно-миграционного показателя вредности (ВМПВ), подпороговой концентрации предельно алифатических углеводородов в атмосферном воздухе, которая служит индикатором потенциального вредного воздействия загрязняющих веществ на атмосферу и, соответственно, на живые организмы. Подпороговая концентрация представляет собой уровень, ниже которого вещества не оказывают заметного вредного влияния на здоровье и экосистему. Установление таких норм позволяет не только контролировать качество воздуха, но и разрабатывать эффективные меры по его охране. Так, с целью гигиенического обоснования ПДК нефтепродуктов в почве Республики Беларусь, проведён ряд экспериментов по установлению подпороговой концентрации по воздушно-миграционному признаку вредности в тепловых камерах (термостатах), с учетом регионального ландшафтно-геохимического фона (исследовали песчаную почву, обладающую минимальной сорбционной и максимальной фильтрующей способностью), с использованием смеси нефтепродуктов с содержанием углеводородов диапазона С1–С40 (осветительный керосин, топливо дизельное автомобильное, масло индустриальное). Анализ проб на содержание углеводородов диапазона С10–С40 проводили газохроматографическим методом, в динамике через 24, 48 и 72 ч. Показано, что при концентрациях нефтепродуктов в почве в дозе, реально встречаемой в почве (150 мг/кг) и в 20 раз ее превышающей (3000 мг/кг), уровень миграции их в воздух не превышал установленной среднесуточной ПДК атмосферного воздуха (0.4 мг/м^3) для углеводородов алифатического ряда С11–С19. Следовательно, подпороговой концентрацией нефтепродуктов в почве по воздушно-миграционному показателю вредности является величина 3000 мг/кг [18].

Обзор литературы показывает, что за последние десятилетия разработаны методы для изучения миграции алифатических углеводородов из почвы в атмосферу. Выявлены факторы, влияющие на процесс испарения (температура, влажность, состав почвы), а также методы, позволяющие обнаруживать даже низкие концентрации углеводородных паров, включая полевые детекторы и хроматографию. Однако остаётся открытым вопрос минимальной концентрации углеводородов в почве, при которой их миграция в воздух становится опасной. Гигиенические нормативы по ВМПВ являются необходимым инструментом для оценки и регулирования уровня загрязнения воздуха. Они помогают установить безопасные пределы концентрации различных веществ в атмосфере, что, в свою очередь, способствует защите здоровья населения. Понимание этих норм и их применение на практике позволит более эффективно справляться с проблемами загрязнения и обеспечивать устойчивое развитие общества.

Понятие загрязнения атмосферного воздуха дано в Законе Республики Казахстан от 11 марта 2002 года № 302-II «Об охране атмосферного воздуха»: загрязнение атмосферного воздуха это поступление в атмосферный воздух или образование в нем вредных веществ в концентрациях, превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха [19]. В качестве гигиенических нормативов выступают предельно допустимые концентрации (ПДК) – количество единиц массы загрязняющего вещества на единицу объёма воздуха (мг/м^3), принимаемое за 1 ПДК. В соответствии с Методическими рекомендациями по гигиеническому обоснованию предельно допустимых концентраций химических веществ в почве (№ 2609-82 от 5 августа 1982 г.), на основании полученных экспериментальных данных берётся величина близкая к максимальной разовой ПДК для атмосферного воздуха [20].

Исследование, проведённое в рамках данной работы, направлено на определение подпороговых значений концентраций углеводородов (C_2-C_{10}) и обоснование нового показателя вредности, характеризующего способность химического вещества

(нефтепродукты) переходить из почвы в атмосферный воздух, что заполняет пробел в знаниях и предоставляет основу для экологического нормирования.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В соответствии с Методическими рекомендациями по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве № 2609-82, проведено три серии экспериментов по определению воздушно-миграционного показателя вредности (ВМПВ) при миграции определенного количества нефтепродуктов из почвы (изучены почвы Центрального Казахстана). Применен метод моделирования воздушной миграции нефтепродуктов из почвы в термостатах, в сравнении с предельно допустимой концентрацией (ПДК) алифатических углеводородов группы C_1-C_{10} полученных среднесуточных концентраций углеводородов в воздухе [20].

В связи с отсутствием в Казахстане установленных значений предельно допустимой разовой концентрации углеводородов в воздухе, было решено ориентироваться на ПДК алифатических углеводородов группы C_1-C_{10}, которая составляет 300 мг/м^3, согласно Гигиенических нормативов к атмосферному воздуху в городских и сельских населенных пунктах, на территориях промышленных организаций (утв. приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от 02.08.2022 г. №ҚР ДСМ-70).

Материалы.

Для эксперимента использована единая проба бурой солонцеватой почвы с плотным глинистым механическим составом, отобранная в 2024 г. в точке с координатами 47°35’24,6” с.ш., 67°49’05,4” в.д. в Улытауском районе области Ұлытау (Центральный Казахстан), с содержанием 60 мг/кг нефтепродуктов (выявлено флуориметрическим методом, ПНД Ф 16.1.21-98, с использованием прибора «Флюорат-02-3М», производства ООО «ЛЮМЭКС», Россия). Предварительно в этом же образце естественной почвы были также определены основные агрохимические свойства (pH, гумус, влагоёмкость), по общепринятым методикам.

Методы.

В соответствии с Методическими рекомендациями № 2609-82, проведены стационарные (лабораторные) эксперименты по определению подпороговой концентрации нефтепродуктов в почве по миграционному воздушному показателю, с применением тепловых камер (термостатов), на дне которых расположен лоток с почвой, загрязненной нефтепродуктами в трех концентрациях - 60 мг/кг нефтепродуктов в первом образце (фоновая концентрация, реально встречаемая в почве исследуемого региона), 1200 мг/кг нефтепродуктов во втором образце (максимальная концентрация с превышением фона в 20 раз), 400 мг/кг нефтепродуктов в третьем образце почвы (промежуточная концентрация между фоновой и максимальной). В экспериментах пробы почвы искусственно загрязнялись углеводородным ракетным горючим (УВГ).

Изучение миграции нефтепродуктов в количестве 60 мг/кг, 1200 мг/кг и 400 мг/кг из почвы в воздух проводилось в суховоздушном термостате при соблюдении следующих условий:

- диапазон изменения влажности от 10 до 100±5%;
- диапазон изменения температуры от 20 до 50±1.0°C;
- объем камеры должен быть не менее 0.05 м^3.

Обработка почвы.

Почва массой 0,5 кг, предварительно высушенная до воздушно-сухого состояния, и очищенная от посторонних включений (камни, корни растений и т.д.), была пропущена через сито с диаметром отверстия 2…3 мм, затем помещена в вакуумный эксикатор с пришлифованными крышками и пробками, оснащёнными двумя отводами для отбора воздуха и дальнейшего анализа содержания предельных алифатических углеводородов группы C_2–C_{10}, при температуре 50°C и увлажнении почвы до 10% и 60% от полной влагоёмкости. Таким образом, были созданы контролируемые условия микроклимата,

способствующие максимальному переходу исследуемого вещества в нижний слой атмосферы, что актуально для оценки миграции нефтепродуктов из почвы.

Пробы воздуха отбирали через 24 часа после загрузки эксикатора, а затем на 2, 3, 4, 5, 6 и 7 сутки, для каждой исследуемой концентрации нефтепродуктов в почве (60 мг/кг, 1200 мг/кг, 400 мг/кг). Измерения концентрации паров углеводородов в воздухе проведены с помощью газоанализатора ГАНК-4, с применением метода фотоионизационного детектирования, обеспечивающего высокую точность измерений. Измерения проводились четыре раза в сутки, обеспечивая динамическое наблюдение с интервалами в три часа.

Обработка данных.

Полученные экспериментальные данные были обработаны с помощью стандартных методов математической статистики для расчета среднего арифметического показателя (среднесуточная концентрация углеводородов в воздухе) по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}, \quad (1)$$

где x – значение повторностей определения, n – количество повторностей (*в Excel: =СРЗНАЧ (массив значений X)*.

Среднеквадратичное отклонение от среднего (*в Excel:=СТАНДОТКЛОН (массив значений X*) рассчитано по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\ . \quad (2)$$

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Образец почвы с содержанием 60 мг/кг нефтепродуктов. В первые сутки среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов в воздухе при влажности 60% от полной влагоёмкости составила 56.9±0.013 мг/м^3. При влажности 10% концентрация углеводородов была немного ниже и составила 54.1±0.039 мг/м^3.

На вторые сутки среднесуточная концентрация при влажности 60% составила 51.4±0.019 мг/м^3, при влажности 10% - 105.5±0.032 мг/м^3.

На третьи сутки среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов при влажности 60% составила 52.4±0.017 мг/м^3, при влажности 10% - 105.7±0.018 мг/м^3.

На четвертые сутки среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов при влажности 60% составила 52.1±0.089 мг/м^3, при влажности 10% 105.8±0.033 мг/м^3.

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов на пятые сутки составила 55.9±0.044 мг/м^3 при влажности 60%, при влажности 10% - 102.0±0.014 мг/м^3.

На шестые сутки среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов составила 44.0±0.079 мг/м^3 при влажности 60%, при влажности 10% - 70.2±0.046 мг/м^3.

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов на седьмые сутки при влажности 60% составила 48.5±0.076 мг/м^3, при влажности 10% - 51.7±0.052 мг/м^3.

Таким образом, согласно результатам проведённого анализа (таблица 1, рисунок 1), в естественном типе почвы с содержанием 60 мг/кг нефтепродуктов, при миграции предельных алифатических углеводородов из почвы в атмосферу наименьшая (лимитирующая) среднесуточная концентрация предельных углеводородов составила 44.0 мг/м^3 при 60% влажности от полной влагоёмкости и 51.7 мг/м^3 при 10% влажности. Незначительная разница в среднесуточных концентрациях указывает на незначительное

влияние уровня влажности на миграционные процессы в почвенной среде с плотным глинистым составом и их потенциальное воздействие на атмосферу, что уточняет выводы, сделанные ранее [11].

Таблица 1

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов в атмосферном воздухе (C_2–C_{10}) (естественный тип почвы с содержанием 60 мг/кг нефтепродуктов)

Период	Результаты измерения предельных алифатических углеводородов $C_2 – C_{10}$ (мг/м^3)	
	Среднесуточная концентрация	
	60 %	10 %
1 сутки	56.9 ± 0.013	54.1 ± 0.039
2 сутки	51.4 ± 0.019	105.5 ± 0.032
3 сутки	52.4 ± 0.017	105.7 ± 0.018
4 сутки	52.1 ± 0.089	105.8 ± 0.033
5 сутки	55.9 ± 0.044	102.0 ± 0.014
6 сутки	44.0 ± 0.07	70.2 ± 0.046
7 сутки	48.5 ± 0.07	51.7 ± 0.052

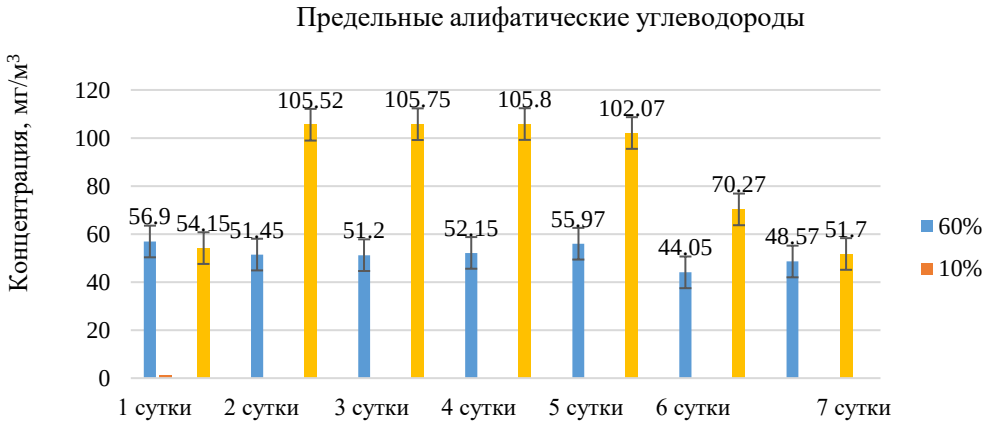


Рисунок 1. *Среднесуточная концентрация углеводородов (C_2-C_{10}) в воздухе (60 мг/кг нефтепродуктов в почве)*

Образец почвы с содержанием 1200 мг/кг нефтепродуктов. Полученная среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов при влажности 60% от полной влагоёмкости составила 5798.2±0.0084 мг/м^3, при влажности 10% - 3689.0±0.047 мг/м^3.

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов на вторые сутки при влажности 60% составила 5279.7±0,015 мг/м^3, при 10% влажности – 4243.2±0.025 мг/м^3.

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов при влажности 60% на третьи сутки составила 5123.0±0.033 мг/м^3, при влажности 10% - 2552.2±0.028 мг/м^3.

На четвертые сутки среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов при влажности 60% от полной влагоёмкости составила 4197.5±0.035 мг/м^3, при влажности 10% - 2570.0±0.024 мг/м^3.

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов на пятые сутки при влажности 60% от полной влагоёмкости составила 3237.0±0.014 мг/м^3, при влажности 10% - 1611.0±0.039 мг/м^3.

На шестые сутки при влажности 60% от полной влагоёмкости среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов составила 2025.5±0.047 мг/м^3, при влажности 10% - 1038.0±0.092 мг/м^3.

Полученная среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов при влажности 60% от полной влагоёмкости на седьмые сутки составила 1108.0±0.022 мг/м^3, при влажности 10% - 915.2±0.048 мг/м^3. Результаты измерения среднесуточной концентрации предельных алифатических углеводородов в воздухе при миграции из почвы, загрязненной 1200 мг/кг нефтепродуктов (в 20 раз превышающая первую концентрацию 60 мг/кг) представлены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов в атмосферном воздухе ($C_2 - C_{10}$) *(1200 мг/кг нефтепродуктов в почве)*

Период	Результаты измерения предельных алифатических углеводородов $C_2 – C_{10}$ (мг/м^3)	
	Среднесуточная концентрация	
	60 %	10 %
1 сутки	5798.2 ± 0.0084	3689.0 ± 0.047
2 сутки	5279.7 ± 0.015	4243.2 ± 0.025
3 сутки	5123.0 ± 0.033	2552.2 ±0.028
4 сутки	4197.5 ± 0.035	2570.0 ± 0.024
5 сутки	3237.0 ± 0.014	1611.0 ± 0.039
6 сутки	2025.5 ± 0.047	1038.7 ± 0.092
7 сутки	1108.2 ± 0.022	915.2 ± 0.048

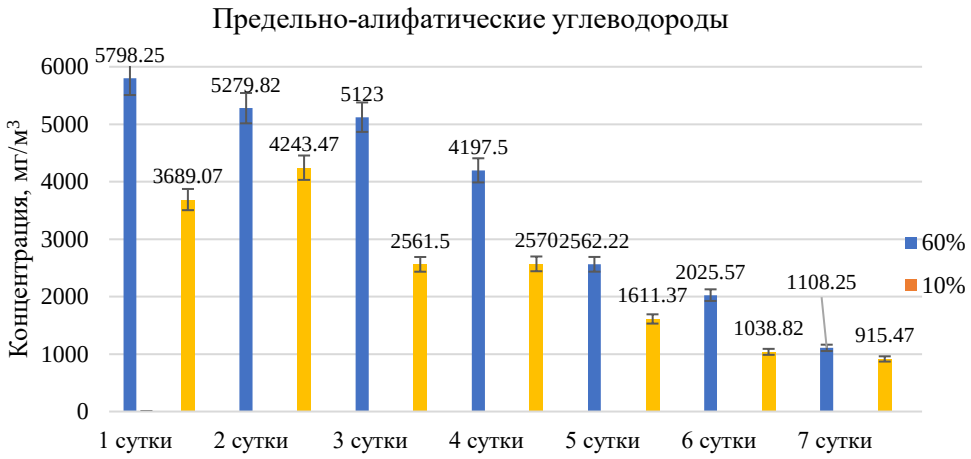


Рисунок 2. *Среднесуточная концентрация углеводородов (C_2-C_{10}) в воздухе (1200 мг/кг нефтепродуктов в почве)*

Таким образом, при концентрации 1200 мг/кг нефтепродуктов в бурой солонцеватой суглинистой почве, наименьшая среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов в воздухе (лимитирующий показатель) составляет 1108.0±0.022 мг/м^3 при влажности 60%, 915.2±0.048 мг/м^3 при 10% влажности, что превышает ПДК=300 мг/м^3 в несколько раз. Это значительно отличается от результатов, полученных В.М. Рубин с соавторами (2013), когда при миграции нефтепродуктов 150 и 3000 мг/кг в песке, концентрация углеводородов в воздухе не превышала ПДК=0.4 мг/м^3.

Образец почвы с содержанием 400 мг/кг нефтепродуктов. Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов в воздухе на первые сутки, при влажности 60% от полной влагоёмкости составила 604.0±0.022 мг/м^3, а при влажности 10% - 584.9±0.082 мг/м^3.

На вторые сутки среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов при влажности 60% составила 497.6±0.078 мг/м^3, а при влажности 10% - 373.5 ±0.044 мг/м^3.

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов при влажности 60% на третьи сутки составила 388.5±0.08 мг/м^3, при влажности 10% - 273.4 ±0.051 мг/м^3.

На четвертые сутки среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов при влажности 60% составила 384.0±0.063 мг/м^3, при влажности 10% - 261.5±0.021 мг/м^3.

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов на пятые сутки при влажности 60% от полной влагоёмкости составила 319.8±0.048 мг/м^3, при влажности 10% - 245.0±0.091 мг/м^3.

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов на шестые сутки составила 306.7±0.038 мг/м^3 при влажности 60% от полной влагоёмкости, при влажности 10% - 248.0±0.052 мг/м^3.

Результаты седьмых суток показывают, что среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов, при влажности 60% от полной влагоёмкости составила 302.0±0.013 мг/м^3, при влажности 10% - 247.9±0.026 мг/м^3, что соответствовало ПДК=300 мг/м^3.

Результаты измерения среднесуточной концентрации предельных алифатических углеводородов в воздухе при миграции из почвы, загрязненной 400 мг/кг нефтепродуктов представлены в таблице 3 и на рисунке 3.

Таблица 3

Среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов в атмосферном воздухе $(C_2 - C_{10})$ *(400 мг/кг нефтепродуктов в почве*)

Период	**Результаты измерения предельных алифатических углеводородов C_2 –C_{10} (мг/м^3)**	
	Среднесуточная концентрация	
	60%	**10%**
1 сутки	604.0 ± 0.022	584.9 ± 0.082
2 сутки	497.6 ± 0.073	373.5 ± 0.044
3 сутки	388.5 ± 0.08	273.4 ± 0.051
4 сутки	384.0 ± 0.063	261.5 ± 0.021
5 сутки	319.8 ± 0.048	245.0 ± 0.091
6 сутки	306.7 ± 0.038	248.0 ± 0.052
7 сутки	302.0 ± 0.013	247.9 ±0.026

Сравнительный анализ результатов экспериментов с тремя концентрациями нефтепродуктов в почве показал следующее:

- при воздушной миграции концентрации 60 мг/кг (реально встречаемое содержание в почве нефтепродуктов), наименьшая (лимитирующая) среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов группы C_1-C_{10} в воздухе составила 44.0 мг/м^3 и 51.7 мг/м^3 (60% и 10% влажности от полной влагоёмкости, соответственно), что значительно ниже экологической нормы ПДК=300 мг/м^3;

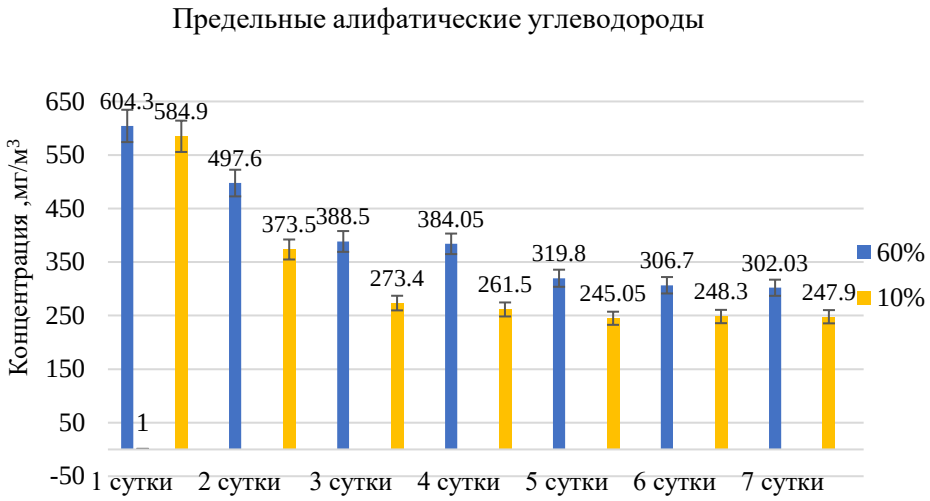


Рисунок 3. *Среднесуточная концентрация углеводородов (C_2-C_{10}) в воздухе (400 мг/кг нефтепродуктов в почве)*

- при концентрации 1200 мг/кг нефтепродуктов в почве (в 20 раз превышает реальную концентрацию 60 мг/кг) наименьшая (лимитирующая) среднесуточная концентрация предельных алифатических углеводородов в воздухе составляет 1108.0 мг/м^3 и 915.2 мг/м^3 (60% и 10% влажности от полной влагоёмкости, соответственно), что значительно превышает ПДК=300 мг/м^3;

- при концентрации в почве 400 мг/кг нефтепродуктов, наименьшая (лимитирующая) среднесуточная концентрация предельных алифатических группы C_1-C_{10} в воздухе составила 302.0 мг/м^3 и 247.9 мг/м^3 (60% и 10% влажности от полной влагоёмкости, соответственно), что соответствует ПДК=300 мг/м^3.

Результаты проведенного исследования не только подтверждают выводы о воздействии микроклиматических и почвенных условий на испарение летучих органических соединений из грунта, сделанные рядом авторов [9, 11, 18], но и позволяют отметить ослабление миграционных процессов за счет морфологических свойств бурой солонцеватой почвы с плотным глинистым механическим составом (преимущественно поглощение нефтепродуктов илистыми компонентами), без существенных различий в уровне увлажненности почвенных слоев (60% или 10% от общей влагоемкости), что характерно для исследуемого региона (Центральный Казахстан).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет определить концентрацию 400 мг/кг нефтепродуктов (углеводородное ракетное горючее) в почве (рассмотрен естественный тип почвы Центрального Казахстана - бурая солонцеватая с плотным глинистым составом) в качестве воздушно-миграционного показателя вредности (ВМПВ), который служит критерием для оценки безопасных уровней загрязняющих веществ в окружающей среде, при проведении дальнейших исследований и оценке экологических рисков, связанных с миграцией этого вещества из почвы в воздух.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании, получены авторами из открытых источников.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ЭТЕ; управление данными – ЕАБ, БШБ; формальный анализ – ЭТЕ, ЕАБ, БММ, ЕЮС, ЖКР; методология – ЭТЕ, ЕАБ; руководство – ЭТЕ; визуализация – БШБ, БММ; написание исходного текста – ЕАБ, БММ, БШБ,; написание и редактирование окончательного текста – ЭТЕ, ЕАБ, ЕЮС, АММ, ЖКР.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования проведены при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках гранта № AP19679969 «Исследование процессов идентификации ракетного углеводородного топлива в почвах районов эксплуатации ракет-носителей и разработка их гигиенического норматива», послужат основой разработки гигиенического норматива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными твердыми частицами на здоровье населения // Медицина труда и экология человека. – 2018. - 3(15). – С. 28-32.
2. Послание Президента Федеральному Собранию 21 февраля 2023 г. - URL http://kremlin.ru/events/president/transcripts/70565 (дата обращения 21.02.2023).
3. Загрязнение атмосферного воздуха // Информационный бюллетень ВОЗ. - URL https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-andhealth (дата обращения 21.02.2023).
4. Как загрязнение воздуха разрушает наше здоровье / Центр СМИ ВОЗ. - URL https://www.who.int/ru/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health (дата обращения = accessed 21.02.2023).
5. Kuklinska K., Jacek W., Namiesnik J. Air Quality Policy in the U.S. and the EU // A Review. Atmospheric Pollution Research. – 2015. – 6. - P. 129-137. - doi:10.5094/APR.2015.015.
6. Нерсесян Е.Н., Бокерия С.А. Экологические инициативы Франции // Этносоциум и межнациональная культура. - 2018. - № 5(119). – С. 137-147.
7. Шкодинский С.В., Рыкова И.Н., Юрьева А.А. Опыт отдельных зарубежных стран в сфере снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух // Вестник Московского государственного областного университета. - Серия: Экономика. - 2021. - 4:118-132. doi:10.18384/2310-6646-2021-4-118-132.
8. Лыжин Д.Н. Климатическая политика США: проблемы и перспективы глобального лидерства // Проблемы национальной стратегии. – 2021. - 3(66). - С. 221-245. - doi:10.52311/2079-3359_2021_3_221.
9. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. - СПб., 2000. – 273 стр.
10. U.S. EPA (2010–2021). Exposure Assessment Tools by Chemical Classes – Hydrocarbons. EPA ExpoBox. (Summary of volatility of aliphatic hydrocarbons).
11. Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Цибарт А.С., Смирнова М.А. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор) // Почвоведение. - 2015. - № 10. - С. 1195-1209.
12. Rashad A.M. et al. Monitoring organic pollutants from aliphatic hydrocarbons in soil samples within the shoreline in Gulf of Suez // Egypt. J. Petroleum. - 2024. - Vol. 33, No. 1. - Article 3.
13. MassDEP. Method for the Determination of Air-Phase Petroleum Hydrocarbons (APH). Massachusetts Dep. of Environ. Protection, Rev. 1. - 2009. - 54 p.
14. Hellén H. et al. C2-C10 hydrocarbon emissions from a boreal wetland and forest floor // Biogeosciences. - 2006. - Vol. 3, No. 2. - P. 167-174.
15. Lyman S.N., Mansfield M.L. Organic compound emissions from a landfarm used for oil and gas solid waste disposal // J. Air Waste Manage. Assoc. - 2018. - Vol. 68, No. 7. - P. 637-642.
16. Ausma S. et al. Volatile hydrocarbon emissions from a diesel fuel-contaminated soil bioremediation facility // J. Air & Waste Manage. Assoc. - 2002. - Vol. 52, No. 7. - P. 861-870.
17. Safarov A.M. et al. RU Patent 2519079C1: Method for express-detection of soil and groundwater pollution by oil and petroleum products. – 2014.
18. Рубин В.М., Илькова И.И., Кремко Л.М., Присмотров Ю.А., Самсонова А.С., Володько И.К., Лукашев О.В. Гигиеническое обоснование нормативов ПДК нефтепродуктов в почвах Республики Беларусь // Гигиена и санитария. – 2013. – С. 99-101.
19. Закон Республики Казахстан от 11 марта 2002 года № 302-II «Об охране атмосферного воздуха».
20. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. Изд. 2-е.: утв. заместителем Главного государственного санитарного врача СССР В.Е. Ковшило (№2609-82 от 5 августа 1982 г.).

REFERENCES

1. Prosviryakova I.A., Shevchuk L.M. Gigienicheskaya otsenka vliyaniya zagryazneniya atmosfernogo vozdukha melkodispersnymi tverdymi chastitsami na zdorov'e naseleniya. Meditsina truda i ekologiya cheloveka. – 2018. - 3(15) – P. 28-32 [In Russian].
2. Poslanie Prezidenta Federal'nomu Sobraniyu 21 fevralya 2023 goda. - URL http://kremlin.ru/events/president/transcripts/70565 (data obrashcheniya 21.02.2023) [In Russian].
3. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukha // Informatsionnyi byulleten' VOZ. - URL https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-andhealth (data obrashcheniya 21.02.2023) [In Russian].
4. Kak zagryaznenie vozdukha razrushaet nashe zdorov'e / Tsentr SMI VOZ. - URL https://www.who.int/ru/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health (data obrashcheniya = accessed 21.02.2023) [In Russian].
5. Kuklinska K., Jacek W., Namiesnik J. Air Quality Policy in the U.S. and the EU // A Review. Atmospheric Pollution Research. – 2015. – 6. – P. 129-137. doi:10.5094/APR.2015.015 [In Russian].
6. Nersesyan E.N., Bokeriya S.A. Ekologicheskie initsiativy Frantsii // Etnosotsium i mezhnatsional'naya kul'tura. – 2018. - № 5(119). -P. 137-147 [In Russian].
7. Shkodinskii S.V., Rykova I.N., Yur'eva A.A. Opyt otdel'nykh zarubezhnykh stran v sfere snizheniya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernyi vozdukh // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. - Seriya: Ekonomika. – 2021. - 4:118-132. doi:10.18384/2310-6646-2021-4-118-132 [In Russian].
8. Lyzhin D.N. Klimaticheskaya politika SShA: problemy i perspektivy global'nogo liderstva // Problemy natsional'noi strategii. – 2021. - 3(66). – P. 221-245. - doi:10.52311/2079-3359_2021_3_221 [In Russian].
9. Drugov Yu.S., Rodin A.A. Ekologicheskie analizy pri razli-vakh nefti i nefteproduktov. — SPb., 2000. - 273 p. [In Russian].
10. U.S. EPA (2010–2021). Exposure Assessment Tools by Chemical Classes – Hydrocarbons. EPA ExpoBox. (Summary of volatility of aliphatic hydrocarbons).
11. Gennadiev A.N., Pikovskiy Yu.I., Tsibart A.S., Smirnova M.A. Ugle-vodorody v pochvakh: proiskhozhdenie, sostav, povedenie (obzor) // Pochvovedenie. - 2015. — No. 10. — P. 1195-1209. [In Russian]

12. Rashad A.M. et al. Monitoring organic pollutants from aliphatic hydrocarbons in soil samples within the shoreline in Gulf of Suez // Egypt. J. Petroleum. - 2024. - Vol. 33, No. 1. - Article 3.
13. MassDEP. Method for the Determination of Air-Phase Petroleum Hydrocarbons (APH). Massachusetts Dep. of Environ. Protection, Rev. 1. - 2009. - 54 p.
14. Hellén H. et al. C2-C10 hydrocarbon emissions from a boreal wetland and forest floor // Biogeosciences. - 2006. - Vol. 3, No. 2. - P. 167-174.
15. Lyman S.N., Mansfield M.L. Organic compound emissions from a landfarm used for oil and gas solid waste disposal // J. Air Waste Manage. Assoc. - 2018. - Vol. 68, No. 7. - P. 637-642.
16. Ausma S. et al. Volatile hydrocarbon emissions from a diesel fuel-contaminated soil bioremediation facility // J. Air & Waste Manage. Assoc. - 2002. - Vol. 52, No. 7. - P. 861-870.
17. Safarov A.M. et al. RU Patent 2519079C1: Method for express-detection of soil and groundwater pollution by oil and petroleum products. – 2014.
18. Rubin V.M., Il'kova I.I., Kremko L.M., Prisvotrov Yu.A., Samsonova A.S., Volod'ko I.K., Lukashev O.V. Gigienicheskoe obosnovanie normativov PDK nefteproduktov v pochvakh Respubliki Belarus // Gigiena i sanitariya. - 2013. - S. 99-101. [In Russian].
19. Zakon Respubliki Kazakhstan ot 11 marta 2002 goda № 302-II «Ob okhrane atmosfernogo vozdukha» [In Russian].
20. Metodicheskie rekomendatsii po gigienicheskomu obosnovaniyu PDK khimicheskikh veshchestv v pochve № 2609-82 [In Russian].

ТОПЫРАҚТАН АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАҒА КӨШУ КЕЗІНДЕ АЛИФАТТЫ КӨМІРСУТЕКТЕР КОНЦЕНТРАЦИЯСЫНЫҢ ШЕКТІ МӘНДЕРІН АНЫҚТАУ

Эльмира Т. Ермолдина PhD, Ерлан А. Бекешев, Бибигуль М. Миркаримова* т.ғ.д., Бахытжан Ш. Бариева б.ғ.к., Елена Ю. Степанова, Аскар М. Муканов, Жансая К. Рымжанова

«Инфракос» РМК-ның Алматы қ. филиалы, Алматы, Қазақстан; ermoldina@mail.ru, chemist_e@mail.ru, bibigulm@mail.ru, barievabch@mail.ru, s.ell@mail.ru, askarmukanov85@gmail.com, Rymzhanova110@gmail.com
*Автор корреспондент: Бибигуль М. Миркаримова, e-mail: bibigulm@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

зымыран-ғарыш қызметі,
шекті алифатты көмірсутектер,
мұнай көмірсутектері,
топырақтың табиғи түрі,
ылғал сыйымдылығы,
көші-қон,
микроклимат,
шектікке дейінгі концентрация,
ең аз концентрация

Мақала жайында:
Жіберілді: 26.03.2025
Қайта қаралды: 31.07.2025
Қабылданды: 25.08.2025
Жарияланды: 01.10.2025

АБСТРАКТ

Мақалада зиянды заттардың топырақтан атмосфералық ауаға көшу қабілетін көрсететін зияндылықтың заттардың ауа-миграциялық көрсеткіші бойынша шектікке дейінгі концентрацияны (ШДК) анықтау процесі қарастырылады. ШДК орнату адам денсаулығы мен экожүйеге қауіп-қатерді бағалаудағы маңызды қадам болып табылады, өйткені ол ластаушы заттардың қауіпсіз әсер ету деңгейін анықтауға көмектеседі. Жұмыста заманауи зерттеу әдістері талданады, сонымен қатар температура, ылғалдылық және топырақ құрамы сияқты заттардың көші-қонына әсер ететін факторлар ескеріледі. ШДК-ның практикалық қолданылуы ауаның ластануын азайту және халықтың денсаулығын қорғау стратегияларын әзірлеу аясында қарастырылады. Алынған эксперименттік мәліметтер негізінде атмосфералық ауа үшін шекті рұқсат етілген концентрацияға (ШРК) жақын шама таңдалды. Осыған байланысты топырақтағы 400 мг/кг-ға тең алифатты көмірсутектердің концентрациясы зерттелді. Бұл зерттеу мұндай концентрациялардың қоршаған ортаға және адам денсаулығына ықтимал әсерін бағалауға, сондай-ақ топырақ пен ауаның ластануымен байланысты ықтимал қауіптерді анықтауға мүмкіндік береді.

DETERMINATION OF THRESHOLD VALUES OF ALIPHATIC HYDROCARBON CONCENTRATIONS DURING THEIR MIGRATION FROM SOIL TO ATMOSPHERIC AIR

Elmira Ermoldina PhD, Yerlan Bekeshev, Bibigul Mirkarimova Doctor of Technical Sciences, Bakhytzhan Barieva Candidate of Biological Sciences, Yelena Stepanova, Mukanov Askar, Rymzhanova Zhansaya

Branch of RSE «Infrakos» in Almaty, Almaty, Kazakhstan; ermoldina@mail.ru, chemist_e@mail.ru, bibigulm@mail.ru, barievabch@mail.ru, s.ell@mail.ru, askarmukanov85@gmail.com, Rymzhanova110@gmail.com
* Corresponding author: Bibigul Mirkarimova, e-mail: bibigulm@mail.ru

KEY WORDS

rocket and space activity,
aliphatic limit hydrocarbons,
oil hydrocarbons,
natural soil type,
water capacity,
migration,
microclimate,
subthreshold concentration,
lowest concentration

About article*:*
Received: 26.03.2025
Revised: 31.07.2025
Accepted: 25.08.2025
Published: 01.10.2025

ABSTRACT

The article considers the process of determining the subthreshold concentration (STC) based on the air-migration hazard indicator, which reflects the ability of harmful substances to migrate from soil to atmospheric air. Establishing an STC is an important step in assessing risks to human health and ecosystems, as it helps determine safe levels of exposure to pollutants. The paper analyzes modern research methods and takes into account factors affecting the migration of substances, such as temperature, humidity and soil composition. The practical application of STC is considered in the context of developing strategies to reduce air pollution and protect public health. Based on the obtained experimental data, a value close to the maximum permissible concentration (MPC) for atmospheric air was selected. In this regard, the concentration of aliphatic hydrocarbons equal to 400 mg/kg in the soil was studied. This study allows us to assess the potential impact of such concentrations on the environment and human health, as well as identify possible risks associated with soil and air pollution.

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).

Гидрометеорология и экология

Scientific article

RESEARCH ON THE ION EXCHANGE PROPERTIES IN HYDROCHLORIC ACID-MODIFIED ZEOLITE FOR WATER TREATMENT

Yerlan Doszhanov[1,2] PhD, associate professor, Mudasir Zahid[3], Noorahmad Ahmadi[4], Rahmuddin Ihsas[5], Aitugan Sabitov[1] Candidate of Chemical Sciences, Almagul Kerimkulova[1] Candidate of Chemical Sciences, Ospan Doszhanov[6] Candidate of Technical Sciences, associate professor, Arman Zhumazhanov[1,2*], Nurbike Baizakova[2], Dana Akhmetzhanova[1,2], Karina Saurykova[1], Akbope Aidarbek[1]

[1]Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan; yerlan_doszhanov@mail.ru (YeD.), sabitovan.1982@gmail.com (AS), almusha_84@mail.ru (AK), jumajanarman@gmail.com (AZh), adana128128@gmail.com (DA), saurykova.karina@mail.ru (KS), akbope.aydarbek@mail.ru (AA)
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; nurbike@ecoproject.kz (N.T.B.)
[3]Paktika University, Paktika, Afghanistan; mudasir.zahid277@gmail.com (M.D.)
[4]Nuristan University, Nuristan, Afghanistan; ahmadinoorahmad866@gmail.com (N.A.)
[5]Sayed Jamaluddin Afghani University, Kunar, Afghanistan; ahsassafi8@gmail.com (R.I.)
[6]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan; ospan.doszhanov@mail.ru (O.M.D.)
Corresponding author: Arman Zhumazhanov, jumajanarman@gmail.com

KEYWORDS

acid treatment,
zeolite modification,
adsorption,
water treatment,
pore structure,
clinoptilolite.

ABSTRACT

Zeolite is a group of a few microporous, crystalline aluminosilicate materials which has attracted much attention due to its remarkable absorption, ion exchange, and catalytic behavior. Their uses in water treatment, particularly for heavy metal and ammonium ion removal, have been greatly augmented through chemical modifications. This study investigates the impact of HCl treatment on the physicochemical and structural properties of natural clinoptilolite zeolite. First, it was refluxed with 0.97 M HCl for acid modification and was extensively purified, characterized using FTIR, XRD, gas sorption, and DTG. Overall, compared with the raw material, the results clearly show that the treatment with HCl can increase the surface area and cation exchange capacity, and improve the pore distribution by removing impurities and reorganization of the aluminosilicate building unit. Gas sorption confirmed a 64.4 % increase in the BET surface area (280.3 m^2/g), along with a decrease in pore diameter, indicating enhanced adsorption efficiency. Adsorption experiments also indicated that most of the HCl-treated zeolites outperformed the unmodified samples for Disperse Blue 26 (DB 26). Furthermore, although acid modification often improves adsorption characteristics, the research indicates the possibility of structural stability issues stemming from framework leaching. The results of this study revealed the potential of HCl-modified zeolites as efficient and environmentally friendly adsorption materials for water treatment, including wastewater.

About article:
Received: 31.03.2025
Revised: 02.09.2025
Accepted: 23.09.2025
Published: 01.10.2025

1. INTRODUCTION

Zeolite is a family of several microporous, crystalline aluminosilicate materials commonly used as commercial adsorbents and catalysts [1]. They mainly consist of silicon, aluminum, and oxygen, and have a general formula. Mn+1/n(AlO2)−(SiO2) x·yH2O. where Mn+1/n is either a metal ion or H+. These positive ions can be exchanged for others in a contacting electrolyte solution. H+-exchanged zeolites are particularly useful as solid acid catalysts [2]. When Axel Friedrich Kronstadt noticed that metallic materials absorb a lot of water vapor when heated, he named them zeolites. The strongly charged particles are trapped in the pores of the zeolite structure, and normal zeolites are formed when volcanic debris reacts with antacid water. Over tens of thousands of years, zeolites crystallized [1].

Zeolites, a class of crystalline aluminosilicates, have garnered significant attention due to their different applications, specifically in water treatment processes. Definite by their exclusive microporous construction and cation exchange properties, zeolites are famous for their flexibility

For citation:
Doszhanov Ye., Mudasir Z., Ahmadi N., Rahmuddin I., Sabitov A., Kerimkulova A., Doszhanov O., Zhumazhanov A., Baizakova N., Akhmetzhanova D., Saurykova K., Aidarbek A. Research on the ion exchange properties in hydrochloric acid-modified zeolite for water treatment // Гидрометеорология и экология, №3 (118), 2025, 78-87.

in adsorption, ion exchange, and catalysis [3]. Zeolites are hydrated aluminosilicates with a three-dimensional framework composed of interconnected $[SiO_4]^{4-}$ and $[AlO_4]^{5-}$ tetrahedra, which are linked through shared oxygen atoms. The negative charge of the framework is balanced by exchangeable cations (M^{n+}), located within the channels and cavities together with water molecules [4]

This sub-atomic development leads to a wide cluster of zeolite types, including clinoptilolite, mordenite, chabazite, and Fauja site, each showing particular pore sizes and compound pieces (Regular Zeolites: Event, Properties, Applications).

Hydrochloric acid (HCl) modification of natural zeolites has developed as a favorable technique to increase their adsorption effectiveness for water purification. Acid treatment modifies the physicochemical properties of zeolites by eliminating impurities, improving surface area, and refining ion exchange capacity [5]. This modification significantly develops the adsorption of heavy metals and early impurities, preparing it as a successful approach for water treatment applications [6]. These results indicate a substantial improvement in lead and ammonium ions removal performance with the HCl-treated zeolites [7…8]. The technique increases the cation-exchange property and porous nature of the material, which facilitates the adsorption of contaminants [9].

Moreover, leaching of metals has an impact on the hydrophilicity and hydrophobicity of zeolites, affecting their selectivity between various contaminants [10]. Modified zeolites have been very efficient for different industrial and environmental applications [11]. especially in wastewater treatment. highlighted the sustainability and economic feasibility of natural zeolites as a long-term treatment for large quantities of water. Furthermore, [12] which showed that metal-modified zeolites are advantageous, supports this potential for acid-treated variants in selective adsorption. HCl pretreatment of zeolites can not only enhance their adsorption capacity but also play a role in stabilizing the structural integrity of zeolites in long-term processes. In spite of these merits, the leaching of structural components and crystalline changes require attention for effective performance [5]. Comprehending the aforementioned modifications is essential to fill the gap and design zeolite-based adsorbents with superior efficiency for sustainable water purification.

2. MATERIALS AND METHODS

The natural clinoptilolite zeolite (particle size: 0.7... 1 mm) used in this study was obtained from the Shanghanai deposit (Zhetysu region, Kazakhstan).

The method of acid treatment of clinoptilolite has been adapted based on previously published studies [5...13]. Dirty zeolite was pre-ultrasonicated (Fisherbrand FB11201). Pre-ultrasonic treatment was used to remove surface contaminants, dust particles, and organic impurities. Then microwaved before being rinsed multiple times with deionized (DI) water to remove obvious loose debris. Washing with deionized water was carried out until the filtrate became transparent, which indicated the removal of free powdery and mechanical particles. The absence of impurities was additionally controlled by the neutral pH value of the rinsing water.

The zeolite was also treated with a NaCl solution for comparative purposes. The treatment conditions with NaCl (1 M, 90 °C, 12 h) were selected to be identical to those of the acid treatment in order to ensure a correct comparison of the reagents under the same regime.

The purified zeolite was placed in an oven at 100°C for 24 h of additional treatment. The process of modification was performed using hydrochloric acid (Hach ACS grade). A total of 20 g pre-treated zeolite was refluxed in a three-neck boiling flask with 115 mL deionized water and 10 mL concentrated HCl at around 90 °C for 12 h. A commonly used acid in this process was 0.97 M HCl. The concentration of 0.97 M was selected based on preliminary data and published studies [6...13], which showed that at concentrations above 1.0 M it can lead to a decrease in the ability to remove Pb2+ ions, and at concentrations below 0.5 M the effect of modification is weak. Thus, 0.97 M provided a balance between impurity removal efficiency and maintaining the structural integrity of the zeolite.

All reflux setups contained a Vigreux column, a thermometer, and foil to prevent evaporation. After the acid treatment, the zeolite was rinsed with absolute ethanol (Fisher Chemical denatured), followed by extensive washing with DI water.

Table 1

The raw zeolite chemical composition

Component	Percentage (%)
SiO_2	68.26 %
Al_2O_3	12.99 %
K_2O	4.11 %
CaO	2.09 %
Fe_2O_3	1.37 %
MgO	0.83 %
Na_2O	0.64 %
TiO_2	0.23 %

The end product was then placed into an oven (100 °C for 24 h). ATR table and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) were conducted with a Shimadzu IR Tracer 100. All the samples were ground into a fine powder prior to analysis. Subsequently, the surface area, pore volume, and pore diameter were determined by using a Quanta chrome Autosorb IQ2 gas sorption analyzer after degassing at 350 °C for approximately 17 h. The thermal constancy was estimated to be using the Difference Thermal Thermohydrometric (DTG) assessment by Shimadzu DTG-60 analyzer with dry grade airflow in alumina pans up to 600 °C.

The X-ray phase analysis of primary and activated samples from zeolite, which were carried out by copper cathode tubes (nickel filter) on diffractometer DRON-3M at an accelerator voltage of 35 kV. Shooting on speed 2/min, at segment measures from 5 to 50 °C The samples were cut to powder form and burnt in a glass cube Vaseline oil.

Lyophilization of all prepared zeolites was carried out according to the standard procedure: where then adsorption of the modified zeolites was further assessed in column mode experiments. Disperse Blue 26 (DB 26) (Crescent Chemical, ASC12972019), a weakly cationic model compound, was used to evaluate adsorption efficiency. Experiments were performed in glass columns (length = 21 cm, internal diameter = 2 cm) filled with the modified zeolite to a height of 13 cm; a gauze filter was placed at the bottom. Before adsorption, the media were rinsed with 1 L of degassed DI water using a peristaltic chemical metering pump. Then, a 1 mL solution of 40 mg/L DB 26 was passed through the column with a flow rate of 5 mL/min. Before adsorption experiments, the concentration 0.1 M NaOH solution was used to bring the pH of the aqueous zeolite suspension to a neutral level (≈ 7.0). A similar approach was used in early studies on the preparation of zeolite adsorbents [14]. This concentration ensures sufficient control accuracy without the risk of excessive pH changes.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Gas sorption analysis was used to study the effects of hydrochloric acid (HCl) and sodium chloride (NaCl) treatments on physicochemical and structural properties of the clinoptilolite.

Table 2

Showing the comparison of the BET surface area of HCl-treated, raw, and NaCl-treated zeolite.

Sample	BET Surface Area (m^2/g)	Pore Diameter (Å)
Raw Zeolite	170.5	18...20
HCl-Treated Zeolite	280.3	12...15
NaCl-Treated Zeolite	185.2	16...18

The results indicate that HCl treatment significantly increased the BET surface area (64.4% increase) compared to the raw zeolite, while NaCl treatment had only a moderate effect. The

decrease in pore diameter for HCl-treated samples suggests improved adsorption efficiency, likely due to impurity removal and framework reorganization.

Also, the surface areas and porosities are important properties that provide information about the changes caused by the treatments (Fig. 1). At the same time, the BET surface area of the sample treated with HCl (280.3 m^2/g) was the largest among the other two samples, indicating no significant change, and NaCl did not enhance the surface area. The observed improvement indicates a drastic rearrangement of the zeolite structure, apparently leading to the elimination of impurities and a partial disaggregation of the aluminosilicate framework [15].

In contrast, the clinoptilolite NaCl sample showed moderate surface area increment with pore structure remaining stable in comparison to clinoptilolite HCl. The pore volumes obtained through this analysis show a marginal decrease in all treated samples, where HCl treatment has the strongest effect. This is possibly due to partial framework collapse and pores narrowing as a result of acid leaching [16]. In contrast, the NaCl treatment predominantly impacted on ion-exchange properties, without significant modifications to the pore architecture. The analysis of pore size distribution showed that HCl treatment reduced the pore diameter in a range of 12...15 Å, while NaCl treatment produced minor changes in pore size distribution, confirming its action as a modifier and not a restructuring agent [17].

These findings corroborate recent work on the effect of acid or salted modifications to zeolites. In overall, clinoptilolite is significantly modified with structural and textural characteristics when treated with HCl, with external area improving and absorbency reducing due to structure distortion. On the other hand, NaCl is a treatment that develops ion exchange without concerning the structural reliability of the material, thus it is more appropriate for applications that need to preserve stable porosity while improving ion-exchange capability.

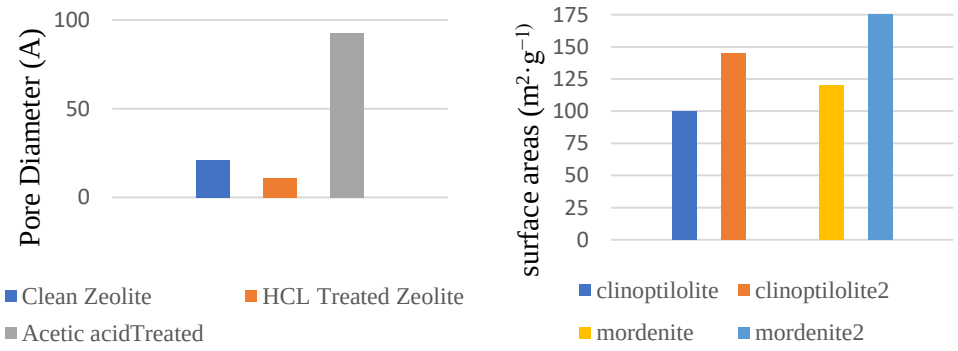


Figure. 1. *In this figure (A) Surface area of zeolites and (B) the pore diameter. and HCl utilize the most Important modification to the physical features of the zeolite*

A comparative study showing that treatment of zeolites with hydrochloric acid (HCl) resulted in a significant decrease in surface area. Possibly attributed to variations in either the acid treatment method or hydrochloric acid concentration used. The results indicate that the surface properties are strongly modified by reflux of the zeolite in hydrochloric acid. On the other hand, the untreated zeolites and the zeolites modified with phosphoric acid or citric acid presented relatively larger surface areas, but the difference was not significant in these treated samples [15].

Acid treatment may also fill smaller pores, which would prevent this reaction from occurring in the smaller pores and only in the larger ones. In polar solvents, it has been observed that HCl etching had little effect on the BET surface area and pore volume of synthetic ZSM-5 zeolites at 363 K [5]. Considering that the acid concentrations and treatment temperatures were very similar, the zeolite type and the treatment time were the only relevant differences. This implies that zeolite type-dependency needs to be accounted for in consideration of the use of acid to increase the zeolite surface area. These new findings, however, emphasize the need to adapt acid treatment procedures to the relevant zeolite architecture, allowing to improve the adsorption properties and surface properties of zeolites as a material for environmental remediation purposes [13].

The XRD analysis in (Fig.2) shows that there is a minor shift at around 2θ = 26.5˚ (characteristic of quartz) toward smaller values for the HCl leached clinoptilolite samples. Peaks at 22.3˚ and 30˚ are assigned to the clinoptilolite shape. Hydrochloric acid considerably influenced the crystallinity of clinoptilolite, assessed to untreated zeolite, and had a noticeable influence on the peak concentrations. This implies that HCl treatment affects zeolite construction more than other ineffective acids, such as acetic acid. Adsorption is commonly connected to surface area and chemistry; hence, the enhanced crystallinity imparted by the HCl treatment may cause a decrease in absorbency and lead to less defects, a smaller number of chemical places with lower energy, and thus weaker adsorption properties. At 22.5˚, the maximum intensity decline is possibly related to lamellar deformation, which leads to partial structural changes.

