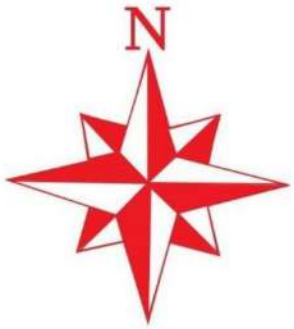
ISSN (печать) 2079-6161
ISSN (онлайн) 2789-6323

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

№5 (120) шығарылым

Выпуск №5 (120)

Issue №5 (120)

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.

РЕДАКЦИЯ

Базарбай Л.Б., жетекші ғылыми қызметкер

Дюсенова Ж.А., жетекші ғылыми қызметкер

Елтай А.Ғ., Ph.D, басқарма бастығы

Жаксыбаева А.Е., жетекші ғылыми қызметкер

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.

РЕДАКЦИЯ

Базарбай Л.Б., ведущий научный сотрудник

Дюсенова Ж.А., ведущий научный сотрудник

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

Жаксыбаева А.Е., ведущий научный сотрудник

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»

Зарегистрировано Министерством 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 Geographical Sciences

EDITORIAL STAFF

Bazarbay L., Leading Researcher

Dusenova Zh.A., Leading Researcher

Yeltay A., Ph.D, head of unit

Zhaksybayeva A., Leading Researcher

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

Раушан Ы. Ырысбек, Шамшагул И. Маштаева, Ырысбек Ә. Молдаш
СЫРДАРИЯ ӨЗЕНІ ТӨМЕНГІ АҒЫСЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ РЕЖИМІНІҢ ӨЗГЕРУ ДИНАМИКАСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ АҒЫН СУ САПАСЫНА ӘСЕРІ 8

Нұрлыбек Ә. Әбдімүтәліп, Газиза Б. Тойчибекова, Ақмарал С. Әділбай, Гульнар Ж. Койшиева, Карлыга Т. Сарбаева
АНТРОПОГЕНДІК ЖӘНЕ КЛИМАТТЫҚ ӘСЕРЛЕР ЖАҒДАЙЫНДА ҚОСҚОРҒАН СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ГЕОҚҰРЫЛЫМДЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІ 20

Гауһар Т. Оспан, Жанар О. Озгелдиновна, Салтанат Р.Садвакасова
НҰРА ӨЗЕНІ АЛАБЫНДАҒЫ ЖЕРҮСТІ СУЛАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ ҚҰРАМЫ МЕН КЕҢІСТІКТЕ ТАРАЛУЫ 34

Нариман А. Амиргалиев, Кажмурат М. Ахмеденов, Азамат С. Мадибеков, Лаура Т. Исмуханова, Асхат Ө. Жәди, Арай Ә. Сұлтанаева
ШЕКАРА МАҢЫНДАҒЫ ЖАЙЫҚ ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНІҢ СУ РЕСУРСТАРЫНДАҒЫ ПОЛИХЛОРЛАНҒАН БИФЕНИЛДЕРМЕН ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІН МОНИТОРИНГІЛЕУ 41

Арман О. Байсанов, Игорь Ф. Спивак-Лавров, Андрей А. Бебенин
ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ МОНИТОРИНГТЕУ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚСТАННЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛАЛАРЫНДАҒЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІНІҢ ӨЗГЕРІСТЕРІН ТАЛДАУ 57

Рашад. Г. Нематзаде, Гюнель. З. Рзаева, Рауф. М. Рагимов, Фарид. Р. Самедов
ЖОҒАРЫ АЖЫРАТЫМДЫЛЫҚТАҒЫ КӨП СПЕКТРЛІ ҒАРЫШТЫҚ БЕЙНЕЛЕРДЕ ОЛАРДЫ ЖІКТЕУ ЖӘНЕ ТАНУ МАҚСАТЫНДА КЕҢІСТІКТЕ БӨЛІНГЕН ОБЪЕКТІЛЕР КЛАСТАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ӘДІСІ 66

Кирилл С. Гаринских, Алпамыс Г. Карыпов, Адилхан Сымагулов, Ян И. Кучин, Алексей Г. Терехов, Равиль И. Мухамедиев, Надия Р. Юничева, Нурсултан Е. Кульдеев, Рат Ш. Бердибаев
ДӘЛДІ ШАРУАШЫЛЫҚТА ДАЛА БЕЙНЕСІН СЕГМЕНТТЕУ 79

ШОЛУ

Сағыныш Куанышева, Адиль Шаяхметов
ҚАРАҒАНДЫДАҒЫ ҚАТТЫ ТҰРМЫСТЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ БАСҚАРУДЫҢ КЕҢІСТІКТІК ТАЛДАУЫ: МӘСЕЛЕЛЕРІ МЕН БОЛАШАҒЫ 91

Айман С. Есекина, Александр В. Чередниченко, Зуфар Р. Токпаев, Казбек Т. Рысбеков, Эльмира М. Ермаханова, Дана А. Касенова, Саида Г. Абдрахим
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЖАҺАНДЫҚ МЕТАН БАСТАМАСЫ (GMI) БОЙЫНША МІНДЕТТЕРДІ ОРЫНДАУ МҮМКІНДІКТЕРІ 99

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Раушан Ы. Ырысбек, Шамшагул И. Маштаева, Ырысбек Ә. Молдаш
ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЫРДАРЬЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД 8

Нұрлыбек Ә. Әбдімүтәліп, Газиза Б. Тойчибекова, Ақмарал С. Әділбай, Гульнар Ж. Койшиева, Карлыга Т. Сарбаева
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОСКОРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И КЛИМАТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ 20

Гауһар Т. Оспан, Жанар О. Озгелдиновна, Салтанат Р.Садвакасова
СОСТАВ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ БАССЕЙНА РЕКИ НУРА 34

Нариман А. Амиргалиев, Кажмурат М. Ахмеденов, Азамат С. Мадибеков, Лаура Т. Исмуханова, Асхат Ө. Жәди, Арай Ә. Сұлтанаева
МОНИТОРИНГ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БАССЕЙНА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ЖАЙЫК 41

Арман О. Байсанов, Игорь Ф. Спивак-Лавров, Андрей А. Бебенин
АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДАХ КАЗАХСТАНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 57

Рашад. Г. Нематзаде, Гюнель. З. Рзаева, Рауф. М. Рагимов, Фарид. Р. Самедов
МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КЛАССОВ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ЦЕЛЬЮ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ НА МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ 66

Кирилл С. Гаринских, Алпамыс Г. Карыпов, Адилхан Сымагулов, Ян И. Кучин, Алексей Г. Терехов, Равиль И. Мухамедиев, Надия Р. Юничева, Нурсултан Е. Кульдеев, Рат Ш. Бердибаев
СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОЛЕЙ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ 79

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

Сагыныш Куанышева, Адиль Шаяхметов
ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ ТБО В КАРАГАНДЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ 91

Айман С. Есекина, Александр В. Чередниченко, Зуфар Р. Токпаев, Казбек Т. Рысбеков, Эльмира М. Ермаханова, Дана А. Касенова, Саида Г. Абдрахим
ВОЗМОЖНОСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СВОИХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ В РАМКАХ ГЛОБАЛЬНОЙ МЕТАНОВОЙ ИНИЦИАТИВЫ (GMI) 99

CONTENT

SCIENTIFIC ARTICLE

Raushan Yrysbek, Shamshagul Mashtayeva, Yrysbek Moldash
DYNAMICS OF HYDROLOGICAL REGIME CHANGES IN THE LOWER REACHES OF THE SYRDARYA RIVER AND THEIR IMPACT ON SURFACE WATER QUALITY 8

Nurlybek Abdimutalip, Gaziza Toychibekova, Akmaral Adilbai, Gulnar Koishieva, Karlyga Sarbayeva
HYDROLOGICAL AND GEOSTRUCTURAL CHANGES IN THE KOSKORGAN RESERVOIR UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC IMPACT AND CLIMATIC FLUCTUATIONS 20

Gauhar Ospan, Zhanar Ozgeldinova, Saltanat Sadvakasova
COMPOSITION AND SPATIAL DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN SURFACE WATERS OF THE NURA RIVER BASIN 34

Nariman Amirgaliyev, Kazhmurat Akhmedenov, Azamat Madibekov, Laura Ismukhanova, Askhat Zhadi, Aray Sultanayeva
MONITORING THE LEVEL OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS POLLUTION IN THE WATER RESOURCES OF THE TRANSBOUNDARY ZHAYIK RIVER BASIN 41

Arman Baisanov, Igor Spivak-Lavrov, Andrey Bebenin
ANALYSIS OF CHANGES IN ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN INDUSTRIAL CITIES OF KAZAKHSTAN BASED ON ENVIRONMENTAL MONITORING DATA 57

Rashad Nematzade, Gunel Rzayeva, Rauf Ragimov, Farid Samedov
METHOD OF FORMING CLASSES OF SPATIALLY DISTRIBUTED OBJECTS FOR THE PURPOSE OF THEIR CLASSIFICATION AND RECOGNITION ON HIGH-RESOLUTION MULTISPECTRAL SPACE IMAGES 66

Kirill Garinskikh, Alpamys Karypov, Adilkhan Symagulov, Yan Kuchin, Alexey Terekhov, Ravil Mukhamediev, Nadiya Yunicheva, Nursultan Kuldeev, Rat Berdibaev 79
FIELD IMAGE SEGMENTATION IN PRECISION AGRICULTURE

REVIEWARTICLE

Sagynysh Kuanysheva, Adil Shayakhmetov
SPATIAL ANALYSIS OF SOLID WASTE MANAGEMENT IN KARAGANDA: PROBLEMS AND PROSPECTS 91

Aiman Yessekina1 Alexander Cherednichenko, Zufar Tokpaev, Kazbek Rysbekov, Elmira Ermakhanova, Dana Kasenova, Saida Abdrakhim
OPPORTUNITIES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN TO FULFILL ITS COMMITMENTS IN THE FRAMEWORK OF THE GLOBAL METHANE INITIATIVE (GMI) 99

Гидрометеорология и экология

Ғылыми мақала

СЫРДАРИЯ ӨЗЕНІ ТӨМЕНГІ АҒЫСЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ РЕЖИМІНІҢ ӨЗГЕРУ ДИНАМИКАСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ АҒЫН СУ САПАСЫНА ӘСЕРІ

Раушан Ы. Ырысбек[1*], Шамшагул И. Маштаева[1] г.ғ.к., Ырысбек Ә. Молдаш[2] т.ғ.к.

[1] әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; raushanyrysbek@gmail.com (РЫЫ), shamshagulmashtayeva@gmail.com (ШИМ)
[2] Су ресурстары және ирригация министрлігі, қоғамдық кеңес, Астана, Қазақстан; r.moldash@mail.ru (ЫӘМ)
*Автор корреспондент: Раушан Ы. Ырысбек, raushanyrysbek@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Сырдария өзені, орташа жылдық су ағыны, Көксарай контрреттегіші, Шардара су қоймасы, судың ластануы, экологиялық ағын

АБСТРАКТ

Климаттық өзгерістер мен трансшекаралық су пайдалану мәселелерінің әсері Сырдария өзенінің төменгі ағысына айтарлықтай ықпал етуде. Бұл зерттеуде өзеннің ағын режимінің өзгеруі, су сапасының нашарлауы және экожүйеге тигізіп отырған әсерлері талданды. Сырдария өзені ағынының 90 %-дан астамы шекаралас елдерге (Қырғызстан, Өзбекстан, Тәжікстан) тәуелді болғандықтан, трансшекаралық басқару мәселелері айрықша назарға алынған.

Шардара су қоймасы мен Көксарай контрреттегішінің құрылыстары өзеннің ағын режимін күрт өзгертіп, ауыл шаруашылығына көп мөлшерде су бөлінуі әсіресе жаз мезгілінде су тапшылығын тудырған. Соның салдарынан өзен ағынының маусымдық таралуы өзгеріп, төменгі ағыстағы экожүйе зардап шегуде.

Сырдария өзені төменгі ағысының гидрологиялық режимінің көпжылдық өзгеру динамикасында соңғы 2017…2024 жылдар аралығында күрт төмендеу байқалғаны анықталған.

Қазіргі таңда Сырдария өзені суының минералдануы рұқсат етілген нормадан асып судың сапасы бойынша өзен суының ластану деңгейі 4-классты (орташа ластанған) құрап отыр. Осы жағдай су ресурстарын басқаруда экологиялық ағын ұғымын енгізудің және оны нақты тәжірибеде қолданудың маңыздылығын арттырады.