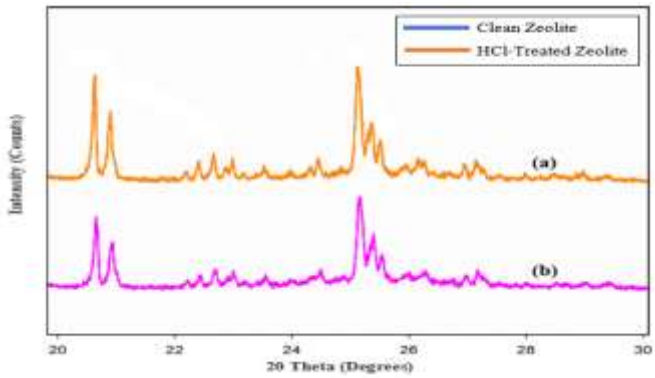


Figure. 2. *XRD patterns of zeolites. Which shows the most intensity of HCl-treated Zeolite than the clean Zeolite*

Decomposition of the structure while shifting is associated with a decrease in the interlayer region due to metals removed after acid leaching. Additionally, a significant change was observed in the quartz, mostly for hydrochloric acid. This is expected as hydrochloric acid is extensively recognized for its sanitization properties of quartz.

We used thermogravimetric analysis (TGA) to investigate the thermal decomposition behavior of clean and HCl-treated zeolite in our experiment. As seen in (Fig. 3), the mass loss trends, the loss of weight was greater on the HCl-treated zeolite than the air-activated zeolite at low temperatures (below 150 °C), representing the loss of physically adsorbed water or volatile. Compared to clean zeolite that has a faster mass loss throughout the whole temperature spectrum, suggesting a stiffer framework. The mass loss observed after 200 °C for zeolite treated with HCl suggests structural configuration modifications attributed to partial dealumination leading to an increased silica-to-alumina ratio. Besides, due to the different porosity and pore properties, its adsorption law also varies. The results described above indicate that the structure, thermal, and Adsorption properties of zeolite are successively modified by acid treatment, which is consistent with other zeolite modification studies.

Optical microscopy indicates the morphological changes caused by HCl modification of natural zeolite. As shown in (Fig. 1), the untreated zeolite exhibits a relatively rough and heterogeneous surface with irregularly shaped particles and visible agglomerations. The overall texture suggests a porous structure beneficial for adsorption applications.

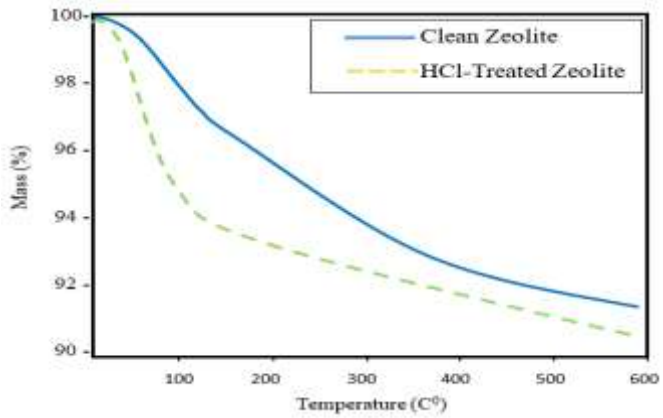


Figure. 3. *Information from DTG showing the amount of mass lost as the treated materials reach 600 ˚C. There is essentially no change in thermal stability*

A major change in surface appearance is observed after HCl treatment. Thus, acid treatment is beneficial for obtaining a cleaner surface, eliminating amorphous phases and other impurities. These findings are in line with reported literature, where acid leaching improves the textural characteristics of zeolites by increasing the number of available adsorption sites [5...15].

In addition, the treated zeolite shows a clearer particle arrangement, suggesting better accessibility of adsorption sites [8]. However, excessive acid exposure and repeated washing can cause partial structural degradation, lowering the overall crystallinity of the material [18].

HCl-modified zeolite demonstrates improved surface characteristics that are advantageous in water purification, as the removal of non-framework components (mainly metal oxides) increases the ion-exchange capacity, thereby facilitating contaminant removal. Overall, optical microscopy analysis supports that HCl modification enhances the morphology of natural zeolite, producing a cleaner structure suitable as an adsorbent medium in water purification.

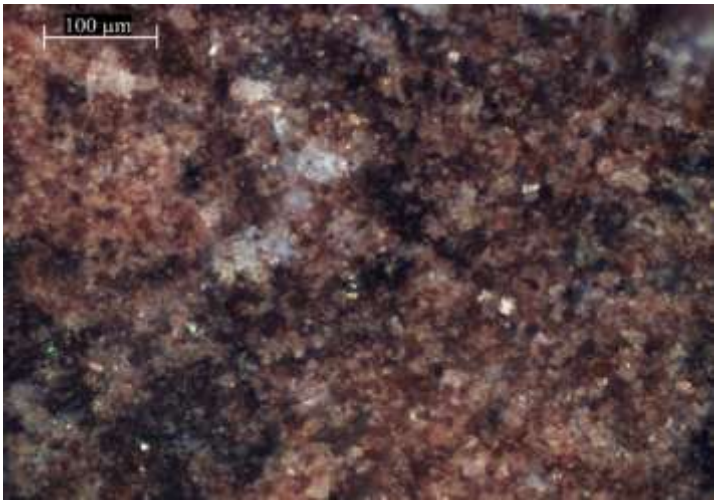


Figure. 4. *The Optical microscopy image of the Surface morphology of the treated zeolite*

A comparative study showing that treatment of zeolites with hydrochloric acid (HCl) resulted in a significant decrease in surface area. Possibly attributed to variations in either the acid treatment method or hydrochloric acid concentration used. The results indicate that the surface properties are strongly modified by reflux of the zeolite in hydrochloric acid. On the other hand, the untreated zeolites and the zeolites modified with phosphoric acid or citric acid presented relatively larger surface areas, but the difference was not significant in these treated samples [15].

Moreover, these findings are consistent with those observed in treatment with glacial acetic acid. Acetic acid does not seem to have any effect on the modification of zeolite. Acid treatment may also fill smaller pores, which would prevent this reaction from occurring in the smaller pores

and only in the larger ones. In polar solvents, it has been observed that HCl etching had little effect on the BET surface area and pore volume of synthetic ZSM-5 zeolites at 363 K [5]. Considering that the acid concentrations and treatment temperatures were very similar, the zeolite type and the treatment time were the only relevant differences. This implies that zeolite type-dependency needs to be accounted for in consideration of the use of acid to increase the zeolite surface area. These new findings, however, emphasize the need to adapt acid treatment procedures to the relevant zeolite architecture, allowing to improve the adsorption properties and surface properties of zeolites as a material for environmental remediation purposes [13].

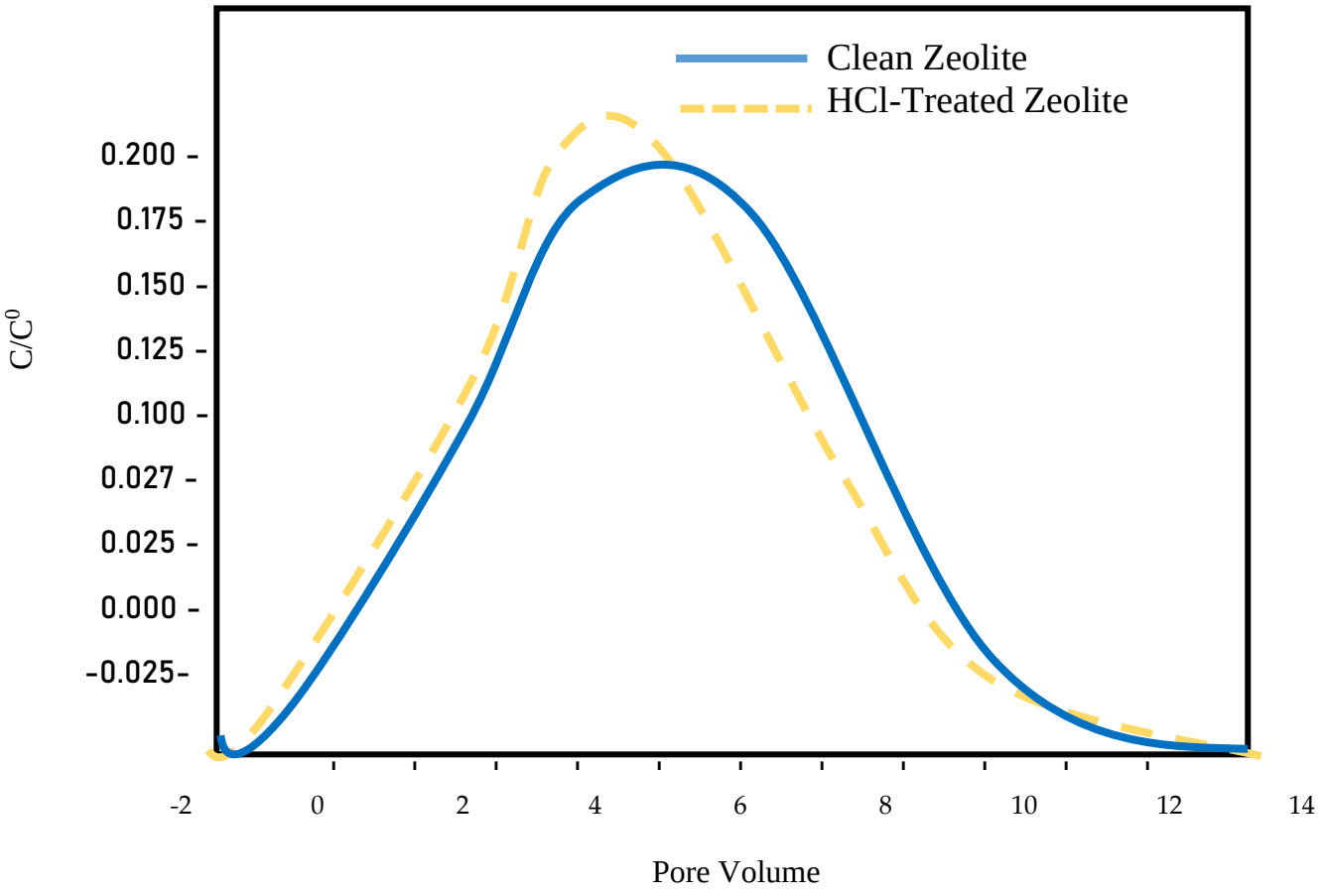


Figure. 5. *Breakthrough curve for adsorption of DB26 in column mode experiment*

The breakthrough curves of the graph show the effect of the treatment of zeolite (HCl) on its pore volume and adsorption behavior. The overall trends for the clean zeolite and the HCl-treated zeolite are similar; however, the curve for the HCl-treated zeolite peaks slightly earlier at a lower pore volume, indicating that acidity treatment altered the pore structure. This shift suggests that treating with HCl may have changed the accessibility of adsorption sites, improved the rate of diffusion, yet decreased the overall available sites for adsorption. However, the lower tailing effects indicate a more homogeneous adsorption process in the acid-modified zeolite of the present study, which is consistent with previous reports where strong acids such as sulfuric and nitric acid were shown to enhance the adsorption performance of zeolites even more effectively than HCl [19...20].

4. CONCLUSION

This study demonstrates that acid treatment, particularly with HCl, modifies the structure of natural zeolites and improves their adsorption efficiency. Zeolites, due to their high surface area, tunable porosity, and ion-exchange capacity, remain highly promising materials for water purification and environmental applications. The results highlight the potential of HCl-modified

zeolites as effective adsorbents, while future work should include comparative studies with other strong acids and real wastewater samples to fully evaluate their long-term applicability.

Although acid treatment improves adsorption properties, its effect on long-term structural stability remains controversial. Some studies report stabilization of zeolite frameworks after acid leaching [13], while others note possible framework degradation. Therefore, further investigation of durability and reusability is required before confirming long-term stability.

The results were in line with prior research, suggesting modified zeolites as a preferred component in sustainable water treatment options. Further investigation is required to improve the modification conditions in order to strike a reasonable balance between the properties of structure reliability and high adsorption performance. Consideration of durable strength and reusability of modified zeolites will be critical for their practical application in water treatment as well as their environmental applications. Investigating zeolite synthesis and functionalization will improve our efficacy and cost-efficiency in resolving the trouble of global water contamination.

DATA AVAILABILITY

The data used in this study were obtained by the authors from public and paid sources.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Conceptualization - YeD, MZ, AS, AK; resources - NA, DA, RI; formal analysis - AZh, KS; methodology - YeD, MZ; software - NB, AA; supervision - OD; visualization - AS, AK; writing - original draft preparation - MZ, YeD; writing - review and editing - AZh.

REFERENCES

1. Yasir, A., & Janabi, N. (2020). Discovered a new type of zeolite and tested on some chemical properties of soil and plant yield. Plant Archives, 1978-82. URL: https://dergipark.org.tr/en/pub/jotcsa/article/1058556
2. Nayak, Y. N., Nayak, S., Nadaf, Y. F., Shetty, N. S., & Gaonkar, S. L. (2020). Zeolite catalyzed friedel-crafts reactions: A review. Letters in Organic Chemistry, 17(7), 491-506. URL: https://doi.org/10.2174/1570178616666190807101012
3. Rashed, M. N., & Palanisamy, P. N. (2018). Introductory chapter: Adsorption and ion exchange properties of zeolites for treatment of polluted water. Zeolites and Their Applications, 1(10.5772). URL: https://www.intechopen.com/chapters/61328
4. Bacakova, L., Vandrovcova, M., Kopova, I., & Jirka, I. (2018). Applications of zeolites in biotechnology and medicine–a review. Biomaterials science, 6(5), 974-989. URL: https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/bm/c8bm00028j/unauth
5. Wang, C., Leng, S., Guo, H., Cao, L., & Huang, J. (2019). Acid and alkali treatments for regulation of hydrophilicity/hydrophobicity of natural zeolite. Applied Surface Science, 478, 319-326. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169433219302946
6. Senila, M., & Cadar, O. (2024). Modification of natural zeolites and their applications for heavy metal removal from polluted environments: Challenges, recent advances, and perspectives. Heliyon. URL: https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)01334-3
7. Guida, S., Potter, C., Jefferson, B., & Soares, A. (2020). Preparation and evaluation of zeolites for ammonium removal from municipal wastewater through ion exchange process. Scientific Reports, 10(1), 12426. URL: https://www.nature.com/articles/s41598-020-69348-6
8. Fu, H., Li, Y., Yu, Z., Shen, J., Li, J., Zhang, M., ... & Lee, S. S. (2020). Ammonium removal using a calcined natural zeolite modified with sodium nitrate. Journal of hazardous materials, 393, 122481. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389420304702
9. Moradi, M., Karimzadeh, R., & Moosavi, E. S. (2018). Modified and ion exchanged clinoptilolite for the adsorptive removal of sulfur compounds in a model fuel: New adsorbents for desulfurization. Fuel, 217, 467-477. URL: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.095
10. Kianfar, E., & Mahler, A. (2020). Zeolites: properties, applications, modification, and selectivity. Zeolites: advances in research and applications, 1. URL: https://www.researchgate.net/publication/337928117_Zeolites_Properties_Applications_Modification_and_Selectivity
11. de Magalhães, L. F., da Silva, G. R., & Peres, A. E. C. (2022). Zeolite application in wastewater treatment. Adsorption Science & Technology, 2022, 1-26. URL: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1155/2022/4544104
12. Zhu, P., Meier, S., Saravanamurugan, S., & Riisager, A. (2021). Modification of commercial Y zeolites by alkaline treatment for improved performance in the isomerization of glucose to fructose. Molecular Catalysis, 510, 111686. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468823121003035
13. Huntley, G. M., Luck, R. L., Mullins, M. E., & Newberry, N. K. (2021). Hydrochloric acid modification and lead removal studies on naturally occurring zeolites from Nevada, New Mexico, and Arizona. Processes, 9(7), 1238. URL: https://www.mdpi.com/2227-9717/9/7/1238
14. Alotaibi, S. S., Ibrahim, H. M., & Alghamdi, A. G. (2024). Application of Natural and Modified Zeolite Sediments for the Stabilization of Cadmium and Lead in Contaminated Mining Soil. Applied Sciences (2076-3417), 14(23).
15. Mohd Zuhan, M. K. N., Azhari, S., & Tamar Jaya, M. A. (2021). Modified zeolite as purification material in wastewater treatment: A review. Scientific Research Journal, 18(2), 177-213. URL: https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/51178/
16. Cha, Y. H., Mun, S., & Lee, K. B. (2023). Development of modified zeolite for adsorption of mixed sulfur compounds in natural gas by combination of ion exchange and impregnation. Applied Surface Science, 619, 156634. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169433223003100
17. Bahmanzadegan, F., & Ghaemi, A. (2023). Modification and functionalization of zeolites to improve the efficiency of CO2 adsorption: A review. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 100564. URL: https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100564

18. Muscarella, S. M., Badalucco, L., Cano, B., Laudicina, V. A., & Mannina, G. (2021). Ammonium adsorption, desorption and recovery by acid and alkaline treated zeolite. Bioresource Technology, 341, 125812. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852421011536
19. Silva, M., Lecus, A., Lin, Y., & Corrao, J. (2019). Tailoring natural zeolites by acid treatments. Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 7(2), 26-37. DOI:10.4236/msce.2019.72003
20. Kuldeyev, E., Seitzhanova, M., Tanirbergenova, S., Tazhu, K., Doszhanov, E., Mansurov, Z., ... & Berndtsson, R. Modifying natural zeolites to improve heavy metal adsorption, Water 15 (2023) 2215. https://doi.org/10.3390/w15122215

АУЫЗ СУДЫ ТАЗАРТУ ҮШІН ТҰЗ ҚЫШҚЫЛЫМЕН ӨҢДЕЛГЕН ЦЕОЛИТТІҢ ИОН АЛМАСУ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Ерлан О. Досжанов[1,2]PhD, қауымдастырылған профессор, Мудасир Захид[3], Нурахмад Ахмади[4], Рахмуддин Ихсас[5], Айтуған Н. Сабитов[1] х.ғ.к., Алмагуль Р. Керимкулова[1] х.ғ.к., Оспан М. Досжанов[6]т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Арман Н. Жумажанов[1,2*], Нұрбике Т. Байзакова[9], Дана Н. Ахметжанова[1,2], Карина А. Саурыкова[1], Ақбөпе Е. Айдарбек[1]

[1]Жану проблемалары институты, Алматы, Қазақстан; yerlan_doszhanov@mail.ru, sabitovan.1982@gmail.com, almusha_84@mail.ru, jumajanarman@gmail.com, adana128128@gmail.com, saurykova.karina@mail.ru, akbope.aydarbek@mail.ru
[2]Қазақ ұлттық университеті әл-Фараби, Алматы, Қазақстан; nurbike@ecoproject.kz
[3]Пактика Университеті, Пактика, Ауғанстан; mudasir.zahid277@gmail.com
[4]Нұристан университеті, Нұристан, Ауғанстан; ahmadinoorahmad866@gmail.com
[5]Сайед Джамалуддин атындағы Ауған университеті, Кунар, Ауғанстан; ahsassafi8@gmail.com
[6]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан; ospan.doszhanov@mail.ru
Автор корреспондент: Арман Н. Жумажанов, jumajanarman@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

қышқылмен өңдеу,
цеолитті модификациялау,
адсорбция,
суды тазарту,
кеуек құрылымы,
клиноптилолит.

Мақала жайында:
Жіберілді: 31.03.2025
Қайта қаралды: 02.09.2025
Қабылданды: 23.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

АБСТРАКТ

Цеолит – ерекше адсорбциялық, ион алмасу және каталитикалық қасиеттерімен танымал микрокеуекті кристалды алюмосиликат материалдар тобы. Олар ағынды суды тазартуда, әсіресе ауыр металдар мен аммоний иондарын жоюда кеңінен қолданылады. Бұл зерттеу табиғи клиноптилолит цеолитінің физика-химиялық және құрылымдық қасиеттеріне HCl (тұз қышқылы) өңдеудің әсерін зерттейді. Бірінші кезеңде 0.97 M HCl ерітіндісімен қайнату арқылы қышқылмен өңдеу жүргізілді, содан кейін ол мұқият тазартылып, FTIR, XRD, газ адсорбциясы және DTG әдістерімен сипатталды. Алынған нәтижелер бастапқы материалмен салыстырғанда HCl өңдеуі цеолиттің меншікті бетін 64.4%-ға (BET әдісі бойынша 280.3 м²/г дейін) ұлғайтатынын, катион алмасу қабілетін арттыратынын және алюмосиликат құрылымдық бірліктерін қайта ұйымдастыру арқылы қоспаларды жою арқылы кеуек құрылымын жақсартатынын көрсетеді. Газ адсорбциясы кеуек диаметрінің төмендеуі есебінен адсорбция тиімділігінің артқанын растады. Сонымен қатар, адсорбция эксперименттері HCl өңделген цеолиттердің Disperse Blue 26 (DB 26) бояғышын кетіруде өңделмеген үлгілерге қарағанда жақсы нәтиже көрсеткенін дәлелдеді. Дегенмен, қышқылмен өңдеу адсорбциялық қасиеттерді жақсартқанымен, құрылымдық тұрақтылықтың бұзылу қаупі болуы мүмкін екені анықталды. Бұл зерттеу нәтижелері HCI модификацияланған цеолиттердің суды, соның ішінде ағынды суларды тазарту үшін тиімді және экологиялық таза адсорбенттер ретіндегі әлеуетін көрсетеді.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СВОЙСТВ ЦЕОЛИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО СОЛЯНОЙ КИСЛОТОЙ, ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Ерлан О. Досжанов[1,2]PhD, доцент, Мудасир Захид[3], Нурахмад Ахмади[4], Рахмуддин Ихсас[5], Айтуган Н. Сабитов[1] к.х.н., Алмагуль Р. Керимкулова[1] к.х.н., Оспан М. Досжанов[6]к.т.н., доцент, Арман Н. Жумажанов[1,2]*, Нурбике Т. Байзакова[2], Дана Н. Ахметжанова[1,2], Карина А. Саурыкова[1], Акбопе Е. Айдарбек[1]

[1]Институт проблем горения, Алматы, Казахстан; yerlan_doszhanov@mail.ru, sabitovan.1982@gmail.com, almusha_84@mail.ru, jumajanarman@gmail.com, adana128128@gmail.com, saurykova.karina@mail.ru, akbope.aydarbek@mail.ru
[2]Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан; nurbike@ecoproject.kz
[3]Университет Пактика, Пактика, Афганистан; mudasir.zahid277@gmail.com (М.Д.)

[4]Нуристанский университет, Нуристан, Афганистан; ahmadinoorahmad866@gmail.com
[5]Афганский университет имени Сайеда Джамалуддина, Кунар, Афганистан; ahsassafi8@gmail.com
[6]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан; ospan.doszhanov@mail.ru
Автор корреспондент: Арман Н. Жумажанов, jumajanarman@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кислотная обработка,
модификация цеолита,
адсорбция,
очистка вод,
пористая структура,
клиноптилолит.

АБСТРАКТ

Цеолит – это группа микропористых кристаллических алюмосиликатных материалов, которые привлекли значительное внимание благодаря своим выдающимся сорбционным, ионообменным и каталитическим свойствам. Их применение в очистке сточных вод, особенно для удаления тяжелых металлов и ионов аммония, значительно расширилось благодаря химическим модификациям. В данном исследовании изучается влияние обработки соляной кислотой (HCl) на физико-химические и структурные свойства природного клиноптилолитового цеолита. Сначала его подвергли рециркуляции с 0.97 M HCl для кислотной модификации, затем тщательно очистили и охарактеризовали с помощью FTIR, XRD, газовой сорбции и DTG. В целом, по сравнению с исходным материалом, результаты ясно показывают, что обработка HCl увеличивает удельную поверхность и катионообменную способность, а также улучшает распределение пор за счет удаления примесей и реорганизации алюмосиликатных структурных единиц. Газовая сорбция подтвердила увеличение удельной поверхности по BET на 64.4 % (до 280.3 м²/г) при одновременном уменьшении диаметра пор, что свидетельствует о повышенной эффективности сорбции. Эксперименты по адсорбции также показали, что большинство цеолитов, обработанных HCl, превзошли немодифицированные образцы в удалении красителя Disperse Blue 26 (DB 26). Кроме того, хотя кислотная модификация часто улучшает адсорбционные свойства, исследование указывает на возможные проблемы со структурной стабильностью из-за выщелачивания каркаса. Результаты данного исследования подчеркивают потенциал цеолитов, модифицированных HCl, как эффективных и экологически чистых адсорбентов для очистки вод, в том числе сточных.

По статье:
Получено: 31.03.2025
Пересмотрено: 02.09.2025
Принято: 23.09.2025
Опубликовано: 01.10.2025

Publisher's Note: Statements, opinions, and data in all publications are those of the author(s) alone and not those of the Journal of Hydrometeorology and Ecology and/or the editor(s).

Гидрометеорология и экология

Ғылыми мақала

ТИХАЯ ӨЗЕНІ ЖЕР ҮСТІ СУЛАРЫНЫҢ ҚЫШҚЫЛ-НЕГІЗДІК КҮЙІНІҢ ДИНАМИКАСЫ

Наталья В. Серая[1] х.ғ.к., профессор, Гульжан К. Даумова[1*]т.ғ.к., профессор, Ольга А. Петрова[1]т.ғ.к., қауымдастырылған профессор

[1]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан; NSeraya@edu.ektu.kz (НВС), GDaumova@edu.ektu.kz (ГКД), OPetrova@edu.ektu.kz (ОАП)
Автор корреспондент: Гульжан К. Даумова, GDaumova@edu.ektu.kz

ТҮЙІН СӨЗДЕР

сутектік көрсеткіші (pH),
жер үсті сулары,
Тихая өзені,
Шығыс Қазақстан облысы,
маусымдық динамика,
көпжылдық өзгерістер,
су сапасының мониторингі,
жылу картасы,
кластерлеу.

АБСТРАКТ

Бұл жұмыста 2017...2025 жылдар аралығындағы Тихая өзенінің (Шығыс Қазақстан облысы) жер үсті суларындағы сутектік көрсеткішінің (pH) көпжылдық динамикасына кеңейтілген талдау келтірілген. Зерттеу айлық және жылдық орташа мәндерді, сондай-ақ маусым аралық және жыл аралық pH ауытқуларын қамтиды. Статистикалық және графикалық бейнелеу әдістері, соның ішінде термиялық карта, ауқым диаграммалары және сызықтық регрессиялық жуықтау қолданылды. Сондай-ақ, сызықтық регрессия модельдерін қолдана отырып, трендтік талдау жүргізілді және ай бойынша кластерлеудің жылу картасы салынды. Өзен суының сутектік көрсеткіші қышқылданудың тұрақты белгілерінсіз сәл сілтілі реакция шегінде өзгеретіні анықталды. Сонымен қатар, әсіресе жазда табиғи және антропогендік факторларға байланысы болуы мүмкін жеке ауытқулар анықталды. Келтірілген деректер су қоймасының жоғары буферлік қабілетін және оның экологиялық өзін-өзі реттеу қабілетін көрсетеді.

Мақала жайында:
Жіберілді: 29.04.2025
Қайта қаралды: 08.08.2025
Қабылданды: 23.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

Дәйексөз үшін:
Серая Н., Даумова Г., Петрова О. Тихая өзені жер үсті суларының қышқыл-негіздік күйінің динамикасы // Гидрометеорология и экология, 118 (3), 2025, 88-102.

1. КІРІСПЕ

Сутектік көрсеткіші заттардың ерігіштігіне, ластаушы компоненттердің сипатына, биохимиялық процестерге және су түбі организмдерінің өмір сүруіне әсер ететін су ортасының маңызды сипаттамасын білдіреді. Климаттың өзгеруі және антропогендік әсердің жоғарылауы жағдайында су экожүйелерінің қышқылдық-негіздік балансының бұзылуы байқалады.

Сутектік көрсеткіштің өзгерістері химиялық заттардың суда ерігіштігіне тікелей әсер етеді. Мысалы, бірқатар авторлардың [1...2] деректері бойынша, pH төмендеген кезде алюминий, темір, кадмий және қорғасын сияқты металдардың ерігіштігі артып, бұл олардың қозғалғыштығы мен уыттылығын күшейтуі мүмкін екен. Сонымен қатар, pH су объектілерінің буферлік қабілеті үшін маңызды көмірқышқылдық-карбонаттық тепе-теңдікті реттейді [3].

Сутектік көрсеткіштің оңтайлы диапазоннан (6.5...8.5) ауытқуы су түбі организмдеріне кері әсер етуі мүмкін. Келесі авторлардың [4...5] ғылыми жұмыстарында, pH мәні 5.5-тен төмен болған кезде сезімтал түрлердің, соның ішінде жас балықтардың өлімі орын алатыны анықталған. Басқа зерттеуде [6] сутектік көрсеткіштің балықтардағы репродуктивті процестерге теріс әсері дәлеледенді.

Сутектік көрсеткіштің жоғарылауы аммиактың (NH_3) уыттылығын арттыруы мүмкін екенін атап өтуге болады [7].

Тау-кен металлургия кешені гидрохимиялық параметрлерге, соның ішінде сутектік көрсеткіштің, әсіресе өндіруші және өңдеуші кәсіпорындарға жақын өзендерде айтарлықтай әсер ететіні белгілі. Негізгі мәселеге күкірт қышқылының түзілуіне және pH төмендеуіне әкелетін сульфидтердің (негізінен пириттің) сумен және оттегімен

жанасуынан туындайтын шахталардың қышқылдық дренажы болып табылады. Авторлардың [8...9] зерттеулеріне сәйкес шахталардың қышқылдық дренажына ұшыраған су объектілерінің pH мәні 2.5...4.0-ге дейін төмендеуі мүмкін, бұл өз кезегінде су флорасы мен фаунасына өткір уытты әсер етеді. Мұндай сулар қышқыл ортада қозғалғыштығы артатын еритін ауыр металдардың жоғары концентрациясымен сипатталады [10...11].

Сонымен қатар, кенді байыту қалдықтарында көбінесе реагенттер мен қышқыл түзетін заттардың қалдықтары болатыны белгілі. Қалдық қоймаларының оқшауланuы бұзылған жағдайда қышқыл сулардың іргелес өзендерге сүзілуі жүреді [12].

Халықаралық деңгейде пассивті тазарту жүйелерін (әктасты дренаждық арналар, анаэробты биореакторлар) қоса алғанда, шахталардың қышқылдық дренажын бейтараптандыру шаралары әзірленуде, алайда іс жүзінде дамушы елдерде бақылау әлсіз болып қалады. Мысалы, Латын Америкасы, Африка және Орталық Азия аймақтарында тау-кен металлургия кешенінің өзендердің сутектік көрсеткішіне әсері үлкен экологиялық проблема болып қала береді [13...15].

Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының ұсыныстарына [16] сәйкес ауыз су мен жер үсті суларының оңтайлы pH диапазоны 6.5...8.5 құрайды. АҚШ қоршаған ортаны қорғау агенттігі [17] экожүйелердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін осы диапазондағы сутектік көрсеткішті үнемі бақылау қажеттілігін атап өтеді. Сонымен қатар, Еуропалық су бойынша рамалық директивасы [18] су объектілерінің экологиялық жағдайын бағалау кезінде pH көрсеткішінің маңыздылығын атап көрсетеді.

Ауылшаруашылық және өндірістік ағындардың қышқылдық-негіздік балансына, әсіресе белсенді урбанизация аймақтарына әсерін зерттеуге көп көңіл бөлінеді [19].

Сутектік көрсеткішті бақылау өзен суының сапасы мен экожүйелердің жағдайын бағалаудың ажырамас бөлігі болып табылады. Шетелдік тәжірибе мониторингті, модельдеуді және халықаралық стандарттарды қолдануды біріктіретін кешенді тәсілдің маңыздылығын көрсетеді. Тау-кен металлургиялық кәсіпорындарының ықпалы алдын алу және қалпына келтіру шараларын енгізу қажеттілігін айқындайды. pH деңгейін тұрақты ұстау әсіресе жаһандық экологиялық сын-қатерлер жағдайында маңызды екенін атап өтуге болады.

Осылайша, жүргізілген әдеби шолудың негізінде pH көрсеткіші табиғи сулар сапасының маңызды сипаттамасы болып табылатыны және ол су ортасының қышқылдық немесе сілтілік дәрежесін көрсететіні анықталынды. Қалыпты pH диапазонынан ауытқулар ластану дәрежесін, биохимиялық өзгерістерді немесе экожүйедегі гидрологиялық өзгерістерді көрсетуі мүмкін.

Шығыс Қазақстан облысында (ШҚО) орналасқан Тихая өзені (1-сурет) жергілікті мониторинг объектісі ретінде, әсіресе климаттың өзгеруі және антропогендік әсердің өсуі жағдайында қызығушылық тудырады. Қысқа қашықтығына қарамастан, ол жергілікті экожүйелер мен шаруашылық қызметі үшін жоғары экологиялық маңыздылыққа ие.

Табиғи, сонымен қатар, антропогендік факторлар да су объектілеріне айтарлықтай әсер ететін Шығыс Қазақстан облысы жағдайында pH мониторингі ерекше өзектілікке ие болады.

Бұл зерттеудің мақсаты 2017 жылдан 2025 жылдарға дейінгі Тихая өзенінің маусымдық және көпжылдық ағындысының pH өзгерістерін талдау болып табылады. Тихая өзенінің жер үсті суларының көпжылдық және маусымдық сутектік көрсеткіші динамикасының заңдылықтарын анықтауға, сондай-ақ гидрохимиялық сипаттамалардың тұрақтылық дәрежесін бағалауға ерекше назар аударылған.



Сурет 1. *Тихая өзенінің көрінісі*

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Мәліметтерді өңдеу үшін сипаттамалық статистика әдістері (орташа, медианалық мәндер, ауқым) пайдаланылды, уақыт қатарларының графиктері, жылу карталары, ауқым диаграммалары, сондай-ақ трендтерді бағалау үшін сызықтық регрессиялық модельдер салынды. Деректерді өңдеу және визуализация Microsoft Excel және Python бағдарламалық құралдарының көмегімен жүзеге асырылды.

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Талдау үшін 2017 жылдан 2025 жылдарға дейінгі кезеңді қамтитын pH мониторингінің эмпирикалық деректері пайдаланылды. Өлшеуді Ұлттық Гидрометеорологиялық қызмет ай сайын дала жағдайында параметрлерді өлшеудің және сынамаларды іріктеудің бірыңғай әдістемелерін сақтай отырып жүргізді. Бастапқы мәндер Қазақстан Республикасы экология, геология және табиғи ресурстар министрлігінің «Қазгидромет» РМК экологиялық мониторинг Департаментінің қоршаған ортаның жай-күйі туралы ақпараттық бюллетеньдерде ұсынылған белгіленген көрсеткіштер де, интервалдық бағалаулар да болды [20]. Алынған мәліметтер маусымдық және жылдық өзгергіштікті бағалау мақсатында айлар мен жылдар бойынша топтастырылды (1-кесте).

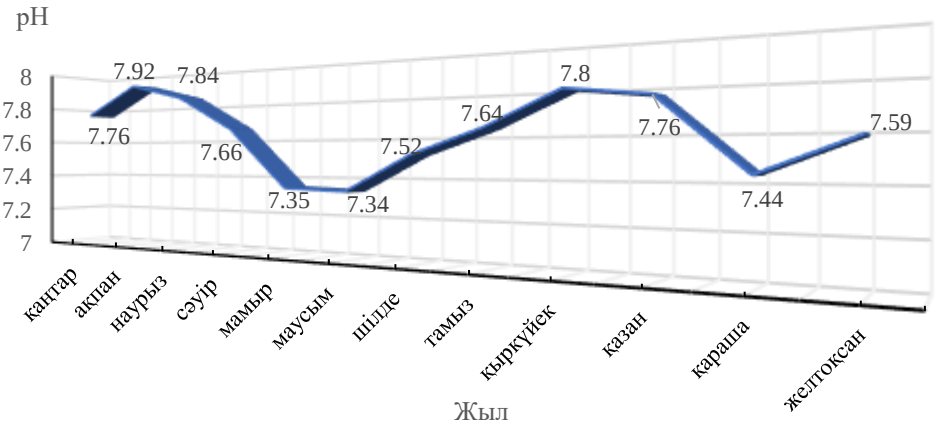
Әр ай үшін есептелген pH орташа мәндерінің негізінде (2-сурет) көпжылдық кезең үшін келесі заңдылықтарды ажыратуға болады. pH минималды мәндері мамыр (7.35) және маусым (7.34) аралығында байқалады. Бұл қардың белсенді еруі, су тасқыны және ауылшаруашылық аумақтарынан ағынның ұлғаюы кезеңімен сәйкес келеді, яғни бұл органикалық жүктеменің артуынан, өзенге гумус пен қышқыл қосылыстардың төгілуімен байланысты болуы мүмкін. Сондай-ақ, лайлы, тұнбасы бар суда осы уақытта фотосинтетикалық белсенділік төмендеуі мүмкін.

pH максималды мәндері ақпан (7.92), наурыз (7.84), қыркүйек (7.80) және қаңтар (7.76) айларында болатыны белгілі болды. Қыс және көктемнің басындағы (қаңтар–наурыз) төмен температура, ағынның болмауы, биологиялық белсенділіктің төмендеуі сияқты жағдайлар өзгеріске аз әкелетін кезең болып табылады. Бұл сутектік көрсеткіштің тұрақты сілтілік мәніне әкеледі. Наурыз, өтпелі ай ретінде, қыс мезгілінің тұрақтылығын да, сонымен қатар экожүйенің биологиялық «оянуы» және қышқыл өнімдермен араласқан қардың жартылай еруінен көктемгі pH көтерілуінің басталуын да көрсете алады. Қыркүйек, керісінше, жаздың соңындағы фотосинтетикалық белсенділіктің шыңы, су алмасудың төмендеуі және ағынның азаю кезеңі. Фотосинтез процесінде көмірқышқыл газын тұтынудың жоғарылауы есебінен pH мәні артады.

Кесте 1

Тихая өзені суының 2017...2025 жылдардағы орташа айлық және аралық pH мәндері

Жыл	Айлар											
	қаңтар	ақпан	наурыз	сәуір	мамыр	маусым	шілде	тамыз	қыркүйек	қазан	қараша	желтоқсан
2017	7.45	7.61	7.78	7.22	7.32	-	7.55	8.06	8.15	7.48	7.24	7.27
2018	7.65	7.76	8.21	7.5	7.61	6.79	6.85	7.28	7.56	7.32	7.28	8.4
2019	8.24-8.45	8.03-8.41	7.75-8.56	7.87-7.89	7.08-7.15	7.35-7.46	7.97-8.00	7.38-7.43	7.40-7.48	7.89-7.96	7.41-7.42	7.59-7.66
2020	7.54-8.87	7.82-8.37	7.56-8.10	7.87-7.73	7.38-7.51	7.35-7.54	6.93-8.24	6.82-8.09	7.9-8.0	7.64-9.47	7.36-7.63	7.66-7.77
2021	7.69-7.78	7.65-8.37	7.37-7.87	7.61-8.12	7.41-7.47	7.93-7.96	7.59-7.67	7.71-7.92	7.74-7.94	7.97-8.02	7.59-8.24	7.35-7.51
2022	8.0-8.17	7.85-8.45	7.95-8.02	7.45-8.11	7.96-7.97	7.14-7.33	7.45-8.05	7.27-8.15	7.48-7.55	7.83-7.90	7.48-7.77	7.55
2023	7.29-7.34	7.83-7.96	7.53-7.98	7.50-7.74	6.90-6.96	7.25-7.56	7.35-7.36	7.34-7.70	7.56-8.40	7.21-7.25	7.34-7.36	7.52-7.68
2024	7.39-7.65	7.62-7.72	7.11-7.66	7.55-7.74	6.94-7.08	7.12-7.15	7.41-7.45	7.72-7.96	7.9-7.97	7.56-7.94	7.19-7.23	7.0-7.22
2025	7.27-7.82	7.84-7.87										



Сурет 2. *2017...2025 жылдар аралығындағы Тихая өзені жер үсті суларының pH орташа айлық мәндерінің графигі*

Өтпелі кезеңдер (сәуір, қазан, қараша) орташа мәні 7.44...7.76-ға дейін pH мәндерімен сипатталады. Сәуірде pH мәні қыс айларымен салыстырғанда төмендейді, бұл құрамында органикалық заттар мен қышқыл компоненттері бар еріген қар суының түсуіне байланысты. Бұл қалыпты қышқылдануға жағдай жасайды. Қазан және қараша айларында, керісінше, жазғы максимумнан кейін pH төмендеуі байқалады, яғни бұл фотосинтетикалық белсенділіктің азаюымен, температураның төмендеуімен және экожүйенің қысқы күйге көшуімен байланысты. Желтоқсан қыс мезгіліне жататындықтан, pH мәндері біраз төмендеп, 7.0...7.77 құрайды. Оның себебі төмен температура мен мұз жамылғысы жағдайында су организмдерінің белсенділігі, фотосинтез және органикалық заттардың ыдырау процестері айтарлықтай төмендеуіне байланысты болып келеді. Сондай-ақ, жер үсті ағынының баяулауына байланысты сыртқы заттардың ағыны шектеулі болып, судың химиялық құрамын тұрақтандырады. Мұндай жағдайларда pH су экожүйесінің инерциялық күйін көрсететін басқа маусымдармен салыстырғанда ең аз өзгергіштікті көрсетеді.

Айлар бойынша ең үлкен pH өзгергіштігі жазғы-күзгі кезеңде байқалады, бірақ бұл жағдайда орташа мәндер диапазоны тек 0.58 pH бірлігін құрайды, яғни 7.34 (наурыз) – 7.92 (тамыз). Бұл гидрохимиялық режимнің жалпы тұрақтылығын және жыл бойына қышқылдық-негіздік балансының күрт өзгеруінің болмауын көрсетеді. Биологиялық белсенділіктің жоғарылауы (жаз) және су ағыны көбеюі (көктем) кезеңдерінде де pH рұқсат етілген және экологиялық қолайлы шектерде қалады.

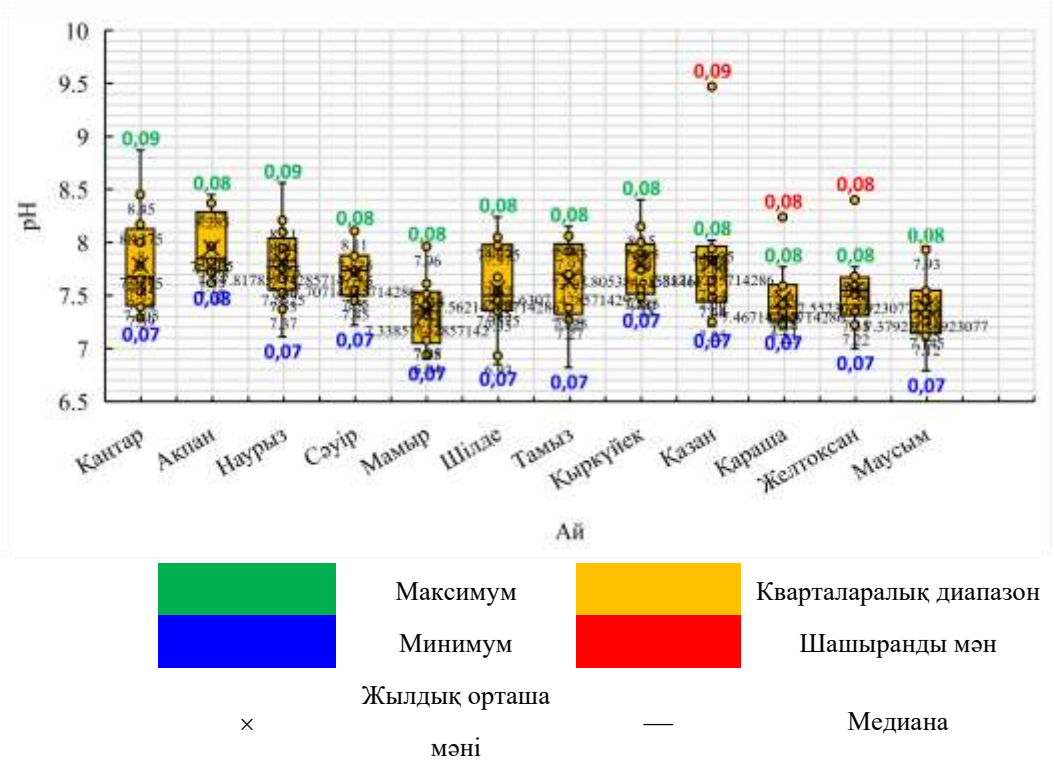
Тихая өзенінің жер үсті суларының көпжылдық кезеңдегі (2017...2025 жж.) айлар бойынша орташа pH мәндерін талдау көктем айларындағы минимумдар мен жазғы кезеңдегі максимумдарды қоса алғанда, тұрақты маусымдық заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік берді. Алайда, орташа мәндер әр айдағы деректердің таралуы мен өзгергіштігін әрдайым толық көрсете бермейді. Маусымдық өзгергіштікті егжей-тегжейлі бағалау және pH мәндерінің ай сайынғы ауытқуын анықтау үшін ауқым (boxplot) диаграммасы салынды. Визуализацияның бұл түрі орташа тенденцияны ғана емес, сонымен қатар медианалық мәндерді, квартильаралық ауқымды және экстремалды мәндерді қоса алғанда, деректердің таралу сипатын талдауға мүмкіндік береді. 2017...2025 жылдар аралығындағы айлар бойынша сутектік көрсеткіштің boxplot графигі 3-суретте көрсетілген.

Тихая өзенінің сутектік көрсеткіші (pH) мәндерінің 2017...2025 жылдар аралығындағы жыл сайынғы және маусымдық өзгергіштігін талдау тұрақты заңдылықтарды да, ауқым диаграммасынан көрінетін жеке ауытқуларды да анықтауға мүмкіндік берді. Барлық айлардағы pH диапазоны 6.79 минималды мәнінен (2018

жылдың маусым айы) 9.47 максимумына (2020 жылдың қазан айы) дейін өзгереді, яғни бұл бейтарап ортадан қышқылдық және сілтілік мәндерге қарай мерзімді ауытқуларды көрсетеді.

Ең тұрақты pH мәндері желтоқсан, қаңтар және шілде айларында тіркелген, мұнда медианалық және орташа мәндер 7.3...7.7 аралығында, ал интерквартильдік ауқым 0.3 pH бірлігінен аспайды. Мысалы, желтоқсанда орташа мәні 7.50, ал медианасы 7.55 болған кезде мәндер диапазоны (7.0...8.4) сирек шашыранды мәндермен сипатталды. Мұндай тұрақтылық қыста биологиялық белсенділіктің төмендеуіне және тұрақты гидрологиялық режимде ластаушы заттардың шектеулі түсуіне байланысты болуы мүмкін.

Керісінше, көктем-жаз кезеңі (әсіресе мамыр және маусым айлары) қышқыл реакциямен сипатталады. Атап айтқанда, мамыр айында 6.90 (2023 ж.) және 6.94 (2024 ж.) ең төменгі pH мәндерімен тіркелсе, ал медиана 7.32 құрады, бұл жылдың қалған айларына қарағанда төмен екенін көрсетеді. Маусым айындағы жағдайда pH минималды мәні – 6.79 (2018 ж.), орташа мәні – 7.27, медианасы – 7.29 құрады. Бұл деректер өзен арнасына органикалық заттар мен минералды қосылыстарды ағызфп әкелетін су тасқынының әсерін көрсетуі мүмкін.



Сурет 3. *Тихая өзені жер үсті суларының pH мәндерінің айлар бойынша (2017...2025 жж,) ауқымының (boxplot) диаграммасы*

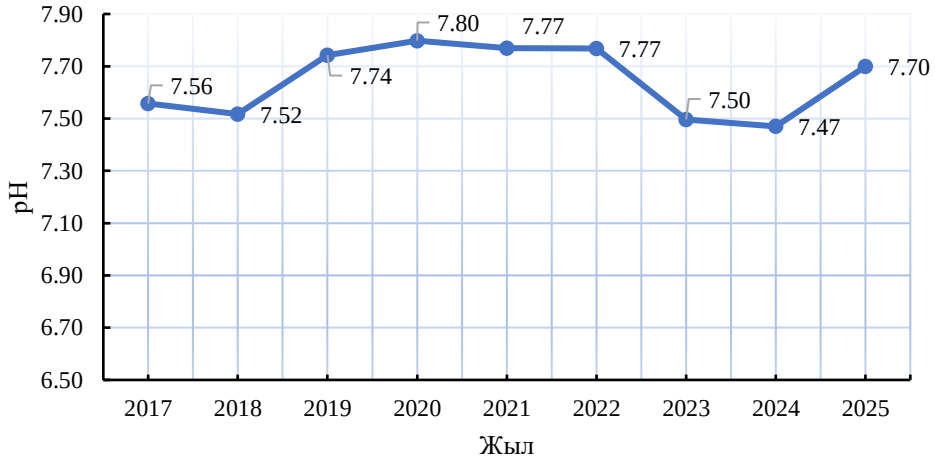
Жазғы-күзгі кезең (тамыз-қазан айлары), керісінше, сілтіліктің жоғарылауын көрсетеді. Тамыз айында pH медианалық мәні 7.70 болған кезде, максимум 8.40 (2023 ж.) құрады. Қыркүйек айында диапазон 8.40 құраса, ал қазан айында барлық бақылау кезеңіндегі ең үлкен pH мәні 9.47 болды. Бұл ретте қазан айындағы pH орташа мәні 7.75, медианалық мәні – 7.78 құрады, бұл таралудың оң жақты асимметриясын және елеулі шашыранды мәндердің болуын көрсетеді.

Диаграммадағы «қораптың» жоғарғы немесе төменгі шекарасынан асатын сутектік көрсеткіштердің шашыранды мәндері жылдың әртүрлі кезеңдерінде, соның ішінде күз-қыс айларында байқалады. Ең жоғары 9.47 мәні 2020 жылдың қазан айында тіркелсе, ал ең төменгі шашыранды мәндер (6.79...6.90 диапазонында) 2018 жылдың маусымында

және 2023 жылдың мамырында белгіленді. Бұл нүктелер диаграммада түспен көрсетілген және экстремалды мәндер ретінде белгіленген. Шашыранды мәндердің себептері жергілікті келесі гидрохимиялық бұзылуларға байланысты болуы мүмкін: ағынды сулардың түсуі, температураның маусымдық тұрақсыздығы, оттегінің жетіспеушілігі және фитопланктондық белсенділік немесе судың қышқылдық-негіздік балансына әсер ететін органикалық заттардың минералдануы [21].

Диаграммада қызыл түспен көрсетілген нүктелердегі pH орташа мәндері медианамен сәйкес келеді, бұл көптеген айларда таралу симметриясын көрсетеді. Алайда, шашыранды мәндері бар кезеңдерде ауытқулар байқалады. Атап айтқанда, қазан айында орташа мән 0.2 pH бірлігіне медианадан асады, бұл 2020 жылы 9.47-ге дейін шығаруды қоса алғанда, қалыптан тыс жоғары мәндердің әсерімен байланысты. Мамыр және маусым айларында, керісінше, орташа мәндер медианадан төмен болатыны анықталынды, бұл 2018 және 2023 жылдары тіркелген төмен сутектік көрсеткіштің шашыранды мәндерінің (6.79 дейін) болуына байланысты. Бұл экстремалды мәндердің орташа көрсеткіштерге әсерін көрсетеді. Осылайша, жүргізілген талдау Тихая өзенінің жер үсті суларының қышқылдық-негіздік режимінің айқын маусымдық өзгергіштігін дәлелдейді. Көктем мен жаздың басы қышқылдануға, ал жаздың соңы мен күз сілтілілік ауысуға мүмкіндік жасайтын кезеңдер болып табылады.

Қышқылдық-негіздік режимінің айқын маусымдылығын көрсететін pH орташа айлық динамикасын егжей-тегжейлі қарастырғаннан кейін орташа жылдық мәндердің өзгеруіне талдау жасалынды (4-сурет). Бұл тәсіл мүмкін болатын көпжылдық трендтерді анықтауға және қарастырылып отырған кезеңдегі Тихая өзеніндегі су ортасының жалпы жағдайын бағалауға мүмкіндік береді. Графикте жыл аралық өзгерістердің төмен амплитудасы, сондай-ақ қалыпты белдеудің су ағындары үшін норма шегінде көрсеткіштің сақталуы айқын көрінеді. Тихая өзеніндегі орташа жылдық pH мәндері қалыпты шектерде қалады (тұщы су экожүйелері үшін қалыпты pH диапазоны 7.2...8.1) және жалпы тұрақты сипатты көрсетеді (орташа жылдық мәндердің нақты аралығы 7.47...7.80). Алайда, 2019 және 2020 сияқты жекелеген жылдары әсіресе жаз айларында тербеліс амплитудасы байқалды. Мұндай ауытқулар гидрологиялық ауытқулармен (құрғақшылық, қатты су тасқыны), сондай-ақ адам әрекетіне немесе жергілікті табиғи процестерге тәуелді болуы мүмкін эпизодтық ластануларға байланысты болуы мүмкін.