Қазіргі таңда қабылданған Қазақстан Республикасы жаңа Су кодексі мен 2024...2030 жылдарға арналған су ресурстарын басқару тұжырымдамасы бұл саладағы оң өзгерістерге негіз болады деп күтілуде.

Мақала жайында:
Жіберілді: 9.09.2025
Қайта қаралды: 24.12.2025
Қабылданды: 26.12.2025
Жарияланды: 30.12.2025

1. КІРІСПЕ

Сырдария өзені бастауын Қырғызстан, Өзбекстан және Тәжікстан көрші елдерінен алады. Трансшекаралық ағынның үлесі 90 %-дан асады. Өзен ағынының қалыптасуы негізінен көрші елдерге байланысты [1].

Сырдария өзенінің жоғарғы және орта ағысындағы су қоймалары каскадының құрылысы Қазақстан шегінде өзеннің гидрологиялық режимінің айтарлықтай бұзылуына әкелді. Әсіресе, өткен ғасырдың 90-шы жылдарының ортасында Тоқтоғұл су қоймасы жұмысының энергетикалық режимге ауысуымен ағынның жылдық бөлінуі күрт өзгерді. Судың ең көп ағын мөлшері жылдың бірінші тоқсанында байқалды, бұл арна бойынша суды таратуға қиындықтар туғызды. Нәтижесінде Сырдария өзенінің төменгі ағысында су тасқыны қаупі пайда болды [2...3].

2010 жылы Шардара су қоймасынан төмен қарай қыста ағынның бір бөлігін жинап, оны вегетациялық кезеңде таратуға мүмкіндік беретін Көксарай контрреттегіші салынды. Соның арқасында бұрын Шардара су қоймасынан Арнасай ойпатына

Дәйексөз үшін:

Ырысбек Р., Маштаева Ш., Молдаш Ы. Сырдария өзені төменгі ағысының гидрологиялық режимінің өзгеру динамикасы және оның ағын су сапасына әсері// Гидрометеорология и экология, 120 (5), 2025, 8-19.

қайтымсыз кеткен судың бір бөлігі Сырдария өзенінің арнасына қайта оралуы күтілді. Алайда, климаттың өзгеруі және жоғары антропогендік жүктеме әсері көрші елдерден келетін су ағынының төмендеуіне әкеліп соқты [4...5].

Соңғы 10…15 жылда Сырдария өзенінің төменгі ағысындағы, әсіресе Қызылорда облысындағы ағын режиміне айтарлықтай әсер еткен елеулі өзгерістер орын алды [6…8].

Судың ең үлкен айлық өтімі көктемнің басталуына тән, ең азы – жаздың барлық кезеңінде (мамыр-қыркүйек), тіпті қазан-қараша айларына дейін созылды. Өзен ағынының бұл таралуы ауылшаруашылық алқаптарын суару үшін судың көп жұмсалуына байланысты.

Сырдария өзені ағынының жыл ішіндегі таралуының өзгеруі өзеннің бүкіл бойында орын алды. Қызылорда су бөгетінің төменгі бьефінде Тасбөгет-Қаратерең су бекеттерінде айтарлықтай өзгерістер байқалды. Салыстырмалы түрде ағынның айтарлықтай көлемі қысқы кезеңде өтеді (қараша-ақпан). Егер, Сырдария өзенінің төменгі ағысы үшін II-ші, III-ші тоқсан ағынының үлесі 2011 жылға дейін 80 %-ды құраса, Көксарай контрреттегіші салынғаннан кейін оның шамасы 50 %-ға дейін төмендеді.

Бұл жұмыста жүргізілген гидрологиялық және гидрохимиялық талдаулар нәтижесі су ресурстарының біркелкі бөлінбеуіне және климаттың өзгеруіне байланысты өзен ағынын және экожүйесін сақтау үшін жылішілік ағынды бағалаудың маңыздылығы айқын бола түсетінін көрсетеді.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу барысында негізгі дереккөз ретінде «Қазгидромет» РМК-ның ресми гидрологиялық және гидрохимиялық деректері, сондай-ақ Арал–Сырдария бассейндік инспекциясының мәліметтері пайдаланылды. Нақтырақ айтқанда, өзеннің төменгі ағысы бойынша Шардара–Қаратерең су бекеттеріндегі көпжылдық гидрологиялық бақылау нәтижелері мен гидрохимиялық көрсеткіштер қолданылды. Бұл бекеттер Сырдария өзенінің төменгі ағысында су режимінің өзгерістерін кешенді түрде бақылауға мүмкіндік береді.

Өзеннің жылдық ағынының көпжылдық өзгерістерін анықтау үшін орташа мәндер негізінде гидрографтар тұрғызылды. Соңғы жылдардағы өзгерістердің жалпы бағытын анықтау мақсатында сызықтық регрессия әдісі қолданылып, тренд сызығы тұрғызылды. Мұндай тәсіл өзен ағынындағы ауытқулардың жалпы бағыттарын, яғни арту немесе кему үрдісін анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, өзен ағынының жыл ішіндегі таралуын бағалау үшін әрбір жылдағы орташа айлық ағын мәндері есептеліп, графиктік талдау жүргізілді. Бұл талдау ағынның маусымдық ерекшеліктерін, яғни көктемгі тасқын, жазғы және күзгі төменгі ағын кезеңдерін айқын көруге жағдай жасайды.

Гидрохимиялық талдау барысында «Қазгидромет» РМК-ның 2006…2023 жылдар аралығындағы деректері пайдаланылды. Бұл деректер Сырдария өзенінің трансшекаралық учаскесінен бастап Арал теңізіне дейінгі аралықтағы су сапасын сипаттайды және минералдану концентрациялары жөніндегі жыл сайынғы мәліметтерді қамтиды. Мұндай деректер қазіргі уақытта ерекше құнды болып табылады, себебі трансшекаралық өзендер бойынша ұзақ мерзімді және толыққанды бақылау деректерінің тапшылығы айқын сезілуде.

Талдау барысында әмбебап салыстырмалы талдау, уақыттық талдау және корреляциялық талдау әдістері қолданылды. Салыстырмалы талдау гидрохимиялық көрсеткіштердің кеңістіктік және уақыттық өзгерістерін салыстыруға мүмкіндік берсе, уақыттық талдау су сапасының маусымдық және көпжылдық динамикасын анықтауға жағдай жасайды. Ал корреляциялық талдау судың химиялық құрамы мен сыртқы факторлар (ағын мөлшері, климаттық жағдайлар, антропогендік жүктеме) арасындағы ықтимал байланыстарды айқындауға көмектеседі.

Сондай-ақ өзен суының минералдану концентрациясының орташа жылдық мәндері есепке алынып, су сапасының Бірыңғай классификация жүйесіндегі нормативтік көрсеткіштермен салыстырылды. Бұл Сырдария өзенінің төменгі ағысындағы су сапасының қазіргі жағдайын бағалауға және оның экологиялық тұрақтылығына баға беруге мүмкіндік берді.

Сонымен қатар Сырдария өзенінің төменгі ағысы, атап айтқанда Қызылорда облысының аумағындағы Тасбөгет су бекетінен Қаратерең су бекетіне дейінгі аралықта вегетациялық кезеңдегі минералдану көрсеткіштерінің уақыттық өзгерісі қарастырылды.

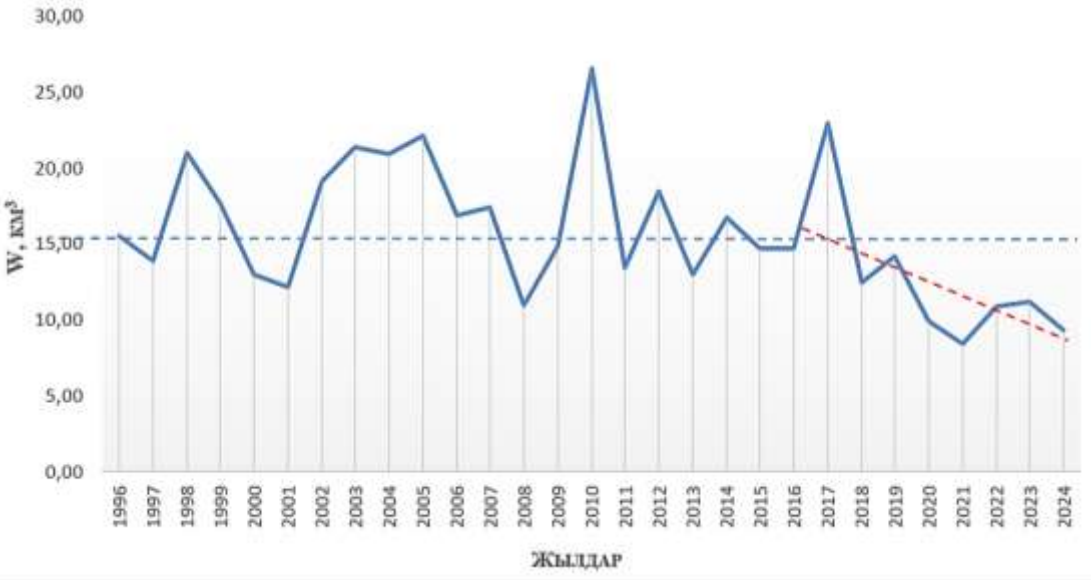
3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу барысында өзен бойындағы ағынның өзгеруін талдау үшін Арал-Сырдария су шаруашылығы бассейні аумағының Сырдария өзенінің әртүрлі гидрологиялық бекеттеріндегі жылдық ағыны туралы мәліметтер қолданылды [9].

1996…2024 жылдар аралығындағы Шардара су қоймасынан төмен өзен ағысының көпжылдық орташа ағын көлемінің көрсеткіштері төмендегідей болды (сурет 1).

Өзеннің жылдар бойынша су ағынының өзгерісін талдау кезінде көпжылдық ағын көлемінің орташа көрсеткіші 15,6 км^3 құрады.

Соңғы жылдары (2017...2024 жж.) су ресурстарының біркелкі бөлінбеуіне және климаттың өзгеруіне байланысты өзен ағынының күрт өзгеруі байқалды (22,9...9,3 км3). Бұл жағдайды суреттегі тренд сызығы айқын көрсетеді [9...19].



– – – көпжылдық ағын көлемінің орташа көрсеткіші, км^3

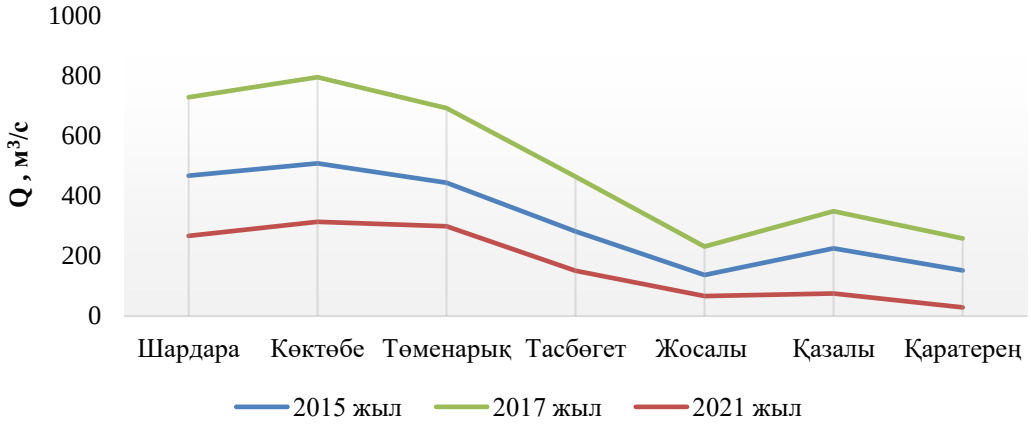
– – – тренд сызығы, 2017…2024 жж аралығындағы орташа жылдық ағын көлемінің күрт өзгеруі

Сурет 1. *Сырдария өзені төменгі ағысының орташа жылдық ағын көлемінің өзгеруі (1996...2024 жж.)*

Сырдария өзені ағын шығыны әртүрлі жылдары өзен ұзындығы бойынша азаюда. Суы мол жылдары өзен бойындағы ағын шығыны да артады. 2017 жыл, Көксарай қоймасы салынғаннан кейінгі суы мол жылы, ағын шығыны 470 м^3/с құрады. Жыл ішіндегі ең жоғары ағын шығыны Төменарық су бекетімен Жосалы су бекеті аралығында 233…461 м^3/с байқалды. Ағынның баяу азаюы Қазалы су бекетінен Қаратерең су бекетіне дейінгі аумақта байқалды 0,84…0,91 м^3/с (сурет 2).