Сурет 4. *Тихая өзенінің жер үсті суларының орташа жылдық pH мәндерінің графигі*

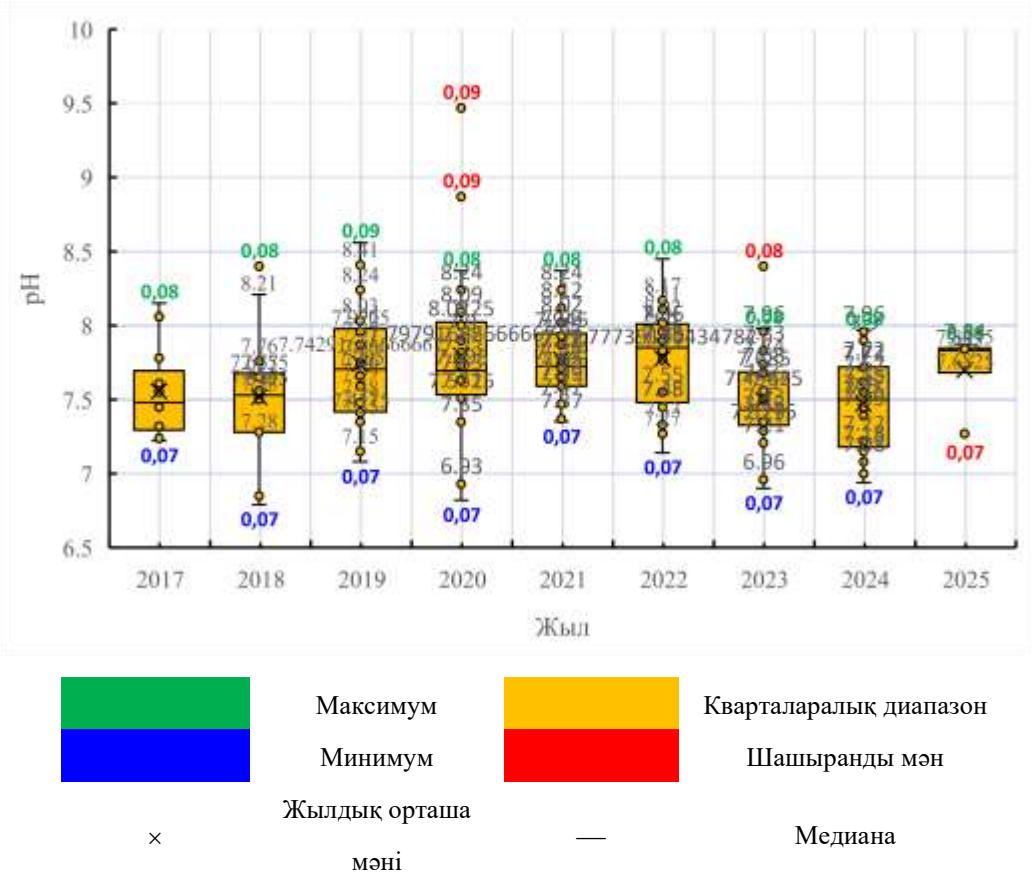
Жылдық өзгергіштікті неғұрлым егжей-тегжейлі түсіну және қалыптан тыс мәндерді анықтау үшін жылдық pH таралуларының ауқым (boxplot) диаграммасы (5-сурет) құрылды. Бұл орташа жылдық көрсеткіштерді ғана емес, сонымен қатар тербеліс

диапазонын, медианалық мәндерді, сондай-ақ әр жылдағы экстремалды мәндер мен шашыранды мәндердің болуын бағалауға мүмкіндік береді.

Жылдар бойынша pH мәндерінің ауқым диаграммасы негізінде Тихая өзенінің жер үсті суларының 2017...2025 жылдар аралығындағы қышқылдық-негіздік күйінің сипаттамалары талданды. Бүкіл кезеңдегі pH мәндері негізінен 6.79...9.47 дейін сәл сілтілі ортада болды.

Ең төменгі тіркелген pH мәні 6.79 құрап, ол 2018 жылдың маусымында байқалды. Оның себебі көктемгі ағынның әсерінен қышқыл сулардың түсуіне байланысты болуы мүмкін. Керісінше, максималды 9.47 құрайтын pH мәні 2020 жылдың қазан айында тіркелген. Бұл шашыранды мәндер маңызды фотосинтетикалық белсенділіктің (CO_2 сіңуінен пайда болатын) немесе антропогендік факторлардың (мысалы, сілтілі ағынды сулардың ағуы) әсерін көрсетеді.

Сутектік көрсеткіштің жыл бойынша таралуы параметрдің жалпы тұрақтылығын көрсетеді: барлық жылдардағы медианалық мәндер 7.41 (2024 ж.) мен 7.93 (2021 ж.) аралығында болды. Оның ішінде, ең үлкен квартиларалық амплитудасы (ауқымы) 2020 жылы байқалды, бұл сутектік көрсеткіштің жыл сайынғы өзгергіштігінің жоғарылауын көрсетеді. Сол жылы, pH – 6.93; 8.87; 9.47 мәндерін құрайтын «қораптан» тыс шашыранды мәндердің ең көп саны тіркелді, бұл осы кезеңдегі жағдайлардың тұрақсыздығын көрсетеді.



Сурет 5. *Тихая өзені жер үсті суларының pH мәндерінің жылдар бойынша (2017...2025 жж,) ауқымының (boxplot) диаграммасы*

2019...2021 жылдары құрғақ маусымның ұзақтығының артуы және нәтижесінде тасқын сулардың мөлшерінің төмендеуі сияқты климаттық факторлардың әсерін көрсететін медианалық мәндердің де, квартильаралық ауқымның да өсу тенденциясы байқалды.

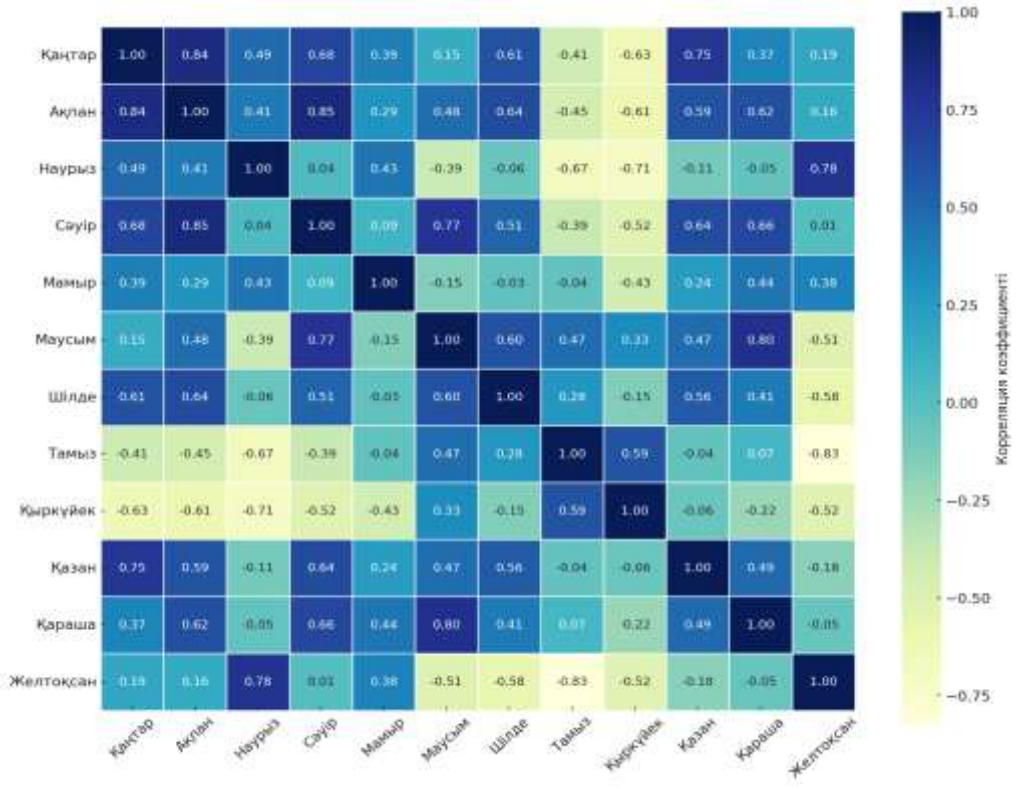
Сутектік көрсеткіштің ең аз өзгергіштігі 2017 және 2018 жылдары байқалды, «қорап» ішіндегі деректер ауқымы 0.9 pH бірлігінен аз болды және шашыранды мәндер

тіркелген жоқ. Бұл осы жылдардағы тұрақты гидрологиялық жағдайды көрсетуі мүмкін. Әр жылдың орташа pH мәні 7.41 (2024 ж.) мен 7.96 (2021 ж.) аралығында болды. Көптеген боксплоттарда орташа мән медианалық мәннен асып түсті, бұл таралулардың оң асимметриясын көрсетеді.

2023 жылдан бастап мәндер ауқымы азайып, деректердің көп бөлігі жеке экстремумдарды (мысалы, 2023 жылдың қыркүйегіндегі pH 8.40 мәні) қоспағанда, 7.2...7.7 аралығында шоғырланғанын атап өтуге болады. Бұл гидрохимиялық жағдайлардың тұрақтануын немесе сынамаларды іріктеу мен талдау әдістемесінің стандартталуын көрсетуі мүмкін.

Жалпы алғанда, жүргізілген талдау Тихая өзенінің қарастырылып отырған кезеңнің көп бөлігінде қышқылдық-негіздік режимінің тұрақтылығымен қатар, қосымша гидрологиялық немесе антропогендік зерттеулерді қажет ететін сутектік көрсеткіштің күрт өзгеруінің жеке эпизодтарының болуымен сипатталады.

Жылдың әртүрлі кезеңдеріндегі жер үсті суларының қышқылдығының өзгеруі арасындағы байланысты анықтау үшін 2017...2025 жылдардағы көпжылдық мәліметтер негізінде pH орташа айлық мәндерінің корреляциялық матрицасы құрылды (6-сурет). Матрицаның әрбір ұяшығы айлардың жұп сандары арасындағы Пирсонның (r) корреляция коэффициентін көрсетеді, бұл өз кезегінде жылдың әртүрлі кезеңдеріндегі pH өзгергіштігін бағалауға мүмкіндік береді. Пирсонның корреляция коэффициенті -1-ден +1-ге дейін өзгереді. +1-ге жақын мәндер екі ай арасындағы күшті оң сызықтық байланысты көрсетеді, яғни бір айдағы pH өзгерісі екіншісіндегі өзгерістің ұқсас бағытымен бірге жүреді. 0-ге жақын мәндер сызықтық тәуелділіктің жоқтығын көрсетеді, ал теріс мәндер айлар арасындағы кері байланысты білдіреді.



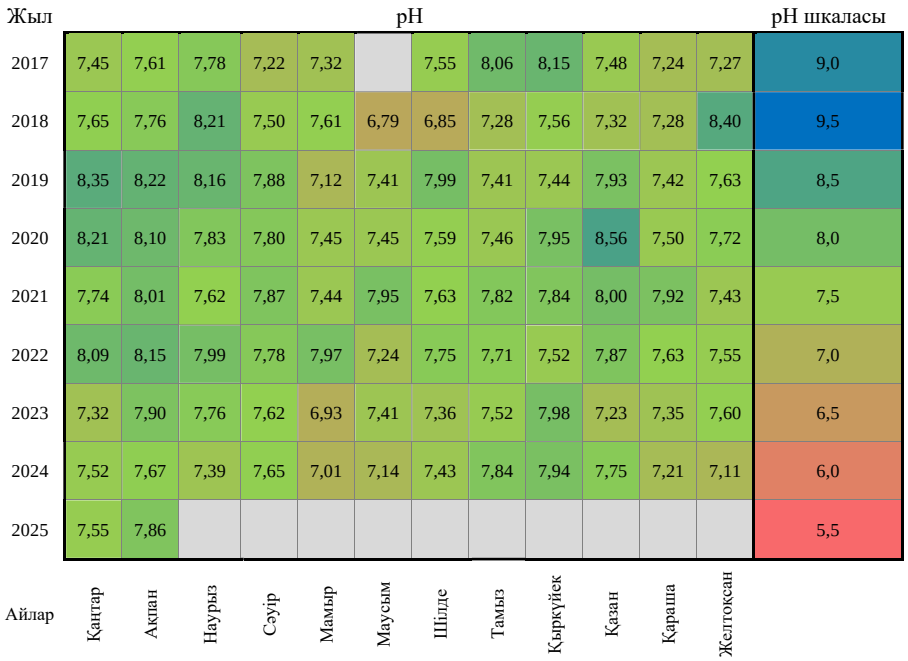
Сурет 6. *Тихая өзені жер үсті суларының 2017…2025 жылдар аралығындағы орташа айлық pH мәндерінің корреляциялық матрицасы*

Талдау мезгіл бойынша көршілес айлар арасында, әсіресе жазғы және күзгі кезеңдерде айқын оң корреляцияның болуын көрсетті. Ең жоғары корреляция ақпан мен наурыз (r = 0.90), шілде мен тамыз (r=0.90) және қараша мен желтоқсан (r=0.88) арасында белгіленді, бұл гидрохимиялық режимнің тиісті маусымдардағы тұрақтылығын

көрсетеді. Корреляцияның орташа мәндері (r=0.60…0.80) су режимі мен биологиялық белсенділік қайта жаңғыру сатысына келетін көктем мен күз сияқты өтпелі кезеңдердегі айлар арасында байқалады.

Сонымен қатар, маусым бойынша алыс орналасқан айлар, мысалы, қаңтар мен шілде (r=0.39) арасында корреляция айтарлықтай төмендейді, бұл температура режимі, фотосинтез қарқындылығы, техногендік әсер ету дәрежесі және тасқын сулардың көлемі сияқты жылдың әртүрлі уақыттарында pH анықтайтын тәуелсіз факторлардың болуын көрсетеді. Нәтижелер pH өзгерістерінің айқын маусымдық циклдік сипатын растайды және су қоймасының күйін болжау және климаттық нормадан ауытқуларды [22] анықтау үшін ай сайынғы корреляцияларды пайдалану мүмкіндігін көрсетеді.

Жер үсті суларының маусымдық және жылдық pH ауытқуларын визуалды талдау үшін орташа айлық жылу картасы салынды (7-сурет). Бастапқы деректерге 2017...2025 жылдар аралығында әр айда тіркелген pH мәндері кірді. Бұл әдіс визуалды кластерлерге топтастырылған ұқсас кезеңдерді анықтауға мүмкіндік береді.

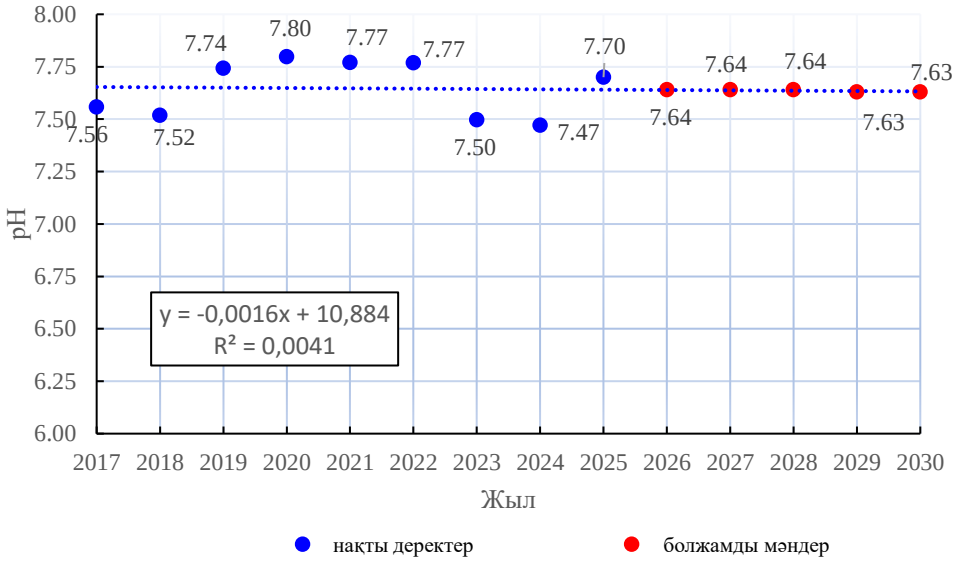


Сурет 7. *Тихая өзені жер үсті суларының 2017…2025 жылдар аралығындағы орташа айлық pH мәндерінің жылу картасы*

Ұсынылған жылу картасы Тихая өзенінің жер үсті суларындағы орташа айлық pH мәндерінің маусымдық және жылдық ауытқуларын көрсетеді. Талдаудан қыс-көктем айларында (қаңтар–наурыз), әсіресе 2019 және 2020 жылдары, pH мәндері 8.35 (қаңтар 2019 ж.), 8.22 (ақпан 2019 ж.), 8.55 (қыркүйек 2020 ж.) және 8.40 (желтоқсан 2018 ж.) жеткен кездегі pH жоғары мәндеріне тұрақты тенденциясы анықталынды. Жаз айлары (маусым–тамыз) сутектік көрсеткіштің айтарлықтай төмендеуін көрсетті. Аталған фактор су температурасының жоғарылауымен, биологиялық белсенділікпен және органикалық заттардың қарқынды ыдырауымен байланысты болуы мүмкін. Әсіресе pH төмен мәндері 2018 жылдың маусымында (6.79) және 2023 жылдың мамырында (6.93) тіркелді, бұл өз кезегінде басқа қалған жылдардан ерекшеленеді. Ең тұрақты және орташа pH мәндері күзгі кезеңде (қыркүйек–қараша) байқалды, мұнда орташа диапазон 7.2…8.0 аралығында болады. Бұл жылдың осы уақытында өзендегі биологиялық және физикалық-химиялық процестер арасындағы салыстырмалы тепе-теңдікті көрсетуі мүмкін.

Тихая өзенінің жер үсті суларындағы қышқылдық-негіздік балансының динамикасын бағалау үшін 2017…2025 жылдар аралығында сутектік көрсеткіштің орташа жылдық

мәнінің уақыт бойынша өзгеруін көрсететін сызықтық регрессиялық модель салынды (8-сурет). Көлбеу коэффициентінің теріс мәні жылына ~0.0016 бірлік жылдамдықпен pH деңгейінің төмендеу тенденциясын көрсетеді. Бұл су ортасының қышқыл жағдайларға біртіндеп ауысуына сәйкес келеді, бірақ өзгеру қарқыны өте аз болып келеді. Детерминация коэффициенті (R^2=0.0041) уақыт пен pH мәні арасындағы әлсіз сызықтық байланысты көрсетеді. Бұл уақытпен қатар сутектік көрсеткішке гидрологиялық режим, температураның ауытқуы, биогендік заттар, сондай-ақ ықтимал антропогендік әсер сияқты басқа факторлар да айтарлықтай әсер етуі мүмкін екенін көрсетеді.



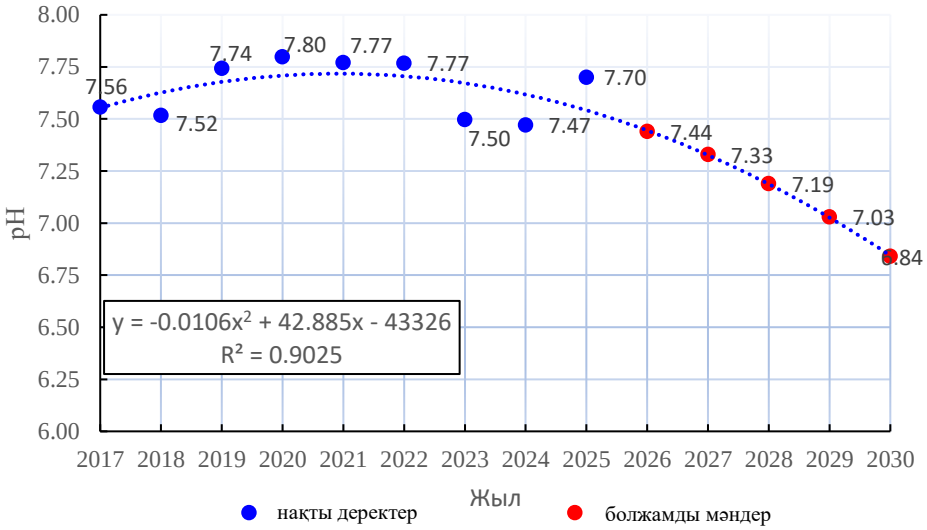
Сурет 8. *Тихая өзені жер үсті суларының 2030 жылға дейін орташа жылдық pH мәндерінің болжамы (сызықтық модель)*

Сызықтық регрессиялық модель негізінде 2030 жылға дейін Тихая өзенінің жер үсті суларының сутектік көрсеткішінің өзгеруі туралы болжам жасалды. Алынған тренд теңдеуіне сәйкес (7-сурет), ағымдағы тенденцияны сақтай отырып, 2030 жылға қарай pH мәні шамамен 7.63 болуы мүмкін. Осылайша, 2025 жылғы деңгейге қатысты сутектік көрсеткіштің болжамды төмендеуі (~7.70) 5 жыл ішінде шамамен 0.07 бірлікті құрайды, бұл қышқылдықтың өте аз өзгеруін көрсетеді. Графикалық тұрғыдан алғанда, тренд өте аз байқалатын біркелкі төмендеу сипатын сақтайды, бірақ сутектік көрсеткіштің шамалы ауытқулары да су экожүйесінде, әсіресе климаттық және антропогендік әсердің күшеюі жағдайында ауыспалы реакцияларды тудыруы мүмкін. Осылайша, сызықтық регрессиялық модельді трендті бағалаудың негізгі құралы ретінде пайдалануға болады, бірақ дәлірек болжау үшін гидрологиялық, климаттық және техногендік факторларды қамтитын күрделі модельдерді қолдану қажет.

Тихая өзенінің жер үсті суларындағы қышқылдық-негіздік балансының өзгеру сипатын нақтылау үшін 2017...2025 жылдар кезеңіндегі орташа жылдық pH мәндерінің негізінде екінші ретті полиномиальды регрессиялық модель (9-сурет) салынды. Аталған модель жалпы трендті ғана емес, одан сызықтық емес ауытқуларды да анықтауға мүмкіндік береді, бұл әсіресе күрделі экологиялық процестерді бағалау үшін маңызды. Талдау көрсеткендей, pH ең үлкен мәні 2020 жылы байқалып, ортаның сілтілі реакциясына сәйкес келетін 7.80 мәнін құрады. Алайда, 2021 жылдан бастап сутегі көрсеткішінің тұрақты төмендеуі тіркелді. Болжамға сәйкес, аздап қышқыл ортаға көшуді көрсететін 2026 жылы pH мәні – 7.44, ал 2030 жылға қарай 6.84-ке жетеді.

Көпмүшелік модель су ортасының қышқылдану процестерінің қарқындылығын болжай отырып, сызықтық трендпен салыстырғанда сутектік көрсеткіштің айқын

төмендеуін көрсетеді. Бұл антропогендік жүктеменің жоғарылауына, гидрологиялық жағдайлардың өзгеруіне немесе су қоймасының буферлік қасиеттерінің бұзылуына байланысты болуы мүмкін. Алынған нәтижелер су сапасының ықтимал нашарлауын көрсетеді, бұл өзгеру көздерін қосымша зерттеуді, сондай-ақ өзен экожүйесіне теріс әсердің алдын алу мақсатында pH көрсеткіштерін тұрақты бақылауды талап етеді.



Сурет 9. *Тихая өзені жер үсті суларының 2030 жылға дейін орташа жылдық pH мәндерінің болжамы (полиномиальды модель)*

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Тихая өзеніндегі pH мәндерінің көпжылдық динамикасы қышқылдық-негіздік режимінің жалпы тұрақтылығын көрсетті. Орташа жылдық мәндерге негізделген сызықтық регрессиялық модель статистикалық маңызды тенденцияны анықтаған жоқ, бұл зерттелетін кезеңде арнайы бағытталған қышқылдану немесе сілтіленудің жоқтығын көрсетеді. Регрессия сызығының көлбеу коэффициенті нөлге жақын, ал детерминация коэффициенті (R^2) төмен болып қалады, бұл ұзақ мерзімді өзгерістердің аз болғанын растайды. Дегенмен, жекелеген жылдардағы жергілікті ауытқулар (мысалы, 2020 жылы жоғары мәндердің күрт өсуі немесе 2019 жылдың жаз айларындағы диапазонның үлкен аралығы) табиғи ауытқуларға немесе антропогендік әсерге байланысты қысқа мерзімді өзгерістердің белгісі болуы мүмкін. Болашақта олардың қайталануы жүйенің тұрақтылығына әсер етуі мүмкін.

Ағымдағы жағдайларды сақтай отырып келесі қорытындыларды атап өтуге болады: жер үсті суларының pH мәні шамалы сілтілі диапазонда қалады деп күтуге болады (7.2...8.1); көктемде төмендеп, жаз–күзде жоғарылайтын маусымдық ауытқулар сақталынады; экстремалды мәндер сирек болып қалады, бірақ климаттық ауытқулар (жылу, құрғақшылық) немесе ағынды сулардың төгілуі жағдайында болуы мүмкін. Осылайша, ағымдағы деректер негізінде қышқылдық-негіздік режимінің елеулі өзгерістері болжанбайды, бірақ та дәлірек бағалау үшін мониторингті жалғастыру қажеттігін атап өтуге болады.

Алынған нәтижелерді экологиялық қадағалау органдары мен су шаруашылығы ұйымдары шағын су ағындарының жай-күйін бағалау, тәуекел аймақтарын нақтылау және профилактикалық іс-шараларды әзірлеу үшін пайдалана алады. Атап айтқанда, pH қысқа мерзімді ауытқуларының анықталған маусымдық ерекшеліктері мен сипаты сынамаларды алуды жоспарлау, ағынды сулардың әсерін бағалау және өзгермелі климат жағдайында суды басқару кезінде бағдар бола алады.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректерді авторлар «Қазгидромет» РМК ашық деректер базасынан алды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау – НВС; деректерді басқару - НВС; Ресми талдау – НВС, ГКД, ОАП; Әдістеме – НВС, ГКД, ОАП; Визуализация - НВС, ОАП; Бастапқы жобаны жазу - НВС, ГКД, ОАП; Шолу жазу және редакциялау – НВС, ГКД, ОАП.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Бұл мақала BR24992854 «Шығыс Қазақстан облысының тау-кен металлургия саласының тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін бәсекеге қабілетті ғылыми-негізделген технологияларды әзірлеу және іске асыру» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру жобасы бойынша орындалды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Hamid A., Bhat S.U., Jehangir A. (2020) Local determinants influencing stream water quality. Applied Water Science, Vol. 10, pp. 24. https://doi.org/10.1007/s13201-019-1043-4)
2. Sarkar S., Gill S.S., Das Gupta G., Verma S.K. (2022) Water toxicants: a comprehension on their health concerns, detection, and remediation. Environmental Science and Pollution Research, Vol. 29, pp. 53934–53953. https://doi.org/10.1007/s11356-022-20384-x
3. van Vliet MTH, Thorslund J., Strokal M. Hofstra N., Flörke M., Ehalt Macedo H., Nkwasa A., Tang T., Kaushal S.S., Kumar R., Griensven A.v., Bouwman L., Mosley L.M. (2023) Global river water quality under climate change and hydroclimatic extremes. Nature Reviews Earth Environment, Vol. 4 , pp. 687–702. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00472-3
4. Mohamad S., Liew H.J., Zainuddin R.A., Rahmah S., Waiho K., Ghaffar M.A., Nhan H.T., Loh J.-Y., Lim L.-S., Chang Y., Liang L., De Boeck G. (2021) High environmental temperature and low pH stress alter the gill phenotypic plasticity of Hoven's carp Leptobarbus hoevenii. Journal of. Fish Biology, Vol. 99, pp. 206–218. https://doi.org/10.1111/jfb.14712
5. Liew H.J., Rahmah S., Tang P.W., Waiho K., Fazhan H., Rasdi N.W., Hamin S.I.A., Mazelan S., Muda S., Lim L.S., Chen Y-M., Chang Y.M., Liang L.Q., Ghaffaret M.A. (2022) Low water pH depressed growth and early development of giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii larvae. Heliyon, Vol. 8, p. e09989. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09989
6. Swain S., Sawant P.B., Chadha N.K., Chhandaprajnadarsini E.M., Katare M.B. (2020) Significance of water pH and hardness on fish biological processes: A review. International Journal of Chemical Studies,Vol. 8, pp. 330–337. https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4e.9710
7. Trach Y., Trach R., Kuznietsov P., Pryshchepa A., Biedunkova O., Kiersnowska A., Statnyk I. (2024) Predicting the Influence of Ammonium Toxicity Levels in Water Using Fuzzy Logic and ANN Models. Sustainability, Vol. 16, p. 5835. https://doi.org/10.3390/su16145835
8. Zhang T., Zhang C., Du S., Zhang Z., Lu W., Su P., Jiao Y., Zhaj Y. (2023) A review: The formation, prevention, and remediation of acid mine drainage. Environ Sci Pollut Research, Vol. 30, p.111871–111890. https://doi.org/10.1007/s11356-023-30220-5
9. Sarmiento A.M., Grande J.A., Luís A.T., Dávila J.M., Fortes J.C., Santisteban M., Curiel J., de la Torre M.L., da Silva E.F (2018). Negative pH values in an open-air radical environment affected by acid mine drainage. Characterization and proposal of a hydrogeochemical model, Science of The Total Environment, Vol. 644, pp. 1244-1253. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.381
10. Luo C., Routh J., Dario M., Sarkar S., Wei L., Luo D., Liu Y. (2020) Distribution and mobilization of heavy metals at an acid mine drainage affected region in South China, a post-remediation study. Science of The Total Environment, Vol. 724, p. 138122. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138122
11. Roy G., Valsala R. (2024) Impact of capping on pyrite oxidation ion transport in unsaturated mine waste pile: A hydrogeochemical modeling study. Model. Earth Syst. Environ., Vol. 10, pp. 3777–3788. https://doi.org/10.1007/s40808-024-01991-8
12. Zhang W., Long J., Zhang X., Shen W., Wei Z. (2020) Pollution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in the Soil and Sediment around the HTM Tailings Pond, Northeastern China. Int. J. Environ. Res. Public Health, Vol. 17, p. 7072. https://doi.org/10.3390/ijerph17197072
13. Wolkersdorfer C., Mugov E., Dagad V.S., Charvet P., Vituleless J. (2022) Effects of Mining on Surface Water-Case Studies. Encycl. Inland Waters, Vol. 4, pp. 170–188
14. Macklin M.G., Thomas C.J., Mudbhatkai A., Brewer P.A., Hudson-Edwards K.A., Lewin J., Scussolini P., Eilander D., Lechner A., Owen J., Bird G., Kemp D., Mangalaa K.R. (2023) Impacts of metal mining on river systems: a global assessment. Science, Vol. 381, pp. 1345-1350. https://doi.org 10.1126/science.adg6704
15. Piwowarska D., Kiedrzyńska E., Jaszczyszyn, K. (2024) A global perspective on the nature and fate of heavy metals polluting water ecosystems, and their impact and remediation. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, vol. 54(19), pp. 1436–1458. https://doi.org/10.1080/10643389.2024.2317112
16. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th ed.; Incorporating first addendum; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2017, Available online: https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950
17. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). National Primary Drinking Water Regulations, 2022, https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations
18. Directive 2008/32/EC of the European Parliament and of the Council of 11 March 2008 Amending Directive 2000/60/EC Establishing a Framework for Community action in the field of water policy, as regards the implementing powers conferred on the Commission. 2008, pp. 60–61. Available online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:32008L0032
19. Razzak S.A., Faruque M.O., Alsheikh Z., Alsheikhmohamad L., Alkuroud D., Alfayez A., Hossain S.Z., Hossain M.M. A comprehensive review on conventional and biological-driven heavy metals removal from industrial wastewater, Environmental Advances, 2022, vol. 7, p. 100168. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100168
20. https://www.kazhydromet.kz/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy
21. Zhalmagambetova U., Assanov D., Neftissov A., Biloshchytskyi A., Radelyuk I. Implications of Water Quality Index and Multivariate Statistics for Improved Environmental Regulation in the Irtysh River Basin (Kazakhstan). Water, 2024, Vol. 16, p. 2203. https://doi.org/10.3390/w16152203

22. Seraya N., Daumova G., Petrova O., Garcia-Mira R., Polyakova A. Ecological Status of the Small Rivers of the East Kazakhstan Region. Sustainability, 2025, Vol. 17, p. 6525. https://doi.org/10.3390/su17146525

REFERENCES

1. Hamid A., Bhat S.U., Jehangir A. (2020) Local determinants influencing stream water quality. Applied Water Science, Vol. 10, pp. 24. https://doi.org/10.1007/s13201-019-1043-4)
2. Sarkar S., Gill S.S., Das Gupta G., Verma S.K. (2022) Water toxicants: a comprehension on their health concerns, detection, and remediation. Environmental Science and Pollution Research, Vol. 29, pp. 53934–53953. https://doi.org/10.1007/s11356-022-20384-x
3. van Vliet MTH, Thorslund J., Strokal M. Hofstra N., Flörke M., Ehalt Macedo H., Nkwasa A., Tang T., Kaushal S.S., Kumar R., Griensven A.v., Bouwman L., Mosley L.M. (2023) Global river water quality under climate change and hydroclimatic extremes. Nature Reviews Earth Environment, Vol. 4 , pp. 687–702. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00472-3
4. Mohamad S., Liew H.J., Zainuddin R.A., Rahmah S., Waiho K., Ghaffar M.A., Nhan H.T., Loh J.-Y., Lim L.-S., Chang Y., Liang L., De Boeck G. (2021) High environmental temperature and low pH stress alter the gill phenotypic plasticity of Hoven's carp Leptobarbus hoevenii. Journal of. Fish Biology, Vol. 99, pp. 206–218. https://doi.org/10.1111/jfb.14712
5. Liew H.J., Rahmah S., Tang P.W., Waiho K., Fazhan H., Rasdi N.W., Hamin S.I.A., Mazelan S., Muda S., Lim L.S., Chen Y-M., Chang Y.M., Liang L.Q., Ghaffaret M.A. (2022) Low water pH depressed growth and early development of giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii larvae. Heliyon, Vol. 8, p. e09989. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09989
6. Swain S., Sawant P.B., Chadha N.K., Chhandaprajnadarsini E.M., Katare M.B. (2020) Significance of water pH and hardness on fish biological processes: A review. International Journal of Chemical Studies,Vol. 8, pp. 330–337. https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4e.9710
7. Trach Y., Trach R., Kuznietsov P., Pryshchepa A., Biedunkova O., Kiersnowska A., Statnyk I. (2024) Predicting the Influence of Ammonium Toxicity Levels in Water Using Fuzzy Logic and ANN Models. Sustainability, Vol. 16, p. 5835. https://doi.org/10.3390/su16145835
8. Zhang T., Zhang C., Du S., Zhang Z., Lu W., Su P., Jiao Y., Zhaj Y. (2023) A review: The formation, prevention, and remediation of acid mine drainage. Environ Sci Pollut Research, Vol. 30, p.111871–111890. https://doi.org/10.1007/s11356-023-30220-5
9. Sarmiento A.M., Grande J.A., Luís A.T., Dávila J.M., Fortes J.C., Santisteban M., Curiel J., de la Torre M.L., da Silva E.F. (2018) Negative pH values in an open-air radical environment affected by acid mine drainage. Characterization and proposal of a hydrogeochemical model, Science of The Total Environment, Vol. 644, pp. 1244-1253. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.381
10. Luo C., Routh J., Dario M., Sarkar S., Wei L., Luo D., Liu Y. (2020) Distribution and mobilization of heavy metals at an acid mine drainage affected region in South China, a post-remediation study. Science of The Total Environment, Vol. 724, p. 138122. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138122
11. Roy G., Valsala R,. (2024) Impact of capping on pyrite oxidation ion transport in unsaturated mine waste pile: A hydrogeochemical modeling study. Model. Earth Syst. Environ. Vol. 10, pp. 3777–3788. https://doi.org/10.1007/s40808-024-01991-8
12. Zhang W., Long J., Zhang X., Shen W., Wei Z. (2020) Pollution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in the Soil and Sediment around the HTM Tailings Pond, Northeastern China. Int. J. Environ. Res. Public Health,Vol. 17, p. 7072. https://doi.org/10.3390/ijerph17197072
13. Wolkersdorfer C., Mugov E., Dagad V.S., Charvet P., Vituleless J. (2022) Effects of Mining on Surface Water-Case Studies. Encycl. Inland Waters, Vol. 4, pp. 170–188
14. Macklin M.G., Thomas C.J., Mudbhatkai A., Brewer P.A., Hudson-Edwards K.A., Lewin J., Scussolini P., Eilander D., Lechner A., Owen J., Bird G., Kemp D., Mangalaa K.R. (2023) Impacts of metal mining on river systems: a global assessment. Science, Vol. 381, pp. 1345-1350. https://doi.org 10.1126/science.adg6704
15. Piwowarska D., Kiedrzyńska E., Jaszczyszyn, K. (2024) A global perspective on the nature and fate of heavy metals polluting water ecosystems, and their impact and remediation. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, vol. 54(19), pp. 1436–1458. https://doi.org/10.1080/10643389.2024.2317112
16. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th ed.; Incorporating first addendum; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2017, Available online: https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950
17. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). National Primary Drinking Water Regulations, 2022, https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations
18. Directive 2008/32/EC of the European Parliament and of the Council of 11 March 2008 Amending Directive 2000/60/EC Establishing a Framework for Community action in the field of water policy, as regards the implementing powers conferred on the Commission. 2008, pp. 60–61. Available online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:32008L0032
19. Razzak S.A., Faruque M.O., Alsheikh Z., Alsheikhmohamad L., Alkuroud D., Alfayez A., Hossain S.Z., Hossain M.M. (2022) A comprehensive review on conventional and biological-driven heavy metals removal from industrial wastewater, Environmental Advances, , vol. 7, p. 100168. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100168
20. https://www.kazhydromet.kz/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy [in Kazakh]
21. Zhalmagambetova U., Assanov D., Neftissov A., Biloshchytskyi A., Radelyuk I. Implications of Water Quality Index and Multi-variate Statistics for Improved Environmental Regulation in the Irtysh River Basin (Kazakhstan). Water, 2024, Vol. 16, p. 2203. https://doi.org/10.3390/w16152203
22. Seraya N., Daumova G., Petrova O., Garcia-Mira R., Polyakova A. Ecological Status of the Small Rivers of the East Kazakhstan Region. Sustainability, 2025, Vol. 17, p. 6525. https://doi.org/10.3390/su17146525

ДИНАМИКА КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЕКИ ТИХАЯ

Наталья В. Серая к.х.н., профессор, Гульжан К. Даумова* к.т.н., профессор, Ольга А. Петрова к.т.н., ассоциированный профессор

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан; NSeraya@edu.ektu.kz, GDaumova@edu.ektu.kz, OPetrova@edu.ektu.kz
Автор корреспондент: Гульжан К. Даумова, GDaumova@edu.ektu.kz

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

pH,
поверхностные воды,
река Тихая,
Восточно-Казахстанская область,
сезонная динамика,
многолетние изменения,
мониторинг качества воды,
тепловая карта,
кластеризация.

По статье:

Получено: 29.04.2025
Пересмотрено: 08.08.2025
Принято: 23.09.2025
Опубликовано:01.10.2025

АБСТРАКТ

В настоящей работе представлен расширенный анализ многолетней динамики показателя pH в поверхностных водах реки Тихая (Восточно-Казахстанская область) за период 2017...2025 гг. Исследование охватывает как среднемесячные и среднегодовые значения, так и внутрисезонные и межгодовые колебания pH. Применены статистические и графические методы визуализации, включая тепловое картирование, диаграммы размаха и линейную регрессионную аппроксимацию. Также проведён трендовый анализ с использованием линейных моделей регрессии и построена тепловая карта кластеризации по месяцам. Установлено, что pH вод реки колеблется в пределах слабощелочной реакции, без устойчивых признаков закисления. Вместе с тем выявлены отдельные аномалии, особенно в летний период, обусловленные природными и антропогенными факторами. Представленные данные свидетельствуют о высокой буферной способности водоёма и его способности к экологической саморегуляции.

DYNAMICS OF ACID-BASE STATE OF SURFACE WATERS OF THE TIKHAYA RIVER

Natalya Seraya Candidate of Chemical Sciences, Professor, Gulzhan Daumova* Candidate of Technical Sciences, Professor, Olga Petrova Candidate of Technical Sciences, Associate professor

D. Serikbaev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; NSeraya@edu.ektu.kz, GDaumova@edu.ektu.kz, OPetrova@edu.ektu.kz
Corresponding author: Gulzhan Daumova, GDaumova@edu.ektu.kz

KEY WORDS

hydrogen index (pH),
surface waters,
Tikhaya River,
East Kazakhstan region,
seasonal dynamics,
long-term changes,
water quality monitoring,
heat map,
clusterization.

About article:

Received: 29.04.2025
Revised: 08.08.2025
Accepted: 23.09.2025
Published:01.10.2025

ABSTRACT

This paper presents an extended analysis of the long-term dynamics of the pH index in the surface waters of the Tikhaya River (East Kazakhstan Region) for the period 2017...2025. The study covers both monthly and annual averages, as well as intra-seasonal and interannual pH fluctuations. Statistical and graphical visualization methods have been applied, including thermal mapping, span diagrams, and linear regression approximation. Trend analysis was also performed using linear regression models, and a heat map of clustering by month was constructed. It was found that the pH of the river waters fluctuates within the limits of a slightly alkaline reaction, without stable signs of acidification. At the same time, some anomalies have been identified, especially in summer, due to natural and anthropogenic factors. The presented data indicate a high buffering capacity of the reservoir and its ability for ecological self-regulation.

Баспагердің ескертпесі: барлық жарияланымдардағы мәлімдемелер, пікірлер мен деректер «Гидрометеорология и экология» журналына және/немесе редакторға(ларға) емес, тек авторға(ларға) тиесілі.

Гидрометеорология и экология

Научная статья

ПОВЫШЕНИЕ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ

Раушан А. Джайсамбекова[1] к.т.н., Александр В. Басманов[1], Балжан Ш. Аманбаева[1] PhD, Людмила В. Шагарова[2] к.т.н., Екатерина Г. Шайдуллина[1*]

[1]ТОО «Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства», Тараз, Республика Казахстан; dzhaisanbekova.1967@mail.ru (РАД), a.basmanov@mail.ru (АВБ), amanbaeva88@mail.ru (БША), katiy84@mail.ru (ЕГШ)
[2]Омский научный центр СО РАН, Институт радиофизики и физической электроники, Омск, Российская Федерация; mila-rsd@mail.ru (ЛВШ)
*Автор корреспондент: Раушан А. Джайсамбекова, dzhaisanbekova.1967@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Южный Казахстан, Мактааральский район, орошаемое земледелие, скважины вертикального дренажа, водообеспеченность, мелиоративный и эксплуатационный периоды.

АБСТРАКТ

Статья посвящена вопросам повышения водообеспеченности и мелиоративного улучшения орошаемых земель в Южном Казахстане через использование вертикального дренажа. Рассматривается эффективность применения режима работы в условиях ограниченных водных ресурсов и засоления почв. В статье анализируются основные проблемы, связанные с эксплуатацией вертикальных дренажных систем, включая высокую минерализацию дренажных вод и их негативное воздействие на сельскохозяйственные культуры. Особое внимание уделяется методам улучшения качества дренажной воды.

Научная новизна работы заключается в обосновании эколого-мелиоративных режимов работы вертикального дренажа, обеспечивающих создание оптимальных скоростей движения воды в корнеобитаемом слое, способствующих формированию эффективных параметров солеотдачи почв и поддержанию благоприятных уровней залегания грунтовых вод. В результате достигается интенсивное поступление грунтовых вод в зону аэрации, сокращение объемов оросительных норм, оптимизация фильтрационных характеристик, а также установление сбалансированных влаго- и солеобменных процессов между зоной аэрации и грунтовыми водами.

На основе проведённых исследований предлагаются рекомендации по оптимизации работы вертикального дренажа в мелиоративный и эксплуатационный периоды для улучшения экологической ситуации и повышения урожайности на орошаемых участках Махтааральского района. Результаты могут быть успешно применены на орошаемых территориях Арало-Сырдарьинского водохозяйственного бассейна Республики Казахстан.

По статье:
Получено: 18.06.2025
Пересмотрено:28.07.2025
Принято: 24.09.2025
Опубликовано:01.10.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

Южный Казахстан и особенно Мактааральский район, является одним из ключевых регионов орошаемого земледелия Казахстана. Водообеспеченность действующих ирригационных систем региона варьируется от 75 до 95% в годы с благоприятной гидрологической обстановкой. Учитывая, что в маловодные годы данный показатель может снижаться до 60...70%, аграрное производство здесь сталкивается с проблемами дефицита водных ресурсов, засолением почв и ухудшением мелиоративного состояния орошаемых земель [1]. Нарушение водно-солевого баланса и недостаточная эффективность традиционных систем водоснабжения и дренажа способствуют снижению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. На фоне

Для цитирования:
Джайсамбекова Р., Басманов А., Аманбаева Б., Шагарова Л., Шайдуллина Е. Повышение водообеспеченности орошаемых земель при эксплуатации вертикального дренажа в Южном Казахстане // Гидрометеорология и экология, 118 (3), 2025, 103-114.

усиления климатических рисков особенно актуальной становится задача повышения водообеспеченности и устойчивого мелиоративного улучшения орошаемых территорий.

Одним из перспективных направлений в решении данной проблемы является использование дренажных вод. Следует учитывать, что вода, откачиваемая с помощью скважин вертикального дренажа, не может быть в чистом виде использована на орошение сельскохозяйственных культур, так как характеризуется высокой минерализацией и значительным содержанием растворённых солей. Использовать для полива возможно только при смешивании с оросительной водой в определённых пропорциях или с добавлением химических мелиорантов, способствующих нейтрализации солей и улучшению водных характеристик. Для минимизации негативного воздействия сбросного стока на окружающую среду в зонах орошения необходимо сократить до минимума поступление в них дренажных вод путем максимального использования на орошение в местах непосредственного формирования.

Для эффективного применения этой технологии требуется научно-обоснованный подход к выбору режима работы дренажных систем и технологических решений, адаптированных к природно-климатическим условиям региона.

Целью исследования является разработка оптимальных условий работы вертикального дренажа и улучшения мелиоративного режима орошаемых земель Мактааральского района Туркестанской области.

Задача исследования: обосновать эколого-мелиоративные режимы функционирования вертикального дренажа, способствующие созданию оптимальных скоростей движения воды в корнеобитаемом слое. Определить условия поддержания благоприятных уровней залегания грунтовых вод при эксплуатации вертикального дренажа.

При подготовке статьи использованы материалы экспедиционных исследований отдела «Мелиорации и экологии орошаемых территорий» Казахского НИИ водного хозяйства и данные из литературных источников [2…4]. На основании обобщения результатов исследований [5…6], проведённых в различных природно-хозяйственных условиях, выявлены ключевые факторы, определяющие режим работы скважин вертикального дренажа. Достоинства и недостатки систем вертикального дренажа указаны в работе [6]. В рамках анализа выделены мелиоративный, эксплуатационный, вегетационный и межвегетационный периоды. В данной статье рассмотрены особенности функционирования дренажных систем мелиоративного (промывок и освоения) и эксплуатационного периодов.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методологическая база полевых и стационарных исследований основана на системном подходе к изучению эколого-мелиоративных процессов в корнеобитаемой зоне почв, выборе репрезентативного участка, применении многофакторных методов оценки водоземельных ресурсов и режимов эксплуатации дренажных систем [3], а также привлечении данных дистанционного зондирования [4]. Такой подход позволяет выработать практические рекомендации, способствующие устойчивому использованию земельно-водных ресурсов и повышению эффективности мелиоративных мероприятий для орошаемого земледелия в условиях засушливого климата Южного Казахстана.

Для проведения научного анализа и оценки выбран регион с многолетним опытом мелиорации сельскохозяйственных земель - Мактааральский район Туркестанской области. Выбор территории исследований обусловлен его репрезентативностью для южных регионов страны, где в свете изменения климата возможны дополнительные риски в области водоснабжения и мелиорации. Имеющаяся инфраструктура ирригационных систем Мактааральского района, включая крупный магистральный канал водоподачи МК «Достык», восстанавливаемые сети вертикального и горизонтального дренажа, создают предпосылки для научного обоснования и внедрения эффективных технологий регулирования эколого-мелиоративных режимов. Эти технологии могут

быть использованы для устойчивого развития орошаемых земель с перспективой их распространения на территории Арало-Сырдарьинского водохозяйственного бассейна Республики Казахстан.

Географически Мактааральский массив приурочен к левобережной террасе среднего течения реки Сырдарья и входит в состав казахстанской части Голодностепского орошаемого региона. С севера массив ограничен Шардаринским водохранилищем, с востока граничит с территорией Республики Узбекистан, с юга — с Центральным Голодностепским коллектором, а с запада - с Арнасайским понижением. Район характеризуется равнинным рельефом, полупустынным климатом, слабой естественной дренированностью и высокой агроэкологической значимостью, что предопределяет необходимость применения орошения и мелиоративных мероприятий для устойчивого сельскохозяйственного производства.

Космоплан Мактааральского района представлен на рисунке 1. Для его построения использованы космоснимки Sentinel-1. RGB каналам изображения соответствуют радиолокационные данные за весну, лето и осень 2019 г.

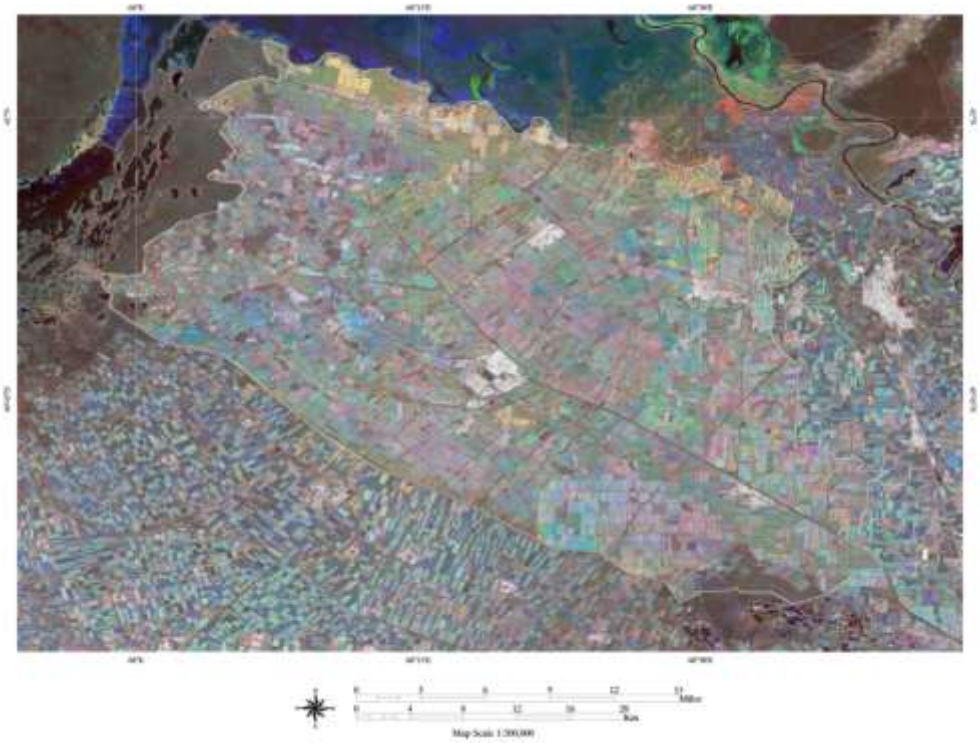


Рисунок 1. *Космоплан территории исследований*

Природно-климатические и агроэкологические условия Южного Казахстана, отличающиеся высоким уровнем солнечной радиации и продолжительностью светового дня, создают благоприятные предпосылки для возделывания гелиофильных сельскохозяйственных культур. В условиях Мактааральского массива – это хлопчатник, овощебахчевые культуры. Эффективность их производства в системе орошаемого земледелия напрямую зависит от рационального водного режима и соблюдения мелиоративных норм. Реализация аграрного потенциала существенно ограничивается дефицитом влаги в корнеобитаемом горизонте, который восполняется за счёт орошения. Необходимость проведения систематического орошения приводит к подъёму уровня грунтовых вод, что, в свою очередь, инициирует процессы вторичного засоления почвенного покрова. Возникающие гидросоляные трансформации приводят к деградации мелиорированных земель и существенному снижению продуктивности агроэкосистем: даже при слабой степени засоления урожайность сокращается до 20 %, в то время как при высоком уровне засоленности потери могут достигать 70...80 % [4].

Сложившаяся мелиоративная обстановка требует внедрения научнообоснованных инженерных решений, направленных на обеспечение устойчивого водного режима. В качестве практически реализуемых способов борьбы с засолением орошаемых земель рекомендовано искусственное дренирование с применением различных типов дренажных систем [6…8]. Выбор конкретного типа дренажа (горизонтальный, вертикальный или комбинированный) зависит от геолого-гидрологических условий, уровня минерализации грунтовых вод и плотности оросительной нагрузки. С учетом условий исследуемого региона одним из наиболее эффективных методов регулирования уровня грунтовых вод и предотвращения засоления почвенногго профиля является организация систем вертикального дренажа.

Введение в эксплуатацию вертикального дренажа требует больших финансовых и энергетических затрат. Объем капитальных и эксплуатационных расходов в значительной степени определяется типом дренажа и конструктивными параметрами системы [9, 10], а разнообразие почвенно-мелиоративных и гидрогеологических условий на орошаемых землях требуют дифференцированного подхода к выбору работы дренажной системы.

Основной целью режима работы скважин вертикального дренажа на территории Мактааральского массива орошения является формирование и поддержание такого почвообразовательного процесса, который в сочетании с комплексом агротехнических, химических и мелиоративных мероприятий, позволит достичь устойчивых и максимальных урожаев культур хлопкового севооборота при наименьших затратах водных, трудовых и энергетических ресурсов [11].

В мелиоративный период продолжительностью 3...5 лет работа систем вертикального дренажа направлена на рассоление зоны аэрации и снижения уровня грунтовых вод ниже критического значения.

В эксплуатационный период с помощью вертикального дренажа поддерживается достигнутый в мелиоративный период оптимальный водно-солевой режим почвогрунтов и грунтовых вод в зоне аэрации.

Как показали результаты исследований, на Мактааральском массиве орошения период с января по апрель характеризуется максимальным водозабором и водоподачей, необходимыми для проведения зимних промывок и влагозаряковых поливов весной. В это время выпадает основная часть годового объёма атмосферных осадков и наблюдается резкое снижение испарения. Совокупность этих факторов приводит к резкому подъёму уровня грунтовых вод, а при недостаточной дренированности территории — к подтоплению орошаемых земель.

В период промывки окислительно-восстановительный процесс в почве на оросительных системах связан с длительным затоплением чеков (2...3 месяца), которые вызывают различные скорости инфильтрации воды в зависимости от дренированности участков и действия дренажа. Исследования на оросительных системах бассейна р.Сырдарьи, выполненые А.Г. Рау [12], Л.В. Круглова [13], С.Д. Магай [5] и другими учеными [14...18] показывают, что значения оптимальной инфильтрации составляют: на легких почвах в пределах 3...6 мм/сут, средних 4...8 мм/сут, на тяжелых почвах 7...12 мм/сут. Инфильтрация в указанных пределах благоприятно влияет на окислительно-восстановительные процессы, водно-солевой, питательный и газовые режимы почв на промываемых участках под слоем воды.

С уменьшением инфильтрации не обеспечивается вынос солей из зоны аэрации, прогрессируют восстановительные процессы, отмечается соленакопление в верних горизонтах почвогрунтов и вторичного засоления земель. С увеличением инфильтрации наблюдается интенсивный вынос солей из почвенного профиля в грунтовые воды. При этом вымываются не только вредные ионные соединения, но также питательные элементы. Это приводит к нарушению агрохимического баланса, снижению естественного плодородия почв и, как следствие, к снижению урожайности

возделываемых сельскохозяйственных культур. Поэтому при разработке режимов эксплуатации вертикального дренажа важно учитывать не только водно-солевой режим, но и сохранение питательных веществ в корнеобитаемом слое.

В условиях Мактааральского региона до начала промывки скважин вертикального дренажа требуется обеспечить понижающие и поддерживающие уровни грунтовых вод на глубине 2,5...3,0 м от поверхности земли. Создание свободной емкости в зоне аэрации почвогрунтов позволяет существенно улучшить условия для проведения промывных поливов и достичь выраженный рассоляющий эффект, обусловленный улучшением дренажных свойств и повышением фильтрационной способности.

Анализ фактической работы систем скважин вертикального дренажа в производственных условиях на Мактааральском массиве по данным РГУ «Южно-Казахстанская гидрогеолого-мелиоративная экспедиция» [1] показывает, что в период промывки коэффициент полезной работы (КПР) составляет 0.34...0.50. Это в 1.7...2.0 раза ниже утвержденного графика работы СВД для Мактааральского массива.

Проектный дебит скважин вертикального дренажа Мактааральского масива определен 35...40 и 50...60 л/с в зависимости от типа установленного насоса. В процессе эксплуатации скважин происходит снижение дебита, который на данный момент уменьшился более чем на 50% и не превышает 20...30 л/с. Снижение дебита скважин вертикального дренажа обусловлено кольматацией фильтров песком и зарастанием выпадающими из воды осадками. Отметим, что рассматривать изменение дебита нужно не как функцию времени, а как функцию суммарного водозабора, потому что механическая и химическая кольматация фильтров возникает лишь в результате отбора воды.

С целью разработки оптимального режима работы скважин вертикального дренажа в период проведения промывных мероприятий, на территории сельского округа А. Калыбеков был оборудован опытный участок, схема которого приведена на рисунке 2. Наблюдения за режимом грунтовых вод и радиусом фактического действия скважин вертикального дренажа проводились по пробуренным кустам пьезометрам (4, 6, 8 м) и наблюдательным скважинам (3 м), расположенным на участке в широтном и продольном направлениях и удаленных от СВД на расстояния 100, 200, 300, 400, 500 и 600 м. Фотографии скважин приведены на рисунке 3.

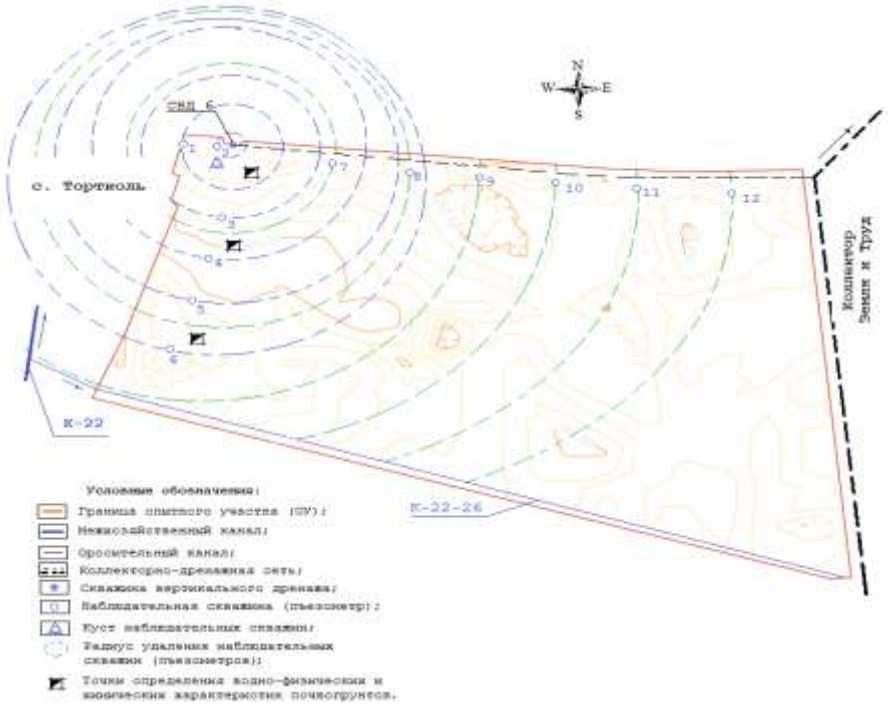


Рисунок 2. *Схема опытного участка с вертикальным дренажем (СВД-6)*

а)  б) 

а - наблюдательная скважина, б - куст разноглубинных скважин-пъезмотров

Рисунок 3. *Скважины на опытном участке*

На опытном участке промывка засоленных земель была начата в начале весны - в марте. Согласно проектным рекомендациям, норма промывки для данного района составляет 10...11 тыс. м³/га. Для повышения эффективности использования водных ресурсов применена тактовая подача воды, при которой разовая промывная норма составляла 2000...2500 м³/га. Ширина чеков достигала 30...40 м, длина - 50...70 м. Фотографии на рисунке 4 иллюстрируют этап промывки.



Рисунок 4. *Промывка засоленных земель по малым и большим чекам*

Основной задачей вертикального дренажа в период промывки является усиление нисходящих фильтрационных токов грунтовых вод из покровной толщи, чтобы обеспечить гидравлическую связь между грунтовыми водами и водами каптируемого пласта путем создания перепада давлений в результате откачек. Поэтому водоприемная поверхность скважин вертикального дренажа должна принимать подземные воды из всего водоносного комплекса.

Проводимые поливы и работа скважин вертикального дренажа оказывают влияние на динамику уровня грунтовых вод на посевах хлопчатника. Скорость спада уровня грунтовых вод при работающих скважинах вертикального дренажа находится в прямой зависимости от расстояния до вертикальной дрены. Как показано на рисунке 5, чем ближе наблюдательная скважина-пьезометр расположена к работающей дрене, тем больше скорость снижения уровня грунтовых вод и наоборот. При этом скорость снижения изменяется в зависимости от градиента напора, который снижается с увеличением дебита скважины. В начальный период работы скорость снижения всегда больше, со временем она постепенно уменьшается и уровень стабилизируется.

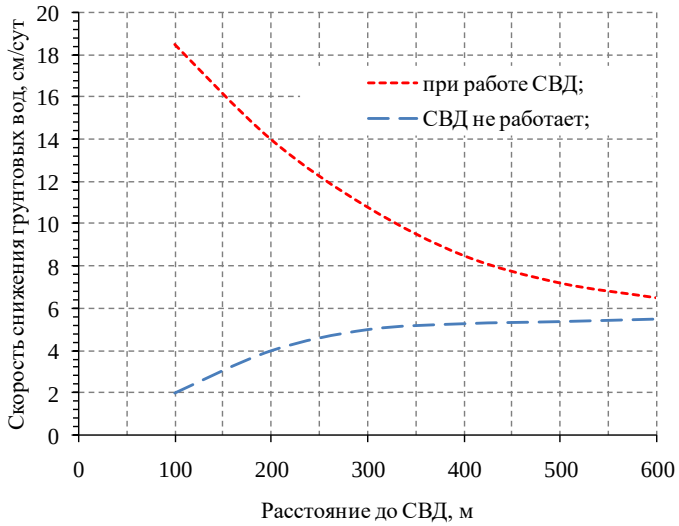


Рисунок 5. *Скорость снижения УГВ после промывки орошаемых земель на опытном участке*

За 5...6 суток до начала промывных поливов на опытном участке было включено СВД №6, в результате создана свободная емкость в почвогрунтах (2.5...3.0 м), что способствовало повышению их мелиоративный эффективности.

График работы скважин вертикального дренажа в период промывки приведен на рисунке 6.

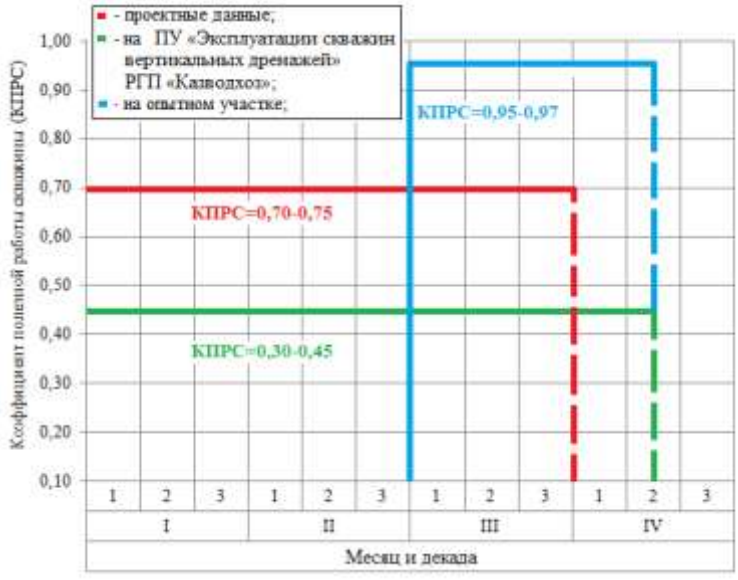


Рисунок 6. *График работы скважин вертикального дренажа в период промывки*

Режим работы СВД в период промывки должен быть таким, чтобы обеспечить:

- создание на полях промывки фильтрации в пределах 5...8 мм/сут и отвода фильтрационных вод и растворенных в них солей в нижний песчаный горизонт с последующим отводом их за пределы орошаемого участка;

- создание оптимальных глубин залегания уровня грунтовых вод в весенний период, обеспечивающих своевременное проведение весенних полевых работ.

После завершения промывочных мероприятий наблюдается минимальный водозабор в период с апреля по май. Это связано с выпадением значительного количества атмосферных осадков и началом интенсивного испарения. Во второй половине мая

водозабор возобновляется в небольших объёмах, необходимых для проведения первых поливов. Вследствие ирригационно-хозяйственной обстановки происходит снижение уровня грунтовых вод. Таким образом, установлен характер протекания процессов, происходящих при мелиорации.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обследование 75 скважин вертикального дренажа позволило оценить минерализацию дренажных вод [1]. Распределение СВД по уровням минерализации дренажных вод представлено на рисунке 7.

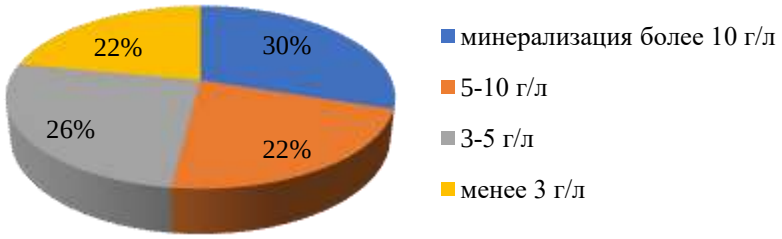


Рисунок 7. *Распределение скважин вертикального дренажа (СВД) по минерализации дренажных вод*

Результаты мониторинга режима работы скважин вертикального дренажа приведены в таблице 1 и подтверждают, что в период промывки скважины должны работать на максимальную нагрузку с коэффициентом полезной работы (КПР) не менее 0.95...0.97.

Таблица 1

Режим работы СВД-6 на опытном участке при промывке засоленных земель

Период работы, март (декады)	Продолжительность работы СВД, сут.	Средний дебит, л/с	Обьем откачиваемой воды, тыс. м^3	Затрата электроэнергии, кВт/час	КПР
1	10	38	325.45	4467.2	0.97
2	10	38	325.45	4407.2	0.96
3	8	38	260.35	416.6	0.96

Повышение КПР относительно проектных значений (КПР=0.70...0.75) объясняется снижением дебита скважины вертикального дренажа (СВД-6) за период её работы с 2012 г. с 55 л/с до 38 л/с.

Проведённые на опытном участке комплексные мониторинговые исследования позволили получить данные, необходимые для научного обоснования параметров работы дренажной системы:

-природно-климатические условия региона, уровень засоленности почвогрунтов и грунтовых вод, литологическое строение покровных отложений, а также водно-физические свойства почвогрунтов, оказывающие влияние на фильтрационные процессы;

-гидрогеологические условия, включая глубину залегания и динамику уровня грунтовых вод, а также степень их минерализации;

-уточнены проектные нормы промывки засоленных земель с учётом почвенно-гидрологических условий участка,

-изучены технические инструкции по эксплуатации электрических сетей, контрольно-измерительных приборов, средств автоматики, а также наземных

комплексов сооружений, обеспечивающих функционирование скважин вертикального дренажа.

-установлена продолжительность работы СВД, средний дебит, затраченная электроэнергия.

Эксплуатация системы вертикального дренажа в условиях засолённых земель позволяет скорректировать объёмы и режим подачи промывной воды для достижения максимального рассоляющего эффекта при минимальных водо- и энергозатратах.

Эксплуатация скважин с фильтрами, которые не обеспечивают требуемого расхода воды, нарушает баланс мелиоративной системы [11], и может привести к значительным экономическим и техническим потерям.

Полученные результаты легли в основу рекомендаций по рациональной эксплуатации скважин вертикального дренажа в засоленных зонах региона исследований и могут быть использованы для масштабирования мероприятий на аналогичных территориях.

В Мактааральском районе в условиях слабой естественной дренированности территории, интенсивное орошение привело к резкому подъему высокоминерализованных грунтовых вод.

Изучения минерализации откачиваемых вод из СВД на Мактааральском массиве показало, что их концентрация варьируется от 1.2 до 22 г/л. Такие колебания обусловлены неоднородностью гидрогеологических условий, степенью засоления водоносных горизонтов, а также интенсивностью водообмена в зоне дренажного воздействия. Качественный состав откачиваемых дренажных вод свидетельствует о том, что с точки зрения риска осолонцевания почв предельная минерализация составляет 2.5...3.0 г/л, тогда как по критерию соленакопления допустимые значения находятся в пределах 2.0...2.5 г/л. Учитывая ирригационные коэффициенты и агромелиоративные условия массива, допустимо использование 20...25% объема откачиваемых дренажных вод для полива культур хлопкового севооборота без существенного риска ухудшения агроэкологических характеристик почв [1].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В зависимости от периодов освоения засоленных орошаемых земель режим работы системы вертикального дренажа будет различным. В мелиоративный период режим работы обеспечивает отвод дренажных вод при рассолении почвогрунтов, в эксплуатационный - оптимальный водно-солевой режим.

Наиболее ответственный этап в функционировании скважин вертикального дренажа приходится на предпосевной период, когда проводятся механизированные агротехнические работы (вспашка, предпосевная обработка, посев). На этом этапе четкая и бесперебойная работа всех скважин направлена на понижение уровня грунтовых вод до отметки 1.5...1.6 м. Для достижения указанного уровня в короткий срок (16...20 суток) скважины вертикального дренажа должны работать на сброс с максимальной нагрузкой. Эффективность их работы, выраженная через коэффициент полезного действия, должна составлять не менее 0.30...0.40.

В оросительный период вертикальный дренаж влияет на формирование режима грунтовых вод, при этом выделяются две характерные зоны. Первая «активная зона» (в пределах 500 м от скважины), где уровень грунтовых вод находится в прямой зависимости от величины поливной и оросительной нормы возделываемой культуры, а также продолжительности работы вертикального дренажа. При удалении от скважины наблюдаются значительные колебания уровня - от 1.6 до 3.5 м от поверхности. Вторая «пассивная зона» (на расстоянии более 500 м от скважины), в которой уровень грунтовых вод в период полива и до конца оросительного периода изменяется незначительно, в пределах 0...100 см [1].

В период промывки, как показывают результаты исследований режимов функционирования скважин вертикального дренажа, они должны работать на максимальную нагрузку с КПР не менее 0.95...0.97.

Непременным условием эффективного функционирования системы вертикального дренажа является установление такого проектного КПР скважины существующей сети СВД, чтобы пьезометрические уровни напорных вод были ниже уровня грунтовых вод.

Таким образом, система скважин вертикального дренажа выполняя роль первичных дрен, повышает дренированность орошаемых земель, позволяет активно и целенаправленно воздействовать на солевой режим почвогрунтов и грунтовых вод, предотвращает вторичное засоление почв, что в свою очередь, повышает урожайность возделываемых культур.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация - РАД, АВБ; управление данными - РАД, АВБ; формальный анализ - ЛВШ, БША; методология - ЛВШ, БША; программное обеспечение - АВБ, ЕГШ; отслеживание - РАД, ЕГШ, БША; Визуализация - ЕГШ; написание исходного проекта - РАД, АВБ; написание и редактирование обзора - ЕГШ.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках реализации прикладных научных исследований при выполнении бюджетной программы 254 ПЦФ 2024...2026гг. по проекту: «Научно-техническое обеспечение сохранения, воспроизводства и эффективного распределения водных ресурсов для обеспечения водной безопасности Республики Казахстан» (ИРН BR23791322) и источником финансирования является Министерство водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчеты о мелиоративном состоянии орошаемых земель Южно-Казахстанской области за 2015–2021 гг. // РГУ «ЮКГГМЭ». – Шымкент, 2016–2022.
2. Dzhaysambekova, R.A. Hydrochemical regime of groundwater and salt regime of soil in open horizontal drainage areas of Maktaaral district of Turkestan region [Text] / R.A. Dzhaysambekova, A.V. Basmanov // International scientific journal "Science and World". – 2020. – № 9 (85), Vol. I. – P. 42–46.
3. Магай, С.Д. Методические рекомендации по обоснованию мелиоративных режимов и работы дренажных систем на орошаемых землях [Текст] / С.Д. Магай, К.Т. Райымбаев. – Тараз, 2001. – 21 с. – Одобрено и рекомендовано к изданию НАЦАИ (протокол № 1 от 22.02.2001 г.) и КазНИИВХ (протокол № 3 от 09.06.2000 г.).
4. Рекомендации по выбору режима работы дренажных систем, обеспечивающего управление мелиоративными процессами в почвогрунтах (утв. ТОО «КазНИИВХ», протокол №5 от 05.08.2014 г.) / С.Д. Магай, Р.К. Бекбаев, Е.Д. Жапаркулова и др.- Тараз: КазНИИВХ, 2014 . - 23 с.
5. Отчет по НИР «Разработка режима работы горизонтального и вертикального дренажа и технологии регулирования мелиоративного режима орошаемых земель» за 2020г. [Текст] //КазНИИВХ. - Тараз, 2020. (№ госрегистрации 0118РК01220)
6. Джумабеков, А.А. Режим грунтовых вод на участках открытого горизонтального дренажа на Мактааральском массиве орошения [Текст] / А.А. Джумабеков, П.У. Буланбаева, А.Е. Серимбетов [и др.] // Вестн. науки Казах. агротехн. ун-та им. С. Сейфуллина. – 2020. – № 4(107). – С. 21–29.
7. Абиров, А. Управление солевым режимом почв при различных параметрах дренажа [Текст] / А. Абиров, У.А. Садикова, Л.Ф. Узакбаева // Вестн. мелиорат. науки. – 2021. – № 2. – С. 51–55.
8. Вышпольский, Ф.Ф. Обоснование параметров дренажа на засоленных или склонных к засолению землях [Текст] / Ф.Ф. Вышпольский // Научные исследования в области мелиорации и водного хозяйства: труды КазНИИВХ. – Тараз, 2000. – С. 50–75.
9. Магай, С.Д. Параметры дренирования орошаемых земель и определяющие факторы на юге Казахстана [Текст] / С.Д. Магай // Научные исследования в области мелиорации и водного хозяйства. – Тараз, 2000. – С. 161–171.
10. Sultonov, R.S.u. Energy efficient technology in vertical drainage system [Text] / R.S.u. Sultonov, K.T. Rakhimov, M.Y. Otakhanov, S.M.u. Melikuziev // Science and Innovative Development. – 2024. – Vol. 7, No. 6. – P. 92–103.
11. Tumlert, V.A. Influence of the hydrogeological mode of operation on the character of collating of the filter and the filter zone of seasonal wells [Text] / V.A. Tumlert, Zh.K. Kasymbekov, R.A. Dzhaisambekova, E.V. Tumlert, B.Sh. Amanbayeva // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2023. – Vol. 3, No. 459. – P. 295–304. – DOI: https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.314
12. Рау, А.Г. Водораспределение на рисовых системах [Текст] / А.Г. Рау. – М.: Агропромиздат, 1988. – 86 с.
13. Круглов, Л.В. Режим работы скважин вертикального дренажа на рисовых системах [Текст] / Л.В. Круглов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 128 с.
14. Кисилев, М.В. Вертикальный дренаж и использование подземных вод на орошение в Бухарской области [Текст] / М.В. Кисилев // Сельское хозяйство Узбекистана. – 1982. – № 2. – С. 14–20.
15. Техническая эксплуатация дренажа на мелиоративных системах: научный обзор [Текст] / В.Н. Щедрин, А.С. Капустян, В.Д. Гостищев [и др.]. – Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2012. – 222 с.
16. Корелис, Л.Л. Режим работы вертикального дренажа на территории северо-западной части Голодной степи [Текст] / Л.Л. Корелис // Инженерные мероприятия по борьбе с засолением орошаемых земель: сб. науч. ст. САНИИРИ. – Ташкент, 1973. – Вып. 139. – С. 80–91.
17. Ирригация Узбекистана. Т. 2: Современное состояние и перспективы развития ирригации в бассейне р. Сырдарьи [Текст]. – Ташкент: Фан, 1975. – 357 с.

18. Rakhimov, K. Importance of vertical drainage wells in irrigated fields [Text] / K. Rakhimov, M. Otakhonov, R. Sultonov // Proceedings of the International Conference on Thermal Engineering (ICTEA). – 2024. – Vol. 1, No. 1.

REFERENCES

1. Otchety o meliorativnom sostoyanii oroshaemykh zemel' Yuzhno-Kazakhstanskoy oblasti za 2000–2019 gg. [Reports on reclamation state of irrigated lands of South Kazakhstan Region 2000–2019]. Shymkent: RGU "YUKGGMÉ", 2000–2020. (In Russian).
2. Dzhaysambekova R.A., Basmanov A.V. Gidrokhimicheskiy rezhim podzemnykh vod i solevoy rezhim pochv na uchastkakh otkrytogo gorizontal'nogo drenazha Maktaaralskogo rayona Turkestanskoy oblasti [Hydrochemical regime of groundwater and salt regime of soil in open horizontal drainage areas of Maktaaral district of Turkestan region]. International scientific journal "SCIENCE AND WORLD", 2020, no. 9(85), vol. I, pp. 42–46. (In Russian).
3. Magay S.D., Rayymbaev K.T. Metodicheskie rekomendatsii po obosnovaniyu meliorativnykh rezhimov i raboty drenazhnykh sistem na oroshaemykh zemlyakh [Methodical recommendations for justification of drainage regimes and drainage system operation on irrigated lands]. Taraz, 2001, 21 p. (In Russian).
4. Magay S.D., Bekbaev R.K., Zhaparkulova E.D. et al. Rekomendatsii po vyboru rezhima raboty drenazhnykh sistem, obespechivayushchego upravlenie meliorativnymi protsessami v pochvogruntakh [Recommendations for selecting drainage system regimes ensuring management of reclamation processes in soil]. Taraz: KazNIIVKH, 2014, 23 p. (In Russian).
5. Otchet po NIR «Razrabotka rezhima raboty gorizontal'nogo i vertikal'nogo drenazha i tekhnologii regulirovaniya meliorativnogo rezhima oroshaemykh zemel'» (№ gosregistratsii 0118RK01220). KazNIIVKH. (2020). Taraz, Kazakhstan. (In Russian).
6. Dzhumabekov A.A., Bulanbaeva P.U., Serimbetov A.E. et al. Rezhim gruntovykh vod na uchastkakh otkrytogo gorizontal'nogo drenazha na Maktaaral'skom massive orosheniya [Groundwater regime in open horizontal drainage areas of the Maktaaral irrigation massif]. Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seyfullina, 2020, no. 4(107), pp. 21–29. (In Russian).
7. Abirov A., Sadikova U.A., Uzakbaeva L.F. Upravlenie solevym rezhimom pochv pri razlichnykh parametrah drenazha [Management of soil salinity regime under different drainage parameters]. Vestnik meliorativnoy nauki, 2021, no. 2, pp. 51–55. (In Russian).
8. Vyshpol'skiy F.F. Obosnovanie parametrov drenazha na zasolennykh ili sklonnykh k zasoleniyu zemlyakh [Justification of drainage parameters on saline or potentially saline lands]. Trudy KazNIIVKH. Nauchnye issledovaniya v oblasti melioratsii i vodnogo khozyaystva. Taraz, 2000, pp. 50–75. (In Russian).
9. Magay S.D. Parametry drenirovaniya oroshaemykh zemel' i opredelyayushchie faktory na yuge Kazakhstana [Drainage parameters of irrigated lands and determining factors in southern Kazakhstan]. Nauchnye issledovaniya v oblasti melioratsii i vodnogo khozyaystva. Taraz, 2000, pp. 161–171. (In Russian).
10. Sultonov R.S.u., Rakhimov K.T., Otakhanov M.Y., Melikuziev S.M.u. Energy efficient technology in vertical drainage system. Science and Innovative Development, 2024, vol. 7, no. 6, pp. 92–103. (In Uzbek).
11. Tumlert V.A., Kasymbekov Zh.K., Dzhaisambekova R.A., Tumlert E.V., Amanbayeva B.Sh. Influence of the hydrogeological mode of operation on the character of collating of the filter and the filter zone of seasonal wells. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2023, vol. 3, no. 459, pp. 295–304. https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.314. (In English).
12. Rau A.G. Vodoraspredelenie na risovykh sistemakh [Water distribution on rice systems]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 86 p. (In Russian).
13. Kruglov L.V. Rezhim raboty skvazhin vertikal'nogo drenazha na risovykh sistemakh [Operating mode of vertical drainage wells in rice systems]. Penza: PGUAS, 2014, 128 p. (In Russian).
14. Kisilev M.V. Vertikal'nyy drenazh i ispol'zovanie podzemnykh vod na oroshenie v Bukharskoy oblasti [Vertical drainage and use of groundwater for irrigation in Bukhara region]. Sel'skoe khozyaistvo Uzbekistana, 1982, no. 2, pp. 14–20. (In Russian).
15. Shchedrin V.N., Kapustyan A.S., Gostishchev V.D. et al. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya drenazha na meliorativnykh sistemakh [Technical operation of drainage on reclamation systems]. Novocherkassk: FGBNU "RosNIIPM", 2012, 222 p. (In Russian).
16. Korelis L.L. Rezhim raboty vertikal'nogo drenazha na territorii severo-zapadnoy chasti Golodnoy stepi [Operating regime of vertical drainage in the northwestern part of the Hungry Steppe]. Inzhenernye meropriyatiya po bor'be s zasoleniem oroshaemykh zemel'. Tashkent: SANIIRI, 1973, vyp. 139, pp. 80–91. (In Russian).
17. Irrigatsiya Uzbekistana. T. 2: Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya irrigatsii v basseine r. Syrdar'i [Irrigation of Uzbekistan. Vol. 2: Current status and development prospects of irrigation in the Syrdarya basin]. Tashkent: Fan, 1975, 357 p. (In Russian).
18. Rakhimov K., Otakhonov M., Sultonov R. Importance of vertical drainage wells in irrigated fields. Proceedings of the International Conference on Thermal Engineering (ICTEA), 2024, vol. 1(1). (In English).

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДА ТІК ДРЕНАЖДЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ СУАРМАЛЫ ЖЕРЛЕРДІ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТІЛУІН ҰЛҒАЙТУ

Раушан А. Джайсамбекова[1] к.т.н., Александр В. Басманов[1], Балжан Ш. Аманбаева[1] PhD,
Людмила В. Шагарова[2] к.т.н., Екатерина Г. Шайдуллина[1]

[1]"Қазақ су шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты" ЖШС, Тараз, Қазақстан; dzhaisanbekova.1967@mail.ru, a.basmanov@mail.ru, amanbaeva88@mail.ru, katiy84@mail.ru
[2]Ресей ғылым академиясы Сібір бөлімшесінің Омск ғылыми орталығы (Радиофизика және физикалық электроника институты), Ресей Федерациясы; mila-rsd@mail.ru
*Автор корреспондент: Раушан А. Джайсамбекова, dzhaisanbekova.1967@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Оңтүстік Қазақстан,
Мақтаарал ауданы,
суармалы егіншілік,
тік дренаждық ұңғымалар,
сумен қамтамасыз ету,
мелиоративті және
эксплуатациялық кезеңдер

Мақала жайында:
Жіберілді: 18.06.2025
Қайта қаралды: 28.07.2025
Қабылданды: 24.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

АБСТРАКТ

Мақала тік дренажды пайдалану арқылы Оңтүстік Қазақстандағы суармалы жерлердің сумен қамтамасыз етілуін арттыру және мелиоративтік жақсарту мәселелеріне арналған. Шектеулі су ресурстары мен топырақтың тұзденуі жағдайында жұмыс режимінің тиімділігі қарастырылады. Мақалада тік дренаж жүйелерін пайдалануға байланысты негізгі мәселелер, соның ішінде дренаждық сулардың жоғары минералдануы және олардың дақылдарға теріс әсері талданады. Дренажды судың сапасын жақсарту әдістеріне ерекше назар аударылады. Жұмыстың ғылыми жаңалығы тік дренаж жұмысының экологиялық-мелиорациялық режимдерін негіздеуден тұрады, бұл тамырлы қабатта судың оңтайлы қозғалу жылдамдығын құруды қамтамасыз етеді, топырақтың тұзденуінің тиімді параметрлерін қалыптастыруға және жер асты суларының қолайлы деңгейлерін сақтауға ықпал етеді.
Нәтижесінде аэрация аймағына жер асты суларының түсуінің жоғары қарқындылығына, суару нормаларының көлемін азайтуға, сүзу сипаттамаларын оңтайландыруға, сондай - ақ аэрация аймағы мен жер асты сулары арасында теңгерімді ылғал мен тұз алмасу процестерін орнатуға қол жеткізіледі. Жүргізілген зерттеулер негізінде Мақтаарал ауданының суармалы учаскелерінде экологиялық жағдайды жақсарту және өнімділікті арттыру үшін мелиоративтік және пайдалану кезеңдерінде тік дренажды пайдалануды оңтайландыру бойынша ұсыныстар ұсынылады. Нәтижелер Қазақстан Республикасы Арал-Сырдария су шаруашылығы бассейнінің суармалы аумақтарында сәтті қолданылуы мүмкін.

INCREASING WATER SUPPLY OF IRRIGATED LANDS WITH THE USE OF VERTICAL DRAINAGE IN SOUTHERN KAZAKHSTAN

Raushan Dzhaisambekova[1] Candidate of Technical Sciences, Alexander Basmanov[1], Balzhan Amanbayeva[1] PhD, Lyudmila Shagarova[2] Candidate of Technical Sciences, Shaydullina Yekaterina[1*]

[1]LLP "Kazakh Scientific Research Institute of Water Economy", Taraz, Kazakhstan; dzhaisanbekova.1967@mail.ru, a.basmanov@mail.ru, amanbaeva88@mail.ru, katiy84@mail.ru
[2]Omsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS (Institute of Radiophysics and Physical Electronics), Russia;mila-rsd@mail.ru
* Corresponding author: Raushan Dzhaisambekov, dzhaisanbekova.1967@mail.ru

KEY WORDS

South Kazakhstan,
Makhtaaral district,
irrigated agriculture,
vertical drainage wells,
water supply,
melioration and operational
periods

About article:
Received: 18.06.2025
Revised: 28.07.2025
Accepted: 24.09.2025
Published: 01.10.2025

ABSTRACT

The article is devoted to the issues of increasing water availability and land reclamation improvement of irrigated lands in Southern Kazakhstan through the use of vertical drainage. The effectiveness of applying the work regime in conditions of limited water resources and soil salinization is being considered. The article analyzes the main problems associated with the operation of vertical drainage systems, including the high mineralization of drainage waters and their negative impact on crops. Special attention is paid to methods of improving the quality of drainage water. The scientific novelty of the work is to substantiate the ecological and reclamation modes of vertical drainage, which ensure optimal water flow rates in the root layer, contribute to the formation of effective soil salt recovery parameters, and maintain favorable groundwater levels. As a result, a high intensity of groundwater flow into the aeration zone is achieved, a reduction in irrigation standards, optimization of filtration characteristics, as well as the establishment of balanced moisture and salt exchange processes between the aeration zone and groundwater.
Based on the conducted research, recommendations are proposed for optimizing the operation of vertical drainage during the reclamation and operational periods to improve the environmental situation and increase yields in irrigated areas of the Makhtaaral district. The results can be successfully applied in the irrigated territories of the Aral-Syrdarya water basin of the Republic of Kazakhstan.

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).

Гидрометеорология и экология

Scientific article

FEATURES OF ONION CULTIVATION TECHNOLOGY WITH DRIP IRRIGATION IN THE ARID ZONE OF SOUTHERN KAZAKHSTAN

Vyacheslav Zharkov[1] Candidate of Technical Sciences, Ermekgul Zhaparkulova*[2] Candidate of Agricultural Sciences, professor, Ainur Beisenkulova[1], Nurlan Balgabaev[1] Doctor of Agricultural Sciences, associate professor, Pavel Kalashnikov[1]

[1] Kazakh Research Institute of Water Management, Taraz, Kazakhstan v-zharkov@mail.ru (VZh), kasatova.90@mail.ru (AB), iwre@mail.kz (NB), kalashnikov_81@inbox.ru (PK),
[2] Kazakh National Agrarian Research University; yermekkul.zhaparkulova@kaznaru.edu.kz (EZh)
* Corresponding author: Ermekkul Zhaparkulova, yermekkul.zhaparkulova@kaznaru.edu.kz

KEY WORDS

drip irrigation,
onion growing,
productivity,
water productivity

ABSTRACT

The onion growing technology in the arid zone of southern Kazakhstan should consider the specific requirements of this crop for soil moisture throughout the growing season, considering the main phases of its development. The purpose of the research was to establish the features of the onion growing technology under drip irrigation with the determination of the optimal moisture threshold for the phases of plant development and the assessment of its effect on crop yields. Research method field experience in a specially designated experimental area. The authors have established that drip irrigation provides yields up to 103.2 t/ha, with a soil moisture threshold of 85% HB from germination to the start of bulb formation with a further decrease in soil moisture to a level of 75% HB for the formation phase - the beginning of bulb ripening and to a level of 70% HB before bulb ripening. This technology is recommended for use in farms in the south of Kazakhstan to increase productivity and product quality.

About article:
Received: 28.07.2025
Revised: 10.09.2025
Accepted: 24.09.2025
Published: 01.10.2025

For citation :
Zharkov V., Zhaparkulova E., Beisenkulova A., Balgabaev N., Kalashnikov P. Features of onion cultivation technology with drip irrigation in the arid zone of Southern Kazakhstan // Гидрометеорология и экология, №3 (118), 2025, 115-126.

1. INTRODUCTION

Currently, new trends in the world agrarian economy and demography are being formed in the context of global climate change in the direction of strengthening and lengthening the period of heat and drought, which has a sharp negative effect on the yield of many important agricultural crops, including such a valuable crop as onions.

It is noted that an increase in the average annual air temperature is observed in all regions of Kazakhstan. On average, the increase in the average annual air temperature in Kazakhstan is 0.36^0C every 10 years [1].

At the same time, its significant increase is observed in European and Asian countries. Under the conditions of climate change, the growing seasons of agricultural crops in regions between the tropical and arctic regions and in the arctic regions can be lengthened in comparison with the basic duration and shortened in areas suffering from prolonged droughts [2].

Under such conditions, in order to withstand negative factors, a significant change in the elements of the cultivation technology of various agricultural crops is required, which should be directed towards reducing the negative impact of critical factors on productivity.

Understanding the future impacts of climate change and successful planning for adaptation measures are of particular importance for Central Asia (CA), given the region's economic vulnerability, dependence on scarce water resources, and observed warming rates above the global average. In general, the temperature conditions in Central Asia, including Kazakhstan, are suitable for growing many different crops, such as wheat, corn, cotton, rice, fruits, vegetables, and others. However, highly efficient agricultural production in this region is constrained by the uneven spatial distribution of water resources, the presence of inefficient irrigation systems, low productivity of agricultural practices, as well as the insufficient level of

modern innovative water-saving technologies to eliminate water losses directly on irrigated lands in the face of growing water shortage.

In the current conditions, in order to increase the productivity of the water and land resource use, the transition to water conservation is of particular importance. The main objectives of water conservation are saving irrigation water; increasing the efficiency of irrigation water use; improving the water and land use productivity [3].

Ensuring the rational use of water resources to reduce water losses on irrigated lands can be achieved through the use of water-saving irrigation technologies. These are drip irrigation and sprinkling of agricultural crops. The large-scale introduction of these technologies on restored and new irrigated lands will make it possible to rationally use irrigation water and increase the productivity of its use by several times.

Intensive onion cultivation in the arid zone of southern Kazakhstan is possible with the use of advanced irrigation systems, in particular drip irrigation systems, which are characterized by high economic and technological efficiency. Drip irrigation is aimed at the rational water use, the prevention of negative phenomena and the preservation of fertility, and at the same time provides a reduction in water consumption per unit of output. With such irrigation, the conditions for agricultural technology of all field work are improved, the possibility of simultaneous irrigation and mechanized tillage is created, significant savings in water and fertilizers are ensured, the contamination of fields with weeds is reduced, soil compaction is reduced, productivity increases and the crop quality improves [4].

The onion cultivation technology under drip irrigation is a complex of interrelated agrotechnical, technological, organizational and economic measures developed based on summarizing the results of modern scientific research and best practices.

The effect of maintaining an optimal level of soil moisture, taking into account the water consumption of plants during the onion development phases and the use of fertilizers when growing onions, is confirmed by research from scientists in Kazakhstan, international research in the regions of the India, Spain and Turkey, and scientists from Russia, the USA, and Australia.

As a result of international studies on the onion irrigation needs based on studies in arid and semi-arid regions of the USA, India, Spain and Turkey, the authors found that the seasonal water requirements of onions vary greatly depending on agro-climatic conditions, location of the object and growing time. Seasonal irrigation needs vary from 225 to 1040 mm to obtain a yield of 10 to 77 t/ha. The phases most sensitive to water stress are emergence, transplanting and bulb formation. Excess water can also affect the final crop quality. Lack of water at certain phases can adversely affect the quality, resulting in reduced size and multi-centered bulbs. It is noted that in recent years, due to the increasing demands on water resources, advanced technologies such as drip irrigation and sprinkling are more efficient for irrigating onions [5]. A study on onion yields under drip irrigation in Las Cruces, North Carolina found that onion yields were 20% higher than in Farmington, New York, with sprinkler irrigation [6].

Drip irrigation in Ethiopia has ensured efficient water use and increased onion yields up to 34.99 t/ha with lateral drippers along each row of onion crops [7].

Drip irrigation of onions in the Volgograd region (Russia) during the research period from 2017 to 2020 ensured an increase in the efficiency of managing the water and mineral nutrition of onions by substantiating the calculated soil moisture layer and agrotechnical methods of cultivation on light chestnut soils to obtain 110 t/ha of marketable products [8].

The research results of agrotechnological methods influence on obtaining a high-quality onion crop with drip irrigation in the experimental plots of the Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Astrakhan region, Russia) with the treatment with the water-soluble fertilizer "Rastvorin" and the growth regulator "Energy-M" in combination with the use complete mineral fertilizer stimulated the growth and development of plants. The onion yield was 150 t/ha while maintaining soil moisture at the level of 70 - 80 - 75% of the soil moisture capacity [9].

With drip irrigation, the response of the onion to the irrigation intensity and drippers' consumption is interesting. According to a number of researchers, drip irrigation requires very high irrigation frequencies with a small water amount. The results of studies using drippers with a flow rate of 0.25 l/h and 0.5 l/h showed that the number of irrigations from 1 to 8 per day does not make a significant difference in the average soil water potential. The use of 1/16, 1/8-, 1/4- and 1/2-inch drip tapes with 0.25 l/h and 0.5 l/h flow rates showed that 1/2-inch drip tape with drippers is recommended for watering onions flow rate of 0.5 l/h, providing the average water potential of the soil between irrigations. At the same time, the number of irrigations per day is set considering the accepted level of soil moisture and the productivity of drippers [10].

To manage limited water resources and increase yields, the impact of subsurface drip and furrow irrigation on onion yields was evaluated at the AgriLife Research Center in Weslaco, Texas. Drip irrigation with more frequent waterings and a shallower soaking depth compared to furrow irrigation resulted in a 93% higher onion yield than furrow irrigation. Bulb sizes were also 181% larger. The surface irrigation method requires a large amount of water to ensure the irrigation of the onions [11].

Watering is one of the most important agrotechnical procedures in onion cultivation. It is necessary to water the onion from the moment it is planted, but an important condition is irrigation in moderation, otherwise the plant will be attacked by various fungi that develop in conditions of excessive importance. One should perform watering, considering the fact that the plant instantly reacts to any changes in climate and soil. If the bulb is in dry and not moistened soil for a long time, it simply stops growing greens and nourishes the tuber itself. The lack of moisture has one significant disadvantage - the plant can significantly slow down growth or even stop in development. Therefore, the issue of timely and normalized watering is very important. When watering onions, water should not get on the bulb itself and its leaves, the soil should be saturated with water to a depth of 20 cm. The appearance of a soil crust is unacceptable. When irrigating onions, one should consider that oversaturation with water is a rather dangerous factor for onion crops. If the amount of water exceeds the norm, then the risk of developing pathogenic bacteria increases significantly, which affects the duration of maturation after harvest [12].

To fulfill these conditions, it is recommended to water the onions with drip irrigation. The frequency of watering depends on the level of soil moisture and weather conditions. Constant monitoring of soil moisture is necessary, since under the influence of the sun and wind, the open ground dries quickly, which has a direct effect on the yield of onions. After the beginning of the bulbs formation and breaking off their arrows, the watering is mandatory, since when the arrow is formed, the bulb practically stops pouring, and all the moisture goes into this very arrow. At the same time, watering stops a few weeks before harvest [12].

Researchers conducted two-year field experiment with drip irrigation and plastic mulch to study an irrigation management strategy to increase onion yields and water productivity in arid region of Northwest China. As a result of considering four options with different levels of water stress throughout the growing season and four options with the water stress use at the phases of rooting, development and maturation, they defined plant height, aboveground biomass, yield, and water productivity. The researchers established that all these indicators are sensitive to water stress and only a small deficit is acceptable during the growing season [13].

The results of studies on the influence of moisture in the active soil layer depending on the onion interphase periods and the application of mineral fertilizer doses in the soil and climatic conditions of the Lower Volga region revealed the optimal irrigation mode and mineral fertilizer doses in open ground to obtain the planned yield of Sabroso F1 onions using the drip method glaze. The highest onion yield was obtained with 80-90-70% HB irrigation combined with N100P85K95 fertigation. And high yield levels were achieved in the following options: 75...85...75% HB and N100P85K95 - 82.3 t/ha; 80...90...70% HB and N100P85K95 – 86.7 t/ha; 85...85...75% HB and N100P85K95 - 84.4 t/ha. The lowest water consumption coefficient is also in these options: 80...90...70% HB and N100P85K95 - 60.5 m3/t; 85...85...75% HB and

N100P85K95 - 47.4 m^3/t; 75...85...75% HB and N100P85K95 - 46.5 m^3/t. High levels of output of marketable products (at the level of 96...97%) were achieved in combinations of the first irrigation mode and the third, fourth fertigation modes, the second irrigation mode and the fourth fertigation mode, as well as the third irrigation mode and the fourth fertigation mode. Based on the research performed in the onion cultivation in the climatic conditions of the Lower Volga region, the use of a dose of N100P85K95 fertilizers makes it possible to obtain the planned onion yields. To apply a fertilizer dose in the first ten days of the growing season, N10P17K10 must be applied with irrigation water, in the next twenty days - N15P17K10, in the next twenty days - N20P17 K20, in twenty-five days - N35P17K30 and in another twenty-five days - N20P17 K25. This option was the best [14].

On the experimental site of the farm "Pioneer", Gorodishchensky district of the Volgograd region, in 2014-2015, researchers performed studies to improve the efficiency of onion drip by substantiating agro-reclamation modes and agrotechnical methods of cultivation. They have established that the conditions of water nutrition of onion farming plants and elements have a significant impact on water consumption, productivity and efficiency of water resources use in drip irrigation. The implementation of the drip irrigation mode, focused on maintaining a given threshold (80...70% HB) of pre-irrigation soil moisture in a layer of 0.4 m, provides an onion yield of 114.7...115.3 t/ha [15].

Studies in the south of Kazakhstan found that an effective technology for irrigating onions is also subsoil irrigation of onions using porous water-conducting hoses in comparison with the onion growing technology with drip irrigation with ground drip tapes. The water consumption coefficient here was 67.2 m^3/ton, while with surface drip irrigation it reached 74.1 m^3/ton. The use of subsoil irrigation modes, differentiated by the phases of plants growth and development, ensured the optimal moisture content in the soil, which, along with the use of fertilizers, allowed to obtain a biological yield of onion varieties "Manas" up to 90 t/ha. At the same time, soil moisture in the 0.3...0.4 m layer was 70...85% HB during the first half of the growing season (from germination to the beginning of bulb formation) and 70...75% HB in the second half of the growing season (from bulb formation to industrial ripeness) [16]. This technology is also promising, while during the planting of onions, the upper soil horizon must have sufficient moisture, which is not always possible with a subsoil irrigation system in conditions of a lack of moisture in this horizon.

A field experiment evaluating the effect of drip irrigation deficiency on onion growth, yield and water productivity in semi-arid Maharashtra found that growth and yield-promoting characteristics of onions decrease as water stress increases. Drip irrigation without water stress recorded a higher bulb yield (35.5 t/ha) with a water saving of 42.8% compared to surface irrigation [17].

In China an important factor in agriculture is available water resource management. At the same time, despite the introduction of modern irrigation methods in agriculture, such as drip irrigation, with the development of irrigation methods and the elimination of old traditional irrigation methods, one should consider the fact that water use efficiency is related to the qualifications of farm workers and other users of irrigation water. Farmers are encouraged to provide all information on the use of drip irrigation technology in order to improve the technical level in the irrigation water use and to avoid some common mistakes in the design, use, management and maintenance of drip irrigation systems. Such systems meet the needs of plants in water, reduce the contact of water with the stem, leaves and fruits of plants. Water can only moisten a limited area, which is close and directly to the root zone of plants. This will avoid several serious plant pathologies such as rotting of plant parts. A big problem on drip irrigation systems is drip clogging because the water contains a lot of solids and nutrients that build up inside the drip lines, especially when irrigated with domestic or municipal wastewater. One should pay special attention to this [18].

The onion irrigation needs versus surface furrow and sprinkler irrigation have been extensively studied for 22 years at the Malheur Experimental Station at the University of

Oregon, USA. Researchers have found that onions have high soil moisture requirements compared to other crops. Below optimal soil moisture results in lower yields, and above optimal soil moisture contributes to bulb decomposition. Short-term water stress during the plant growth phase of three to six leaves contributes to the appearance of several centers in the bulb. Onions, which are sensitive to water stress and have a shallow root system, need frequent watering to maintain high soil moisture and produce high yields [19].

A study in Australia on the water supply effect on vegetative growth and yield characteristics of the Giza 6 onion variety in 2004...2005, when water was supplied with an irrigation interval, found that the amount of water supplied has a significant effect on the onion vegetative parameters. Higher water supply resulted in higher vegetative parameters: plant height, number of leaves per plant, bulb and neck diameter. The bulb ratio was reversed as the lowest water supply resulted in a higher bulb ratio. The dry matter content showed a high negative correlation with the amount of water applied, both in the leaves and in the bulbs. The higher water supply has doubled the number of bulbs and small bulbs, while the number of bulbs exported has decreased [20].

The analysis of research materials on onion irrigation indicates the effectiveness of crop drip irrigation, which allows to exclude water from entering the bulb itself and its leaves, to provide the necessary moisture for plants in the bulb formation layer, considering the requirements for soil moisture in their development phases. This will ensure the optimal use of water resources and increase the yield of such a crop.

Despite some study of issues on assessing the drip irrigation impact on onion yields, researchers have established that the onion seasonal needs in water vary greatly depending on agro-climatic conditions, location of the object and growing time [5].

The purpose of research in the work based on field experience was to assess the features of the onion growing technology under drip irrigation in the arid zone of southern Kazakhstan with the establishment of the optimal soil moisture threshold for the plant development phases and its effect on crop yields.

2. MATERIALS AND METHODS

The authors performed the research on the experimental production site of the peasant economy (KH) "AISHA" located on the territory of the Sarybulak rural district, Kordai district, Zhambyl region. The farm has a full range of agricultural machinery for high-quality and timely implementation of the necessary agrotechnical measures, as well as the necessary equipment for the application of drip irrigation technology.

Research was performed in 2020...2022 on onion cultivation lands.

The climate of the region is sharply continental, with hot summers and moderately cold winters. The hottest month is July. The coldest month is January. The annual precipitation in 2020 was 386.2 mm, in 2021 301.2 mm and in 2022 434.6 mm. Relative air humidity varied from 51.2% to 57.4% over the years of research. The prevailing wind direction is east, the average wind speed is 3.1...3.3 m/s. [21].