Бұл ретте Төменарық су бекетімен Жосалы су бекеті аралығында ағынның біршама азаюы, бұл аумақта, өзеннің басқа бөліктеріне қарағанда негізінен ағынды

сулардың егінді суаруға таратылуы және өзен арнасынан жайылмалық ағынды сулардың табиғи жоғалуына байланысты.



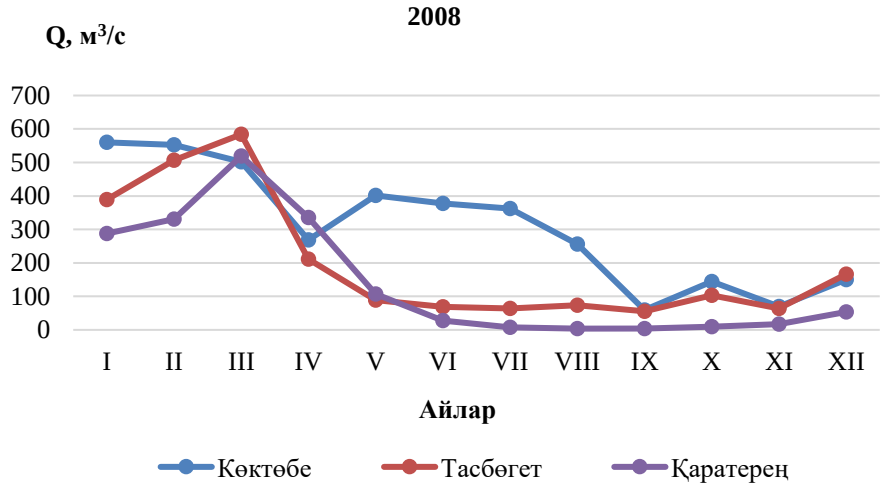
Сурет 2. *Көксарай контрреттегіші құрылысынан кейінгі Сырдария өзенінің төменгі ағыс ағынының өзгеруі*

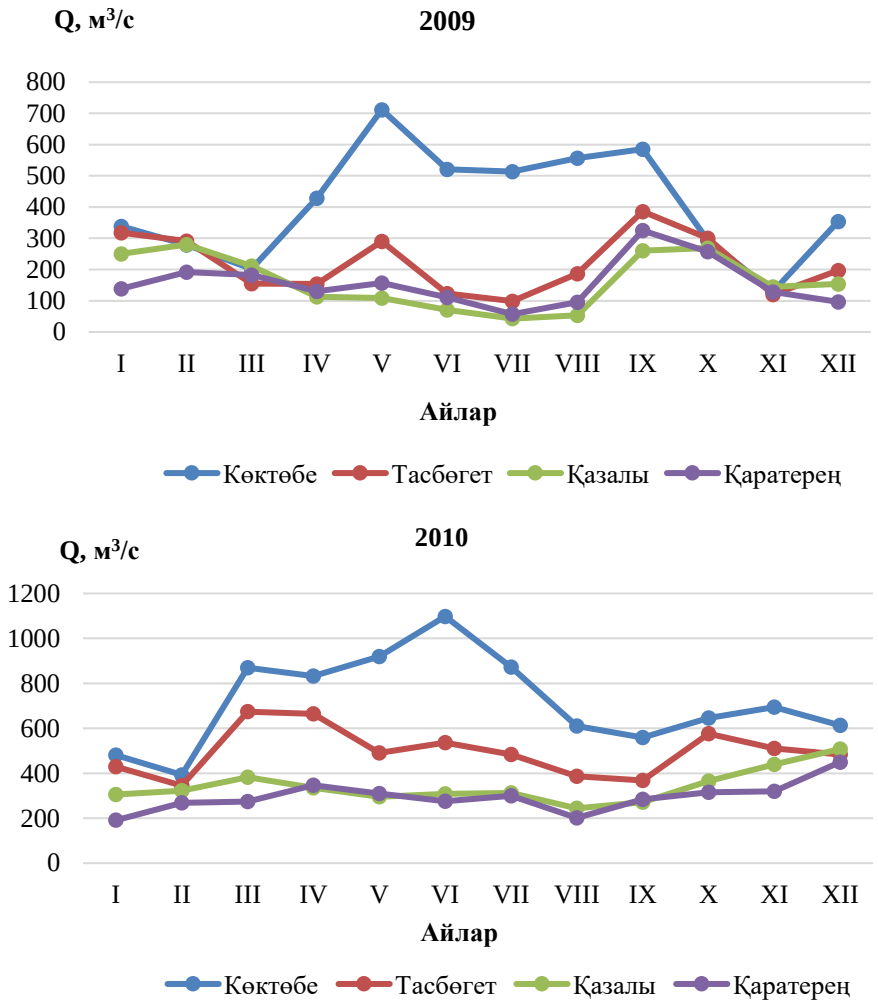
Көксарай су қоймасы қысқы мезгілде ағынның бір бөлігін жинап, оны вегетациялық кезеңде реттеп жіберу үшін 2010 жылы салынған болатын. Оның жобалық сыйымдылығы 3 млрд м^3 құрайды. Алайда соңғы кездері гидрокұрылғының тозуына байланысты қойма сыйымдылығының мүмкіндігі 1,5 млрд м^3-ден аспай келеді.

Соның салдарынан және соңғы кездегі климаттық өзгерістер мен трансшекаралық басқару мәселелеріне байланысты Сырдария өзенінің төменгі ағысында өзен ағынының жылдық және маусымдық таралуы айтарлықтай өзгеріске ұшырады.

Сырдария өзенінің төменгі ағысының 1996…2010 жылдар аралығындағы гидроэкологиялық жағдайы біршама ғалымдармен жеткілікті деңгейде зерттелген. Көрсетілген жылдары Сырдария өзенінің төменгі ағысында айтьарлықтай су тапшылығы сезілген жоқ, есесіне 2010 жылы гидрометеорологиялық болжамдар бойынша су тасқыны болатыны күтілді [6...8].