The irrigation array is located on a foothill slightly hilly plain.

In the surveyed area, the authors identified light northern gray soil with medium loams in terms of mechanical composition. Groundwater is deeper than 6 m.

At the pilot production site, we studied features of the onion growing technology under drip irrigation in the arid zone of southern Kazakhstan to objectively justify the introduction of scientific achievements in agricultural production. This provided for the use of a whole range of interrelated agrotechnical, technological, organizational and economic measures developed on the basis of summarizing the results of modern scientific research and best practices. The experiment was laid in 4-fold repetition. The experiment considered the specifics of experiments with open ground vegetable crops. The authors took the size of the accounting plots as 30 m2. Side protective strips are taken in 2 rows. The physical and water-physical properties of soils were determined at the beginning of the growing season. The authors daily considered readings of the GGI 3000 evaporometer, which considers evaporation from the water surface and

atmospheric precipitation, as well as meteorological observations. They daily monitored volume of water supplied to the plots by water meters. Soil moisture indicators were set daily using moisture sensors. They monitored soil moisture content by thermostatic-weight method every ten days. The terms for accounting for crop yields were set according to the degree of onion ripening. Onion harvesting from experimental plots was performed manually. They considered the harvest by the continuous method, weighing vegetables from all accounting plots after drying the onions in windrows. The principle of experiment repetition was based on the presence of four plots within four repetitions to exclude the influence of a random factor on the results of the experiment. The authors performed the statistical analysis of the experiments using dispersion analysis of data according to B.A. Dospekhov's method [22]. The technique provided for the processing of data analyzes according to the experiment options, considering repetitions using the Excel computer program.

Development of onion cultivation technological methods using drip irrigation technology in the conditions of the Zhambyl region provided the binding of all agrotechnical measures performed when growing a crop, considering the characteristics of its cultivation.

On the experimental production site, the authors determined the features of the technology for growing onions under drip irrigation, with defining the optimal soil moisture threshold in the 10–30 cm layer by the phases of plant development and the assessment of its effect on crop yields.

During the research, they studied influence evaluation of the soil moisture optimal level on the yield of onions (experimental options):

Option 1 - drip irrigation with a soil moisture threshold from germination to the beginning of bulb formation at the level of 85% HB with a further decrease in soil moisture to a level of 75% HB in the formation phases - the beginning of bulb ripening and to a level of 70% HB until the bulbs are fully ripe.

Option 2 - drip irrigation with a soil moisture threshold from germination to full ripeness of bulbs 80% HB.

Option 3 - drip irrigation with a soil moisture threshold from germination to full ripeness of the bulbs 70% HB.

Control - drip irrigation with a threshold of soil moisture from emergence to full ripeness of the bulbs at the level of 70...100% HB.

The authors adjusted the water supply mode according to the experiment options depending on the moisture content of the root-inhabited soil layer in the soil moistening zone at half the radius of the moistening contour with drippers.

3. RESULTS

The results of the field experiment allowed to establish the features of the onion growing technology under drip irrigation, to determine the optimal soil moisture threshold for the phases of plant development, and to assess its impact on crop yields.

Research has established the main technological operations performed at the pilot production site, shown in table 1.

Based on the condition that the onion has a high responsiveness to soil moisture, in the experimental options immediately after sowing and installation of the drip irrigation system in late April and early May, the researchers performed two irrigations until the moisture contour in the seeding zone was completely wet. Further, they performed watering on the experimental options considering the accepted threshold of soil moisture. Drip irrigation with a threshold of soil moisture from germination to the beginning of bulb formation was performed at the level of 85% HB with a further decrease in soil moisture to a level of 75% HB before the formation phase - the beginning of bulb ripening and to a level of 70% HB before bulb ripening in the option 1. In options 2 and 3, they performed irrigation during the entire onion growing season under the condition of maintaining soil moisture at the level of 80% HC and 70% HC, respectively. The control option was the site where drip irrigation was performed considering

the maintenance of soil moisture at the level of 70-100% HB. Watering was stopped 3 weeks before harvest.

Table 1

Technological operations for growing onions with drip irrigation

№	Types of agricultural work	Date	Name of equipment
1	Removal of crop residues from the predecessor field	October November	MTZ-82.1 tractor + hitch with harrows and manually
2	Plowing to a depth of 27...30cm	October November	Tractor MTZ-82.1 + mounted plow PN-3-35
3	Plowing	March	Tractor MTZ-82.1 + mounted plow PN-3-35
4	Disk in 2 tracks	April	Tractor MTZ-82.1 + disc/cultivator
5	Malovanie	April	Tractor MTZ-82.1 + rail small
6	Chiselling	April	Tractor MTZ-82.1 + cultivator - bed former KGF-2.8
7	Cutting furrows with the formation of a ridge	April	Tractor MTZ 82.1 + bed former with a row spacing of 0.75 m
8	Application of mineral fertilizers (N-15 kg/ha, P-15 kg/ha, K-15 kg/ha a.i.) - 200 kg/ha)	April	Tractor T-25 + mineral fertilizer spreader RUM-0.35
9	Sowing of onion seeds with simultaneous rolling with a seeding rate of 5 kg/ha	April	Tractor T-25 + mounted vegetable seeder SON-1.5
10	Pre-emergence treatment with herbicides (Stomp 33% a.e., norm - 6 l/ha)	April	Tractor T-25 + sprayer PO-1
11	Installation of a drip irrigation system	April	manually
12	Weeding manually, first	May	manually
13	Chemical weeding of weeds by seedlings with herbicides ("Galacsi.", Norm - 0.9 l / ha)	May	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
14	Chemical treatment against pests ("Engio 247 s.k.", norm - 0.3 l / ha)	May	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
15	Treatment with herbicides ("Stomp 33% a.e.", norm - 5 l / ha)	May	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
16	Chemical treatment against pests ("Engio 247 s.k.", norm - 0.2 l / ha)	May	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
17	Chemical treatment against diseases ("Ridomil Gold MTs 68 v.d.g.", norm - 2 l / ha)	May	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
18	Treatment with microfertilizers (Kristalon - 2 kg/ha)	May	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
19	Fertilizing with mineral fertilizers (ammonium nitrate 150 kg/ha)	May	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
20	Treatment with herbicides ("Stomp 33% a.e.", norm - 5 l / ha) with irrigation water	June	Tractor T-25+ mineral fertilizer spreader RUM-0.35
21	Weeding manually, second	June	manually
22	Fertilizing with mineral fertilizers (ammonium nitrate N- 100 kg/ha)	June	Tractor T-25+ mineral fertilizer spreader RUM-0.35
23	Fertilizing with mineral fertilizers (ammonium nitrate N- 100 kg/ha)	June	Tractor T-25+ mineral fertilizer spreader RUM-0.35
24	Application of microfertilizers (Kristalon - 2 kg/ha) with irrigation water	June	drip irrigation system
25	Chemical treatment against diseases ("Ridomil Gold MTs 68 v.d.g.", norm - 2.5 l / ha)	June	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
26	Chemical treatment against pests ("Engio 247 s.k.", norm - 0.3 l / ha)	June	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
27	The introduction of biostimulants (Sodium humate - 0.25 kg/ha) with irrigation water	June	Tractor T-25+ mineral fertilizer spreader RUM-0.35
28	Chemical treatment against diseases (“Bravo 500 s.k.”, norm - 3 l / ha)	June	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
29	Treatment with microfertilizers and biostimulants (Sodium humate - 0.25 kg / ha; Crystal - 2.5 kg / ha)	June	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
30	Application of mineral fertilizers (ammonium nitrate 250 kg/ha) with irrigation water	July	drip irrigation system
31	Chemical weeding with herbicides ("Marbidol.", Norm - 1.0 l / ha)	July	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
32	Chemical treatment against pests ("Aktellik 500 k.e.", norm - 2.5 l / ha)	July	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
33	Application of biostimulants (Sodium humate - 0.25 kg/ha)	July	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
34	Application of fertilizers ("Suprephos" - 50 kg/ha) with irrigation water	July	drip irrigation system
35	Chemical weeding with herbicides "Fusilade Forte 150 k.e.", norm - 1.5 l / ha)	July	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
36	Fertilizing with mineral fertilizers (ammonium nitrate 300 kg/ha)	July	Tractor T-25+ mineral fertilizer spreader RUM-0.35
37	Treatment with microfertilizers and biostimulants (Sodium humate - 0.25 kg / ha; Crystal - 3.0 kg / ha)	July	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
38	Chemical weeding with herbicides ("Marbidol.", Norm - 1.0 l / ha)	July	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
39	Application of ammonium sulfate 200 kg/ha with irrigation water	August	drip irrigation system
40	Chemical treatment against diseases ("Strobe", norm - 0.25 l / ha)	August	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
41	Treatment with microfertilizers and biostimulants (Sodium humate - 0.25 kg / ha; Crystal - 2.5 kg / ha)	August	Tractor T-25+ OP 18
42	Fertilizing with mineral fertilizers (ammonium nitrate 300 kg/ha)	August	Tractor T-25+ mineral fertilizer spreader RUM-0.35
43	Application of potash fertilizers 150 kg/ha	August	Tractor T-25+ trailed sprayer OP 18
44	Dismantling the drip irrigation system	September	manually
45	Harvesting with laying in rows	September	manually
46	haulm cutting	September	manually
47	Packing onions into nets with sorting	September	manually

The plot of onion cultivation under drip irrigation is shown in Figure 1.



Figure 1. Onion cultivation on drip irrigation in the farm "AISHA"

The drip irrigation mode with the accepted soil moisture threshold for the phases of bulb development in the experiment options is shown in Table 2.

Table 2
Drip irrigation mode on loamy soils on experimental options

Phases of onion development	Experiment option	Soil moisture, % HB	Humidification depth, m	Irrigation rate, m^3/ha
Seedlings - Bulb formation	1	85	0.1...0.2	30...35
	2	80	0.1...0.2	30...35
	3	70	0.1...0.2	30...35
	4 (control)	70...100	0.1...0.2	30...35
Formation - the beginning of the ripening of onion bulbs	1	75	0.2...0.25	45...50
	2	80	0.2...0.25	45...50
	3	70	0.2...0.25	45...50
	4 (control)	70...100	0.2...0.25	45...50
Bulb ripening	1	70	0.25...0.30	75...100
	2	80	0.25...0.30	75...100
	3	70	0.25...0.30	75...100
	4 (control)	70...100	0.25...0.30	75...100

Based on the results of the research, they determined irrigation norms for the experiment options, onion yields and water productivity (Table 3).

The authors have established that the most effective is the observance of the soil moisture level differentiated by the phases of onion development in option 1. Here, the onion yield for the studied years is provided from 98.9 t/ha to 103.2 t/ha with a water use productivity of 45.54 ...53.48 m^3/ha. In option 2, with maintaining soil moisture at the level of 80% HB, an increase in yield from 99.2 t/ha to 100.6 t/ha is observed in comparison with option 1, but at the same time, considering water productivity, in comparison with option 1, there are high costs of water to create a unit of production. In option 3, with soil moisture at the level of 70% HB throughout the growing season, the onion yield decreased to 89.3...96.5 t/ha with an increase in water consumption to 47.77... 59.57 m^3/t. In the control option with maintaining soil moisture at the level of 70...100% HB, the onion yield varied from 86.2 t/ha to 93.2 t/ha with an increase in water consumption from 51.61 m^3/t to 63.22 m^3/t.

Table 3
Drip irrigation mode on loamy soils on experimental options

Year of research	Experiment option	Soil moisture, % HB	Irrigation rate, m^3/ha	Actual yield, t/ha	Water productivity, m^3/t
2020	1	85...75...70	5150	98.9	52.07
	2	80	5210	99.2	52.52
	3	70	5090	93.1	54.67
	4 (control)	70...100	5250	90.1	58.26
2021	1	85...75...70	5380	100.6	53.48
	2	80	5430	101.2	53.66
	3	70	5320	89.3	59.57
	4 (control)	70...100	5450	86.2	63.22
2022	1	85...75...70	4700	103.2	45.54
	2	80	4750	103.8	45.76
	3	70	4610	96.5	47.77
	4 (control)	70...100	4810	93.2	51.61

Upon completion of the harvest, an assessment of the vegetative parameters of the onion was performed according to the experimental options to establish the effect of soil moisture on the appearance, size of the bulbs, degree of maturity, the presence of double bulbs, and more. It was established that the bulbs in all experiment options were mature, intact, without damage by agricultural pests, with dry outer scales without excessive external moisture. The bulbs are hard and dense. Regarding the size of the bulbs, it should be noted that the size of the bulbs in the largest transverse diameter of more than 4...5 cm is noted in options 1 and 2. At the same time, in option 2, higher vegetative parameters were observed, such as plant height, bulb and neck diameter. In option 3, the size of the bulbs is from 3 to 5 cm, while up to 20% of the bulbs are up to 4 cm in size. In options 2 and 4 (control), a higher water supply led to the presence of double bulbs up to 6%, associated with waterlogging of the bulbs in the formation phase and bulbs begin to mature.

According to the research results, for irrigated lands of the arid zone of Kazakhstan, the optimal soil moisture threshold for onion drip irrigation is recommended for the following phases of onion development. In the phase from the emergence of seedlings to the beginning of the formation of bulbs, one should maintain the optimal moisture threshold at the level of 85% HB. In the phase of formation - the beginning of the ripening of the bulbs, - a decrease in soil moisture to a level of 75% HB is required, with a further decrease in soil moisture to 70% HB for the ripening phase of the bulbs. Under such conditions, we noted the lowest water consumption per production unit and an improvement in the vegetative parameters of onions

4. DISCUSSION

The results of the field experiment allow to establish the features of the onion growing technology under drip irrigation, to determine the optimal moisture level in the phases of plant development and to assess its effect on the yield and vegetative parameters of an agricultural crop.

For the arid zone of Kazakhstan, the main technological operations for growing onions with drip irrigation have been established, including measures for preparing and cultivating the soil, treating plants to protect them from damage by pests and diseases, improving their nutrient medium, eliminating weeds, and others.

The optimal threshold of soil moisture is determined, taking into account the peculiarities of onion water consumption in the phases of plant development. The onion yield is estimated in experimental variants with different supported thresholds of soil moisture. Providing water in the first 3-4 weeks after germination until the onion began to form with soil moisture at 85% HB, maintaining the soil moisture level at 75% HB in the formation phase - the beginning of

the ripening of the bulbs and 70% HB before the ripening phase of the bulbs ensured optimal conditions for the development of onions and their high yield.

Particular attention should also be paid to the fact that with the optimal use of water for drip irrigation of onions, an important factor is also providing plants with the necessary fertilizers, including macro and microelements, which have a significant impact on the productivity of this agricultural crop.

Based on the research results, for the arid zone of Kazakhstan, it is recommended to maintain soil moisture in the 0.1...0.3 m layer at a level of 85% HB from the emergence of seedlings until the beginning of onion formation, at a level of 75% HB in the formation phase - the beginning of bulb ripening and 70% HB until the bulb ripening phase. At the same time, the assessment of the vegetative parameters of onions according to the experimental variants shows that the optimal soil moisture, taking into account the onion's requirements for water, taking into account the characteristics of the onion development phases, eliminates the appearance of negative factors that worsen the onion's parameters when the soil is over-moistened.

5. CONCLUSION

For the arid zone of Kazakhstan, the researchers have established the main technological operations for the onion cultivation under drip irrigation, including measures for preparing and tilling the soil, treating plants to protect them from damage by pests and diseases, improve their nutrient medium, eliminate weeds, and others.

The authors determined optimal soil moisture threshold, considering the peculiarities of onion water consumption by plant development phases. Providing water in the first 3...4 weeks after germination before the onion formation begins with a soil moisture content of 85% HB, maintaining the soil moisture level at 75% HB in the formation phase - the beginning of bulb ripening and 70% HB before the bulb ripening phase provided optimal onion development conditions. An increase in the onion yields up to 103.2 t/ha was achieved with the water use productivity at the level of 45.54...53.48 m^3/ha. The paper gives an assessment of the vegetative onion parameters. The size of the bulbs according to the largest transverse diameter is more than 4...5 cm. The bulbs are hard and dense. There are no double bulbs, which indicates that the soil moisture level corresponds to the physiological needs of the onion in the phases of its water consumption. The authors recommend the established soil moisture threshold for onion development phases and the list of technological operations for growing onions with drip irrigation for use in the arid zone of southern Kazakhstan.

DATA AVAILABILITY

The data used in this study were obtained by the authors from the following sources: research conducted at the Aisha Farm Production Unit (FPU), located in the Sorbulak rural district of the Kordai District, Zhambyl Region.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Conceptualization – VZh; resources - AB; formal analysis – AB; methodology - NB; supervision - PK; visualization – PK; writing—original draft preparation – EZh; writing—review and editing -EZh.

FUNDING

These studies were carried out with the financial support of the Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan. IRN BR23791322. MRNTI 70.21.15; 89.57.35; 70.00.00; 70.81.15; 38.61.31; 70.94.00.

REFERENCES

1. Annual Bulletin of Monitoring the State and Change of Climate in Kazakhstan: 2023. Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. Republican State Enterprise "Kazhydromet", Research Center, Astana, 2024, p.: 90.
2. FAO. 2021. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW 2021). The systems are on the limit. Summary report 2021, Rome: p. 77. Date views 02.07.2022 www.doi.org/10.4060/cb7654r.
3. Annual Report 2020-21 ICID. 2021. New Delhi (INDIA): International Commission on Irrigation and Drainage, pp: 82-86.
4. Kvan, Yu.R., Zharkov, V.A., Angold, E.V. 2014. Methods and technologies of watering in irrigated agriculture. Scientific researches in land reclamation and water economy: Collection of scientific works of LLP "KazSRIWE", Taraz, Vol. 51, Iss. 1, pp: 126-134.

5. Ortolá, M.P., Knox, J.W. 2015. Water relations and irrigation requirements of onion (Allium cepa L.): a review of yield and quality impacts. Experimental Agriculture, Vol. 51, Iss. 2, pp: 210 – 231.
6. Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Ball, S.T., Smeal, D. 2000. Computing the crop water production function for onion. Agricultural Water Management, Vol. 46, Iss. 1, pp: 29-41.
7. Firissa, O., Seyoum, T., Abegaz, F. 2013. Effect of drip lateral spacing and mulching on yield, irrigation water use efficiency and net return of onion (Allium cepa L.) at Ambo, Western Shoa, Ethiopia. Journal of Horticulture pp: 63-69.
8. Vybornov, V.V., Zaitsev, V.A. 2021. onion drip irrigation. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Date Views 02.07.2022. URL: www.iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/843/1/012064/
9. Kalmykova, E.V., Petrov, N.Yu., Fomin, S.D., Kalmykova, O.V., Vorontsova, E.S., Koshkarova, T.S., Ileneva, S.V. 2020. Perspective agriculture cultivation of the bulb onion with drip irrigation. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 26 (4): pp: 877–884.
10. Shock, C.C., Feibert, E.B.G., Saunders, L. 2005. Onion Response to Drip Irrigation Intensity and Emitter Flow Rate. HortTechnology, 15(3).
11. Enciso, J., Jifon, J., Anciso, J., Ribera, L. (2015). Productivity of Onions Using Subsurface Drip Irrigation versus Furrow Irrigation Systems with an Internet Based Irrigation Scheduling Program. International Journal of Agronomy, Vol. 2015, pp. 6.
12. How to water onions properly? Date Views 02.07.2022 (2022) www.ferma.expert/rasteniya/ovoshchi/luk/polivat/.
13. Zheng, J., Huang, G., Wang, J., Huang, Q., Pereira, L.S., Xu, Xu, Liu, H. (2012). Effects of water deficits on growth, yield and water productivity of drip-irrigated onion (Allium cepa L.) in an arid region of Northwest China. Irrigation Science, Vol. 31(5), pp. 995–1008.
14. Solovyeva, O.A. (2022). Onion cultivation technology under drip irrigation. News of the Nizhnevolzhsk Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education, 1(65), pp. 171-179.
15. Grigorov S.M., Vinnikov D.S. (2016). Bulb onion water consumption and ways of efficiency improvement of water resources utilization in drip irrigation. Scientific journal of the Russian Scientific Research Institute for Land Reclamation Problems, 3(23), pp. 19-35.
16. Balgabayev, N.N., Kalashnikov, A.A., Baizakova, A.E. (2016). Elaboration of Subsurface Irrigation Technique of Onions. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 7(2), pp. 738-751.
17. Dingre, S.K., Pawar, D.D. (2020). Response of drip irrigated onion (Allium cepa L.) growth, yield and water productivity under deficit irrigation schedules. Journal of Natural Resource Conservation and Management, Vol. 1(1), pp. 69-75.
18. Shareef, T.M.El., Ma, Zh., Zhao, B. (2019). Essentials of Drip Irrigation System for Saving Water and Nutrients to Plant Roots: As a Guide for Growers. Journal of Water Resource and Protection, Vol.11(9), pp. 1129-1145.
19. Shock, C.C.; Feibert, E.B.G.;Pinto, J.M. (2013). Review of two decades of progress in the development of successful drip irrigation for onions. Irrigation Show & Education Conference.
20. Metwally, A.K. 2011. Effect of water supply on vegetative growth and yield of onion (Allium Cepa L.). Australian Journal of Basic and Applied Science, 5(12), pp: 3016-3023.
21. Meteorological database –URL: http://ecodata.kz:3838/dm_climat_ru/
22. Dospekhov, B.A. (1985). Methodology of field experience (with basics of statistical processing of research results). Moscow: Kolos, pp. 416.

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚҰРҒАҚ АЙМАҒЫНДА ТАМШЫЛАТЫП СУАРУ КЕЗІНДЕ ПИЯЗ ӨСІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Вячеслав А. Жарков [1] т.ғ.к., Ермекгуль Д. Жапаркулова*[2] а-ш..ғ.к., профессор, Айнур Б. Бейсенкулова[1], Нурлан Н. Балгабаев[1] а-ш.ғ.д., доцент, Павел А. Калашников [1]

[1]Қазақ су шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Тараз, Қазақстан; v-zharkov@mail.ru, kasatova.90@mail.ru, iwre@mail.kz, kalashnikov_81@inbox.ru
[2]Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; yermekkul.zhaparkulova@kaznaru.edu.kz
*Автор корреспондент: Ермеккул Д. Жапаркулова yermekkul.zhaparkulova@kaznaru.edu.kz

ТҮЙІН СӨЗДЕР

тамшылатып суару,
пияз өсіру,
өнімділік,
су өнімділігі

Мақала жайында:
Жіберілді: 28.07.2025
Қайта қаралды: 10.09.2025

АБСТРАКТ

Оңтүстік Қазақстанның құрғақ аймағында пияз өсіру технологиясы оның дамуының негізгі кезеңдерін ескере отырып, вегетациялық кезеңде топырақтың ылғалдылығына осы дақылдың нақты талаптарын ескеруі керек. Зерттеудің мақсаты өсімдіктердің даму фазалары үшін ылғалдың оңтайлы шегін анықтай отырып және оның дақылдардың өнімділігіне әсерін бағалай отырып, тамшылатып суару әдісімен пияз өсіру технологиясының ерекшеліктерін анықтау болды. Зерттеу әдісі арнайы бөлінген эксперименттік аймақтағы далалық тәжірибе. Авторлар тамшылатып суару 103.2 т/га - ға дейін өнімділікті қамтамасыз ететінін анықтады, өнгеннен бастап баданалар пайда болғанға дейін топырақ ылғалдылығының шегі 85% НВ, топырақ ылғалдылығының одан әрі төмендеуімен 75% hb деңгейіне дейін.қалыптасу кезеңі-баданалардың пісуінің басталуы және баданалардың пісуіне дейін 70% НВ деңгейіне дейін.

Қабылданды:24.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

Бұл технологияны өнімділік пен өнім сапасын арттыру үшін қазақстанның оңтүстігіндегі шаруашылықтарда қолдану ұсынылады.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛУКА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ В АРИДНОЙ ЗОНЕ ЮГА КАЗАХСТАНА

Вячеслав А.Жарков [1] к.т.н., Ермекгуль Д. Жапаркулова[2] к.с-х.н., профессор, Айнур Б. Бейсенкулова[1], Нурлан Н. Балгабаев[1] д.с-х.н., доцент, Павел А. Калашников[1]

[1]Казахстанский научно-исследовательский институт водного хозяйства, Тараз, Казахстан; v-zharkov@mail.ru, kasatova.90@mail.ru, iwre@mail.kz, kalashnikov_81@inbox.ru
[2]Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан; yermekkul.zhaparkulova@kaznaru.edu.kz
*Автор корреспондент: Ермеккул Д. Жапаркулова yermekkul.zhaparkulova@kaznaru.edu.kz

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

капельное орошение,
выращивание лука,
урожайность,
водоотдача

По статье:
Получено: 28.07.2025
Пересмотрено: 10.09.2025
Принято: 24.09.2025
Опубликовано:01.10.2025

АБСТРАКТ

Технология выращивания лука в засушливой зоне Южного Казахстана должна учитывать специфические требования этой культуры к влажности почвы в течение всего вегетационного периода, учитывая основные фазы ее развития. Целью исследований было установление особенностей технологии выращивания лука репчатого в условиях капельного орошения с определением оптимального порога влажности для фаз развития растений и оценка его влияния на урожайность. Метод исследования - полевой опыт на специально отведенном опытном участке. Авторами установлено, что капельное орошение обеспечивает урожайность до 103.2 т/га при пороговом значении влажности почвы 85% НВ от всходов до начала формирования луковиц с дальнейшим снижением влажности почвы до уровня 75% НВ в фазу формирования - начало созревания луковиц и до минимального уровня влажности почвы в период вегетации. уровень НВ до созревания луковиц должен составлять 70%. Данная технология рекомендована к применению в фермерских хозяйствах юга Казахстана для повышения продуктивности и качества продукции.

Publisher's Note: Statements, opinions, and data in all publications are those of the author(s) alone and not those of the Journal of Hydrometeorology and Ecology and/or the editor(s).

Гидрометеорология и экология

Ғылыми мақала

ЦЕЛИНОГРАД АУДАНЫНЫҢ АГРОҚАЛАЛЫҚ АУМАҒЫНДА ЖЕР ПАЙДАЛАНУ ӨЗГЕРІСТЕРІН ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ЖӘНЕ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕР НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ

Гаухар Мусайф[1] , Жанат З. Толеубекова[1]т.ғ.к. ,Асет А. Ахмадия[1]*PhD , Хуралай Молдамурат[2] т.ғ.к.

[1] С. Сейфуллина атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан; mussaif_gauhar@mail.ru (ГМ), zh.toleubekova@kazatu.edu.kz (ЖЗТ), a.akhmadiya@kazatu.kz (ААА)
[2] Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; moldamurat@yandex.kz (ХМ)
* Автор корреспондент: Асет А. Ахмадия, a.akhmadiya@kazatu.kz

ТҮЙІН СӨЗДЕР

жерді қашықтықтан зондтау,
жер пайдалану,
жер жамылғысы,
геоақпараттық әдістер,
геодезия,
өзгерістер

АБСТРАКТ

Бұл зерттеу Астана мегаполисінің агроқалалық аймағы (АҚА) болып табылатын Целиноград ауданындағы жер пайдалану және жер жамылғысының (ЖПЖЖ) кеңістіктік-уақыттық динамикасына арналған. Агроқалалық аймағы аумағындағы жер жамылғысының (ЖЖ) өзгерістері 15 жылдық аралықтағы (2008, 2018 және 2023) бақылаулы классификация әдісі және геодезиялық деректер негізіде талданды. Зерттеу кезеңінде Жер пайдалану және жер жамылғысы (ЖПЖЖ) құрылымында елеулі өзгерістер байқалды. Қала шекарасында құрылыс салынған аумақтар айтарлықтай ұлғайған. Агроқалалық аймақта жыртылатын жер мен орман алқаптарының ауданы тұрақты түрде артса, жайылымдық жерлер азайып келеді. Бұл зерттеліп отырған аумақта жыртылатын жер үлесінің көбеюіне байланысты жер пайдаланудың қарқынды дамуын көрсетеді. Геодезиялық деректер мен геоақпараттық әдістерді пайдалану жер учаскелерінің шекаралары мен орналасуын дәл бақылауға мүмкіндік беріп, осы аймақтағы жер пайдалану өзгерістерін нақты бағалауға көмектесті. Агроқалалық аймағындағы жер пайдалану және жер жамылғысы (ЖПЖЖ) өзгерістерінің негізгі қозғаушы факторлары — Астана қаласының аумақтық кеңеюі мен халық санының өсуі. Жалпы алғанда, Қазақстан астанасының агроқалалық аймаққа әсері бірқатар экономикалық және заңнамалық шаралардың арқасында салыстырмалы түрде орнықты даму жағдайында жүріп жатыр. Геоақпараттық әдістер мен қашықтықтан зондтау деректерді пайдалану тұрақсыз дамуға әкелуі мүмкін құбылыстар мен процестерді жедел анықтауға тиімді құрал болып табылады.

Мақала жайында:
Жіберілді: 22.05.2025
Қайта қаралды: 29.09.2025
Қабылданды: 29.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

1. КІРІСПЕ

Қаланың шекарасыз және бақылаусыз кеңеюі (urban sprawl) агроқалалық аумақтардың тұрақты және үйлесімді дамуына айтарлықтай тосқауыл болады. [1]. Бұл процестің негізгі қозғаушы күштерінің бірі – қала халқының өсуі және оған байланысты агроқалалық аймағы аумағының кеңеюі немесе жер пайдаланудың қарқындылығының өзгеруі [2...4]. Әдетте, агроқалалық аумағындағы өзгерістерді зерттеу жер жамылғысы мен жерді пайдалану (ЖЖЖП) құрылымындағы өзгерістерді бағалау арқылы жүзеге асырылады, бұл үшін геоақпараттық әдістер (GIT) пайдаланылады [5...7]. Осыған орай, геоақпараттық әдістерді қолдана отырып, Жерді пайдалану және жер жамылғысы (ЖПЖЖ) құрылымының өзгерістерін бақылау жүйелері жасалуда [8]. Соңғы жылдары қаланың кеңеюінің агроқалалық аумақтардың ЖПЖЖ құрылымына әсеріне ерекше назар аударылуда, бұл бағыттағы ғылыми зерттеулердің санының артуымен дәлелденеді [9].

Дәйексөз үшін:
Мусайф Г., Толеубекова Ж., Ахмадия А., Молдамурат Х. Целиноград ауданының агроқалалық аумағында жер пайдалану өзгерістерін қашықтықтан зондтау және геодезиялық деректер негізінде талдау // Гидрометеорология и экология, №3 (118), 2025, 127-140.

Жерді пайдалану және жер жамылғысы – екі түрлі ұғым, олар әдетте бірге бағаланады, себебі біріншісі (жер бетінің физикалық қасиеттері) мен екіншісі (адамдардың жер жамылғысын пайдалану) бір-бірінен тәуелсіз қарастырылмайды [10]. Сондықтан, жерді пайдалану және жер жамылғысы (ЖПЖЖ) адам мен табиғат арасындағы өзара әрекеттесудің нәтижесі болып табылады, оған әлеуметтік-экономикалық процестердің өзгерістері әсер етеді. Геодезиялық деректер жер пайдалану құрылымындағы өзгерістерді дәлірек анықтауға көмектеседі, өйткені геодезиялық өлшеулер мен картографиялық ақпараттар жер учаскелерінің шекараларын, орналасуын және өзгерістерін нақты бақылауға мүмкіндік береді. Осы тұрғыда геодезия мен геоақпараттық әдістерді біріктіру агроқалалық аймағындағы жер пайдалану өзгерістерін тиімді бағалауға және болашақта тұрақты даму стратегияларын жасауға мүмкіндік береді. ЖПЖЖ құрылымындағы ұзақ мерзімді өзгерістерді бағалап, негізгі процестерге назар аудара отырып, осы құбылыстардың қозғаушы күштерін анықтауға және зерттеліп отырған аймақтың тұрақты дамуы үшін тиімді шаралар қабылдауға болады [11,12].

Астана қаласының (бұрынғы Целиноград, Ақмола, Астана) агроқалалық аумаққа (АҚА) әсері айтарлықтай жоғары, себебі соңғы 15 жыл ішінде (2008...2023 жж.) ол провинциялық шаһардан ірі мегаполиске айналып, еліміздің саяси, экономикалық және мәдени орталығына айналды [13]. Осыған байланысты мегаполистің агроқалалық аумаққа тигізетін әсерін бағалаудың ең тиімді тәсілдерінің бірі – геоақпараттық технологиялар (GIT) көмегімен агроқалалық аймақтағы жер жамылғысы мен жерді пайдалану (ЖПЖЖ) құрылымында орын алған ұзақ мерзімді өзгерістерді зерттеу болып табылады.

Қазақстанда геоақпараттық әдістерді қолдана отырып, жер пайдалануды зерттеу 1990-жылдары басталды [14...19]. Зерттеулердің бастапқы кезеңінде негізгі назар кеңестік дәуірдегі тиімсіз жер пайдаланудың салдарын алдын ала бағалауға бағытталды. Бұл өз кезегінде Арал теңізінің тартылуы, бұрынғы Семей ядролық сынақ полигоны, Байқоңыр ғарыш айлағы мен минералды және көмірсутек қорларын игеруге байланысты туындаған елеулі экологиялық апаттарға алып келді[20...23]. Қазіргі уақытта еліміздің жеке аймақтарында ЖПЖЖ құрылымындағы ұзақ мерзімді өзгерістерді зерттеу үшін ГАЖ қолданатын зерттеулер жүргізілуде. Бұл зерттеулер қалалық кеңеюдің тікелей әсерінен тыс жатқан жер пайдаланудағы өзгерістерді зерттеуге бағытталған [24...27]. Сонымен бірге, Қазақстанның ірі қалаларының айналасындағы ауыл шаруашылығы аймақтарына әсерін ұзақ мерзімді кеңістіктік-уақыттық деректер негізінде жан- жақты бағалау әлі де ашық мәселе болып тұр, бұл қала мен агроқалалық аймақтар үшін тұрақты даму тәсілдерін анықтауға көмектеседі.

Осыған орай, біздің негізгі мақсатымыз – Астана мегаполисімен шектесетін Целиноград ауданында жер пайдалану және жер жамылғысы (ЖЖЖП) өзгерістеріне әсер ететін негізгі факторларды анықтауға болды. Зерттеудің міндеттері:

1. 15 жылдық қашықтықтан зондтау деректерін (2008...2023 жылдар арасын) пайдалана отырып, агроқалалық аймақ аумағында ЖПЖЖ құрылымындағы өзгерістерді бағалау;

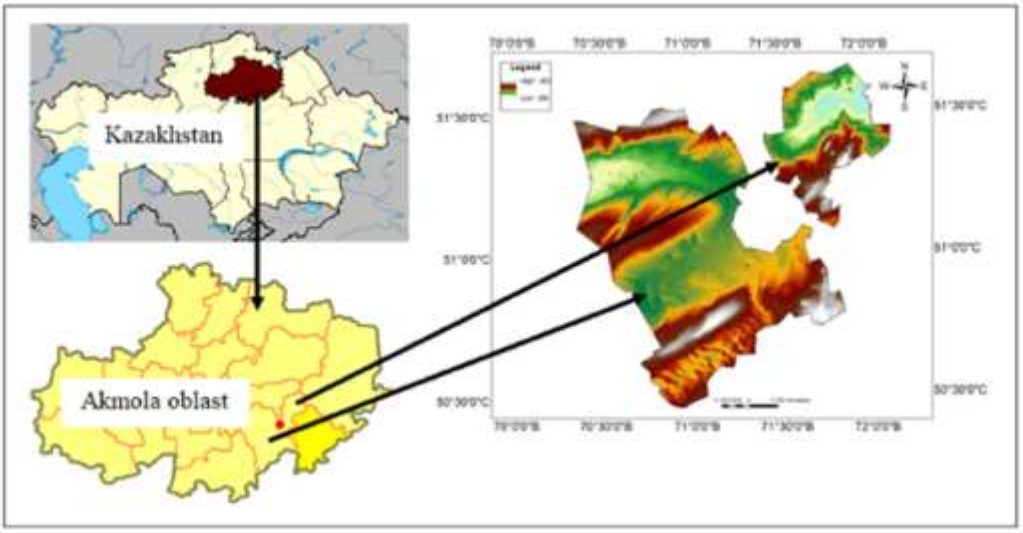
2. Бұл факторлардың агроқалалық аумағының тұрақты дамуына әсері мен салдарын бағалау.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу үшін таңдалған аумақ –Астана қаласын қоршап жатқан Ақмола облысындағы Целиноград ауданы. Бұл аудан агроқалалық сипатқа ие және урбанизация үдерістеріне ең көп ұшыраған аймақтардың бірі болып табылады. Қазіргі таңда бұл мегаполис өзінің аумақтық кеңеюіне байланысты зерттеу аймағын (ЗА) шартты түрде екі бөлікке бөліп тұр (1-сурет). Аумақтың жер бедерін сипаттау мақсатында цифрлық биіктік моделі (Digital Elevation Model, DEM) пайдаланылды. Бұл модель Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) спутниктік деректері негізінде құрылған және рельефтің

радиолокациялық топографиясына негізделген ерекшеліктерін талдауға мүмкіндік береді[28].

Зерттеу аумағы Қазақтың ұсақ шоқылы аймағында орналасқан, ол төмен таулы рельефтен сәл толқынды жазыққа ауысады. Аумақтың топографиялық ерекшеліктерін дәл сипаттау мақсатында геодезиялық өлшеулер мен картографиялық деректер қолданылды. Геодезиялық деректер жер бедерінің биіктік айырмашылықтарын, өзен арналары мен су айдындарының кеңістіктік орналасуын нақтылауға мүмкіндік берді. Бұл мәліметтер жер пайдалану құрылымын бағалауда маңызды рөл атқарады және қашықтықтан зондтау деректерімен бірге қолданылып, ЖПЖЖ өзгерістерін егжей-тегжейлі талдауға жағдай жасайды. Зерттеу аумағының климаты – құрлықтық, құрғақ дала белдеуіне жатады. Қысы суық және ұзақ, қаңтар айының орташа температурасы 17...18 °С; жазы – біршама жылы, шілде айында орташа температура шамамен 20 °С. Жылдық орташа жауын-шашын мөлшері 300...350 мм. Аудан арқылы жеті өзен ағады. Көптеген шағын өзен салалары жаз мезгілінде тартылып қалады. Сондай-ақ, көптеген ірі және ұсақ көлдер бар, олардың су беті маусымдық өзгерістерге ұшырайды.



Сурет 1. *Зерттеу нысанының географиялық орналасуы және цифрлық жер бедері картасы*

Целиноград ауданы Ақмола облысының негізгі ауыл шаруашылығы аймақтарының бірі болып табылады. Ауданның басты ауыл шаруашылық қызметі – дәнді дақылдарды өндіру. Астана – Қарағанды және Астана – Павлодар темір жол желілері зерттеу аймағы арқылы өтеді. Жол инфрақұрылымы жақсы дамыған. Ресми деректерге сәйкес, Целиноград ауданының аумағы 7,8 мың км² құрайды және онда 18 елді мекен орналасқан [29,30].

ЖПЖЖ өзгерістерін зерттеу үшін зерттеу аумағында АҚШ Геологиялық қызметінің (USGS) ресми сайтынан алынған Landsat 5 және Landsat 8 спутниктік мультиспектралды деректері пайдаланылды [31]. Landsat суреттерін қолданудың негізгі себебі – Жерді ұзақ уақыт бойы бақылауға арналған деректердің қолжетімділігі (өткен ғасырдың 1970 жылдарынан бастап) және олардың кеңістіктік дәлдігінің жоғары болуы (30 м) [32]. Осылайша, Landsat спутниктік деректері 2008, 2018 жылдан 2023 жылға дейінгі ЖПЖЖ талдауы үшін өте қолайлы. Мысалы, дәл осындай тегін Sentinel-2 спутниктік деректері Қазақстан аумағы үшін тек осы ғасырдың жиырмасыншы жылдарының ортасынан бастап қолжетімді [33].

Landsat суреттері UTM (әмбебап көлденең меркатор проекциясы) жүйесінің 42-аймағы және WGS-1984 (әлемдік геодезиялық жүйе) координаталар жүйесіне сәйкес геометриялық түзетуден өткізілген. Геодезиялық координаталық жүйелерді қолдану өте

маңызды, өйткені олар зерттеу аймағының нақты орналасуын және географиялық нүктелердің дәлдігін қамтамасыз етеді. Геодезиялық түзету мен кеңістіктік үйлесімділікті қамтамасыз ету үшін жер бедерінің әртүрлі географиялық белгілері мен деректері қолданылады.

Кесте 1

Спутниктік суреттер және олардың сипаттамалары

Спутник	Суреттердің мерзімі	Спектралды арналар	Кеңістіктік шешім (дәлдік)	Геодезиялық түзету жүйесі
Landsat 5	2008, 2018, 2023	Көк (B), Жасыл (G), Қызыл (R), Жақын инфрақызыл (NIR)	30 м	UTM (42-аймақ), WGS-1984
Landsat 8	2008, 2018, 2023	Көк (B), Жасыл (G), Қызыл (R), Жақын инфрақызыл (NIR)	30 м	UTM (42-аймақ), WGS-1984

Landsat 5 және 8 спутниктерінен алынған B, G, R және NIR арналары негізінде құрылған жалған түсті кескіндер (False Color Composite — FCC) және аудан шекаралары бойынша қиылған бұлтсыз екі суреттен құрылған түсті теңестірілген мозаикалар қолданылды. Бұл кескіндер 2008 және 2018 жылдар аралығындағы көп уақыттық кезеңде зерттеу аймағындағы ауыл шаруашылығы алқаптары мен құрылыстанған аумақтарды анықтап, жіктеу үшін пайдаланылды.

Геодезияның рөлі тек жер бетінің бейнесін анықтап қана қоймай, сонымен қатар осы карталарды құрастыруда дәлдік деңгейін жоғарылатуда, сондай-ақ уақыт бойынша өзгерістерді бақылауда маңызды. Геодезиялық мәліметтермен бірге Жер бетінің әртүрлі бақылау әдістерін біріктіру арқылы аумақтың физикалық және экологиялық құрылымын тиімді зерттеуге мүмкіндік береді.

Негізгі карталарды құрастыру және қашықтықтан зондтау (ҚЗ) деректерін интерпретациялау үшін Мемлекеттік жер кадастрының Автоматтандырылған ақпараттық жүйесінің тақырыптық карталары қолданылды [34]. Осы карталар негізінде геодеректер базасы (геобаза) құрылды. Геодеректер базасы геодезиялық ақпараттың маңызды бір бөлігі болып табылады, өйткені бұл жүйелер нақты жер пайдаланушыларын анықтауға және оларды басқа зерттеу мәліметтерімен салыстыруға мүмкіндік береді. Геобаза оқу үлгілерін жинау, жергілікті шындықпен салыстыру (ground-truthing), классификацияның дәлдігін бағалау және жер учаскелерінің нақты меншік иелерін анықтау үшін пайдаланылды.

Классификациялау әдістері және дәлдік бағалауы.

Классификацияның бірінші деңгейі үшін CORINE жүйесіне сәйкес келесі бес ЖПЖЖ класы пайдаланылды, ол 2-кестеде көрсетілген: егістік жер, жайылымдар, су, орман және құрылыс аймақтары [35].

Кесте 2

Зерттеу аймағындағы жер пайдалану және жер жамылғысы кластары

Деңгей 1	Деңгей 2
Егістік жер	Бидай, арпа, күнбағыс, жоңышқа, әртүрлі түрдегі шөлдер
Жайылымдар	Жайылымдар, шабындықтар, шөп шабу, қоймалар
Су	Көлдер, су қоймалары, өзендер
Орман	Жапырақты, қылқан жапырақты, аралас ормандар, орман питомниктері, орман егістері
Құрылыс аймағы	Елді мекендер, өнеркәсіптік аймақтар

Бұл зерттеуде жергілікті жер пайдалану және жер жамылғысы кластары арқылы класифиациялаудың нақты мәліметтерін қашықтықтан зондтау арқылы кодтау бойынша атқарды. Алынған мәліметтер арнайы санаттар бойынша талқыланды.

Жер бетінің нақты морфологиялық жағдайын дәл сипаттауда маңызды әдістемелік негіз болып табылады, әсіресе цифрлық биіктік модельдері мен координаттық жүйелерді қолдану барысында. Зерттеу шеңберінде қашықтықтан зондтау арқылы алынған суреттердің координаттарын салыстыру және оларды нақтылау үдерісінде геодезиялық мәліметтер кеңінен пайдаланылды. ArcGIS бағдарламалық жасақтамасында кеңістіктік

деректердің дәлдігі мен сәйкестігін арттыру мақсатында Universal Transverse Mercator (UTM) проекциясы және World Geodetic System 1984 (WGS-1984) геодезиялық жүйесі қолданылды. Бұл тәсіл зерттеу аумағы бойынша жоғары дәлдіктегі координаттық сәйкестендіруді қамтамасыз етуге мүмкіндік берді.

Бұл зерттеуде бақылаулы классификация үшін максималды ықтималдық классификаторы алгоритмдік оқыту (ML) қолданылды. Алгоритмдік оқыту классификаторы – ең көп қолданылатын, өте қарапайым әрі іске асыруы жеңіл алгоритмдердің бірі. Сонымен қатар, алгоритмдік оқыту (АО) жақсы белгілі және қашықтықтан зондтау мәселелерінің кең спектрінде сәтті қолданылған [36,37]. Сондықтан, осы зерттеуде жерді пайдалану және жер жамылғысы (ЖПЖЖ) классификациясы үшін ArcGIS бейнесін өңдеу бағдарламасы (нұсқасы 10.6.1) қолданылды [38].

Алғашқы бақылаулы классификациядан кейін ЖПЖЖ картасы күмәнді аймақтардың жергілікті тексерісі негізінде өңделді және кейбір кластар өздеріне тиісті кластарға қайта кодталды. Жергілікті шындықты тексеру/тексеру тек классификацияда анық емес болған аймақтарда жүргізілді. Бұл процесс барысында жер пайдалану және жер жамылғысы карталары бастапқыда дайындалды, ал шатасқан жерлер анықталды. Әрбір класс үшін, яғни егістік жер, жайылымдар, су, орман және құрылыс аймақтары үшін кемінде он екі нүкте белгіленді. Зерттеу аймағында жан-жақты жергілікті шындықты тексеру жүргізілді және кейінірек кейбір түзетулер енгізілді. Сурет классификациясына арналған жергілікті деректер кейінірек дәлдік бағалауында қолданылды.

Жергілікті шындықты тексеруден кейін дәлдік бағалауы жүргізілді, бұл картаның сенімділігін бағалаудың ең маңызды әдісі болып табылады. Қандай да бір сурет классификациясы оның дәлдігі бағаланбағанша толық деп есептелмейді. Классификацияның дәлдігін анықтау үшін, классификацияланған суретте пикселдердің үлгісі таңдалып, олардың класс сәйкестіктері жергілікті деректермен салыстырылды. Бұл зерттеуде классификация қатесі матрицасы (немесе шатасу матрицасы) қолданылды, ол классификацияның дәлдігін білдірудің кең таралған әдісі болып табылады. Қате матрицасында жалпы классификация сенімділігінің көрсеткіші диагональ бойындағы дұрыс классификацияланған нүктелердің саны ретінде анықталады (пайызбен). Бұл сан кездейсоқ болуы мүмкін. Нәтижелерді қорытындылау кезінде осы фактіге назар аудару үшін кездейсоқтықты түзететін коэффициент немесе K (Kappa) индексі жиі қолданылады.

Kappa талдауы — бұл көпөлшемді дискретті техника, ол өнім берушінің және пайдаланушының жалпы дәлдігін, сондай-ақ Kappa дәлдік деңгейін есептейді.

Kappa индексі келесі формула бойынша есептеледі [39]:

$$K = (d–q)/(N–q) \quad (1)$$

мұндағы: d — дұрыс алынған нәтижелердің саны (қате матрицасының диагоналындағы мәндердің сомасы); q — кездейсоқ нәтижелердің саны, ол сәйкестік матрицасының жолдарындағы nc кездейсоқ нәтижелері мен бағандарындағы nr нақты нәтижелерінің саны бойынша есептеледі, ол келесі түрде есептеледі:

$$q = \sum (n_c n_r/N) \quad (2)$$

мұндағы N — барлық нүктелердің жалпы саны.

Тамаша дәл нәтиже үшін (барлық N нүктелер диагональда болғанда), Kappa мәні 1-ге тең болады, ал кездейсоқ нәтиже үшін Kappa мәні 0-ге тең болады.Дәлдік бағалауы мен түзетуден кейін 2008, 2018 және 2023 жылдардағы кластар бойынша аймақтар есептелді. Жерді пайдалану және жер жамылғысы классификациясында өзгерісті

анықтау өте маңызды процесс болып табылады, ол 2008, 2018, және 2023 жылдардағы жер пайдалану және жер жамылғысы класстарының есебін және талдауын аяқтағаннан кейін жүзеге асырылды. ArcGIS бағдарламасында өзгеріс анықтау мүмкіндігін пайдалану арқылы Целиноград ауданындағы үш мозаиканың арасындағы айырмашылықтар барлық бес жерді пайдалану және жер жамылғысы Жерді пайдалану және жер жамылғысы класы үшін есептелді. Біз қолданған әдістемелік тәсілдердің интегралды құрылымы блок-схема түрінде 2-суретте көрсетілген. Осылайша, біз қолданған жер пайдалану және жер жамылғысы (LULC) классификациялау және оның дәлдігін бағалау әдістемелік тәсілдері бірнеше рет тексеріліп, осы процестерді автоматтандыру үшін жеткілікті сенімді деп табылды.



Сурет 2. *Жерді пайдалану және жер жамылғысы (ЖПЖЖ) картасын жасау әдістемесі*

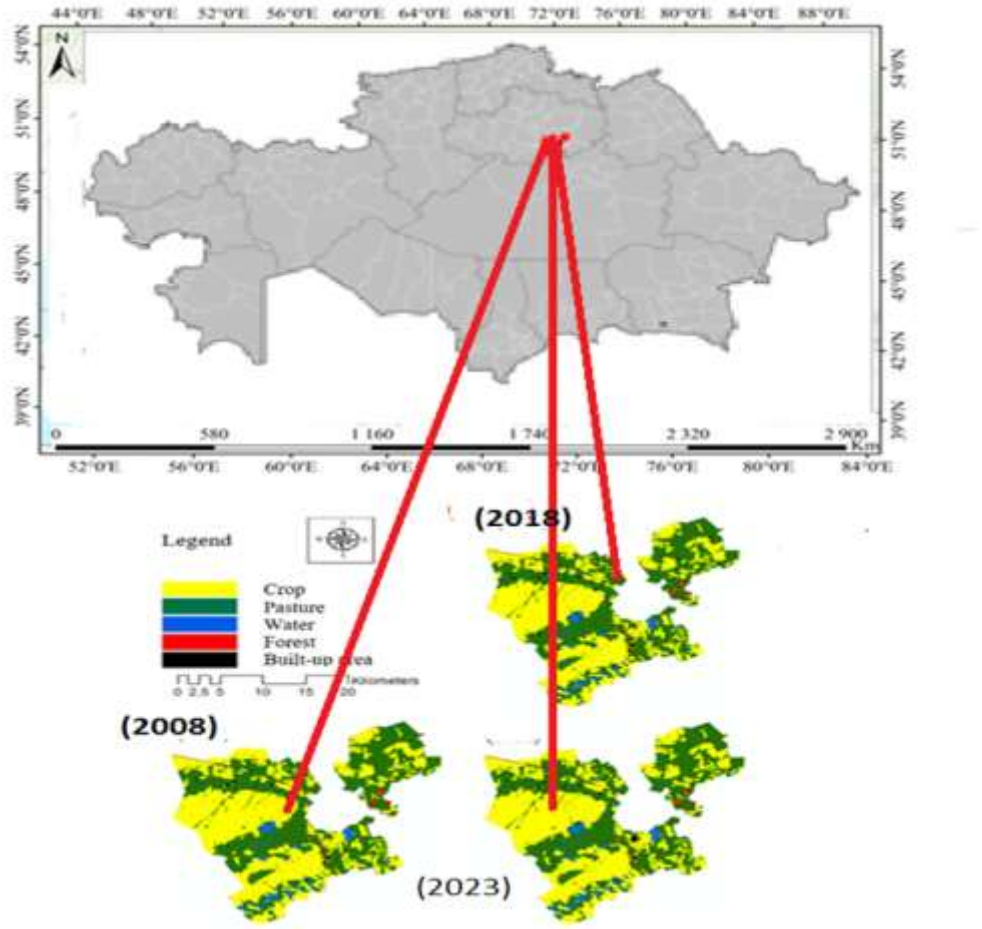
3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Жер пайдалану және жер жамылғысы өзгерістерін классификациялау нәтижелері көрсеткендей, ауыл шаруашылығы жерінің (егістік жер, жайылымдар), сондай-ақ су көздерінің, ормандардың және құрылыс аумақтарының аудандары зерттеу жылдары бойы салыстырмалы өзгерістерге ұшырады, бұл 2008, 2018 және 2023 жылдардағы жер пайдалану және жер жамылғысы (ЖПЖЖ) карталарында (Сурет 3) көрсетілген.

ЖПЖЖ классификациясының нәтижелері көрсеткендей, зерттеу аумағының негізгі бөлігін ауыл шаруашылығы жерлері (егістік жерлер, жайылымдар) алып жатыр (~94%), су айдындары ~3.7%, ормандар ~0.7%, және құрылыс аумақтары ~0.5...0.9% құрайды.

2008 жылдан 2023 жылға дейінгі жер жамылғысы (ЖПЖЖ) кластарындағы өзгерістердің мысалдары 3-кестеде көрсетілген. 2008...2023 жылдар аралығындағы жер пайдалану және жер жамылғысы классификациясының нәтижелері 3-кестеде көрсетілген, онда бақылау жылдары ішінде зерттеу аумағының шамамен 95%-ы егістік жерлер мен жайылымдармен қамтылғаны көрсетілген. Мысалы, 2008 жылдары бұл көрсеткіш 95.3% болса, 2023 жылы 95.0% болды.Егістік жерлердің ауданының тұрақты түрде ұлғаю тенденциясы байқалды, негізінен жайылымдардың жыртылуы және құрылыс аумақтарының ұлғаюы есебінен. Егістік жерлердің үлесі 2008 жылдан 2023 жылға дейін айтарлықтай өсті. Егістік жерлермен қамтылған аумақ жылдар бойы 2008 жылдан 2023 жылға дейін егістік жерлердің дамуының қарқыны төмендеп, тек 0.1%-ға немесе 11.0 км²-ге жетті. Бақылау кезеңі ішінде, яғни 2008 жылдан 2023 жылға дейін, егістік жерлердің жалпы ауданы 0.4%-ға немесе 30.9 км²-ге ұлғайды.Осы уақытта, аймақтың жайылымдары 2008 жылдан 2023 жылға дейін 0.4%-ға немесе 29.6 км²-ге азайды. Бақылау кезеңі ішінде жайылымдардың ауданы 0.7%-ға немесе 52.7 км²-ге қысқарды, оның 30.9 км²-і егістік жерлерге айналдырылды. Жайылымдардың жыртылуы есебінен егістік жерлердің ұлғаюының типтік мысалы диаграммада көрсетілген.Су айдындарының ауданы, көптеген шағын және орташа таяз көлдер мен өзендерді біріктіре отырып, 3.6%-ды құрады. Бұл су қоймаларындағы су деңгейінің төмендеуі жаздың аяғы мен күздің басында байқалды, бұл диаграммада көрінеді. Алайда, кейін олар бұрынғы

деңгейіне қайта оралды, сондықтан зерттеу жылдары ішінде су айдындарының жалпы ауданы тұрақты қалды. Ауданның орман алқаптары 1%-дан азды құрады (0.6%).

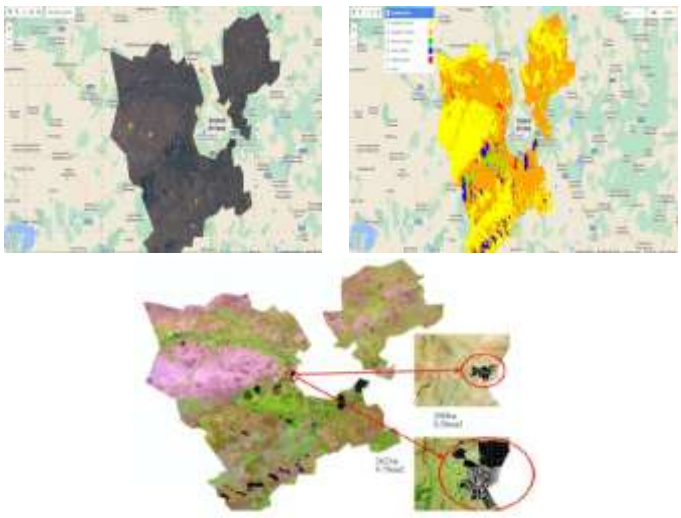


Сурет 3. *ЖПЖЖ картасы – 2008, 2018 және 2023 жылдардағы-классификация нәтижесі*

Сонымен қатар, ағаш өсіру үшін пайдаланылатын аумақтың айтарлықтай ұлғаюы байқалды, негізінен бұрын жайылым ретінде пайдаланылған бұрынғы орман алқаптарының кеңеюі есебінен. Мысалы, 2008 жылы орманмен қамтылған аумақтың көлемі едәуір болса, 2023 жылға дейін бұл көрсеткіш одан әрі ұлғайып, орман алқаптары кеңейе түсті. Орман алқаптарының ұлғаюының мысалын 4-суреттен алынған. 2023 жылға қарай орман алқаптарының жалпы ауданы 2008 жылмен салыстырғанда 5.8%-ға немесе 2.8 км²-ге артты.Қалалық аумақтар барлық зерттеу аймағының тек 0.5%...0.6%-ын ғана алып жатыр. Алайда, республиканың астанасының жақындығы қалалық аумақтардың өзгеруіне айтарлықтай әсер етті. Ең үлкен өзгерістер Астанамен шекаралас аймақта, агроқалалық аумағындағы қалаларда маңында болды. 2008 жылдан 2023 жылға дейін қалалық аумақтардың ауданы сәл ғана өсті – олар 3%-ға немесе 1.1 км²-ге ұлғайды. 2008 жылдан 2023 жылға дейін қала аумағында қарқынды өзгерістер орын алып, елді мекендердің жалпы ауданы 52,6%-ға немесе 19.0 км²-ге артты. Бұл өзгерістер негізінен ауыл шаруашылығы жерлерінің, дәлірек айтқанда жайылымдардың жыртылуы есебінен болды.

Классификация дәлдігі.

Жалпы дәлдік пен Каппа коэффициенті классификация нәтижелерінің жеткілікті сенімді екенін көрсетеді (Кесте 3). Осылайша, жалпы классификация дәлдігі 94% пен 94.4% аралығында болды. 2008 жылғы классификация үшін Каппа коэффициенті 0.87, ал 2023 жылғысы 0.90 болды.



Сурет 4. *2008 жылдан 2023 жылға дейінгі жер пайдалану және жер жамылғысы санаттарының өзгерістер*

мысалдары:1 – Егістік жерлер, 2- жайылым, 3– Су айдыны, 4 – Құрылыстар

Кесте 3

Жер пайдалану және жер жамылғысы аумақ айырмашылығы, классификациядәлдігі және Каппа статистикасы

ЖПЖЖ класы	2008	2023
Егістік жерлер	1134.4 км²	1156.0 км²
Жайылымдар	770.3 км²	740.8 км²
Су көздері	70.2 км²	73.5 км²
Ормандар	13.6 км²	15.3 км²
Құрылыс аймақтары	8.1 км²	24.7 км²
Аумақ айырмашылығы (%)	+0.8%	+0.4%
Дәлдік (%)	94.1%	94.4%
Каппа	0.87	0.90

Зерттеу аймағының жер пайдалану және жер жамылғысын жіктелуіне қатысты өндіруші мен пайдаланушы дәлдігі, сондай-ақ қосу (Commission) және қалдыру (Omission) қателері болады. Мысалы, егістік жер үшін өнім берушінің дәлдігі 93.1%-дан 94.9%-ға дейін өзгерді; жайылымдар үшін 93.8%-дан 95.6%-ға дейін; су үшін 99.5%-дан 99.5%-ға дейін; орман үшін 95.4%-дан 95.5%-ға дейін; және құрылыстар үшін 94.8%-дан 96.7%-ға дейін болды. Пайдаланушының дәлдігі одан да кішірек аралықтарда табылды, және барлық классификацияланған топтар үшін 91.2%-дан 99.5%-ға дейін өзгерді. Жиынтық дәлдік 90%-дан асқандықтан, зерттеу нәтижелері өнім беруші мен пайдаланушы үшін де өте қабылдауға болатын деңгейде деп есептелуі мүмкін. 4-сурет классификациясының сенімділігін тағы да бір растайтын фактор — жіберілген қателіктер (комиссия) мен өшірілген қателіктердің (жіберілген) төмен мәндері (Кесте 4). Мысалы, 2008 жылғы сурет үшін жіберілген қателіктер әртүрлі ЖПЖЖ кластарында 0,6-тен 7.9-ге дейін болды және 2018 жылғы сурет үшін - 0.6-дан 6.2-ге дейін болды. Жіберілген қателіктердің мәндері шамамен сол шектерде өзгерді: 2008 жылы - 0.6-дан 8.8-ге дейін; және 2018 жылы - 0.6-дан 7.7-ге дейін.Бұл дегеніміз, классификацияның дәлдігін бағалау нәтижелері мен оның қателіктері біз жүргізген жұмыстың сенімділігін айқын көрсетті және жер пайдалану және жер жамылғысын классификация нәтижелері үшін тақырыптық карталарды автоматтандыру процестеріне жол ашты.

Мысалы, егістік жер үшін өнім берушінің дәлдігі 93.1%-дан 94.9%-ға дейін өзгерді; жайылымдар үшін 93.8%-дан 95.6%-ға дейін; су үшін 99.5%-дан 99.5%-ға дейін; орман үшін 95.4%-дан 95.5%-ға дейін; және құрылыстар үшін 94.8%-дан 96.7%-ға дейін болды. Пайдаланушының дәлдігі одан да кішірек аралықтарда табылды, және барлық классификацияланған топтар үшін 91.2%-дан 99.5%-ға дейін өзгерді. Жиынтық дәлдіктің 90%-дан жоғары болуы зерттеу нәтижелерін өнім беруші мен пайдаланушы үшін де

қолайлы және сенімді деп бағалауға мүмкіндік береді. 4-суреттегі классификация нәтижесінің сенімділігін растайтын қосымша фактор – комиссиялық және жіберіп алу қателіктерінің төмен деңгейде болуы (Кесте 4). Мысалы, 2008 жылғы сурет үшін жіберілген қателіктер әртүрлі ЖПЖЖ кластарында 0.6-тен 7.9-ге дейін болды; және 2018 жылғы сурет үшін - 0.6-дан 6.2-ге дейін болды. Жіберілген қателіктердің мәндері шамамен сол шектерде өзгерді: 2008 жылы - 0.6-дан 8.8-ге дейін; және 2018 жылы - 0.6-дан 7.7-ге дейін.Бұл дегеніміз, классификацияның дәлдігін бағалау нәтижелері мен оның қателіктері біз жүргізген жұмыстың сенімділігін айқын көрсетті және жер пайдалану және жер жамылғысын классификация нәтижелері үшін тақырыптық карталарды автоматтандыру процестеріне жол ашты.

Кесте 4

ЖПЖЖ классификациясының дәлдік бағасы

ЖПЖЖ класы	Өндіруші мен пайдаланушы дәлдігі %				Қателіктер			
	2008 ж		2023 ж		2008 ж		2023 ж	
	Ө	П	Ө	П	С	О	С	О
1	93,1	93,5	94,9	95,3	7,9	6,5	6,2	7,7
2	93,8	91,2	95,6	93,0	7,3	8,8	5,4	7,0
3	99,5	99,5	99,5	99,5	0,6	0,6	0,6	0,6
4	95,4	93,9	95,5	95,4	4,7	6,2	4,6	4,6
5	94,8	91,8	96,7	95,8	6,3	8,2	4,2	4,2

Қосымша: 1 – Егістік жер, 2 – Жайылым, 3 – Су, 4 – Орман, 5 – Құрылыстар. **Ө - Өнім беруші, П - Пайдаланушы, ***С – Commission, О – Omission (жіберілген қателіктер).

Қалалану, ең алдымен, қала тұрғындарының санының өсуімен байланысты [40], және әдетте бұл ауыл шаруашылығы жерлерінің есебінен қаланың кеңеюімен бірге жүреді [41,42]. Қазақстан да бұл үрдістен тыс қалмайды [43,44]. 1996...2015 жылдар аралығында қала халқы 16,6%-ға артты. Миграцияның негізгі бағыттарының бірі Астана қаласы болды. Астана ретінде ол елдің кеңістіктік инфрақұрылымын құрып, елді мекендердің орталығына айналады, бұл қаланың кеңеюімен бірге жүреді. Мысалы, ГАЖ қолдану нәтижесінде Астана қаласының 1990 жылдан 2016 жылға дейінгі уақыт аралығындағы үлкен жер кеңеюі көрсетілді [45]. 2008 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңде бұл мегаполис жер аумағы өте жоғары деңгейде артты — 258 км²-ден 797,3 км²-ге дейін және бұл өзгеріс негізінен ауыл шаруашылығы мақсатында пайдаланылған жерлерді басып алу нәтижесінде орын алды. Жердің кеңеюімен қатар, елорда тұрғындарының саны да бірнеше есеге артты [46].

Экономикалық серпін, қаланың аумағын кеңейтуге ықпал ететін негізгі факторлардың бірі . Мысалы, қаланың шекараларын кеңейту аймағында қолжетімді жер жаңа иммигранттарды тартады. Қаланың шекараларын кеңейту аймағындада жер кеңеюі өте тиімді, себебі ауыл шаруашылығына арналған жердің бағасы сол жерге салыстырғанда бірнеше есе жоғары болады. Сонымен қатар, қаланың дамуы үшін жоспарланған аумақтағы барлық ауыл шаруашылық жерлері нарықтық мәмілелерге қолжетімді, сондықтан ауыл шаруашылығы жерлерін сатып алу және сату салыстырмалы түрде оңай [47]. Осы себептермен жер спекуляциясы осы аймақтарда өте жиі кездеседі. Зерттеу аумағы үшін де бұл жағдай дәл осындай [48].

Екінші жағынан, ауыл шаруашылығы жерлеріне қалалардың кеңеюі ресми түрде шектелгендіктен [49], республика үкіметі қаланың кеңеюін басқаруға арналған жоспарлау процедураларын жылдамдату мүмкіндігіне ие емес. Сонымен қатар, ел үкіметі тарапынан қалалық агломерацияларды, оның ішінде Акмола обысы ауданын да дамыту үшін орнықты даму мақсатында шаралар қабылданған. Бұл шаралар қаланың өсуін тежеуге және қоршаған ортаны жақсартуға бағытталған, соның ішінде қалалық агломерациялар айналасында жасыл алаңдарды құру, яғни орман алқаптарын қалыптастыру, бұл зерттеу аймағы аумағында орманды жерлердің ұлғаюын түсіндіреді. Мұндағы геодезияны қосу арқылы, қалалық аумақтардың кеңеюі, ауыл шаруашылығы жерлерінің өзгеруі және орман алқаптарының өсуі секілді зерттеу нәтижелерін дәл

анықтау үшін геодезиялық өлшеулер мен кеңістіктік деректерді қолдану маңызды. Мысалы, геодезиялық құралдар мен кеңістіктік талдау әдістері арқылы жердің нақты шекаралары мен топографиялық өзгерістерін бақылап, жер пайдалануды басқару мен картографиялау процестерін дәл әрі тиімді жүзеге асыруға болады. Бұл геодезияның маңызды рөлін атап өтіп, картографиялық зерттеулерді толықтыра отырып, жердің кеңеюі мен пайдаланылуын тиімді қадағалауға мүмкіндік береді.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Біз тез өсіп келе жатқан агроқалалық аумағында, мегаполисінің қаланың шекараларын кеңейту аймағы (қала маңы аумағы) аймағында орналасқан ауданының жерді пайдалану мен жер жамылғысы (ЖПЖЖ) құрылымындағы кеңістіктік және уақыттық өзгерістерді зерттедік. 2008 және 2023 жылдарға арналған көпуақытты Landsat спутниктік суреттерін қолдану арқылы бес санаттағы жер түрлері (егістік жерлер, жайылымдар, су объектілері, ормандар және құрылыс аймақтары) жіктелді. Зерттеу нәтижесінде ауыл шаруашылық аудандардағы ЖПЖЖ құрылымының қала әсерінен өзгеруінің негізгі үрдістері анықталды.

2008...2023 жылдар аралығында мынадай бақылаулар жүргізілді: Егістік жерлер айтарлықтай ұлғайып, жайылымдар азайды; Су объектілерінің ауданы маусымдық түрде өзгерді, бірақ жалпы көбею немесе азаю үрдісі байқалмады; Орман алқаптарының ауданы тұрақты түрде ұлғайды; Ең белсенді құрылыс аумақтарының өсуі (зерттеу аймағы) мен республикалық астана шекарасында байқалды. Жүргізілген классификация нәтижелері жоғары дәлдікпен сипатталып, сенімді болды.

Қаланың дамуы үшін жоспарланған аумақ-ның орнықты дамуына әсер ететін факторларды талдау нәтижесінде астана мегаполисінің Акмола обылысының ауданына әсер етуші басты себептері анықталды:

- ауыл шаруашылық жерлердің кеңеюі;
- қала халқының өсуі;
- урбанизацияны бақылауға бағытталған экономикалық және заңнамалық шаралар жүйесі.

Екінші жағынан, зерттеу аумағындағы егістік жерлердің ұлғаюы КСРО ыдырағаннан кейінгі экономикалық құлдырау салдарынан уақытша пайдаланусыз қалған жерлердің қайта өңделуімен байланысты болды. Жалпы, мемлекет деңгейінде қабылданған шаралар жүйесі агроқалалық аумағындағы ауданының орнықты дамуына бағытталған. Сонымен қатар, спутниктік геодезия мен қашықтан зондтау деректері ауыл шаруашылығы жерлерінің кейінгі жылдары қайта өңделуін, яғни бос жатқан жерлердің егіншілікке қайта тартылуын растады. Мемлекеттік деңгейде қабылданған шаралар агроқалалық аумағында ауданының орнықты дамуына бағытталған.

Бұл зерттеу геоақпараттық және геодезиялық әдістерге сүйене отырып жүргізіліп, жер пайдалану және жер жамылғысын өзгерістерін жартылай автоматтандырылған түрде анықтап, зерттеу аймағындағы тұрақты даму талаптарына сай келмейтін құбылыстарды тиімді бағалауға мүмкіндік береді..

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған Landsat 5,7 жерді қашықтықтан зондау түсірілімдерін авторлар USGS сайтының ашық дереккөздерінен алды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау – ГМ, ЖЗТ; деректерді басқару - ААА; ресми талдау – ГМ, ЖЗТ; әдістеме – ГМ, ЖЗТ; бағдарламалық қамтамасыз ету - ААА; қадағалау - ХМ; визуализация – ГМ, ААА; бастапқы жобаны жазу – ГМ; шолу жазу және редакциялау – ГМ, ХМ.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің тапсырысы бойынша 2024-2026 жылдарға арналған ғылыми және (немесе)

ғылыми-техникалық жобалар бойынша гранттық қаржыландыруымен орындалған (ЖТН: AP23486167).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. K. Nilsson, S. Pauleit and et al, Peri-urban Futures Scenarios and Models for Land Use Change in Europe, 36 (Publisher Springer Heidelberg New York Dordrecht, London, 2013)
2. F. M. Adedire, Peri-urban Expansion in Ikorodu Lagos Extent Causes Effects and Policy Response, Urban Forum, 29, 259-275 (2018)
3. J. L. Barros, A. O. Tavares, M. Monteiro, P. P. Santos, Peri-Urbanization and Rurbanization in Leiria City, the Importance of a Planning Framework Sustainability, 10, 2501(2018)
4. A. Wandl, M. Magoni, Sustainable Planning of PeriUrban Areas, Introduction to the Special Issue Planning Practice & Research, 32 (1), 1-3(2017)
5. O. Appiahd, D. Schröder, E. K. Forkuo, J. T. Bugri, Application of Geo-Information Techniques in Land Use and Land Cover Change Analysis in a Peri-Urban District of Ghana, Int. J. of Geo-Information, 4, 1265-1289(2015)
6. T. E. Parece, J. B. Campbell, Land Use/Land Cover Monitoring and Geospatial Technologies, An Overview In book, Advances in Watershed Science and Assessment, The Handbook of Environmental Chemistry, Chapter 1 Eds, T. Younos, T. E. Parece, 33 (Publisher: Springer, 2015)
7. C. Liping, S. Yujun, S. Saeed, Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques -A case study of a hilly area, Jiangle, PLoS ONE, 13 (China, 2018)
8. GISGEOGRAPHY, 10, Best Free Land Cover/Land Use Data (2022)
9. Y. Wu, H. Wang, Z. Wang, B. Zhang, C. Burghard, B. C. Meye, Knowledge Mapping Analysis of Rural Landscape Using Cite Space, Sustainability, 12, (66) (2020)
10. M. Juliev, A. Pulatov, S. Fuchs, J. Hübl, Analysis of Land Use Land Cover Change Detection of Bostanlik District, Uzbekistan, Pol. J. Environ. Stud., 28 (5), 3235-3242 (2019)
11. P. Christiansen, and T. Loftsgarden, Drivers behind urban sprawl in Europe, 2011.
12. J. Wang, S. Qu, K. Peng, Y. Feng, Quantifying Urban Sprawl and Its Driving Forces 11 E3S Web of Conferences 386, 05013 (2023) GISCA 2022 and GI 2022 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338605013 in China, Discrete Dynamics in Nature and Society, 5, 1-14 (2019)
13. Astana City Akimat, http://astana.gov.kz/en/
14. Sultangazin Umirzak Makhmutovich, Selected Works 1996-2006, 420 (Space Research Institute, Almaty, in Russia, 2006)
15. E. A. Zakarin, B. M. Mirkarimova, T. V. Dedova, Geoinformation models of atmospheric pollution of the Aral-Caspian region of Kazakhstan,. 108 ("CaTa", Almaty, 2007)
16. T. Musabaev, Space research and experiments of the Republic of Kazakhstan (2005- 2007), Kazakhstan space research, National Space Agency 2, 240 (LLP "Dyke-Press, Almaty, 2008)
17. T. Musabaev, Zh, Zhantayev, Applied space research in Kazakhstan, Kazakhstan space research, 6, 368 (LLP "Dyke-Press", Almaty, 2010)
18. D. Sh. Akhmedov, Zh. Sh. Zhantaev, M. M. Moldabekov, N. R. Muratova, T. A. Musabaev, L. F. Spivak, U. M. Sultangazin, Fundamental and applied research on the development and implementation of modern space technologies in the interests of socio-economic development of the Republic of Kazakhstan for 1994-2009, 160 (Triumph "T", Almaty, 2011
19. O. Alipbeki, G. Kabzhanova, G. Kurmanova, Ch Alipbekova, Application of GIS technology to monitor the secondary radioactive contamination of the Degelen mountain massif, 8th IGRSM Int. Conf. and Exhibition on Geospatial and Remote Sensing Kuala Lumpur Malaysia (2016)
20. O. Alipbeki, G. Kabzhanova, Ch Alipbekova, Carrying out space monitoring of agricultural production in North Kazakhstan, Eurasian Union of Scientists, 23 (2), 153-156 (2016)
21. G. Kabzhanova, K. Baktybekov, A. Aimbetov, A. Kurmasheva, G. Kabdulova, Remote monitoring of the main types of soil in Northern Kazakhstan, Seventh Int. Conf. on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, 27 (2019)
22. G. Kabdulova, G. Kabzhanova, K. Baktybekov, A. Aimbetov, L. Aligazhiyeva, Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan, Seventh Int. Conf. on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, 27 (2019)
23. A. Hamidov, K. Helming, D. Balla, Impact of agricultural land use in CentralAsia: a review Agronomy for Sustainable Development, 36 (6) (2016)
24. K. Samarkhanov, J. Abuduwaili, A. Samat, G. Issanova, The Spatial and Temporal Land Cover Patterns of the Qazaly Irrigation Zone in 2003–2018: The Case of Syrdarya River's Lower Reaches, Sustainability, 11, 4035 (Kazakhstan, 2019)
25. R. Kraemer, A. V. Prishchepov, D. Müller, T. Kuemmerle, V. C. Radelof, A. Dara, A. Terekhov, M. Frühauf, Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin Lands area of Kazakhstan, Environmental Research Letters, 10 (5), 054012 (2015)
26. Ch. Eisfelder, M. Markus. Niklaus, C. Kuenzer, Net primary productivity in Kazakhstan, its spatio-temporal patterns and relation to meteorological variables, Journal of Arid Environments, 103, 17-30 (2014)
27. Zh. Taibassarova, Nazarbayev, Detection of the vegetation change cover using Landsat TM5 in the Burabay State National Natural Park Kazakhstan, Nazarbayev University (Astana, 2018)
28. E3S Web of Conferences 386, 05013 (2023) GISCA 2022 and GI 2022 https://doi.org/10.1051/e3sconf/20233860501328. SRTM DATA Available online: http://srtm.csi.cgiar.org/
29. Official internet resource of Tselinograd district: http://selinograd.akmo.gov.kz/content/4791-29-05-18-09-50-07kartacelinogradskogo-rayona
30. Agroclimatic resources of the Akmola region: a scientific-applied reference book Ed. C. C. Baysholanova, 133 (Astana, 2017)
31. United States Geological Survey https://earthexplorer.usgs.gov/
32. . https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat
33. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel
34. Automated information system of the state land cadastre of the Republic of Kazakhstan and technical support (2024)
35. M. Bossard, J. Feranec, J Otahel, CORINE Land Cover Technical Guide – Addendum 2000 Technical report No. 40/2000. (Copenhagen, 2000)

36. H. A. Kaul, I. T. Sopan, Land Use Land Cover Classification and Change Detection Using High-Resolution Temporal Satellite Data, Journal of Environment. 1 (4), 146- 152 (2012)
37. T. B. P. Nguyen, X. Zhang, W. Wu, H. Liu, Land Use/Land Cover Changes from 1995 to 2017 in Trang Bang, Southern Vietnam, J. Agricultural Sciences, 10, 413- 422 (2019)
38. https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/maximum-likelihood-classification.htm
39. I. K. Lurie, A. G. Kosikov, Theory and practice of digital image processing, 168 (Scientific World, Moscow, 2003)
40. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision United Nations, Department of Economic and Social Affairs Population Division New York, 126 (2019)
41. G. Worku, Assessing the effects of urban expansion on farmland The case of Tefki town, Academic Paper, 16 (2019)
42. M. Lasisi, A. Popoola, A. Adediji, A. Oluwatola, K. Babalola, City Expansion and Agricultural Land Loss within the Peri-Urban Area of Osun State, Nigeria, Ghana, Journal of Geography, 9 (3), 132-163 (2017)
43. National report of the Republic of Kazakhstan on housing and sustainable urban development. Habitat III, 45 (Astana, 2016)
44. The dynamics of the development of Astana for 18 years https://www.inform.kz/ru/dinamika-razvitiya-astany-za-18-let
45. A. Ilyassova, N. L. Kantakumar, D Boyd, Urban growth analysis and simulations using cellular automata and geo-informatics: comparison between Almaty and Astana in Kazakhstan, Geocarto International Correction, 36 (5) (2021)
46. The population of Astana (Wikipedia) https://en.wikipedia.org/wiki/Astana?ysclid=mb0ot655y7809445182
47. World Bank Group, A new growth model for building a secure middle-class Kazakhstan Systematic Country Diagnostic Report No. 125611-KZ, 154 (2018) https://documents.vsemirnyjbank.org/ru/publication/documents-reports/documentdetail/801771549867544115
48. A. S. Kulmaganbetova, K. K. Abuov, N. Z. Akhmetova, Development of the Land Market in the Republic of Kazakhstan, European Research Studies Journal, 21 (4), 545-556 (2018)
49. The land code of the Republic of Kazakhstan (as amended and supplemented as of 10.01 (2022) 13 E3S Web of Conferences 386, 05013 (2023) GISCA 2022 and GI 2022 https://doi.org/10.1051/e3sconf/20233860501350

REFERENCES

1. K. Nilsson, S. Pauleit and et al, Peri-urban Futures Scenarios and Models for Land Use Change in Europe, 36 (Publisher Springer Heidelberg New York Dordrecht, London, 2013)
2. F. M. Adedire, Peri-urban Expansion in Ikorodu Lagos Extent Causes Effects and Policy Response, Urban Forum, 29, 259-275 (2018)
3. J. L. Barros, A. O. Tavares, M. Monteiro, P. P. Santos, Peri-Urbanization and Rurbanization in Leiria City, the Importance of a Planning Framework Sustainability, 10, 2501(2018)
4. A. Wandl, M. Magoni, Sustainable Planning of PeriUrban Areas, Introduction to the Special Issue Planning Practice & Research, 32 (1), 1-3(2017)
5. O. Appiahd, D. Schröder, E. K. Forkuo, J. T. Bugri, Application of Geo-Information Techniques in Land Use and Land Cover Change Analysis in a Peri-Urban District of Ghana, Int. J. of Geo-Information, 4, 1265-1289(2015)
6. T. E. Parece, J. B. Campbell, Land Use/Land Cover Monitoring and Geospatial Technologies, An Overview In book, Advances in Watershed Science and Assessment, The Handbook of Environmental Chemistry, Chapter 1 Eds, T. Younos, T. E. Parece, 33 (Publisher: Springer, 2015)
7. C. Liping, S. Yujun, S. Saeed, Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques -A case study of a hilly area, Jiangle, PLoS ONE, 13 (China, 2018)
8. GISGEOGRAPHY, 10, Best Free Land Cover/Land Use Data (2022)
9. Y. Wu, H. Wang, Z. Wang, B. Zhang, C. Burghard, B. C. Meye, Knowledge Mapping Analysis of Rural Landscape Using Cite Space, Sustainability, 12, (66) (2020)
10. M. Juliev, A. Pulatov, S. Fuchs, J. Hübl, Analysis of Land Use Land Cover Change Detection of Bostanlik District, Uzbekistan, Pol. J. Environ. Stud., 28 (5), 3235-3242 (2019)
11. P. Christiansen, and T. Loftsgarden, Drivers behind urban sprawl in Europe, 2011.
12. J. Wang, S. Qu, K. Peng, Y. Feng, Quantifying Urban Sprawl and Its Driving Forces 11 E3S Web of Conferences 386, 05013 (2023) GISCA 2022 and GI 2022 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338605013 in China, Discrete Dynamics in Nature and Society, 5, 1-14 (2019)
13. Astana City Akimat, http://astana.gov.kz/en/
14. Sultangazin Umirzak Makhmutovich, Selected Works 1996-2006, 420 (Space Research Institute, Almaty, in Russia, 2006)
15. E. A. Zakarin, B. M. Mirkarimova, T. V. Dedova, Geoinformation models of atmospheric pollution of the Aral-Caspian region of Kazakhstan,. 108 ("CaTa", Almaty, 2007)
16. T. Musabaev, Space research and experiments of the Republic of Kazakhstan (2005- 2007), Kazakhstan space research, National Space Agency 2, 240 (LLP "Dyke-Press, Almaty, 2008)
17. T. Musabaev, Zh, Zhantayev, Applied space research in Kazakhstan, Kazakhstan space research, 6, 368 (LLP "Dyke-Press", Almaty, 2010)
18. D. Sh. Akhmedov, Zh. Sh. Zhantaev, M. M. Moldabekov, N. R. Muratova, T. A. Musabaev, L. F. Spivak, U. M. Sultangazin, Fundamental and applied research on the development and implementation of modern space technologies in the interests of socio-economic development of the Republic of Kazakhstan for 1994-2009, 160 (Triumph "T", Almaty, 2011
19. O. Alipbeki, G. Kabzhanova, G. Kurmanova, Ch Alipbekova, Application of GIS technology to monitor the secondary radioactive contamination of the Degelen mountain massif, 8th IGRSM Int. Conf. and Exhibition on Geospatial and Remote Sensing Kuala Lumpur Malaysia (2016)
20. O. Alipbeki, G. Kabzhanova, Ch Alipbekova, Carrying out space monitoring of agricultural production in North Kazakhstan, Eurasian Union of Scientists, 23 (2), 153-156 (2016)
21. G. Kabzhanova, K. Baktybekov, A. Aimbetov, A. Kurmasheva, G. Kabdulova, Remote monitoring of the main types of soil in Northern Kazakhstan, Seventh Int. Conf. on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, 27 (2019)
22. G. Kabdulova, G. Kabzhanova, K. Baktybekov, A. Aimbetov, L. Aligazhiyeva, Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan, Seventh Int. Conf. on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, 27 (2019)
23. A. Hamidov, K. Helming, D. Balla, Impact of agricultural land use in CentralAsia: a review Agronomy for Sustainable Development, 36 (6) (2016)

24. K. Samarkhanov, J. Abuduwaili, A. Samat, G. Issanova, The Spatial and Temporal Land Cover Patterns of the Qazaly Irrigation Zone in 2003–2018: The Case of Syrdarya River's Lower Reaches, Sustainability, 11, 4035 (Kazakhstan, 2019)
25. R. Kraemer, A. V. Prishchepov, D. Müller, T. Kuemmerle, V. C. Radelof, A. Dara, A. Terekhov, M. Frühauf, Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin Lands area of Kazakhstan, Environmental Research Letters, 10 (5), 054012 (2015)
26. Ch. Eisfelder, M. Markus. Niklaus, C. Kuenzer, Net primary productivity in Kazakhstan, its spatio-temporal patterns and relation to meteorological variables, Journal of Arid Environments, 103, 17-30 (2014)
27. Zh. Taibassarova, Nazarbayev, Detection of the vegetation change cover using Landsat TM5 in the Burabay State National Natural Park Kazakhstan, Nazarbayev University (Astana, 2018)
28. E3S Web of Conferences 386, 05013 (2023) GISCA 2022 and GI 2022 https://doi.org/10.1051/e3sconf/20233860501328. SRTM DATA Available online: http://srtm.csi.cgiar.org/
29. Official internet resource of Tselinograd district: http://selinograd.akmo.gov.kz/content/4791-29-05-18-09-50-07kartacelinogradskogo-rayona
30. Agroclimatic resources of the Akmola region: a scientific-applied reference book Ed. C. C. Baysholanova, 133 (Astana, 2017)
31. United States Geological Survey https://earthexplorer.usgs.gov/
32. . https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat
33. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel
34. Automated information system of the state land cadastre of the Republic of Kazakhstan and technical support (2024)
35. M. Bossard, J. Feranec, J Otahel, CORINE Land Cover Technical Guide – Addendum 2000 Technical report No. 40/2000. (Copenhagen, 2000)
36. H. A. Kaul, I. T. Sopan, Land Use Land Cover Classification and Change Detection Using High-Resolution Temporal Satellite Data, Journal of Environment. 1 (4), 146- 152 (2012)
37. T. B. P. Nguyen, X. Zhang, W. Wu, H. Liu, Land Use/Land Cover Changes from 1995 to 2017 in Trang Bang, Southern Vietnam, J. Agricultural Sciences, 10, 413- 422 (2019)
38. https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/maximum-likelihood-classification.htm
39. I. K. Lurie, A. G. Kosikov, Theory and practice of digital image processing, 168 (Scientific World, Moscow, 2003)
40. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision United Nations, Department of Economic and Social Affairs Population Division New York, 126 (2019)
41. G. Worku, Assessing the effects of urban expansion on farmland The case of Tefki town, Academic Paper, 16 (2019)
42. M. Lasisi, A. Popoola, A. Adediji, A. Oluwatola, K. Babalola, City Expansion and Agricultural Land Loss within the Peri-Urban Area of Osun State, Nigeria, Ghana, Journal of Geography, 9 (3), 132-163 (2017)
43. National report of the Republic of Kazakhstan on housing and sustainable urban development. Habitat III, 45 (Astana, 2016)
44. The dynamics of the development of Astana for 18 years https://www.inform.kz/ru/dinamika-razvitiya-astany-za-18-let
45. A. Ilyassova, N. L. Kantakumar, D Boyd, Urban growth analysis and simulations using cellular automata and geo-informatics: comparison between Almaty and Astana in Kazakhstan, Geocarto International Correction, 36 (5) (2021)
46. The population of Astana (Wikipedia) https://en.wikipedia.org/wiki/Astana?ysclid=mb0ot655y7809445182
47. World Bank Group, A new growth model for building a secure middle-class Kazakhstan Systematic Country Diagnostic Report No. 125611-KZ, 154 (2018) https://documents.vsemirnyjbank.org/ru/publication/documents-reports/documentdetail/801771549867544115
48. A. S. Kulmaganbetova, K. K. Abuov, N. Z. Akhmetova, Development of the Land Market in the Republic of Kazakhstan, European Research Studies Journal, 21 (4), 545-556 (2018)
49. The land code of the Republic of Kazakhstan (as amended and supplemented as of 10.01 (2022) 13 E3S Web of Conferences 386, 05013 (2023) GISCA 2022 and GI 2022 https://doi.org/10.1051/e3sconf/20233860501350

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА АГРОУРБАННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЦЕЛИНОГРАДСКОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГЕОДЕЗИИ

Гаухар Мусайф[1], Жанат З. Толеубекова[1] к.т.н., Асет А. Ахмадия[1]* Ph.D., Хуралай Молдамурат[2] к.т.н.

[1] Казахский Агротехнический Исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан; mussaif_gauhar@mail.ru , zh.toleubekova@kazatu.edu.kz , a.akhmadiya@kazatu.kz
[2] Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; moldamurat@yandex.kz (ХМ)
*Автор корреспондент: Асет А. Ахмадия, a.akhmadiya@kazatu.kz

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

дистанционное зондирование земли
землепользование
земная поверхность
геоинформационные методы
геодезия
изменения

АБСТРАКТ

Данное исследование посвящено пространственно-временной динамике землепользования и земной поверхности (ЗЗП) на агроурбанной территории (АУТ) Целиноградского района, который является частью мегаполиса Астана. Изменения земной поверхности (ЗЗП) в агроурбанной зоне анализировались за 15-летний период (2008, 2018 и 2023 годы) с использованием метода контролируемой классификации и на основе геодезических данных. В ходе исследования были зафиксированы существенные изменения в структуре землепользования и земной поверхности (ЗЗП). Площади застроенных территорий в границах города значительно увеличились. В агроурбанной зоне

По статье:
Получено: 22.05.2025
Пересмотрено: 29.09.2025
Принято: 29.09.2025
Опубликовано: 01.10.2025

наблюдается стабильный рост пахотных земель и лесных массивов, при этом пастбища уменьшаются. Это свидетельствует о интенсивном развитии землепользования в связи с увеличением доли пахотных земель в исследуемой зоне. Использование геодезических данных и геоинформационных методов позволило точно отслеживать границы и расположение земельных участков, что способствовало объективной оценке изменений землепользования в данной зоне. Основными факторами, вызывающими изменения землепользования и земной поверхности (ЗПЗ) в агроурбанной зоне, являются территориальное расширение города Астана и рост численности населения. В целом влияние столицы Казахстана на агроурбанную территорию происходит в условиях относительно устойчивого развития благодаря ряду экономических и законодательных мер. Использование геоинформационных методов и данных дистанционного зондирования является эффективным инструментом для оперативного выявления явлений и процессов, которые могут привести к неустойчивому развитию.

ANALYSIS OF LAND USE CHANGES IN THE AGRO-URBAN TERRITORY OF TSELINOGRAD DISTRICT BASED ON REMOTE SENSING AND GEODETIC DATA

Gaukhar Mussaif [1], Zhanat Toleubekova[1] Candidate of Techical Science, Asset Akhmadiya[1]* Ph.D., Khuralai Moldamurat[2] Candidate of Techical Science

[1] S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan; mussaif_gauhar@mail.ru , zh.toleubekova@kazatu.edu.kz , a.akhmadiya@kazatu.kz
[2] Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; moldamurat@yandex.kz
* Corresponding author: Asset Akhmadiya, a.akhmadiya@kazatu.kz

KEY WORDS

remote sensing
land use
land cover
geoinformation methods
geodesy
changes

About article:
Received: 22.05.2025
Revised: 29.09.2025
Accepted: 29.09.2025
Published: 01.10.2025

ABSTRACT

This study focuses on the spatio-temporal dynamics of land use and land cover (LULC) within the agro-urban territory (AUT) of the Tselinograd district, which forms part of the Astana metropolitan area. Changes in LULC within the agro-urban zone were analyzed over a 15-year period (2008, 2018, and 2023) using supervised classification methods and based on geodetic data. Significant changes in the structure of land use and land cover were observed during the study period. The areas of built-up land within the city boundaries have expanded significantly. In the agro-urban zone, a steady increase in arable land and forested areas was noted, while pasture lands have been declining. This indicates an intensification of land use driven by the increasing proportion of arable land in the studied area. The use of geodetic data and geoinformation methods allowed for precise monitoring of land parcel boundaries and locations, contributing to an accurate assessment of land use changes in the area. The main driving forces behind the LULC changes in the agro-urban zone are the territorial expansion of Astana and population growth. Overall, the impact of Kazakhstan's capital on the agro-urban territory is occurring under conditions of relatively sustainable development due to a number of economic and legislative measures. The application of geoinformation methods and remote sensing data is an effective tool for promptly identifying phenomena and processes that may lead to unsustainable development.

Баспагердің ескертпесі: барлық жарияланымдардағы мәлімдемелер, пікірлер мен деректер «Гидрометеорология и экология» журналына және/немесе редакторға(ларға) емес, тек авторға(ларға) тиесілі.

Гидрометеорология и экология

Научная статья

ОЦЕНКА УЩЕРБА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ РЕЗЕРВАТА «СЕМЕЙ-ОРМАНЫ» ПОСЛЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПОЖАРА 2023 ГОДА НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Назым Шогелова[1*], Сергей А. Сартин [2]

[1] Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры, Алматы, Казахстан; nazymshogelova@gmail.com (НШ)
[2] Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева; Петропавловсе, Казахстан; sasartin@ku.edu.kz (САС)
*Автор корреспондент: Назым Шогелова, nazymshogelova@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

дистанционное зондирование, лесные пожары, вегетационные индексы, восстановление экосистемы

АБСТРАКТ

Катастрофический природный пожар, произошедший 8 июня 2023 года в государственном лесном природном резервате «Семей-Орманы», охватил более 60 000 гектаров лесных и степных экосистем Абайской области, вызвав беспрецедентные разрушения. Целью настоящего исследования является оценка ущерба и мониторинг восстановления экосистемы в течение года после пожара с использованием данных дистанционного зондирования Landsat и расчёта вегетационных индексов NDVI, NBR, dNBR и NDMI. Анализ временного ряда спутниковых снимков за май 2023...июль 2024 гг. позволил выделить зоны горения, определить тяжесть воздействия и отследить начальные этапы регенерации. Результаты показали резкое снижение NDVI и NBR, сопровождаемое устойчиво низкими значениями NDMI, указывающими на деградацию влагонакопительных свойств экосистемы. Несмотря на частичное восстановление травяного покрова, полное возвращение к допожарному состоянию потребует десятилетий, особенно в условиях климатической аридности региона. Полученные данные подчёркивают ценность интеграции ГИС- и ДЗЗ-технологий для оценки воздействия природных возмущений и могут быть использованы в системе экологического мониторинга и управления особо охраняемыми природными территориями.

По статье:
Получено: 16.07.2025
Пересмотрено:05.09.2025
Принято: 25.09.2025
Опубликовано:01.10.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема крупных природных пожаров в последние десятилетия приобрела глобальный характер. Спутниковые наблюдения фиксируют рост частоты и интенсивности лесных пожаров во всём мире, что обусловливает острую необходимость эффективных методов мониторинга и оценки их последствий [1]. Ежегодно в разных регионах планеты выгорают миллионы гектаров лесов, сопровождаясь значительным ущербом для экосистем и окружающей среды [2]. Изменение климата и человеческий фактор приводят к учащению экстремальных пожаров, вызывающих деградацию растительного покрова, утрату биоразнообразия и выбросы углерода в атмосферу [3]. Такие пожары оказывают долгосрочное воздействие на биогеохимические процессы – например, происходит массовая потеря биомассы и высвобождение углерода, что вносит вклад в изменение локального и глобального климата [3].

Одно из самых масштабных возгораний последних лет произошло в Казахстане: природный пожар 8 июня 2023 года в государственном лесном природном резервате (ГЛПР) «Семей-Орманы» стал крупнейшим лесным пожаром в истории страны и одним из крупнейших в мире за указанный период [5]. За считанные дни огонь охватил свыше

60 000 га сосновых лесов и степных угодий. Трагедия унесла жизни 14 работников лесной охраны, что привлекло внимание к проблемам обеспечения пожарной безопасности лесов. Пожар вызвал резкую деградацию уникальной экосистемы ленточных боров Прииртышья, сопровождающуюся опустошением растительного покрова, гибелью фауны и разрушением почвенного слоя. Подобные крупные возгорания приводят к радикальным изменениям в экосистемах: нарушаются биогеохимические циклы (углерода, азота и др.), ухудшается качество почв, повышается эрозия и изменяется гидрологический режим территории.

Для цитирования:
Шогелова Н., Сартин С. Оценка ущерба и восстановление экосистемы резервата «Семей-Орманы» после катастрофического пожара 2023 года на основе дистанционного зондирования // Гидрометеорология и экология, 118 (3), 2025, 141-151.

Оценка ущерба от таких катастрофических пожаров и мониторинг восстановления экосистем имеют важное научное и практическое значение. В ситуациях, когда наземные обследования затруднены из-за масштабов и опасности территории, на передний план выходит применение методов дистанционного зондирования Земли. Современные спутниковые средства наблюдения позволяют оперативно и точно картографировать зоны горения и степень ущерба, дополняя и расширяя возможности традиционных наземных обследований [6]. Особенно критично это для особо охраняемых природных территорий (таких как резерваты и национальные парки), где своевременная объективная оценка последствий пожара необходима для принятия мер по восстановлению и сохранению биоразнообразия. Анализ спутниковых снимков признан ценным инструментом для определения периметра пожара, выделения границ выгоревших участков и оценки градаций тяжести горения; такая информация облегчает процесс планирования восстановительных работ и позволяет оценить воздействие пожара на последующее состояние растительности [7].

Цель исследования – оценить ущерб экосистеме ГЛПР «Семей-Орманы» в результате пожара 8 июня 2023 года с использованием данных дистанционного зондирования Земли и методов геоинформационного анализа. Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

(1) с помощью спутниковых снимков Landsat до и после пожара определить площадь и границы выгоревших территорий;

(2) количественно оценить степень повреждения растительного покрова на основе спектральных индексов, характеризующих пожар (Normalized Burn Ratio, NBR и его дифференциальная версия dNBR) и состояние растительности (NDVI) и влаги (NDMI);

(3) проанализировать динамику восстановления экосистемы в течение года после пожара и спрогнозировать тенденции дальнейшей регенерации лесов.

Пожар в «Семей-Орманы» предоставляет уникальный кейс для исследования, поскольку он затронул обширный массив ленточного соснового бора в полузасушливой зоне. Эти леса уязвимы к огню из-за преобладания хвойных деревьев (сосна обыкновенная), не обладающих способностью к корневому прорастанию после пожара, и наличия плотного сухого травяного покрова. Анализ последствий данного пожара с использованием спутниковых данных позволит не только оценить текущий урон, но и сравнить скорость восстановления с аналогичными случаями в других регионах.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки последствий пожара использованы мультиспектральные космические снимки Landsat (спутники Landsat-8/9 OLI) с пространственным разрешением 30 м, полученные на указанные контрольные даты (весна 2023 – лето 2024 гг.). Предварительно снимки прошли радиометрическую и атмосферную коррекцию, что позволяет сопоставимо анализировать показатели отражательной способности поверхности до и после пожара. В качестве основного метода анализа выбран расчёт информативных спектральных индексов, широко применяемых в мониторинге последствий лесных пожаров [8]. Эти индексы чувствительны к изменениям в состоянии растительности и являются ключевыми для количественной оценки ущерба и последующего восстановления экосистемы на основе спутниковых данных.

В работе рассчитаны следующие индексы:

1) Normalized Burn Ratio (NBR) – нормированное отношение отражательной способности в ближнем инфракрасном (NIR) и коротковолновом инфракрасном диапазонах (SWIR2). Индекс NBR специально разработан для детектирования зон горения: здоровая растительность характеризуется высоким отражением в NIR и низким – в SWIR (благодаря содержанию влаги), тогда как в результате пожара наблюдается обратная картина (снижение отражения в NIR из-за потери зелёной массы и рост отражения в SWIR из-за оголения почвы, золы и сухих остатков) [9]. Таким образом, значения NBR резко уменьшаются на выгоревших участках, вплоть до отрицательных величин, что чётко указывает на потерю живой биомассы [10]. Индекс NBR рассчитывался для каждого снимка; высокие положительные значения NBR соответствуют плотному зеленому покрову, а низкие и отрицательные – обожжённой или оголённой поверхности.

2) Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) – дифференциальный NBR, определяемый как разность между значениями NBR до пожара и после пожара для каждого пикселя. Этот индекс широко используется как показатель тяжести (severity) пожара [11]. Предполагается, что чем сильнее снизился NBR в результате пожара, тем более интенсивное воздействие испытала экосистема [12]. В данной работе dNBR вычислен для пары снимков 6 мая...15 июня 2023 г., то есть для допожарного и сразу послепожарного состояния. По матрице dNBR выполнено пороговое зонирование территории по классам ущерба: низкая степень повреждения, умеренная, высокая и чрезвычайно высокая (практически полная деградация покрова). Пороговые значения выбирались на основе литературы и визуального анализа изображений (традиционно сильно выгоревшие территории соответствуют dNBR > 0.66...0.75, умеренно – порядка 0.3–0.5, низкая – <0.2, но границы могут корректироваться под конкретные данные). dNBR позволяет количественно оценить долю площади, пришедшейся на разные степени ущерба, и выделить наиболее пострадавшие участки для приоритетного восстановления.

3) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – нормированный дифференциальный индекс растительности, вычисляемый по отражению в ближнем ИК и красном диапазонах: NDVI = (NIR – Red) / (NIR + Red). NDVI – один из самых распространенных индикаторов, отражающих долю зелёной биомассы, состояние и продуктивность растительного покрова. Высокие значения NDVI (>0.5) соответствуют густой здоровой растительности, низкие (близкие к 0) – разреженной или поврежденной растительности, отрицательные – отсутствию зелёного покрова (оголенный грунт, гарь, вода). В контексте пожаров NDVI полезен для мониторинга восстановления, показывая возврат зеленой массы на выгоревших территориях по мере прорастания трав, кустарников и сеянцев деревьев. Известно, что NDVI может отражать ранние стадии восстановления за счёт чувствительности к травянистой растительности, даже если древостой ещё не восстановился [13]. В нашем анализе NDVI рассчитан для всех четырёх дат, что позволяет проследить динамику: падение NDVI непосредственно после пожара и его постепенный рост через 6 недель и год.

4) Normalized Difference Moisture Index (NDMI) – нормированный индекс влажности, рассчитываемый по отражению в ближнем инфракрасном (NIR) и среднем инфракрасном (SWIR1) диапазонах: NDMI = (NIR – SWIR1) / (NIR + SWIR1). NDMI характеризует содержание влаги в растительности и почве; он высок при наличии здоровой, увлажненной растительности и снижается при потере влаги. После пожара NDMI резко падает на выгоревших участках вследствие потери живой растительности и влаги, а также иссушения почвы. Данный индекс дополняет NDVI, позволяя оценить, насколько сильно снизилась влажность экосистемы и как она восстанавливается по мере зарастания территории. В послепожарном мониторинге NDMI, наряду с NDVI и NBR, считается информативным показателем для отслеживания регенерации лесов [14]. В работе NDMI также вычислен для всех дат и сопоставлен с динамикой NDVI.

Все расчёты индексов и последующая обработка данных выполнены в ГИС-среде (ArcGIS) с использованием инструментов анализа растров. На каждом этапе осуществлялась верификация результатов: визуальное сравнение цветокомпозитных изображений до/после пожара с картами индексов, наложение масок выгоревших участков на снимки и т. д. Выделенная по dNBR зона пожара и классы тяжести ущерба были проанализированы статистически (площадь каждого класса, процент от общей выгоревшей площади). Для оценки восстановления рассчитаны разности индексов NDVI и NDMI между допожарным состоянием и каждым последующим сроком (15.06.2023, 26.07.2023, 12.07.2024), а также темпы изменения этих индексов во времени. Дополнительно построены графики изменения средних значений NDVI, NDMI и NBR по выгоревшей территории на каждом этапе, что позволяет наглядно оценить тренд восстановления. На основе одного года наблюдений предпринята попытка прогноза дальнейшей динамики: экстраполяцией текущей скорости роста NDVI можно оценить, сколько времени потребуется для возвращения к допожарным значениям (спектральное восстановление). В перспективе планируется уточнить прогноз с использованием более длительного временного ряда и, возможно, привлечения данных за последующие годы. Литературные источники указывают, что полное восстановление NDVI и других спектральных индексов, отражающих продуктивность и биомассу, занимает от 8 до 20 лет в зависимости от типа растительности, интенсивности горения и климатических условий.