Зерттеу барысында жүргізілген талдау бойынша салыстырмалы түрде Сырдария өзенінің төменгі ағысы ағынының 2008…2010 жылдардағы жылішілік таралуының сұлбалары құрылды. Оларда ағынның жылішілік таралуының тұрақтылығы айқын көрінеді (сурет 3).





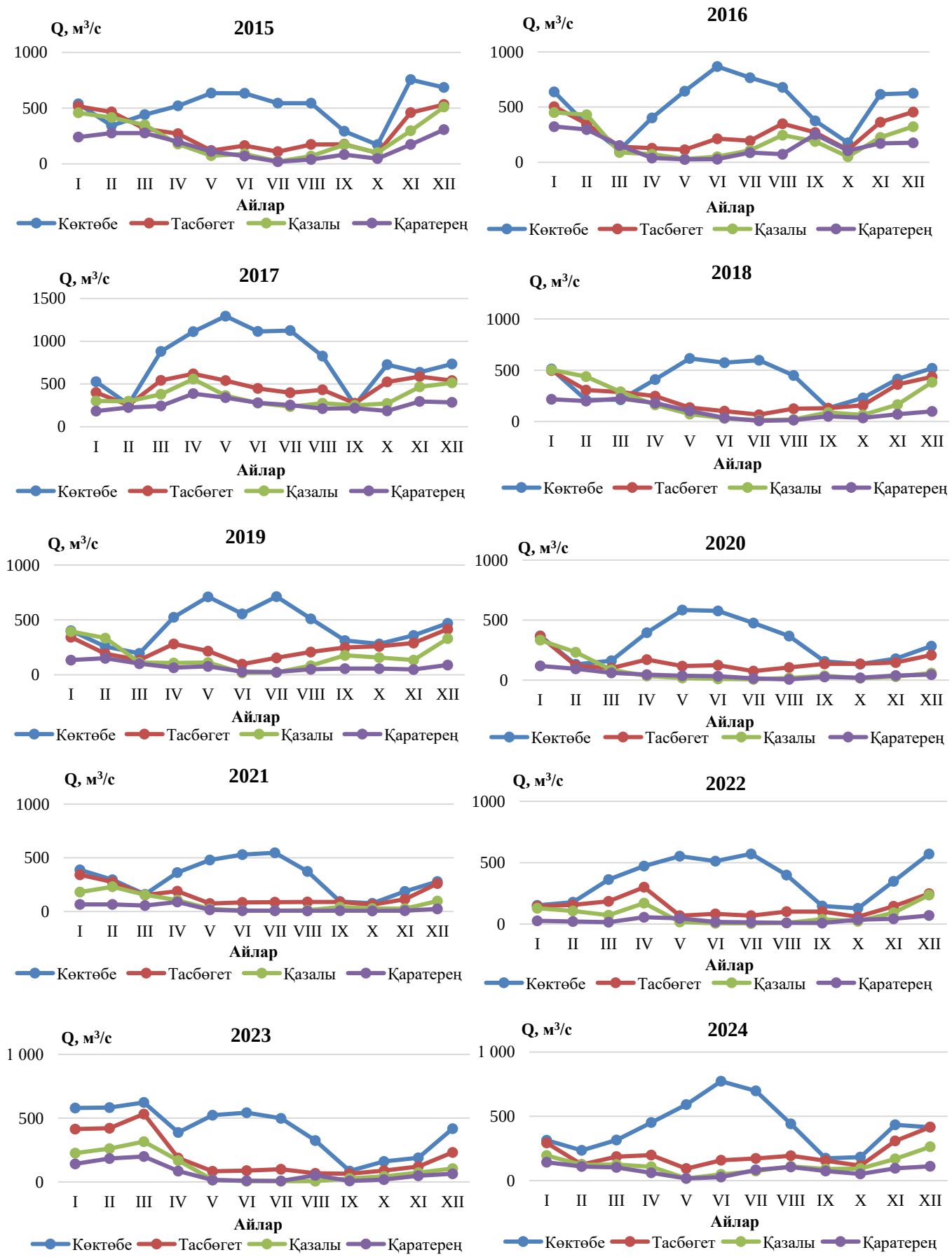
Сурет 3. *Көксарай контрреттегіші құрылысына дейінгі Сырдария өзенінің төменгі ағыс ағынының жыл ішілік таралуы*

Көксарай контрреттегіші құрылысынан кейінгі Сырдария өзені төменгі ағысында өзен ағынының жылішілік таралуының өзгеруі төменгі сұлбаларда келтірілген (сурет 4).

Өзен арнасындағы ай сайынғы ең аз ағындар (кейбір жылдары – 6…10 м^3/с немесе 16…50 млн. м^3) ауыл шаруашылығы алқаптарын суару қарқынды жүріп жатқан жаз айларында байқалады. Мұндай ағын жылдамдығымен өзеннің негізгі арнасындағы судың қозғалысуы кәдімгі гидрометрлік өлшегішпен іс жүзінде түсіру мүмкін емес.

Өзен суының орташа айлық өтімінің төмен шамалары 6…30 м^3/с қазан-қараша айларына дейін сақталғаны байқалады. Әсіресе Қазалы және Қаратерең су бекеттерінде 2021...2022 жылдары мамыр-шілде айларында нөлдік өтімдер тіркелген. Бұл өз кезегінде өзеннің экожүйесінің қалыптасуына кері әсерін тигізеді, яғни өзен табанының құрауына, және ондағы биоәртүрліліктің жойылуына әкеледі.

Сырдария өзенінің облыс экономикасында маңызы зор, әсіресе ауыл шаруашылығында. Соңғы онжылдықта өзендегі су өзінің құнарлы табиғи сапасын жоғалтты. Сырдария өзенінің жоғарғы ағысында судың сапасына Өзбекстан мен Тәжікстан кәсіпорындарының сарқынды сулары әсер етеді [10...11].