Bright et al. [15] исследовали восстановление NBR в западной Северной Америке после лесных пожаров. Через 5 лет восстановление составило 30...44 %, через 10 лет — 47...72 %, через 13 лет — 54...77 %. Полная регенерация NBR в зависимости от тяжести пожара заняла 9...16 лет, а в некоторых случаях даже более двух десятилетий. В обзоре [16] восстановления экосистем после пожаров в бореальных регионах подчёркивают необходимость десятилетнего периода мониторинга, причём временные ряды Landsat являются ключевым инструментом для оценки успеха восстановления. Применили спутниковые методы (включая SIF) в бореальных лесах Северо-Восточного Китая и показали, что биомасса и фотосинтетическая активность (через SIF) восстанавливаются в течение 6...10 лет, но полное восстановление занимает больше 20 лет [17].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Постпожарная динамика вегетационных и биофизических характеристик экосистемы была проанализирована на основе временных срезов спутниковых данных за четыре ключевых периода: допожарное состояние (6 мая 2023 г.), сразу после пожара (15 июня 2023 г.), в середине вегетационного сезона (26 июля 2023 г.) и спустя один год после пожара (12 июля 2024 г.). Для оценки состояния растительного покрова использовались три индекса: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NBR (Normalized Burn Ratio) и NDMI (Normalized Difference Moisture Index).

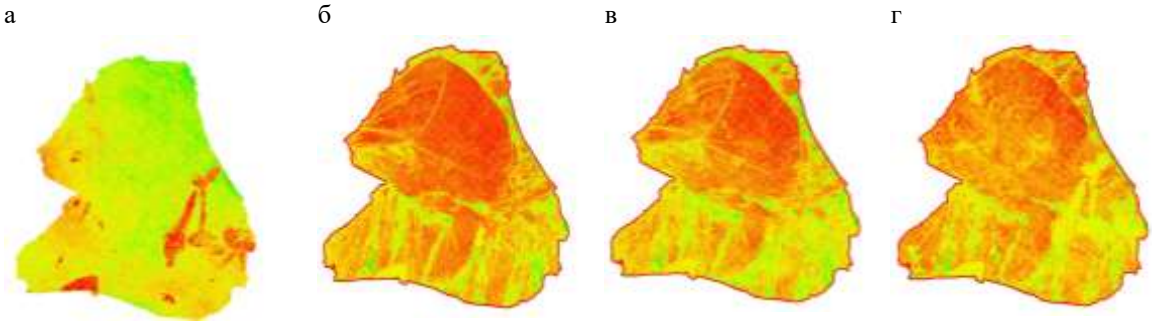


Рисунок 1. *Пространственное распределение NDVI: а) 05.06.2023 г., б) 15.06.2023 г., в) 26.07.2023 г., г) 12.07.2024 г.*

До пожара (рис.1, а) среднее значение NDVI по исследуемой территории составляло +0,04, что соответствует низкой плотности зеленой биомассы, типичной для раннего весеннего периода или разреженного полога. После воздействия огня (рис.1, б) NDVI резко снизился до –0.43, указывая на значительное разрушение вегетативного покрова и обугливание надземной биомассы. К 26.07.2023 (рис.1, в) наблюдается частичное восстановление травянистого яруса, выраженное в увеличении NDVI до –0.39. Спустя год после пожара (рис.1, г) среднее значение NDVI составило –0.25, что свидетельствует о продолжающемся, но медленном восстановлении растительности. Абсолютный прирост NDVI за первый постпожарный год составил 0.18 единицы, что эквивалентно восстановлению приблизительно 38% утраченного индекса.

Среднее значение индекса NBR до пожара составляло +0,08, отражая наличие умеренно развитой растительности с относительно высоким содержанием хлорофилла и влаги. После пожара индекс снизился до –0.34, что типично для сильно выгоревших участков. В последующем наблюдается незначительное улучшение: к июлю 2023 г. — до –0.25, и спустя год (июль 2024 г.) — до –0.28. Таким образом, изменение NBR за год практически отсутствует, что свидетельствует о крайне низком восстановлении древесного компонента экосистемы (рис.2).

а б в г

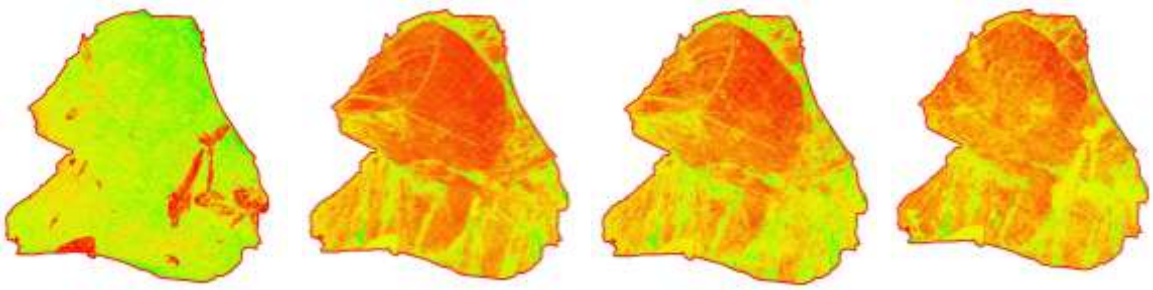


Рисунок 2. *Пространственное распределение NBR: а) 05.06.2023 г., б) 15.06.2023 г., в) 26.07.2023 г., г) 12.07.2024 г.*

На основе разности допожарного и послепожарного NBR был рассчитан индекс dNBR. Среднее значение dNBR составило +0.42, что соответствует классу «умеренно-низкой тяжести» по шкале классификации USGS. Однако пространственное распределение dNBR указывает на значительное варьирование по территории: свыше 30% площади отнесены к категории «высокой тяжести» (dNBR > 0,66), около 20% — к «умеренно-высокой тяжести» (0.44...0.66), и только 12...14% — к низкой или отсутствующей степени повреждения.

а б в г

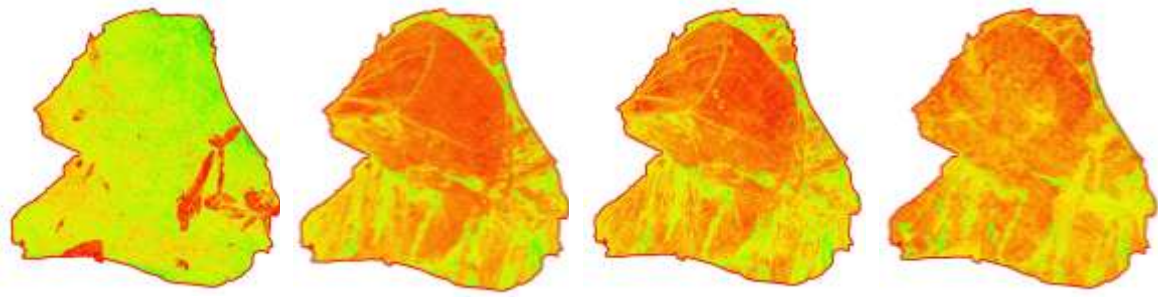


Рисунок 3. *Пространственное распределение NDMI а) 05.06.2023 г., б) 15.06.2023 г., в) 26.07.2023 г., г) 12.07.2024 г.*

Индекс NDMI (рис.3) до пожара составлял +0.02, что указывает на нейтральное состояние увлажнённости покрова. После прохождения огня NDMI снизился до –0.33, что отражает резкое снижение содержания влаги в биомассе и почве. В июле 2023 г. индекс оставался на уровне –0.31, и спустя год (июль 2024 г.) изменился незначительно — до –0.314. Таким образом, восстановление водного баланса в экосистеме не произошло. Стабильность отрицательных значений NDMI в течение года свидетельствует о длительном постпожарном дефиците влаги, что, вероятно, связано как с потерей растительного покрова, так и с климатической аридностью региона.

Темпы восстановления рассчитывались как доля от утраченного значения, возвращённая к определённому моменту времени. За первый год после пожара NDVI восстановился на 38%, тогда как NBR продемонстрировал лишь 14% восстановления, а NDMI практически остался неизменным. Это указывает на преимущественное восстановление травянистого и кустарникового яруса при отсутствии существенной регенерации древостоя и увлажненности.

Полученные результаты указывают на значительную деградацию экосистемы в результате катастрофического пожара 8 июня 2023 года. Резкое снижение значений всех трех вегетационных индексов подтверждает высокий уровень воздействия на биомассу и влагонакопительные свойства лесной подстилки и почвенного покрова. При этом восстановление индексов наблюдается преимущественно по показателю NDVI, тогда как NBR и NDMI демонстрируют устойчиво низкие значения на протяжении всего года наблюдений.

Ранее опубликованные исследования [18] показали, что восстановление NDVI после крупных пожаров в умеренных и бореальных зонах может занимать от 7 до 15 лет в зависимости от интенсивности пожара и климатических условий. В частности, Morresi и соавторы [8] указывают, что при сильной интенсивности горения NDVI восстанавливается до предшествующих уровней в течение 10...12 лет, а при умеренной — за 6...8 лет. В работе Ponomarev и соавторов [19], посвященной восстановлению таёжных лесов Сибири, также указано, что NDVI возвращается к фоновым значениям в среднем через 9 лет после пожара. Это согласуется с прогнозируемыми темпами восстановления в исследуемом районе, если принять годовой прирост NDVI за 0.18: полное восстановление может занять около 3.5...4 лет для травостоя и более 10 лет для древесного яруса.

На фоне частичного восстановления NDVI, устойчиво низкие значения NDMI свидетельствуют о глубоком нарушении водного баланса экосистемы. Как показано в работе Xu и соавторы [20], длительный дефицит влаги после пожаров может затруднять восстановление даже в регионах с умеренным климатом. Учитывая аридные особенности Восточного Казахстана, отсутствие роста NDMI за год подтверждает гипотезу о замедленной регенерации.

Сравнительный анализ dNBR также подтверждает высокую степень повреждения. По классификации USGS, среднее значение dNBR ~0.42 соответствует умеренно-низкой тяжести, однако пространственное распределение указывает на наличие очагов высокой тяжести (dNBR > 0.66). Это может быть связано с локальными условиями: плотностью древостоя, типом растительности и микроклиматом.

Представленный график (рисунок 4) наглядно иллюстрирует асинхронность восстановления различных компонентов экосистемы. NDVI растет быстрее за счёт вегетации нижнего яруса, тогда как NBR и NDMI остаются стабильными, что указывает на отсутствие полноценной структурной регенерации.

Прогноз, основанный на текущей динамике восстановления и анализе вегетационных индексов, позволяет предположить, что при благоприятных условиях — отсутствии повторных пожаров, реализации программ лесовосстановления и сохранении умеренного климатического режима — показатели NDVI и NDMI на основной части гаревой территории смогут достичь допожарных уровней в течение пяти лет, то есть к

2028 году. Это будет свидетельствовать о формировании устойчивого травяно-кустарникового покрова, обладающего определённой экологической стабильностью. Однако, учитывая низкую динамику восстановления индекса NBR и сохраняющиеся высокие значения dNBR, можно ожидать, что структурное восстановление древесного яруса (в т.ч. восстановление хвойных пород) потребует значительно большего времени — порядка 10...15 лет.

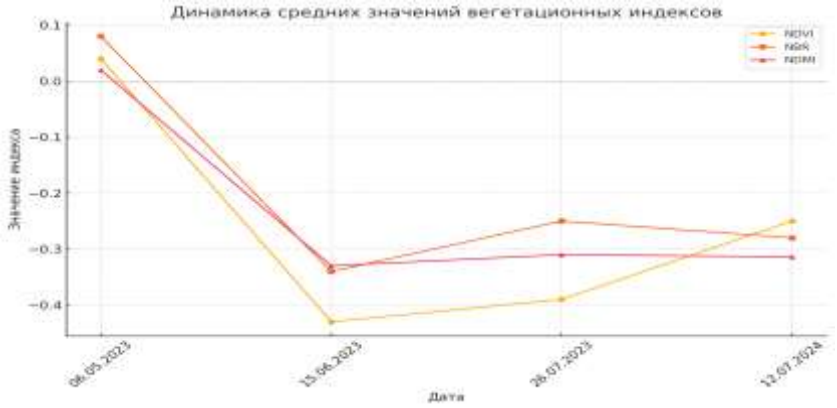


Рисунок 4. *Динамика средних значений вегетационных индексов*

Подобные временные оценки согласуются с международными наблюдениями. В частности, по данным исследований в средиземноморских сосновых экосистемах [8], спустя 10 лет после пожара значительная часть территории демонстрирует восстановление NDVI и NDMI, однако только 5...10% участков, подвергшихся интенсивному выгоранию (dNBR > 0.66), достигают стадии восстановления древесного полога. Это подчёркивает критическую зависимость восстановительных процессов от исходной интенсивности горения, типа растительности и постпожарного управления.

Учитывая климатическую специфику Абайсой области — в частности, преобладание резко континентального климата с низким уровнем осадков и высокой амплитудой температур — восстановление водного баланса после крупномасштабных пожаров может быть существенно затруднено. Среднегодовое количество осадков в регионе составляет около 250–350 мм, при этом большая их часть приходится на весенне-летний период, который в 2023 году был аномально сухим. Такие условия ограничивают влагозапас в почве и затрудняют формирование молодой растительности с высоким водоудержанием. Согласно результатам исследований в аридных и полуаридных зонах Центральной Азии и Западной Монголии [20, 21], NDMI может оставаться на стабильно низком уровне в течение нескольких лет после пожара даже при начавшемся восстановлении биомассы. Это связано как с ограниченным водоснабжением, так и с медленным развитием корневых систем у вновь появившихся травяных и кустарниковых видов, неспособных полноценно удерживать влагу. В условиях Абайской области NDMI служит чувствительным индикатором климатически лимитированного восстановления.

В контексте экосистемы «Семей-Орманы» ожидается, что спектральное восстановление (по NDVI/NDMI) будет происходить быстрее, чем физическое возобновление древостоя, и для полной регенерации леса потребуется как минимум одно-два десятилетия системного сопровождения и мониторинга.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Катастрофический лесной пожар в резервате «Семей-Орманы» 2023 года привёл к беспрецедентному разрушению экосистемы на площади десятков тысяч гектаров. Применение данных дистанционного зондирования (снимки Landsat, индексы NBR, dNBR, NDVI, NDMI) позволило оперативно и количественно оценить масштаб ущерба.

Выявлено, что большая часть выгоревшей территории испытала пожароразрушения высокой и экстремальной степени – спутниковый индекс dNBR указывает на практически полную потерю живого растительного покрова на около 70% площади гарей [3].

Проведённый анализ на основе спутниковых данных Landsat за период с мая 2023 года по июль 2024 года позволил количественно и качественно оценить последствия одного из крупнейших лесных пожаров в истории Казахстана, произошедшего на территории государственного природного резервата «Семей-Орманы». Использование вегетационных и биофизических индексов (NDVI, NBR, NDMI) позволило отразить как начальное состояние экосистемы, так и динамику её восстановления в течение первого года после катастрофы.

Результаты показали:

1) резкое снижение NDVI (с +0.04 до –0.43) и NBR (с +0.08 до –0.34) сразу после пожара, что свидетельствует об уничтожении надземной биомассы и разрушении полога;

2) минимальный прирост NDMI в течение года, указывающий на сохраняющийся водный дефицит и структурную деградацию экосистемы;

3) умеренно-низкую среднюю степень тяжести пожара по dNBR (+0.42), но с доминированием участков высокой тяжести (dNBR > 0.66), где восстановление практически не происходит.

В течение одного года наблюдается частичное восстановление NDVI за счёт травяной растительности, однако структурные компоненты лесной экосистемы (древостой, влажность почвогрунта) практически не восстановились. Такой дисбаланс в восстановлении подтверждает выводы международных исследований о необходимости многолетнего мониторинга и многоуровневого подхода к оценке последствий пожаров.

Полученные данные подчеркивают важность интеграции спутникового мониторинга с наземными обследованиями для комплексной оценки воздействия лесных пожаров и планирования восстановительных мероприятий. Методика, применённая в настоящем исследовании, может быть использована для регулярного мониторинга природных и антропогенных возмущений в особо охраняемых природных территориях Казахстана и сопредельных стран, находящихся в зоне климатических рисков.

Настоящее исследование внесло вклад в понимание последствий чрезвычайного пожара в ленточных борах на востоке Казахстана и продемонстрировало возможности современных технологий дистанционного зондирования в экосистемной оценке. Результаты работы могут быть полезны для аналогичных исследований в других регионах, а также для совершенствования стратегии управления природными пожарами. В дальнейшем планируется расширять временной ряд наблюдений (с привлечением данных за 2...5 лет после пожара), а также использовать данные более высокого пространственного разрешения (например, Sentinel-2) для детального анализа мозаичности восстановления. Дополнительной задачей является сопоставление спектральных индексов с полевыми данными – измерениями возобновления древесной растительности, почвенных характеристик – чтобы откалибровать модели прогнозирования. Тем не менее, уже сейчас ясно, что для полного возрождения экосистемы «Семей-Орманы» потребуются десятилетия, и успех этого процесса во многом зависит от усилий по восстановлению и будущего режима охраны территории. Полученный опыт подтверждает критическую важность дистанционного мониторинга пожаров и постпожарной динамики, позволяющего на научной основе оценивать экологические риски и разрабатывать меры адаптации и восстановления [22].

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация - САС; управление данными - НШ; формальный анализ - НШ; методология - НШ; программное обеспечение - НШ; отслеживание - САС; Визуализация - НШ; написание исходного проекта - НШ; написание и редактирование обзора - НШ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liu C-L, Wang Y-R and Liu W-Y (2025) Multi-index remote sensing for post-fire damage assessment: accuracy, carbon loss, and conservation implications. Front. For. Glob. Change. 8:1577612. doi: 10.3389/ffgc.2025.1577612
2. Shogelova, N. ., & Sartin, S. . (2023). Earth remote sensing application for forest fire size, burn state and fire recovery. Engineering Journal of Satbayev University, 145(3), 31–39. https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.05
3. Santos, S. M. B. d., Bento-Gonçalves, A., Franca-Rocha, W., & Baptista, G. (2020). Assessment of Burned Forest Area Severity and Postfire Regrowth in Chapada Diamantina National Park (Bahia, Brazil) Using dNBR and RdNBR Spectral Indices. Geosciences, 10(3), 106. https://doi.org/10.3390/geosciences10030106
4. Zhou, G., Eisenhauer, N., Du, Z., Lucas-Borja, M., Zhai, K., Berdugo, M., Duan, H., Wu, H., Liu, S., Revillini, D., Sáez-Sandino, T., Chai, H., Zhou, X., & Delgado-Baquerizo, M. (2025). Fire-driven disruptions of global soil biochemical relationships. *Nature Communications*, 16. https://doi.org/10.1038/s41467-025-56598-z.
5. Sentinel Asia. (2023, June 8). *Forest fire in Kazakhstan on 08 June, 2023*. Retrieved July 9, 2025, from https://sentinel-asia.org/EO/2023/article20230608KZ.html
6. N.Shogelova, & S. Sartin. (2021). Remote sensing in urban forestry: recent applications and future directions on the example of world experience. Journal of Geography and Environmental Management, 63(4), 4–14. https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v63.i4.01
7. Toleubekova Zh., Shogelova N., Shults R., Tatarincev L. Organization of forest fund use: from monitoring to sustainable forest model use // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2025. – T. 17. – № 1. – S. 266–281. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-266-281.
8. Morresi, D., Vitali, A., Urbinati, C., & Garbarino, M. (2019). Forest Spectral Recovery and Regeneration Dynamics in Stand-Replacing Wildfires of Central Apennines Derived from Landsat Time Series. Remote Sensing, 11(3), 308. https://doi.org/10.3390/rs11030308
9. Tienaho, N., Wittke, S., Yrttimaa, T., Kivimäki, A., Puttonen, E., Saarinen, N., & Vastaranta, M. (2025). Examining low-intensity surface fires in boreal forests using sentinel-2 time series and bitemporal terrestrial laser scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 40, 29 - 40. https://doi.org/10.1080/02827581.2025.2457469.
10. Siqueira, R., Moquedace, C., Silva, L., De Oliveira, M., De Barros Cruz, G., Francelino, M., Schaefer, C., & Fernandes-Filho, E. (2025). Do finer-resolution sensors better discriminate burnt areas? A case study with MODIS, Landsat-8 and Sentinel-2 spectral indices for the Pantanal 2020 wildfire detection. *International Journal of Remote Sensing*, 46, 3968 - 3991. https://doi.org/10.1080/01431161.2025.2496000.
11. Delcourt, C., Combee, A., Izbicki, B., Mack, M., Maximov, T., Petrov, R., Rogers, B., Scholten, R., Shestakova, T., Wees, D., & Veraverbeke, S. (2021). Evaluating the Differenced Normalized Burn Ratio for Assessing Fire Severity Using Sentinel-2 Imagery in Northeast Siberian Larch Forests. *Remote. Sens.*, 13, 2311. https://doi.org/10.5194/EGUSPHERE-EGU21-2518.
12. Rossetti, I., Calderisi, G., Cogoni, D., & Fenu, G. (2024). Post-Fire Vegetation (Non-)Recovery across the Edges of a Wildfire: An Unexplored Theme. *Fire*. https://doi.org/10.3390/fire7070250.
13. Alegria, C. (2022). Vegetation Monitoring and Post-Fire Recovery: A Case Study in the Centre Inland of Portugal. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su141912698.
14. Hao, B., Xu, X., Wu, F., & Tan, L. (2022). Long-Term Effects of Fire Severity and Climatic Factors on Post-Forest-Fire Vegetation Recovery. *Forests*. https://doi.org/10.3390/f13060883.
15. Bright, B.C., Hudak, A.T., Kennedy, R.E. et al. Examining post-fire vegetation recovery with Landsat time series analysis in three western North American forest types. fire ecol 15, 8 (2019). https://doi.org/10.1186/s42408-018-0021-9
16. Chu, T., & Guo, X. (2014). Remote Sensing Techniques in Monitoring Post-Fire Effects and Patterns of Forest Recovery in Boreal Forest Regions: A Review. Remote Sensing, 6(1), 470-520. https://doi.org/10.3390/rs6010470
17. Guo, M., Li, J., Yu, F., Yin, S., Huang, S., & Wen, L. (2021). Estimation of post-fire vegetation recovery in boreal forests using solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) data. International Journal of Wildland Fire, 30(5), 365–377. https://doi.org/10.1071/WF20162
18. Shogelova N., Sartin S., & Toleubekova Zh. (2025). Analysis of vegetation data from the quarters of the "Dalneye" forestry district. Journal of Geography and Environmental Management, 77(2). https://doi.org/10.26577/JGEM20257726
19. Ponomarev, E., Masyagina, O., Litvintsev, K., Ponomareva, T., Shvetsov, E., & Finnikov, K. (2020). The Effect of Post-Fire Disturbances on a Seasonally Thawed Layer in the Permafrost Larch Forests of Central Siberia. Forests. https://doi.org/10.3390/f11080790.
20. Xu, H., Chen, H., Chen, D., Wang, Y., Yue, X., He, B., Guo, L., Yuan, W., Zhong, Z., Huang, L., Zheng, F., Li, T., & He, X. (2024). Global patterns and drivers of post-fire vegetation productivity recovery. Nature Geoscience. https://doi.org/10.1038/s41561-024-01520-3.
21. Mohamed, A., & Kimura, R. (2014). Applying the Moisture Availability Index (NTDI) over Vegetated Land in Central Asia: Mongolian Steppe. Journal of Water Resource and Protection, 06, 1335-1343. https://doi.org/10.4236/JWARP.2014.614123.
22. Liu, Y., Wu, C., Jia, R., & Huang, J. (2018). An overview of the influence of atmospheric circulation on the climate in arid and semi-arid region of Central and East Asia. Science China Earth Sciences, 61, 1183-1194. https://doi.org/10.1007/s11430-017-9202-1.

REFERENCES

1. Liu C-L, Wang Y-R and Liu W-Y (2025) Multi-index remote sensing for post-fire damage assessment: accuracy, carbon loss, and conservation implications. Front. For. Glob. Change. 8:1577612. doi: 10.3389/ffgc.2025.1577612
2. Shogelova, N. ., & Sartin, S. . (2023). Earth remote sensing application for forest fire size, burn state and fire recovery. Engineering Journal of Satbayev University, 145(3), 31–39. https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.05
3. Santos, S. M. B. d., Bento-Gonçalves, A., Franca-Rocha, W., & Baptista, G. (2020). Assessment of Burned Forest Area Severity and Postfire Regrowth in Chapada Diamantina National Park (Bahia, Brazil) Using dNBR and RdNBR Spectral Indices. Geosciences, 10(3), 106. https://doi.org/10.3390/geosciences10030106

4. Zhou, G., Eisenhauer, N., Du, Z., Lucas-Borja, M., Zhai, K., Berdugo, M., Duan, H., Wu, H., Liu, S., Revillini, D., Sáez-Sandino, T., Chai, H., Zhou, X., & Delgado-Baquerizo, M. (2025). Fire-driven disruptions of global soil biochemical relationships. *Nature Communications*, 16. https://doi.org/10.1038/s41467-025-56598-z.
5. Sentinel Asia. (2023, June 8). *Forest fire in Kazakhstan on 08 June, 2023*. Retrieved July 9, 2025, from https://sentinel-asia.org/EO/2023/article20230608KZ.html
6. N.Shogelova, & S. Sartin. (2021). Remote sensing in urban forestry: recent applications and future directions on the example of world experience. Journal of Geography and Environmental Management, 63(4), 4–14. https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v63.i4.01
7. Toleubekova Zh., Shogelova N., Shults R., Tatarincev L. Organization of forest fund use: from monitoring to sustainable forest model use // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2025. – Т. 17. – № 1. – S. 266–281. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-266-281.
8. Morresi, D., Vitali, A., Urbinati, C., & Garbarino, M. (2019). Forest Spectral Recovery and Regeneration Dynamics in Stand-Replacing Wildfires of Central Apennines Derived from Landsat Time Series. Remote Sensing, 11(3), 308. https://doi.org/10.3390/rs11030308
9. Tienaho, N., Wittke, S., Yrttimaa, T., Kivimäki, A., Puttonen, E., Saarinen, N., & Vastaranta, M. (2025). Examining low-intensity surface fires in boreal forests using sentinel-2 time series and bitemporal terrestrial laser scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 40, 29 - 40. https://doi.org/10.1080/02827581.2025.2457469.
10. Siqueira, R., Moquedace, C., Silva, L., De Oliveira, M., De Barros Cruz, G., Francelino, M., Schaefer, C., & Fernandes-Filho, E. (2025). Do finer-resolution sensors better discriminate burnt areas? A case study with MODIS, Landsat-8 and Sentinel-2 spectral indices for the Pantanal 2020 wildfire detection. *International Journal of Remote Sensing*, 46, 3968 - 3991. https://doi.org/10.1080/01431161.2025.2496000.
11. Delcourt, C., Combee, A., Izbicki, B., Mack, M., Maximov, T., Petrov, R., Rogers, B., Scholten, R., Shestakova, T., Wees, D., & Veraverbeke, S. (2021). Evaluating the Differenced Normalized Burn Ratio for Assessing Fire Severity Using Sentinel-2 Imagery in Northeast Siberian Larch Forests. *Remote. Sens.*, 13, 2311. https://doi.org/10.5194/EGUSPHERE-EGU21-2518.
12. Rossetti, I., Calderisi, G., Cogoni, D., & Fenu, G. (2024). Post-Fire Vegetation (Non-)Recovery across the Edges of a Wildfire: An Unexplored Theme. *Fire*. https://doi.org/10.3390/fire7070250.
13. Alegria, C. (2022). Vegetation Monitoring and Post-Fire Recovery: A Case Study in the Centre Inland of Portugal. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su141912698.
14. Hao, B., Xu, X., Wu, F., & Tan, L. (2022). Long-Term Effects of Fire Severity and Climatic Factors on Post-Forest-Fire Vegetation Recovery. *Forests*. https://doi.org/10.3390/f13060883.
15. Bright, B.C., Hudak, A.T., Kennedy, R.E. et al. Examining post-fire vegetation recovery with Landsat time series analysis in three western North American forest types. fire ecol 15, 8 (2019). https://doi.org/10.1186/s42408-018-0021-9
16. Chu, T., & Guo, X. (2014). Remote Sensing Techniques in Monitoring Post-Fire Effects and Patterns of Forest Recovery in Boreal Forest Regions: A Review. Remote Sensing, 6(1), 470-520. https://doi.org/10.3390/rs6010470
17. Guo, M., Li, J., Yu, F., Yin, S., Huang, S., & Wen, L. (2021). Estimation of post-fire vegetation recovery in boreal forests using solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) data. International Journal of Wildland Fire, 30(5), 365–377. https://doi.org/10.1071/WF20162
18. Shogelova N., Sartin S., & Toleubekova Zh. (2025). Analysis of vegetation data from the quarters of the "Dalneye" forestry district. Journal of Geography and Environmental Management, 77(2). https://doi.org/10.26577/JGEM20257726
19. Ponomarev, E., Masyagina, O., Litvintsev, K., Ponomareva, T., Shvetsov, E., & Finnikov, K. (2020). The Effect of Post-Fire Disturbances on a Seasonally Thawed Layer in the Permafrost Larch Forests of Central Siberia. Forests. https://doi.org/10.3390/f11080790.
20. Xu, H., Chen, H., Chen, D., Wang, Y., Yue, X., He, B., Guo, L., Yuan, W., Zhong, Z., Huang, L., Zheng, F., Li, T., & He, X. (2024). Global patterns and drivers of post-fire vegetation productivity recovery. Nature Geoscience. https://doi.org/10.1038/s41561-024-01520-3.
21. Mohamed, A., & Kimura, R. (2014). Applying the Moisture Availability Index (NTDI) over Vegetated Land in Central Asia: Mongolian Steppe. Journal of Water Resource and Protection, 06, 1335-1343. https://doi.org/10.4236/JWARP.2014.614123.
22. Liu, Y., Wu, C., Jia, R., & Huang, J. (2018). An overview of the influence of atmospheric circulation on the climate in arid and semi-arid region of Central and East Asia. Science China Earth Sciences, 61, 1183-1194. https://doi.org/10.1007/s11430-017-9202-1.

2023 ЖЫЛҒЫ АПАТТЫ ӨРТТЕН КЕЙІН «СЕМЕЙ-ОРМАНЫ» РЕЗЕРВАТЫ ЭКОЖҮЙЕСІНЕ КЕЛТІРІЛГЕН ЗИЯНДЫ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУДІ ДИСТАНЦИЯЛЫҚ ЗОНДТАУ ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ

Назым Шогелова[1*], Сергей А. Сартин[2]

[1] Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми-зерттеу және жобалау институты, Алматы, Қазақстан; nazymshogelova@gmail.com
[2] М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавловск, Қазақстан; sasartin@ku.edu.kz
*Автор корреспондент: Назым Шогелова, nazymshogelova@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

АБСТРАКТ

қашықтықтан зондтау,
орман өрттері,
вегетациялық индекстер,
экожүйені қалпына келтіру

2023 жылғы 8 маусымда «Семей-Орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты аумағында болған апаттық табиғи өрт Абай облысындағы 60 000 гектардан астам орман және дала экожүйелерін қамтып, бұрын-соңды болмаған залал келтірді. Осы зерттеудің мақсаты – Landsat спутниктік деректері мен NDVI, NBR, dNBR және NDMI вегетациялық индекстерінің көмегімен өрттен кейінгі бір жыл ішінде экожүйеге келген зиянды бағалау және қалпына келу үдерісін бақылау. 2023 жылғы мамырдан 2024 жылғы шілдеге дейінгі спутниктік кескіндердің уақыттық қатарын талдау арқылы жану аймақтары анықталып, әсер ету ауырлығы бағаланып және қайта қалпына келудің бастапқы кезеңдері анықталды. Нәтижелер NDVI және NBR индекстерінің күрт төмендегенін, ал NDMI мәндерінің бірқалыпты төмен деңгейде қалғанын көрсетті, бұл экожүйенің ылғалды жинау қабілетінің нашарлағанын білдіреді. Шөптесін жамылғының ішінара қалпына келгеніне қарамастан, толық қалпына келу үшін, әсіресе аймақтың құрғақ климаттық жағдайларын ескере отырып, бірнеше онжылдық қажет болады. Алынған деректер табиғи өзгерістердің әсерін бағалау үшін ГАЖ және қашықтықтан зондтау технологияларын біріктірудің маңыздылығын көрсетеді және оларды ерекше қорғалатын табиғи аумақтарды экологиялық мониторингтеу мен басқару жүйесінде қолдануға болады.

Мақала жайында:
Жіберілді: 16.07.2025
Қайта қаралды: 05.09.2025
Қабылданды: 25.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

ASSESSMENT OF ECOSYSTEM DAMAGE AND RECOVERY IN THE «SEMEY-ORMANY» RESERVE AFTER THE CATASTROPHIC 2023 WILDFIRE BASED ON REMOTE SENSING DATA

Nazym Shogelova[1]*, Sergey Sartin[2]

[1]Kazakh Research and Design Institute of Construction and Architecture, Almaty, Kazakhstan; nazymshogelova@gmail.com
[2]North Kazakhstan University named after Manash Kozybayev, Petropavlovsk, Kazakhstan; sasartin@ku.edu.kz
*Corresponding author: Nazym Shogelova, nazymshogelova@gmail.com

KEY WORDS

remote sensing,
wildfires,
vegetation indices,
ecosystem recovery

ABSTRACT

The catastrophic wildfire that occurred on June 8, 2023, in the State Forest Nature Reserve «Semey-Ormany» affected over 60,000 hectares of forest and steppe ecosystems in the Abai Region, causing unprecedented destruction. The aim of this study is to assess the damage and monitor the ecosystem's recovery during the year following the fire using Landsat remote sensing data and the calculation of vegetation indices such as NDVI, NBR, dNBR, and NDMI. The analysis of the time series of satellite imagery from May 2023 to July 2024 allowed for the identification of burn areas, assessment of fire severity, and observation of the initial stages of regeneration. The results revealed a sharp decline in NDVI and NBR values, accompanied by persistently low NDMI values, indicating degradation of the ecosystem's moisture retention capacity. Despite partial recovery of the herbaceous cover, a full return to pre-fire conditions will require decades, especially under the region's arid climatic conditions. The findings emphasize the value of integrating GIS and remote sensing technologies for assessing the impacts of natural disturbances and highlight their applicability in ecological monitoring and management systems of protected natural areas.

About article:
Received: 16.07.2025
Revised: 05.09.2025
Accepted: 25.09.2025
Published: 01.10.2025

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).

Гидрометеорология и экология

Шолу

ӘМУДАРИЯ ӨЗЕНІ АЛАБЫНЫҢ ЖЕР БЕТІ СУ РЕСУРСТАРЫ

Айсұлу А. Турсунова г.ғ.к, қауымдастырылған профессор, Гаухар Р.Баспакова* PhD,
Қайрат М.Кулебаев, Гүлсайра Исақан, Ляззат М.Биримбаева

«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; ais.tursun@bk.ru (ААТ); sharafedenova@mail.ru (ГРБ)
kairat.kulebayev@mail.ru (КМК); caira_t1412@mail.ru (ГИ); birimbayeva_l@mail.ru (ЛМБ)
Автор корреспондент: Гаухар Р. Баспакова, sharafedenova@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР:

өзен,
гидрологиялық зерттелгендігі,
су ресурстары,
орташа көпжылдық ағынды,
су қоймалары

АБСТРАКТ

Әмудария – Орталық Азиядағы ең үлкен өзендердің бірі болып табылады. Әкімшілік жағынан Әмудария өзенінің алабы Түркіменстанның бүкіл аумағын және Тәжікстан мен Өзбекстан Республикалары, Қырғыз Республикасы және Ауғанстан территориясының бір бөлігін алып жатыр. Мақалада өзен алабының гидрологиялық зерттелгендігі қарастырылды және әртүрлі дереккөздер бойынша табиғи жаңғырмалы су ресурстарына бағалауына талдау жасалынды. Әмудария алабындағы өзендердегі су деңгейі мен су өтімін бақылау 1886 жылы басталды. Алапта барлығы 1886...1978 жылдар аралығында 439 бекет жұмыс істеді, олардың бақылау кезеңі 1 жылдан 137 жылға дейін. Әмудария өзенінің су ресурстары өзен алабында орналасқан мемлекеттер дамуының негізі болып табылады. Орталық Азия мемлекеттерінде өзен алабының су ресуртарын ауылшаруашылығы мен гидроэнергетикада пайдаланады. Орталық Азия елдері үшін су алу лимитінің хаттамалары және трансшекаралық өзенді Ауғанстан мемлекетімен бірлесіп пайдалану мәселелерінің негізгі аспектілері қарастырылды.

1. КІРІСПЕ

Әмудария өзені Орталық Азиядағы ең су мол өзеннің бірі болып табылады, оның атауы ерте заманна қазіргі уақытқа дейін бірнеше рет ауысты - Орталық Азияның ежелгі халықтары оны Вахш, гректер - Оксус, арабтар – Джейхун, Марко поло кезеңінде Ион деген атауы кең таралды. XIV...XV ғасырларда Әмуария атауы жергілікті халықпен енгізілді, Амуль сөзі – қазіргі Түркменабад қаласының атауы, дария – үлкен өзен – иран-түрік сөзі және көне этнонимы амарад сөзінен шыққан. XV ғасырдан кейін парсының дария сөзі Орталық Азияда кең таралды [1].

Әмудария өзені гидрологичлық зерттелгендігі мен оның өзен ағындысының өзгерістерін бағалау бойынша тәжірибелік зерттеулер XX ғасырдың екінші жартысында басталды, соның ішінде өзен ағындысын бағалауда елеулі үлес қосқан зерттеушілер – Л.К. Давыдов, В.Е. Чуб, Ю.Н. Иванов, Ф.Е. Рубинова, Е. НК. Курбанбаев, И.Б. Рузиев, А.Р. Расулов, Ф.Х.Хикматов, И.А. Шикломанов, М.Р. Икрамова, А.М. Фатхуллоев, Ф.А. Гаппаров, В.А. Духовный, Д. Хамрокулов және т.б. Аталған және басқа де зерттеушілер су саласы бағытында бірқатар жетістіктерге жетті, бірақ Әмудария өзені 5 мемлекеттің аумағы бойынша өтетін трансшекаралық өзен болғандықтан, оның гидрологиялық режимін және жаңғырмалы су ресурстарын бағалау толық зерттелмеген, сондықтан осы зерттеулерді жүргізу үшін гидрологиялық зерттелгендігі және су өтімдері туралы ақпарат толық болғаны қажеттіліг туындайды [2...7].

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Әмудария – Орталық Азиядағы ең үлкен өзен. Оның Пянж өзенінің бастауларынан Арал теңізіне дейінгі жалпы ұзындығы 2540 км, ал Вахш өзеніне құяр тұсынан есептегендегі ұзындығы – 1415 км. Өзен Әмудария атауын Пяндж мен Вахш өзендерінің қосылуынан кейін алады. Орта ағысында Әмударияға үш үлкен оң сала (Кафирниган,

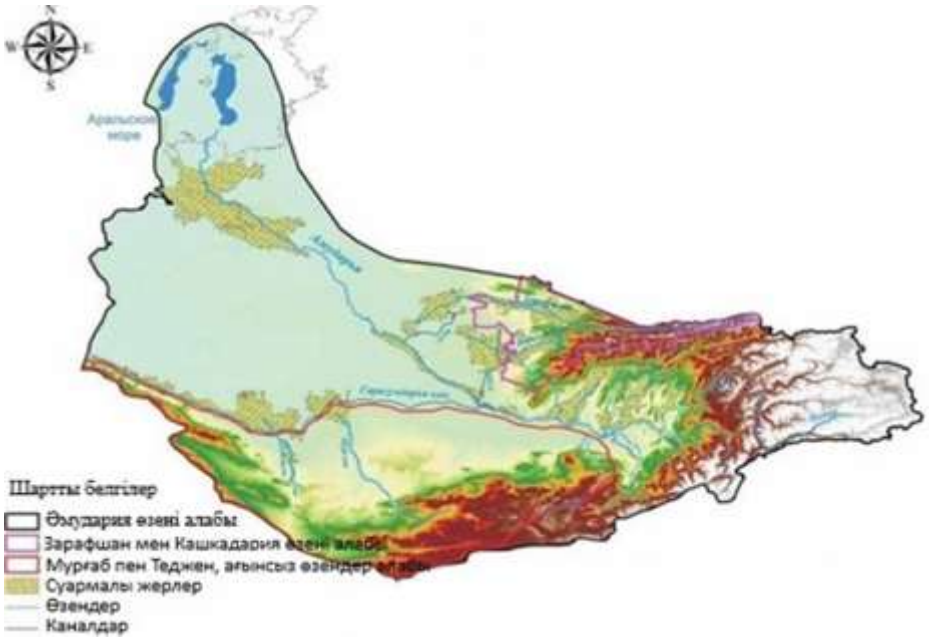
Мақала жайында:
Жіберілді: 5.09.2024
Қайта қаралды: 22.08.2025
Қабылданды: 25.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

Дәйексөз үшін:
Турсунова А., Баспакова Г., Кулебаев К., Исақан Г., Биримбаева Л. Әмудария өзені алабының жер беті су ресурстары // Гидрометеорология и экология, 118 (3), 2025, 152-165.

Сурхандария және Шерабад) және бір сол жақ саласы (Құндыз) құяды. Одан кейін Арал теңізіне қарай бірде-бір өзен ағындысын қабылдамайды [7] (1 сурет).

Әмудария өзені алабы бүкіл Арал теңізі алабының әлеуметтік-экономикалық мәселелерін шешуде өте маңызды орын алады, себебі ол аймақтың су ресурстарының шамамен 60 % және гидроэнергетикалық ресурстарының 70 % құрайды

Таулы бөлігінің ауданы 255 100 км^2. Жалпы өзен ағындысының көлемі 60 %-ы Пяндж өзеніне, ал Вахштың үлесіне 40 %-ға жуығы келеді.



Сурет 1. *Әмудария өзені алабының гидрографиялық шекаралары* [7...8]

Ғылыми мақаланы жазудың әдіснамалық негізі мазмұнды талдау және тиісті зерттеулерді іздеу әдістеріне негізделді:

- тиісті зерттеулерді іздеу – ғылыми дерекқорлардағы ақпараттарды іздеу кезінде қолданылды;
- мазмұнды талдау әдісі – әдебиеттерге шолу жасау кезінде, соның ішінде халықаралық рецензияланатын журналдары, интернет-ресурстары, ұлттық бағдарламалар, су ресурстарын кешенді пайдаланудың бас сызбалары, мемлекеттік су кадастрларында талдау кезінде пайдаланылды.

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Әмудария алабы бес сипаттамалық бөліктен тұрады:

1) Пяндж өзенінің алабы, ол өз кезегінде гидрологиялық жағынан екі түрлі аймаққа бөлінеді: салыстырмалы суы молшылығымен ерекшеленетін Памир және алаптың суы өте аз Оңтүстік Ауған бөлігі [9...10];

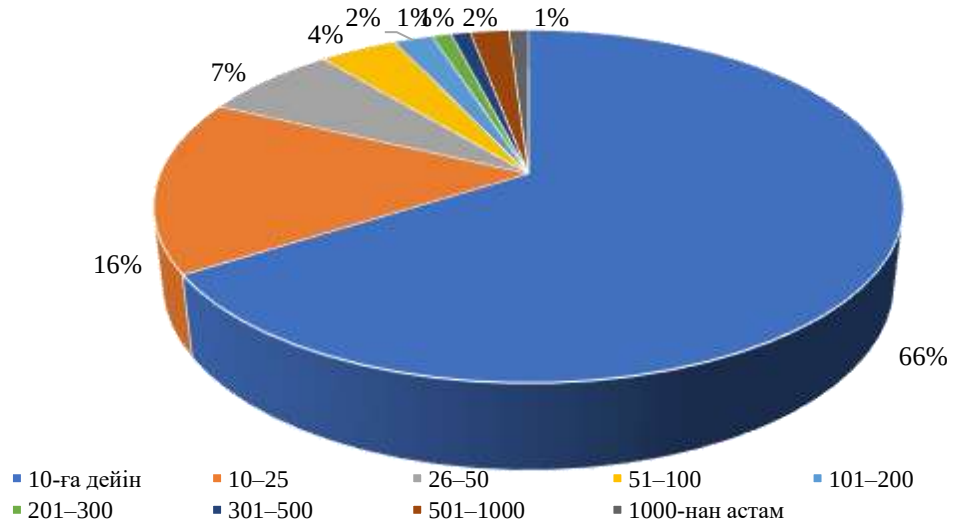
2) Вахш өзенінің алабы;

3) Гиссар жотасының оңтүстік беткейлер мен оның жоталарынан (Кафирниган, Сурхандария, Шерабад) ағып жатқан өзендер алаптары;

4) Қашқадария және Зеравшан өзендерінің алаптары;

5) алаптың жазық бөлігі (шартты түрде оның жоғарғы шекарасы Әмудария өзеніндегі Керки бекеті қабылданды).

Қарастырылып отырған аумақта Әмудария алабы бойынша жалпы ұзындығы 116 370 км болатын 40 999 су ағыны бар өзен желісінің негізгі үлесі ең кіші өзендерге (ұзындығы 10 км-ден аз) тиесілі, олардың саны жалпы көлемнің 96 % және барлық су ағындарының жалпы ұзындығының 66 % құрайды (2 сурет) [11].



Сурет 2. *Әмудария алабындағы өзендер ұзындығының градациясы (км) бойынша су ағындарының саны*

Аумақтың гидрологиялық зерттелгендігі

Әмудария алабының өзен ағындысының алғашқы гидрологиялық зерттеулерін 1873 жылы Столетовтың Амудария экспедициясы бастаған [12]. Сол кезде өзен бойында алғаш рет су өлшейтін бекеттер жабдықталды, соның ішінде Нукус, Турткуль және Питняк қалалары жанында [13] және Әмудария Нукус қаласы тұсындағы 1874...1876 жж. су өтімі есептелінді.

Әмудария өзенін кең гидрологиялық зерттеуді А.И. Глуховский экспедициясы жүргізді, өзеннің шамамен су теңдестігін Чуямюннан сағасына дейін жасады [14].

1886 жылы Чарджоу қаласында су өлшейтін бекет орнатылды және су өтімін және арнаны жүйелі түрде өлшеу жұмыстары басталды. 1910 жылы Орта Азияда жерді жақсарту бөлімінің гидрометриялық бөлігі ұйымдастырылып, Әмударияөзенінде бірқатар бекеттер ашылды, деңгейлік бақылау деректері гидрометриялық бөлімнің есептерінде және бюллетеньдерде жарияланды [15].

Азаматтық соғысқа байланысты 1917 жылғы төңкерістен кейін гидрометриялық жұмыстардың көлемі едәуір қысқарды және 1922...1923 жылдары бір Чарджоу бекеті ғана жұмыс істеді. 1924 жылдан бастап деңгейлік және су өтімін өлшеу бекеттер желісі қайта жандана бастады және өсе бастады, ал 1959 жылы өзенде 30 деңгейлік бекет жұмыс істеді, олардың 12-сінде су өтіміне, ал 11-нде шөгінділер ағындысына өлшеулер жүргізілді.

1971 жылы «КСРО жер беті суларының ресурстары» КСРО су кадастрының материалдары аясында «Орта Азия. Амударияалабы» томы шықты, онда 1966 жылға дейінгі жер беті суларының режимін бақылаудың ең толық деректері және оларды ғылыми жалпылаулары бар [12]. Бұл жұмыста келтірілген өзен ағындысы бақылаулардың ең ұзын қатарлары 1914 жылы басталады (Зеравшан өз. - Дупули көпірі, Магияндария өз. - Су джина кишлагы).

Әмударияалабындағы өзендердегі су деңгейі мен су өтімін бақылау 1886 жылы басталды. Алапта барлығы 439 бекет жұмыс істеді, олардың бақылау кезеңі 1 жылдан 137 жылға дейін. 3-суретте 1886...1978 жылдары жұмыс істеген гидрологиялық бекеттер саны туралы мәліметтер келтірілген. Осы мәліметтерден көрініп тұрғандай, 1940 жылдары қарастырылып отырған алапта 260-қа жуық бақылау бекеті жұмыс істеді. Ұлы Отан соғысы жылдарында гидрометриялық желі айтарлықтай қысқарды, бірақ 1950 жылдары олар қалпына келтіріліп, алапта 316 бекет жұмыс істеді. Бақылау бекеттердің максималды саны (388) 1980 жылдардың бірінші жартысына сәйкес келді [11...12, 16...18].

Бақылау ұзақтығы 30 жылдан аз бақылау бекеттер саны шамамен 40 % құрайды, ал бақылау ұзақтығы 50 жылдан астам олардың жалпы санының шамамен 31 % құрайды. Он жеті бекеттің бақылау ұзақтығы 120 жылдан асады (3 сурет) [11...12, 16...18]. Су жинау алабының ауданының көлемі бойынша гидрологниялық бекеттердің таралуы 1 кестеде келтірілген [11...12, 16...18].



Сурет 3. *Әр түрлі бақылау кезеңдері бар гидрологиялық бекеттердің саны*

Кесте 1

Әмудария алабындағы су жинау алаптарының көлемі бойынша гидрологиялық бекеттерді бөлу

Сипаттама	Су жинау алабының ауданы, км2							Барлығы
	<10	11...100	101...200	201...500	501...1000	1001...20000	>200000	
Бекет саны	1	56	29	35	29	117	44	311
%	0,3	18	9	11	9	38	14	100

XX ғасырдың 90-жылдардың басында су өлшейтін бекеттер желісі күрт қысқарды. Гидрологиялық сипаттамалардың көпжылдық қатарларында барлық дерлік гидробекеттерде 1990...2000 жылдар аралығында мәліметтер толық емес [19]. Тәжікстандағы гидрометеорологиялық бақылау бекеттер желісінің жағдайы туралы келесі мәліметтер келтірілген. 1985 жылға дейін гидрологиялық өлшеулер 11 станция мен 138 бекетте жүргізілді. 1985 жылдан кейін су бекеттерінің саны күрт азайып, оларда жұмыстар көлемі азайды: су өтімін өлшейтін бекеттер саны екі есеге жуық қысқарды, XXI ғасырдың басында 53 бекеттің су деңгейінің өздігінен жазғыштардың тек 4-еуі ғана жұмыс істеді. Ұзақ уақыт бойы ұзындығы 10...25 км болатын шағын өзендерде бақылау жүргізілмеген. Гидрологиялық жылнамалар шығарылуы тоқтады. 2000 жылдан кейін жағдай жақсара бастады, жылнамалар қайта шығарылды, алдыңғы жылдардағы бақылау деректері жарияланды, бірақ бұл деректерге қол жеткізу қиын.

1987 жылы аймақтық деңгейде су ресурстарын басқарудың алаптық принциптеріне көшу мақсатында КСРО Су шаруашылығы Министрлігіне бағынатын «Әмудария» алаптық сушаруашылық бірлестік (АСБ) құрылды. Орталық Азия мемлекеттері тәуелсіздік алғаннан кейін Әмудария мен Сырдария өзендері алаптарындағы трансшекаралық су ресурстарын басқаруда тұтастықты сақтау мақсатында бес Орталық Азия мемлекеттері арасында 1992 жылы 18 ақпанда Алматы қаласында қол қойылған «Мемлекетаралық су көздеріндегі су ресурстарын бірлесіп басқару саласындағы ынтымақтастық туралы келісімге» және осы келісімді растайтын мемлекеттер басшыларының 1993 жыл 23 наурыздағы шешіміне сәйкес Суды үйлестіру жөніндегі мамлекетаралық сушаруашылық комиссиясы құрылды (СҮМСК). СҮМСК Арал теңізі алабындағы мемлекетаралық көздердің су ресурстарын басқару, ұтымды пайдалану және қорғау мәселелерін бірлесіп шешуге арналған Халықаралық Аралды құтқару қорының аймақтық ұйымы, ал АСБ Суды үйлестіру жөніндегі мамлекетаралық сушаруашылық комиссиясының атқарушы ұйымы болып табылады.