Сурет 4. *Көксарай контрреттегіші құрылысынан кейінгі Сырдария өзенінің төменгі ағыс ағынының жыл ішілік таралуы*

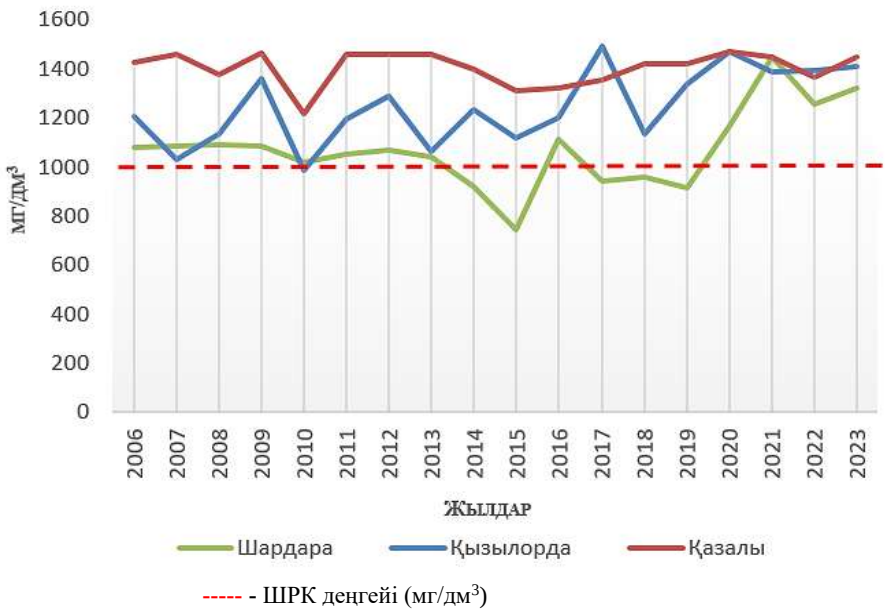
Түркістан облысы аумағында, Сырдария өзеніне Шардара су қоймасынан жоғары минералдандырылған, құрамында пестицидтері бар коллекторлық-дренаждық сулар ағызылады. Шардара су қоймасы мен Сырдария өзенінің улы химикаттармен тұрақты фондық ластануына байланысты олардың планктонда, бентоста, балықта қарқынды жиналуы жүруде. Бұл ретте осы заттардың гидробионттардың ұлпалары мен органдарында әрбір трофикалық сатыда орташа бір-екі тәртіптен жоғары [12...14].

Соңғы жылдары Сырдария өзені төменгі ағысының сапасы, әсіресе Қызылорда облысы бойынша санитарлық-эпидемиологиялық нормаларға сәйкес келмей отыр. 2006...2010 жылдары өзен суының минералдану көрсеткіштері (Қызылорда облысы аумағында) 1100...1300 мг/дм³ аралығында болса, 2017...2023 жылдары бұл көрсеткіш 1300...1600 мг/дм³-қа дейін өсіп, әртүрлі химиялық ингредиенттермен ластану байқалды [19].

Судың ластану индексіне сәйкес Сырдария өзені орташа ластанған (3-класс) су нысандарына жатады. Дегенмен Қызылорда облысының төменгі бөліктерінде планктондық қауымдастықтардың жағдайына байланысты су сапасы 4-класс деңгейіне жетіп, айтарлықтай ластанған су нысанына айналды [15...16].

Сырдария өзені су ресурстарының 90 %-дан астамы экономиканың барлық секторларында жан-жақты пайдаланылады (оның ішінде 80 %-ға жуық егін шаруашылығы) және ол Қазақстанда да, көрші елдердің аумағында да коллекторлық-дренаждық және басқа да сарқынды сулармен ластануға ұшырайды [17...18].

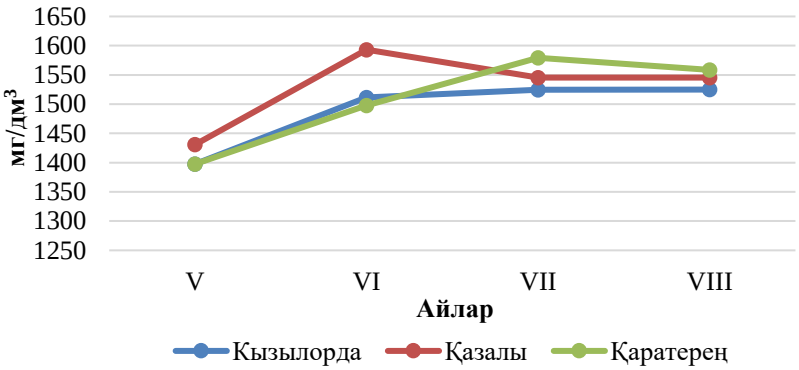
Сырдария өзенінің жоғарғы ағысында орналасқан суару жүйелерінен келіп түсетін сарқынды сулардың әсерінен болатын минералданудың деңгейі төмендегі сұлбада келтірілген (сурет 5). 2006...2023 жылдардағы мәліметтерге сәйкес өзен суының минералдануының орташа жылдық көрсеткіші 750...1450 мг/дм^3 құрады. Көріп отырғанымыздай, 2018...2023 жылдары өзен суының минералдануы күрт жоғарылаған.



Сурет 5. *Сырдария өзені төменгі ағысының минералдану көрсеткіші*

Әдетте, өзен суының минералдануы орташа жылдық көрсеткіштері негізінде алынады. Алайда, өзен экожүйесінің қалыптасуы жылдың көктем-күз айларында жүреді. Сол себепті минералданудың жылішілік таралуын көрсету мақсатында вегетациялық кезеңді мамыр-тамыз айларын қарастыруды жөн көрдік.

Төмендегі суретте көрсетілгендей вегетациялық кезеңдегі өзен суының минералдану көрсеткіштері 1400...1600 мг/дм^3 құрады [19]. Бұл мәндер рұқсат етілген нормадан орта есеппен 1,5 есе артады (сурет 6).



Сурет 6. *Сырдария өзені суының вегетациялық кезеңдегі минералдануы*

Судың ластануына әкелетін басқа да зиянды заттардың концентрациясы «Қазгидромет» РМК мәліметтері бойынша ШРК деңгейінен аспады [19]. Қарастырылып отырған кезеңдегі су құрамындағы БПК5 (оттегінің биохимиялық тұтынуы) 1,0...2,94 мг/дм^3, мыс концентрациясы 0,002...0,003 мг/дм^3 құрады.