Қазіргі уақытта алаптың үш мемлекеті аумағында (Тәжікстан, Өзбекстан, Түркіменстан) Әмудария Алаптық сушаруашылық бірлестік қарамағында су өтімін

өлшейтін 169 бекеттер, сонымен қатар 88 гидротехникалық құрылымдар, 341 км мемлекетаралық каналдар жұмыс істейді [20].

Қазір Орталық Азияның су ресурстарын зерттеу қарқындылығы өсті [20...24]. Бұл Әмудария алабы аумағында орналасқан барлық мемлекеттер үшін су тұтыну мәселелерінің күрт шиеленісуіне әкелді.

Қазіргі уақытта климатты бақылау желісін қалпына келтіруге көп көңіл бөліне бастады. Климаттық деректерді жинау мен сапасын бақылауды жақсарту, оларды алмасу және мұрағаттау қажеттіліктері анықталды, Орталық Азиядағы гидрологиялық бекеттер желісін оңтайландыру, негізгі өзендердегі гидрологиялық бекеттерді қалпына келтіру және ірі көлдердегі гидрологиялық желінің жұмысын қалпына келтіру қажеттілігі туындады [25].

Әмудария өзені алабының су ресурстарын зерттеуге және оларды пайдаланудың тиімді әдістерін жасауға арналған бірқатар халықаралық жобалар ұйымдастырылды, мысалы, Еуропалық Комиссияның «Джайхун» жобасы және т.б. [26]. Тәжікстан Республикасы және Өзбекстан Республикасында Әмудария өзені алабында климаттың өзгеруінің салдарымен күресу бойынша арнайы іс-шаралар бағдарламаларын қабылдады [27...29].

Табиғи су ресурстарын бағалау

Ауғанстан мемлекеті үшін Әмудария өзені құнды ресурс болып табылады. Ауғанстан аумағының шамамен 32,5 % Әмудария алабында орналасқан, сонымен қатар ел халқының 25 % осы жерде тұрады [30]. Сонымен бірге Ауғанстан Әмудария трансшекаралық өзенін басқаруға мүлдем қатыспайды, басқарушы су шаруашылығы ұйымдарының бірде-бірінің мүшесі болып табылмайды.

Арал теңізі алабына құятын барлық өзендердің жалпы орташа жылдық ағындысы 116 км^3 құрайды. Бұл көлемге Әмудария ағындысының 79.4 км^3 және Сырдарияның 36.6 км^3 ағындысы кіреді (кесте 2) [31,32]. Әртүрлі қамтамасыздық кезеңде, 5 % (сулы мол жыл) және 95 % (суы аз жыл) жылдарда Әмудария өзенінің жылдық ағындысы 109,9-дан 58.6 км^3-ге дейін және Сырдария үшін сәйкесінше 51.1-ден 23.6 км^3-ге дейін ауытқиды. Әмудария өзенінің орташа көпжылдық ағындысы 1993...2022 жылдар аралығында 59,1 км^3,соның ішінде вегетациялық кезеңінле 46.2 км^3 құрады [31].

Кесте 2

Арал теңізі алабының жер беті су ресурстары (орташа жылдық ағынды, км3/жыл) [32]

Мемлекет	Өзен алабы		Арал теңізі алабындағы жалпы	
	Сырдария	Әмудария	км^3	%
Қазақстан Республикасы	2.516	—	2.516	2.2
Қырғыз Республикасы	27.542	1.654	29.196	25.2
Тәжікстан	1.005	58.732	59.737	51.5
Түркіменстан	—	1.405	1.405	1.2
Өзбекстан Республикасы	5.562	6.791	12.353	10.6
Ауғанстан мен Иран	—	10.814	10.814	9.3
Жалпы Арал теңізі алабы бойынша	36.625	79.396	116.021	100

Әмудария өзені алабының су ресурстары. «Жиынтық жазбаға» [33] сәйкес таулы аймақтағы Әмудария өзенінің барлық су ағындарының жер беті ағындысы 77.7 км^3 құрайды. Ол арналық теңдестігі мәлеметтері жоқ Кундуз өзені (Ауғанстан аумағында қалыптасады және пайдаланылады) есепте алмағанда, шаруашылық қызметімен бұрмаланбаған 49 жылдық нақты бақылаулар кезеңі бар (1932/1933...1980/1981 жж.) және таудан өзендердің шығуына жақын орналасқан гидрометриялық бекеттер мәліметтері негізінде анықталды (кесте 3).

Әмудария өзен алабының жалпы су ресурстарының орташа көпжылдық мәні 78.4 км^3 құрайды. [34] және [35] зерттеулерде Әмудария өзенінің су ресурстары сәйкесінше 79.4 және 79.5 км^3 құрады. «Жиынтық жазбаға» [33] сәйкес жер беті су ресурсының азаюы негізінен Әмудария өзенінің жалпы ескерілген су ресурсының 43 % құрайтын

Пяндж өзенінің ағынды сипаттамаларының (орташа көпжылдыю нормасы, C_v) өзгеруімен түсіндіріледі.

Кесте 3

Әмудария өзені алабының орташа көпжылдық су ресурстары, км3 /жыл [33]

Өзен-бекет	Жер беті су ресурстары		Жерасты су ағындысы	Жалпы
	ескерілген	ескерілмеген		
Пяндж өз. - Нижний Пяндж бекеті	33.4	-	-	33.4
Вахш өз. – Туткаул станциясы	20.1	0.05	0.07	20.22
Кундуз өз.– Аскархана станциясы	3.47	0.01	-	3.48
Кафарниган өз. – ескерілген жер беті ағындысы	5.49	0.12	0.05	5.66
Сурхандарья өз. - ескерілген жер беті ағындысы	3.63	0.06	0.22	3.91
Шерабад өз. – Шерабад станциясы	0.23	-	-	0.23
Кашкадарья өз.- ескерілген жер беті ағындысы	1.34	-	0.07	1.41
Зерафшан өз. - Дупули көпірі + Магиандарья өз. – Суджи станциясы	5.27	-	0.03	5.30
Солтүстік Ауғанстан өзедері	2.01	-	-	2.01
Түркіменстан өзендері	2.79	-	-	2.79
Жалпы алап бойынша	77.7	0.24	0.44	78.4

Төменде Әмудария өзені алабының су ресурстарын егжей-тегжейлі бағалау және оларды елдер бойынша бағалау сол мемлекет бойынша жүргізілген зерттеулер бойынша берілген.

Тәжікстанның су ресурстарын бағалау.

Гидрографиялық тұрғыдан алғанда Тәжікстан мемлекетінде Әмудария алабының Пянж, Вахш, Кафирниган өзендерінің алаптары мен Қаратаг – Шіркент, Қызылсу – Яксу өзендерінің алаптары бар. Осы өзендердің алаптарындағы Тәжікстанның жаңғырмалы жер беті су ресурстары дереккөздер мен уақыт бойынша әртүрлі сандық бағалауларға ие. Мысалы, SPECA арнайы экономикалық бағдарламасы [35] дайындаған «Орталық Азиядағы су ресурстарын ұтымды және тиімді пайдалану» диагностикалық есебінде Әмудария алабындағы Тәжікстан өзендерінің жалпы орташа көпжылдық ағындысы 55.26 км3 бағаланады. 1911...1999 жылдардағы Арал теңізі алабындағы өзен ағындысының ретро қатарын талдауға негізделген, Ммлекеаралық Үлестірімдік Сушаруашылық Комиссия Ғылыми-ақпараттық орталағы (МҮСШК ҒАО) бағалауы бойынша орташа есеппен Пянж, Вахш, Кафирниган және Сурхандария өзендерінің жалпы ағындысы 63.3 км^3 құрайды, оның 55.49 км^3 Тәжікстанға тиесілі.

СПЕКА (Біріккен Ұлттар Ұйымының Орталық Азияның экономикасы үшін арнайы бағдарламасы) есебінде [36] Тәжікстандағы өзендердің ағындысы 1943...1992 жж. сулылықтың үш циклы кезеңдері үшін ұзақ мерзімді орташа мән ретінде бағаланады. Бұл ретте Пянж өзенінің ағындысы 34.289 км^3 деп бағаланады, оның 31.089 км^3 Тәжікстанға тиесілі. Вахш өзенінің ағындысы 20.004 км^3 құрайды, оның 18.4 км^3 Тәжікстанға және 1.604 км^3 Қырғыз Республикасына тиесілі. Кафирниган өзенінің ағындысы 5.452 км^3; Сурхандария өзенінің ағындысы 3.324 км^3, оның 0.32 км^3 Тәжікстанға және 3.004 км^3 Өзбекстанға тиесілі. Үлкен Әмудария алабы өзен ағындысы (Зеравшанды қоса алғанда) СПЕКА бағалауы [36] бойынша 79.28 км^3 ағынды су көлемін құрайды, бұл 1984 жылы «Әмудария су ресурстарын кешенді пайдалану мен қорғаудың нақтыланған сызбасында» жасалған бағалаумен салыстыруға болады (79.4 км^3).

«Тәжікстан Республикасының су секторының стратегиясында» Әмудария өзені алабындағы Тәжікстан өзендерінің көпжылдық орташа өзен ағындысы 62.9 км^3 құрайды, яғни СПЕКА бағалауы бойынша 7.64 км^3 артық. Мәліметтердегі сәйкессіздіктің бір ықтимал себебі - СПЕКА бағалауында барлық су ресурстары ескерілмейді.

СПЕКА бағалауында Кафирниган өзен алабының ағындысы таулардан шығатын жерлерде орналасқан гидрометриялық бекеттер мәліметтері бойынша өзен ағындысы қалыптасатын зоналардағы ағынсулар ағындысы сомасы, Пяндж өзен алабының

ағындысы Нижний Пяндж бекетінде (өзен сағасы), Вахш өзен ағындысы – Нурек СЭС тұстамасы бойынша есепке алынды.

Қырғыз Республикасының су ресурстарын бағалау. Әмудария алабында Қырғыз Республикасы Пянж өзені алабының бір бөлігін, оның саласы Қызыл-Суды алып жатыр. Өзен ағындысы 1.604 км^3 деп бағаланады [37].

Ауғанстанның су ресурстарын бағалау.

Әмудария және Түрікменстан маңы аймақтарының Ауғанстан өзендерінің ағындысы әртүрлі дереккөздерде келтірілген [38]: Құндыз өзенінің ағындысы 3.6 км^3, Көкша өзені – 5.4...5.7 км^3, Мургаб өзені – 1.6 км^3, Герируд өзені – 0.97 км^3 деп бағаланады. Бұл бағалау антропогендік әсермен бұзылған Ауған өзендерінің ағындысын сипаттайды.

Түркіменстанның су ресурстарын бағалау.

АҚШ мемтекетінің халықаралық даму бойынша агенттігі (USAID) ғылыми және технологиялық зерттеулерді қолдау мақсатында PEER бағдарламасын қаржыландырды. PEER бағдарламасы әлемнің 50 мемлекетінде 250 жобаны қамтиды, соның ішінде Орталық Азия 5 мемлекетінде мен Афганистанда. Аталмыш жобаларға жергілікті ғалымдар мен АҚШ мемлекетінің 239 ғалымы қатысады. Әмудария өзені алабы бойынша бірқатар жобалар жүзеге асырылады, соның ішінде Әмудария алабындағы трансшекаралық су ресурстарын басқаруды климаттың ықтимал өзгеруіне бейімдеу жобасы [7...39]. Осы жобалар аясындағы зерттеулерде жоспарлау аймақтарының су теңдестіктерін бағалау кезінде Мурғаб және Теджен өзендері ескерілді. Түркіменстан аумағында Мурғаб өзенінің ағындысы бірнеше бекетте өлшенеді, Ауғанстан шекарасына ең жақын орналасқаны - Сейн-Али бекеті. Бұл телімдегі өзен ағындысы [40...41] 1.51 км^3 деп есептеледі. Түркіменстан аумағында Сейн-Али бекетінен төмен Кушка (4,5 м^3/с) және Кашан (6.5 м^3/с) өзендері Мурғаб өзеніне құяды. Осылайша, Түркіменстан тумағындағы Мурғаб өзені алабының табиғи су ресурстарын (1985 жылғы Ауғанстандағы су алу деңгейінде) 1.91 км^3-ке тең алуға болады. Түркіменстан аумағындағы Герруд (Теджен) өзенінің ағындысы Пулихатум көпірінің астындағы бекетте бағаланады. Бұл телімдегі өзендердің орташа көпжылдық ағындысы 1914...1959 жылдардағы деректер бойынша 1.02 км^3 [9] деп есептеледі. Мурғаб және Теджен өзендерінің жалпы ағындыссы 1.91 + 1.02 = 2.93 км^3 құрайды.

Өзбекстан Республикасының су ресурстарын бағалау.

Өзбекстан Республикасының су ресурстары ағынды реттеу және бөлісу сызбасында трансшекаралық Әмудария өзенінің жоғарғы жағындағы (Гарагумдариядан жоғары станцияға дейін), ортаңғы (ТММУ-ға дейін) және төменгі ағысында ағындысымен ұсынылған. Жоспарлау аймақтарының су теңгерімі мыналарды ескереді: Сурхандария және Шерабад өзендері алаптарының су ресурстары, Қашқадария (Қарши аймағы), Зеравшан (Қарши және Навои жоспарлы аймақтары) өзендерінің ағындысының бір бөлігі. Орталық Азиядағы арнайы экономикалық бағдарлама – СПЕКА [36] бойынша дайындалған «Орталық Азияның су ресурстарын ұтымды және тиімді пайдалану» диагностикалық есебінде Сурхандария және Шерабад өзендерінің жалпы ағындысы 3,32 км^3 деп бағаланған, оның ішінде Тәжікстан 0.32 км^3, Өзбекстан Республикасына – 3.00 км^3; Қашқадария өзенінің ағындысы 1.23 км^3, ал Зеравшан өзенінің ағындысы 5.14 км^3 (оның ішінде Өзбекстанның үлесіне 4.64 км^3) жетеді.

МҰСШК ҒАО бағалауы бойынша орташа есеппен Сурхандария алабының су ресурстары 3.4 км^3, Қашқадария – 1.3 км^3, Зеравшан – 5.2 км^3 құрайды.

Әмудария алабының өзен ағындысын су бөлісуі.

1980 жылдары Орталық Азия республикалары үшін аймақтың әрбір су артериясы үшін суды алудың лимиттері әзірленді (су ресурстарын кешенді пайдалану және қорғау сызбасы деп аталады): 1984 жылы - Сырдария өзені үшін, 1987 жылы – Әмудария өзені үшін [40].

Бұл сызбаларды құрастыру үшін бірқатар негізгі факторлар ескерілді: су ресурстарының болуы, суармалы жерлер, ауыл шаруашылығының даму деңгейі және халық саны. Кейіннен осы сызбалар негізінде әрбір республика бойынша оның әлеуметтік-экономикалық дамуына қажетті су ресурстарының үлесі анықталды.

Амудария өзенінің сызбасы аймақтағы республикаларының ескертулері мен ұсыныстарын ескере отырып, бірнеше рет қайта қаралды және түзетілді. Нәтижесінде 1984 жылы КСРО Су шаруашылығы министрлігінің 1987 жылғы 10 қыркүйектегі №566 хаттамасымен бекітілген нақтыланған сызбасы жасалды және су алудың лимиттері белгіленген.

Хаттама бойынша Орталық Азияның төрт республикасына 61.5 км^3 су алуға рұқсат етілсе, Ауғанстанға сол кезде Әмудариядан 2.1 км^3 су алуға рұқсат етілді [41]. КСРО-ның ыдырауымен Орталық Азия республикалары су пайдалану туралы көптеген келісімдер жасады, Арал теңізі алабын басқару құрылымдары құрылды (МҮСШК, Әмудария АСШҰ, Сырдария АСШҰ, АҚХҚ және т.б.). 1992 жылы жасалған Алматы келісімі 1987 жылғы Хаттамада белгіленген суды алу лимиттерін күшінде қалдырды.

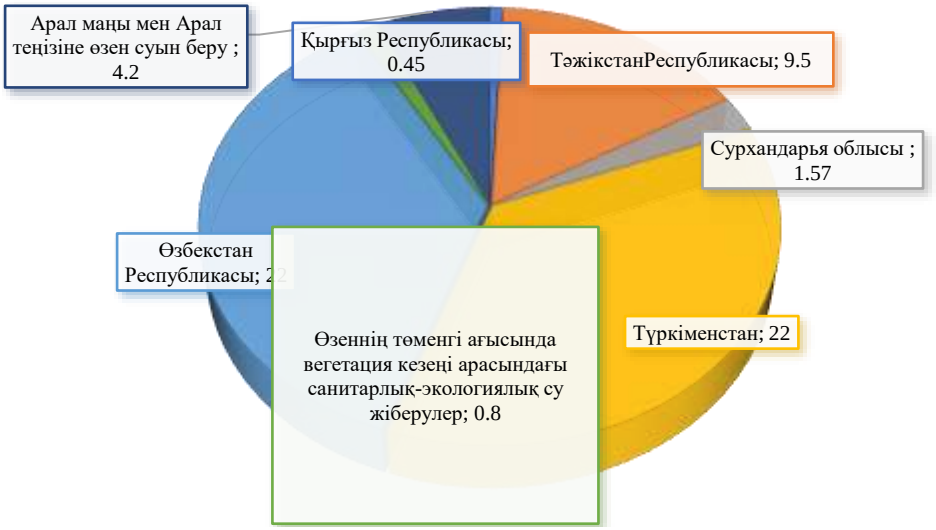
Аймақтағы мемлекетаралық дереккөздерден су ресурстарын реттеу, тиімді пайдалану және қорғау мәселелерін шешу үшін Орталық Азия елдері 1992 жылғы Алматы келісімін және қолданыстағы нормативтік құжаттарды басшылыққа ала отырып, паритетті шарттарда Мемлекетаралық су үйлестіру комиссиясын (МКК) құрылды. Мемлекетаралық лимиттерді түзету және жаңартылған болжамдарға сәйкес су қоймаларының тиісті жұмыс режимдерін үйлестіру үшін жыл сайын мүшелері 4 отырыс өткізеді, онда вегетациялық және вегетация аралық кезеңдер үшін Әмудария және Сырдария өзендерінің магистралінен су алу лимиті бекітіледі. Өзендердегі аса маңызды су алу құрылыстарын басқаруды бақылау сонау 1987 жылы құрылған «Амудария» және «Сырдария» алаптық су шаруашылығы ұйымдарына (АСШҰ) берілді. Амудария бассейніндегі су ресурстарын басқару және пайдалану бойынша шешімдерді орындауды Тәжікстан мен Түрікменстанда ұлттық филиалдары бар Амудария АСШҰ жүзеге асырады.

Әмудария өзені алабында мемлекетаралық лимитті су бөлісу жүзеге асырылады. Су бөлісу лимиттері 1992 жылдан бастап Мемлекеаралық Үлестірімдік Сушаруашылық Комиссия (МҮСШК) ұйымымен гидрологиялық жыл бойынша бекітіледі. Гидрологиялық жылдағы алап бойынша үлестірілетін лимиттер барлығы: 60.52 км^3 құрайды. Осыған сәйкес мемлекеттер арасында су тұтыну лимиттері және өзеннің төменгі ағысыа қажетті санитарлық жіберулер 4 суретте келтірілген.

Қазіргі уақытта Ауғанстан мемлекеті өз аумағында Әмудария өзенінің су ресурстарының небәрі 2 км^3 суды пайдаланады. Ауғанстан мен КСРО арасындағы 1946 жылғы келісімге [41...42] сәйкес Ауғанстан Әмудария өзенінің ең үлкен саласы Пандж өзенінен 9 км^3 көлеміндегі су алуға құқылы. Келешекте ауыл шаруашылығының дамуы және ауылшаруашылық жерлерінің ұлғаюымен Ауғанстан 10 км^3 суды алуы мүмкін, бұл Өзбекстан мен Түркіменстанның сумен қамтамасыз етілуіне сөзсіз теріс әсер етеді және екі мемлекет арасындағы қарым-қатынаста шиеленіс тудырады [43...45].

КСРО кезінде Әмудария бассейніндегі суды бірлесіп пайдалану мәселелері екіжақты келісімдер негізінде реттелді. Оның біріншісі «Кеңес Социалистік Республикалар Одағы мен Ауғанстан арасындағы шекара мәселелері жөніндегі келісімге» 1946 жылы қол қойылды.

Екі тарап халықаралық су келісіміне қол жеткізді, оған сәйкес Ауғанстан Пяндж өзенінен 9 км^3 дейін суды пайдалануға құқылы болды. 1954...1955 жж КСРО ауыл шаруашылығын, гидроэнергетиканы дамытуға және ирригациялық инфрақұрылымды салуға байланысты көмек жариялады. 1956 жылы Ауғанстан келісімді бекітті, оған сәйкес су шаруашылығы құрылыстарын КСРО инженерлері басқарады.



Сурет 4. *Әмудария өзені алабының су ресурстарын тұтыну лимиттері, км³ [44]*

1958 жылдың басында Ауғанстан мен КСРО мемлекеттік шекара туралы екінші халықаралық шартты бекітіп, оған қол қойды. Әмудария өзенінің трансшекаралық суларын пайдалану және сапасы туралы екінші халықаралық келісімге 1958 жылы қол қойылды. Осы халықаралық шарттар аясында трансшекаралық су ресурстарын пайдалану мен сапасы мәселелерін шешу үшін халықаралық комиссия құрылды.

1977 жылы Кеңес Одағы мен Ауғанстан арасында су ресурстарын бөлісу туралы келісімге қол қойылды. КСРО Ауғанстанға жылына 6 км^3 квота беруге келісті, ал Кабул 9 км^3 болуын талап етті. Тараптар өзара келіспеушіліктерді жеңе алмай, келісім жасалмады. 1991 жылы Кеңес Одағының Ауғанстанға басып кіруі және КСРО-ның ыдырауы, одан кейін елдегі қақтығыстар сыртқы саяси ынтымақтастықтың ауқымына әсер етті, бұл су секторына да әсер етті. Орталық Азияда жаңа тәуелсіз мемлекеттердің құрылуы Әмудария алабындағы халықаралық үйлестіруді тоқтатты.

2002 жылы, содан кейін 2014 жылы Ауғанстан билігі көршілеріне Әмудария суын бөлісу туралы жаңа келісім жасауды ұсынды. Алайда ауған тарапының ұсынысы аймақтағы көршілерінің қолдауына ие болмады.

2007 жылы Ауғанстанның Энергетика және су ресурстары министрлігі «Ауғанстанның трансшекаралық су саясаты» құжатын, ал 2008 жылы Ұлттық су қауіпсіздігі стратегиясын дайындады, онда «Ауғанстанмен шекаралас мемлекеттер Ауғанстанмен консультациясыз су ресурстарының көзі ретінде отыз жылдық оккупация, азаматтық бағынбау және қарулы қақтығыстардан қалпына келтіру кезеңінде олардың трансшекаралық сулардан су тұтынуын арттыру» қарастырылды.

2009 жылдың сәуір айында Ауғанстан су ресурстарын кешенді басқаруға (СРКБ) назар аударған Су туралы заң қабылдады. Осы құжаттың қабылданғанына қарамастан, соңғы жылдары Ауғанстан Орталық Азия мемлекеттерімен су мәселелерін талқылауға белсенді түрде қатыспады, ауыл шаруашылығы, гидроэнергетика және коммуналдық шаруашылықтағы су ресурстарына деген қажеттіліктерді шешуге назар аударды.

2012 жылы Катар мен БАӘ мемлекеттері Әмудария өзені бойындағы жерлерді игеруге, соның ішінде каналдар салуға, жерді жоспарлауға, техника сатып алуға ақша бөлуге дайын болды. Ауылшаруашылығын қалпына келтіру Әмударья мен Пяндж өзені алабынан су тұтыну көлемінің ұлғаюына әкеп соғуы мүмкін.

Ауғанстанда су тасқынын бақылау, электр қуатын өндіру және суармалы аумақтарды кеңейту үшін өзендерде бөгеттер мен құрылыстар салу жоспарлануда. Мұндай жоспарларды іске асыру соңғы онжылдықтарда өздерінің су саясатын жүзеге асыру кезінде Ауғанстанның мүдделерін ескермеген Өзбекстан мен Түркіменстандағы судың көлеміне және оларды тұтынудың шарықтау мерзіміне әсер етуі мүмкін. Ішкі саяси

жағдай жақсарған сайын Ауғанстан Әмудария алабы аумағында гидротехникалық құрылыстар салу мәселесіне белсенді түрде араласатын болады. Халықаралық қаржы институттары Ауғанстан билігіне осындай нысандарды салуға қаржы бөлуге дайын. Дегенмен, Тәжікстанда ірі гидроэнергетикалық нысандар (Вахш өзеніндегі 13,3 км3 су қоймасы бар Рогун су электр станциясы) салынып жатқанын ескерсек, Ауғанстан жағындағы жобалардың басталуымен шиеленіс бұдан да ушыға түсуі мүмкін деп күтуге болады [46].

«Шекарасыз өзендер» халықаралық экологиялық коалициясының мамандары жақында түсірген спутниктік суреттер [47] бойынша Ауғанстан билігі жақында жариялаған Қош-Тепа каналының құрылысы бойынша жұмыстардың қайта жанданғанын растады. «Шекарасыз өзен» экологиялық коалициясының сарапшылары арнаның көрінетін бағыты 30 шақырымға ұзарып, келесі ішкі өзен атырауына жетті деп атап өтті. Ұзындығы 108 шақырымды құрайтын каналдың салынып біткен бірінші кезегін ескере отырып, жақын арада Көш-Тепаның тура жартысы салынады (каналдың жалпы жобалық ұзындығы 285 шақырым болуы керек).

«Көш-Тепа каналы салынып біткеннен кейін Ауғанстандағы ауылшаруашылық жерлерін суару үшін Әмудария суының шамамен 20 %-ын ала алады және оның Әмудариядағы жазғы аз суға әсері күшейеді.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Мақалада Әмудария өзені алабының гидрологиялық зерттелгендігі, сонымен қатар әртүрлі дереккөздер бойынша көпжылдық жаңғырмалы су ресурстары өзен алаптары және әкімшілік тұрғыда қарастырылды. Әмудария өзені алабы трансшекаралық су артериясы болғандықтан, өзен ағындысын мемлекеттер арасында өзара бөлісу лимиттеріне талдау жасалынды. Қазіргі уақытта алаптың үш мемлекеті аумағында (Тәжікстан, Өзбекстан, Түркіменстан) Әмудария Алаптық сушаруашылық бірлестік қарамағында су өтімін өлшейтін 169 бекеттер, сонымен қатар 88 гидротехникалық құрылымдар, 341 км мемлекетаралық каналдар жұмыс істейді. Соңғы кездері Әмудария алабы аумағында орналасқан барлық мемлекеттер үшін су тұтыну мәселелерінің күрт шиеленісуде, соған байланысты әр мемлекетте қалыптасатын жаңғырмалы су ресурстарын бағалау өте өзекті болып табылады.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау – ААТ; деректерді басқару - ААТ; Ресми талдау - ГРБ; Әдістеме – ААТ, КМК, ГИ; Қадағалау - ГРБ; Бастапқы жобаны жазу - ЛМБ; Шолу жазу және редакциялау – ГРБ, ГИ, ЛМБ.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Маджиков О.Ш. Куда впадала река Амударья: палеогеографическое исследование // Центральноазиатский журнал географических исследований. – 2021. - №3-4. С. 45-53.
2 Давыдов Л.К. Колебания водности рек Средней Азии. – Ташкент, 1929. – 48 с.
3 Хамракулов Ж.С., Назаралиев Д.В., Шелутко В.А. оценка влияния антропогенных факторов на изменение стока реки Амударья // Colloquim journal. Geographical sciences. – 2024. - №31(224) – С. 4-11.
4 Хамракулов Ж.С., Шелутко В.А., Мханна А.И.Н. Исследование влияния антропогенных факторов на изменения гидрологического режима реки Амударья и его последствия для водных ресурсов// Ученые записки Ереванского государственного университета. – 2024. - №58(3) – С.211-219;
5 Духовный В.А., Сорокин А.Г. Оценка влияния Рогунского водохранилища на водный режим реки Амударьи. – Ташкент, 2007. – 127 с.
6 Курбанбаев Е., Артыков О., Курбанбаев С. Интегрированно управление водными ресурсами в дельте реки Амударьи. – Ташкент, 2010. – 145 с.;
7 Будущее бассейна Амударьи в условиях изменения климата / под общ. ред. проф. В.А. Духовного. – Ташкент: НИЦ МКВК Центральной Азии, 2018. – 328 с.
8 База знаний Амуда рья http://www.cawater-info.net/amudarya-knowledge-base/ Дата обращения 10.02.2024 г.
9 Шульц В.Л. Реки Афганистана. – М.: Гидрометеоиздат. – 1968. – 588 с.
10 Рахимов С., Камолидинов А. От Арала до Рогуна: Современная водохозяйственная обстановка в бассейне Амударьи // Центральная Алия и Кавказ. – 2014. – Т. 17., Вып. 1. – С. 177-195.
11 Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Бассейны рек Средней Азии. Бассейн р. Амударьи. / под ред. В.М. Федотовой. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – Т. 14, Вып. 3. – 315 с.
12 Ресурсы поверхностных вод СССР. Средняя Азия. Бассейн р. Амударьи / под ред. Ю.Н. Иванова. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1971. – Т. 14, Вып. 3. – 472 с.

13 Шмидт К. Дорандт Ф. Б. Гидрографические исследования на Амударье. I. Исследования гидрометрические близ Нукуса и Питняка. II. Илистые осадки в воде Амударьи // Русск. геогр. о-во. Труды Амударьинской экспедиции. – 1878. – Вып. 4. – 41 с.
14 Глуховской А.И. Пропуск вод р. Аму-Дарьи по старому ее руслу в Каспийское море и образование непрерывного водного Аму-Дарьинско-Каспийского пути от границ Афганистана по Аму-Дарье, Каспию, Волге и Мариинской системе до Петербурга и Балтийского моря // Изд. нач. Экспедиции Ген. Штаба. – Санкт-Петербург: тип. М.М. Стасюлевича. – 1893. – 259 с.
15 Отчеты и бюллетени Гидрометрической части ОЗУ в Туркестанском Крае за 1911 - 17 гг. – СПб, 1913-17.
16 Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Средняя Азия. Бассейн р. Амударьи / под ред. Д.А. Ивановой. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1976. – Т. 14, Вып. 3. – 431 с.
17 Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. Средняя Азия. Бассейн р. Амударьи / под ред. Д.А. Ивановой. – Л.: Гидрометеоиздат. –1980. – Т. 14, Вып. 3. – 432 с.
18 Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Узбекская ССР. – Л.: Гидрометеоиздат, – 1987. – Том 4. – 277 с.
19 Национальный план действий республики Таджикистан по смягчению последствий изменения климата». Под ред. Махмадалиева Б.У, Новикова В.В., Каримова У.Х., Пердомо. – Душанбе: Таджикглавгидромет. – 2003. – 264 с.
20 Бассейновое водохозяйственное объединение «Амударья» http://www.icwc-aral.uz/bwoamu_ru.htm Дата обращения 10.02.2024 г.
21 Ermek N., Zhakupova A. Transformation of the Amudarya river basin in the context of climate change // Geography and water resources. – 2023. – № 4. – С. 14-20.
22 Проблемы деградации в Центральной Азии: Обзор. – Ташкент, 2008. – 79 с.
23 Ибатуллин С.Р., Ясинский В.А., Мироненков А.П. Влияние изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии. Отраслевой обзор. – Алматы: Евразийский банк развития. – 2009. – 44 с.
24 Духовный В.А. Дренаж в бассейне Аральского моря в направлении стратегии устойчивого развития. – Ташкент: НИЦ МКВК. – 2004. – 316 с.
25 ГСНК региональный план действий по Центральной Азии. – 2004. – 90 с.
26 Interstate water resource risk management. Towards a Sustainable Future for the Aral Basin (JAYHUN). – London: IWA Publishing. – 2010. – 121 p.
27 Национальный план действий республики Таджикистан по смягчению последствий изменения климата» /под ред. Махмадалиева Б.У, Новикова В.В., Каримова У.Х., Пердомо М. – Душанбе: Таджикглавгидромет. – 2003. – 264 с.
28 Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием в Таджикистане. – Душанбе, 2000. – 138 с.
29 Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием в Республике Узбекистан. – Ташкент, 1999. – 129 с.
30 Поверхностные воды Северного Афганистана http://www.cawater-info.net/afghanistan/surface_water.htm Дата обращения 10.02.2024 г.
31 Назарий А. Изменение годового и сезонного стока в бассейне р. Амударьи. – Научно-информационный центр Межгосударственной коодинационной водохозяйственной комиссии ЦА. – 18 с.
32 Водные ресурсы Аральского моря http://www.cawater-info.net/aral/water.htm Дата обращения 10.02.2024 г.
33 Уточнение схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов Амударьи. – Средазгипроводхлопок, 1984.
34 Генеральная схема комплексного использования водных ресурсов р. Амударьи. – САО Гидропроект. – Ташкент, 1971.
35 Схема комплексного освоения водных ресурсов бассейна. Аральского моря. – Институт «Средазгипроводхлопок» имени А.А. Саркисова, Ташкент. – 1973.
36 Специальная программа ООН для экономик Центральной Азии (СПЕКА) Алматы, 2000. https://www.unescap.org/sites/default/files/Fostering_intra-regional_trade_within_SPECA_through_streamlining_NTMs_and_addressing_POs_%5BRUS%5D_0.pdf Дата обращения 10.02.2024 г.
37 К укреплению сотрудничества по рациональному и эффективному использованию водных и энергетических ресурсов Центральной Азии. ООН. Нью-Йорк, 2004.
38 Зиганшина Д. Афганистан: Возвращение к мирной жизни. Тенденции развития и направления регионального сотрудничества. Взгляд из Центральной Азии. – НИЦ МКВК, Ташкент, 2007.
39 Ключевые результаты проекта относительно текущих и будущих проблем в бассейне Амударьи. http://www.cawater-info.net/projects/peer-amudarya/about.htm . Дата обращения 10.02.2024 г.
40 Генеральная схема комплексного использования водных ресурсов р. Амударьи. – САО Гидропроект. – Ташкент, 1983.
41 Центральноазиатские воды: Мозаика, составленная из проблем социального, экономического, экологического характера и вопросов осуществления руководства / ред. М. М. Рахаман, О. Вариса. – Хельсинки, 2010. – 120 с.
42 Соглашение между Союзом Советских Социалистических республик и Афганистаном по пограничным вопросам // Ведомости Верховного Совета СССР, 12 февраля 1947 г. – № 6 (460). – С. 4.
43 Бояркина О.А. Основные проблемы государств Ферганской долины // Россия и мир. Гуманитарные науки. Вестник финасогвого университета. – 2017. – № 2. – С. 94-99.
44 Тилявова Г.К. Деятельность БВО Амударья: рациональное распределение и учет мониторинга водных ресурсов. – Ташкент, 2023 г. – 16 с. https://aral.uz/doc/presentation/tilyalova-g.pdf
45 Бояркина О. А. Афганистан в политике Центральной Азии на реке Амударья // Международные отношения. – 2017. – №4. – С. 29-35. https://cyberleninka.ru/article/n/afganistan-v-vodnoy-problematike-tsentralnoy-azii DOI: 10.7256/2454-0641.2017.4.19492.
46 Зонн И.С., Жильцов С.С., Семенов А.В., Костяной А.Г Водная политика Афганистана в Центральной Азии // Вестник Московского университета имени С.Ю. Витете. – 2018. – № 3 (26). – С. 54-66.
47 Возобновление строительства канала Кош-Тепа несет угрозу всей Центральной Азии - 28.03.2024. https://rivers.help/n/2705 Дата обращения 07.02.2024 г.

REFERENCES

1 Madzhikov O.Sh. Where the Amu Darya River Flowed Into: A Paleogeographic Study // Central Asian Journal of Geographical Research. - 2021. - No. 3-4. P. 45-53.
2 Davydov L.K. Fluctuations in the water content of the rivers of Central Asia. - Tashkent, 1929. - 48 p.

3 Khamrakulov Zh.S., Nazaraliev D.V., Shelutko V.A. Assessment of the influence of anthropogenic factors on changes in the flow of the Amu Darya River // Colloquim journal. Geographical sciences. - 2024. - №31 (224) - P. 4-11.
4 Khamrakulov Zh.S., Shelutko V.A., Mhanna A.I.N. Study of the influence of anthropogenic factors on changes in the hydrological regime of the Amu Darya River and its consequences for water resources // Scientific notes of the Yerevan State University. - 2024. - №58 (3) - P.211-219.
5 Dukhovny V.A., Sorokin A.G. Assessing the impact of the Rogun reservoir on the water regime of the Amu Darya River. - Tashkent, 2007. - 127 p.
6 Kurbanbaev E., Artykov O., Kurbanbaev S. Integrated water resources management in the Amu Darya River delta. - Tashkent, 2010. - 145 p.;
7 The future of the Amu Darya basin in the context of climate change / edited by prof. V.A. Dukhovny. - Tashkent: SIC ICWC Central Asia, 2018. - 328 p.
8 Amu Darya knowledge base http://www.cawater-info.net/amudarya-knowledge-base/ Accessed 10.02.2024.
9 Shultz V.L. Rivers of Afghanistan. – M.: Hydrometeoizdat. – 1968. – 588 p.
10 Rakhimov S., Kamolidinov A. From the Aral Sea to Rogun: Modern water management situation in the Amu Darya basin // Central Aliyah and the Caucasus. – 2014. – T. 17, Issue 1. – P. 177-195.
11 Surface water resources of the USSR. Hydrological knowledge. River basins of Central Asia. The basin of the Amu Darya River. / edited by V.M. Fedotova. – L.: Hydrometeoizdat, 1967. – T. 14, Issue 3. – 315 p.
12 Surface water resources of the USSR. Central Asia. The basin of the Amudarya River / edited by Yu.N. Ivanov. – L.: Hydrometeoizdat. – 1971. – T. 14, Issue 3. – 472 p.
13 Schmidt K. Dorandt F. B. Hydrographic studies on the Amu Darya. I. Hydrometric studies near Nukus and Plitnyak. II. Silty sediments in the water of the Amu Darya // St. Petersburg, Russian. geographical area. The works of the Amudarya expedition. – 1878. – Issue 4. – 41 p.
14 Glukhovskaya A.I. Passage of the waters of the Amu Darya River along its old channel into the Caspian Sea and the formation of a continuous waterway of the Amu Darya-Caspian route from the borders of Afghanistan along the Amu Darya, the Caspian Sea, the Volga and the Mariinsky system to St. Petersburg and the Baltic Sea // Ed. the beginning. Expeditions of the General Staff. – St. Petersburg: type by M.M. Stasyulevich. - 1893. – 259 p.
15 Reports and bulletins of the Hydrometric part of the RAM in the Turkestan Region for 1911-17. – St. Petersburg, 1913 - 17.
16 Surface water resources of the USSR. The main hydrological characteristics. Central Asia. The basin of the Amudarya River / edited by D.A. Ivanova. – L.: Hydrometeoizdat. – 1976. – T. 14, Issue 3. – 431 p.
17 The State Water Cadastre. The main hydrological characteristics. Central Asia. The basin of the Amudarya River / edited by D.A. Ivanova. – L.: Hydrometeoizdat. –1980. – T. 14, Issue 3. – 432 p.
18 The State Water Cadastre. Long-term data on the regime and resources of land surface waters. Uzbek SSR. – L.: Hydrometeoizdat. – 1987. – T. 4. – 277 p.
19 The National Action Plan of the Republic of Tajikistan to mitigate the effects of climate change." Ed. Makhmadalieva B.U., Novikova V.V. Karimova.H., Perdomo M. - Dushanbe: Tajikglavgidromet, 2003. – 264 p.
20 Basin Water Management Association "Amu Darya" http://www.icwc-aral.uz/bwoamu_ru.htm Date of access 10.02.2024.
21 Ermek N., Zhakupova A. Transformation of the Amudarya river basin in the context of climate change // Geography and water resources. – 2023. – № 4. – P. 14-20.
22 Problems of degradation in Central Asia: An overview. – Tashkent, 2008. – 79 p.
23 Ibatullin S.R., Yasinsky V.A., Mironenko V.A.P. The impact of climate change on water resources in Central Asia. Industry overview. – Almaty: Eurasian Development Bank. – 2009. – 44 p.
24 Dukhovny V.A. Drainage in the Aral Sea basin in the direction of sustainable development strategy. – Tashkent: SIC ICWC. – 2004. – 316 p.
25 GCOS regional action plan for Central Asia. – 2004. – 90 p.
26 Interstate water resource risk management. Towards a Sustainable Future for the Aral Basin (JAYHUN). – London: IWA Publishing. – 2010. – 121 p.
27 National Action Plan of the Republic of Tajikistan to mitigate the effects of climate change" / ed. Makhmadalieva B.U., Novikova V.V. Karimova.H., Perdomo M. - Dushanbe: Tajikglavgidromet. – 2003. – 264 p.
28 The National Action Programme to Combat Desertification in Tajikistan. – Dushanbe, 2000. – 138 p.
29 The National Action Program to Combat Desertification in the Republic of Uzbekistan. – Tashkent, 1999. – 129 p.
30 Surface waters of Northern Afghanistan http://www.cawater-info.net/afghanistan/surface_water.htm Date of access 10.02.2024.
31 Nazariy A. Changes in annual and seasonal runoff in the Amu Darya river basin. – Scientific Information Center of the Interstate Coordination Water Management Commission of Central Asia. - 18 p.
32 Water resources of the Aral Sea http://www.cawater-info.net/aral/water.htm Date of access 10.02.2024.
33 Clarification of the scheme of integrated use and protection of water resources of the Amu Darya. – The middle of the hot water, 1984.
34 The general scheme of the integrated use of water resources of the Amudarya river. – CAO Gidroproekt. – Tashkent, 1971.
35 The scheme of integrated development of the basin's water resources. The Aral Sea. – Institute of "Sredazgiprovodkhlopok" named after A.A. Sarkisov, Tashkent. – 1973.
36 The UN Special Programme for the Economies of Central Asia (SPECA) Almaty, 2000. https://www.unescap.org/sites/default/files/Fostering_intra-regional_trade_within_SPECA_through_streamlining_NTMs_and_addressing_POs_%5BRUS%5D_0.pdf
37 Towards strengthening cooperation on the rational and efficient use of water and energy resources in Central Asia. UN. New York, 2004.
38 Ziganshina D. Afghanistan: Return to a peaceful life. Development trends and directions of regional cooperation. A view from Central Asia. – SIC ICWC, Tashkent, 2007.
39 Key project results on current and future issues in the Amu Darya basin. http://www.cawater-info.net/projects/peer-amudarya/about.htm Accessed 10.02.2024
40 The general scheme of integrated use of water resources of the Amudarya river. – CAO Gidroproekt. – Tashkent, 1983.
41 Central Asian waters: A mosaic made up of problems of a social, economic, environmental nature and issues of leadership implementation / ed. M. M. Rahaman, O. Varisa. – Helsinki, 2010. – 120 p.
42 Agreement between the Union of Soviet Socialist Republics and Afghanistan on border issues // Bulletin of the Supreme Soviet of the USSR, February 12, 1947 – No. 6 (460). – P. 4.

43 Boyarkina O.A. The main problems of the Ferghana Valley states // Russia and the world. Humanities. Bulletin of the Financial University. – 2017. – № 2. – P. 94-99.
44 Тилявова Г.К. Деятельность БВО Амударья: рациональное распределение и учет мониторинга водных ресурсов. – Ташкент, 2023 г. – 16 с. https://aral.uz/doc/presentation/tilyalova-g.pdf
45 Boyarkina O. A. Afghanistan in the politics of Central Asia on the Amu Darya River // International relations. – 2017. – №4. – P. 29-35. https://cyberleninka.ru/article/n/afganistan-v-vodnoy-problematike-tsentralnoy-azii DOI: 10.7256/2454-0641.2017.4.19492.
46 Sonn I.S., Zhiltsov S.S., Semenov A.V., Kostyanoi A.G. Water policy of Afghanistan in Central Asia // Bulletin of the Moscow State University named after S.Yu. Vitete. – 2018. – № 3 (26). – P. 54-66.
47 The resumption of the construction of the Koshtepa Canal poses a threat to the whole of Central Asia. - 28.03.2024. https://rivers.help/n/2705

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БАССЕЙНА РЕКИ АМУДАРИЯ

Айсулу А. Турсунова к.г.н., ассоциированный профессор, Гаухар Р.Баспакова* PhD, Кайрат М.Кулебаев, Гульсайра Исакан, Ляззат М.Биримбаева

АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; ais.tursun@bk.ru; sharafedenova@mail.ru; kairat.kulebayev@mail.ru; caira_t1412@mail.ru; birimbayeva_l@mail.ru
Автор корреспондент: Гаухар Р.Баспакова, sharafedenova@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

река,
гидрологическая изученность,
водные ресурсы,
средний многолетний сток,
водохранилища

По статье:
Получено: 5.09.2024
Пересмотрено: 22.08.2025
Принято: 25.09.2025
Опубликовано: 01.10.2025

АБСТРАКТ

Амударья – одна из крупнейших рек Центральной Азии. В административном отношении бассейн реки Амударья охватывает всю территорию Туркменистана и часть территории Республик Таджикистан, и Узбекистан, Кыргызской Республики и Афганистана. В статье рассмотрена гидрологическая изученность и проведен анализ оценки природных возобновляемых водных ресурсов по различным источникам. Измерения над уровнем и расходом воды в бассейне реки Амударии начались в 1886 году. Всего с 1886 по 1978 год действовало 439 гидрологических постов, период наблюдения которых варьировался от 1 до 137 лет. Водные ресурсы реки Амударьи являются основой развития государств, расположенных в бассейне реки. В государствах Центральной Азии водные ресурсы бассейна реки используются в основном в сельском хозяйстве и гидроэнергетике. Были рассмотрены Протоколы лимита забора воды для центральноазиатских стран и основные аспекты проблемы совместного использования трансграничной реки с Афганистаном.

SURFACE WATER RESOURCES OF THE AMUDARIYA RIVER BASIN

Aisulu Tursunova Candidate of Geographical Sciences, associate professor, Gaukhar Baspakova* PhD, Kairat Kulebayev, Gulsaira Isakan, Lyazzat Birimbayeva

«Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; ais.tursun@bk.ru; sharafedenova@mail.ru; kairat.kulebayev@mail.ru; caira_t1412@mail.ru; birimbayeva_l@mail.ru
Corresponding author: Gaukhar Baspakova, sharafedenova@mail.ru

KEY WORDS

river,
hydrological study,
water resources,
average long-term flow,
reservoirs

ABSTRACT

The Amudarya is one of the largest rivers in Central Asia. Administratively, the Amu Darya River basin covers the entire territory of Turkmenistan and part of the territory of the Republics of Tajikistan and Uzbekistan, the Kyrgyz Republic and Afghanistan. The article considers the hydrological study and analyzes the assessment of natural renewable water resources from various sources. Measurements of the water level and flow in the Amu Darya River basin began in 1886. In total, from 1886 to 1978, there were 439 hydrological posts, the observation period of which ranged from 1 to 137 years. The water resources of the Amu Darya River are the basis for the development of the states located in the river basin. In the Central Asian States, the water resources

About article:
Received: 5.09.2024
Revised: 22.08.2025
Accepted: 25.09.2025
Published:01.10.2025

of the river basin are mainly used in agriculture and hydropower. The protocols of the water intake limit for Central Asian countries and the main aspects of the problem of sharing a transboundary river with Afghanistan were considered.

Баспагердің ескертпесі: барлық жарияланымдардағы мәлімдемелер, пікірлер мен деректер «Гидрометеорология и экология» журналына және/немесе редакторға(ларға) емес, тек авторға(ларға) тиесілі.

Хроника

Романова София Максимовна
(к 75-летию со дня рождения)

Романова София Максимовна – доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии Института зоологии – выдающийся учёный и педагог. Более полувека София Максимовна посвятила изучению химии природных вод и проблемам экологии и экотоксикологии водных экосистем Казахстана. Научные идеи профессора заложили основу фундаментальных исследований гидрохимических процессов, качества вод, самоочищения водных экосистем и др. Её научное наследие – более 580 публикаций, включая монографии, статьи, учебные и методические разработки и пособия, авторские свидетельства, типовые программы, государственные стандарты.

Вся её жизнь связана с альма-матер – Казахским Национальным университетом им. аль-Фараби. Химический факультет КазГУ с отличием окончила в 1972 году и благодаря кропотливому труду и упорству, прошла путь от старшего лаборанта до профессора. Именно здесь началось становление будущего учёного, знакомство и работа с крупнейшими химиками страны: Беремжановым Б.А., Усанович М.И., Сонгиной О.А., Чумбаловым Т.К., Нурахметовым Н.Н. и др., участие в многочисленных экспедициях. В течение 40 лет педагогической деятельности читала курсы общей и неорганической химии, гидрохимии, галургии и гидроэкологии на химическом, биологическом и географическом факультетах университета. Под её научным руководством были подготовлены десятки магистров и кандидатов наук, многие из которых продолжают это научное направление во многих лабораториях страны и за рубежом.

Профессор С.М. Романова принимала активное участие в разработке и реализации крупных научных проектов, направленных на изучение водных ресурсов Казахстана и повышение эффективности управления ими в условиях изменяющегося климата. Изучая географические аспекты внутриконтинентальных водоёмов при синтезе всех отличительных особенностей этих объектов, полученные в рамках отдельных научных направлений (гидрохимии, гидродинамики, гидробиологии, гидрологии, водных ресурсов), раскрыто такое явление как географический парадокс аридного озера Балхаш, которое до сих пор было загадкой. Впервые изучены основные элементы круговорота химических элементов в водохранилищах -охладителях с учётом внутриводоёмных процессов, которые оказываются общими для водоёмов аридной зоны: для искусственных (водоёмы-охладители) и для природных (озеро Балхаш). И они позволяют в условиях эксплуатации водоёмов судить о направленности процессов и о трансформации компонентов химического состава и качества воды. Экспериментальные материалы по гидрохимии водоёмов Казахстана вносят существенный вклад в теорию континентального солеобразования член-корр. АН КазССР, профессора Б.А. Беремжанова, в решение общенаучного вопроса генезиса солевых минералов и условий их формирования, а также в теорию гидроэкологических исследований профессора А.А. Турсунова. Научные исследования Софии Максимовны стали значимым вкладом в развитие гидрохимии и гидроэкологии, а результаты исследований вошли в государственные и международные кадастры качества вод. Научная деятельность Софии Максимовны известна далеко за пределами страны. Участие в международных конференциях, симпозиумах и семинарах в Швеции, Франции, Нидерландах, Венгрии, Китае, Малайзии, Турции, России и др. странах позволило представить казахстанскую науку на мировой арене, укрепляя её авторитет.

За выдающиеся заслуги София Максимовна неоднократно награждалась дипломами, грамотами от Министерства образования и науки, медалью «Енбек ардагері» (2019), благодарственными письмами от Комитета науки. Была удостоена звания лучшего преподавателя ВУЗа Казахстана. Являясь членом экспертных и диссертационных советов, активно участвовала в формировании государственных образовательных стандартов.

Последние 8 лет София Максимовна трудится в Институте зоологии Республики Казахстан, где занимает должность главного научного сотрудника лаборатории гидробиологии и экотоксикологии. Здесь проводит гидрохимический анализ по актуальным научным проектам, делится своим опытом и продолжает подготовку молодых специалистов, формируя новое поколение исследователей в области гидрохимии и экотоксикологии.



Уважаемая София Максимовна!

Поздравляем Вас с юбилеем! Ваш жизненный путь — это пример преданности науке и своему делу, высочайшего профессионализма, трудолюбия, ответственности, принципиальности, мудрости и человеческого достоинства.

Ваш вклад в науку, образование и воспитание молодых учёных невозможно переоценить. Благодаря вашей доброжелательности к коллегам и студентам, открытости новым идеям, служением обществу Вы окрыляете всех окружающих людей. Вы вдохновляете своим упорством, жизнелюбием, широтой взглядов и оптимизмом.

От всей души желаем Вам крепкого здоровья, благополучия, новых творческих свершений, счастья в кругу семьи. Пусть впереди будут успехи в научной и педагогической деятельности, признание и внимание тех, кто ценит и уважает Вас!

С уважением и благодарностью,
коллектив Института зоологии Комитета науки
Министерства науки и высшего образования
Республики Казахстан