Алайда, қарастырылып отырған кезеңдегі жекелеген айларда мыс көрсеткіштері 2,0...2,4 құрайды. КАПЕ (Қазақстан қолданбалы экология агенттігі) мамандарының ауыр металдар құрамын анықтау үшін жүргізген зерттеулері бойынша мыс концентрациясы рұқсат етілген нормалардан орта есеппен 2,96 мг/дм^3 (3 ШРК) асады. Судағы мыс құрамының жоғарылауының негізгі көзі антропогендік фактор екенін көрсетеді: коллекторлық дренаждық желілер, металлургиялық өндіріс және тұрмыстық қалдықтары [20, 21].

Көрші елдерге үлкен тәуелділік жағдайында судың тең бөлінбеуі, тиімсіз пайдаланылуы, өзен экожүйесінің жағдайын одан әрі нашарлатады. Су ресурстарының азаюының, экожүйелер функцияларына қалпына келмейтін зиян тигізуінің физикалық шекарасы бар екенін түсіну қажет [8, 23].

Қазіргі таңда су ресурстары бөлінген кезде экожүйелердің қажеттіліктері қалдық негізінде бөлінеді. Сондықтан су шаруашылығында экологиялық ағын ұғымын енгізу өзеннің табиғи режимін сақтап, биоәртүрлілікті қорғауға мүмкіндік береді. Экологиялық ағынның басты мақсаты – өзен арнасындағы судың мөлшері мен сапасын белгілі бір деңгейде ұстап тұру арқылы экожүйелердің тұрақты дамуын қамтамасыз ету [22].

Шетелдік тәжірибелер көрсеткендей, егер өзен ағысының 60%-дан астамы экономикалық мақсаттарға жұмсалса, небары 13 жыл ішінде өзеннің толық құрғау қаупі бар. Канада, АҚШ, Қытай және Италия мемлекеттерінің заңнамасында экологиялық ағын көлемі табиғи режимге барынша жақындатылып, қолайлы экологиялық жағдай мен биоәртүрлілікті сақтау қағидаты негізінде анықталады. Бұл тұрғыда экологиялық ағын минималды жеткілікті көлемді немесе тіршілік ортасына қауіпті деңгейге түспейтін ағын пайызын сақтауды білдіреді [23...25].

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижелері Сырдария өзенінің төменгі ағысында су ресурстарының жылдан-жылға азайып, су сапасының нашарлап отырғанын көрсетті. Өзен ағынының 90%-дан астамы көршілес елдерден келетіндіктен, Қазақстан аумағындағы су көлемі мен сапасы сыртқы факторларға тәуелді. Көксарай контрреттегіші ағынды реттеу мақсатында салынғанымен, климаттық өзгерістер мен антропогендік жүктемелер салдарынан өзен ағынының режимі бұзылып, төменгі ағыс экожүйесіне елеулі қауіп төндіруде.

Көксарай су қоймасына қысқы мезгілде ағынның бір бөлігін жинап, оны вегетациялық кезеңде реттеп жіберу үшін, су қоймасының сыйымдылығын жобалық көлемге дейін жеткізу мақсатында жаңғырту жұмыстарын жүргізу қажет.

Ауыл шаруашылығы мақсатында судың көп мөлшерде пайдаланылуы, әсіресе жаз айларында, өзен арнасында су деңгейінің күрт төмендеуіне және нөлдік ағын өтімдерінің тіркелуіне себеп болды. Бұл жағдай өзеннің биологиялық әралуандығы мен экожүйелік тұрақтылығына кері әсерін тигізіп отыр. Сонымен қатар, өзен суының минералдану деңгейі мен ластану көрсеткіштері рұқсат етілген шектерден асып, су сапасының 4-класс деңгейіне дейін нашарлауына әкелген.

Осыған байланысты, су ресурстарын басқаруда экологиялық ағын ұғымын енгізу және оны нақты тәжірибеде қолдану аса маңызды. Су ресурстарының тек экономикалық емес, экологиялық маңызын да ескере отырып, суды үнемдеу технологияларын енгізу, қалдық суларды тазарту және су сапасын тұрақты бақылауда ұстау қажет.

Қазіргі таңда қабылданған ҚР жаңа Су кодексі мен 2024...2030 жылдарға арналған су ресурстарын басқару тұжырымдамасы – суды ұтымды пайдалану мен өзен экожүйесін сақтау жолындағы маңызды қадам. Алайда бұл бастамалар нақты орындау мен бақылау шараларымен сүйемелденген жағдайда ғана оң нәтиже береді.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректерді авторлар «Казгидромет» РМК дереккөздерден алды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау - ШИМ; деректерді басқару - РЫЫ; Ресми талдау - РЫЫ, ШИМ, ЫӘМ; Әдістеме - РЫЫ, ШИМ, ЫӘМ; Қадағалау - ШИМ; Визуализация - РЫЫ; Бастапқы жобаны жазу - РЫЫ; Шолу жазу және редакциялау - РЫЫ, ШИМ.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Концепция развития системы управления водными ресурсами Республики Казахстан на 2024-2030 годы. Постановление Правительства Республики Казахстан от 5 февраля 2024 года № 66
2. Шиварева С.П., Попова В.П., Никифорова Л.Н., Домран А.О. Русловой водный баланс р. Сырдарьи от нижнего бьефа Шардаринского водохранилища до впадения в Северное Аральское море. Гидрометеорология и экология. – 2012. – №1. – С. 126–137
3. Чембарисов Э.И., Рахимова М.Н. “Река Сырдарья: Гидрология и Гидроэкология”, Монография. – Ташкент: Изд. «Voris-nashriyot», 2024. – С. 9-27
4. Арыстамбекова Д., Тевс Н., Турсумбаева М. Оценка гидроэкологического состояния дельты реки Сырдарья. Центрально азиатский журнал исследований водных ресурсов, CAJWR (2019) 5-1: С. 49-62
5. Тюменев С.Д. Водные ресурсы и водообеспеченность территории Казахстана: Учебник. – Алматы: КазНТУ, 2008. – С. 41-45
6. Попова В., Мусенова, А. Определение потерь стока по длине р.Сырдарья в пределах Республики Казахстан. Гидрометеорология и экология. – 2008. – №1. – С. 100–108
7. Самбаев Н.С. Оценка гидрологического состояния р. Сырдария в пределах Кызылордин ской области // Вектор ГеоНаук. Т.1. – 2018. – №3. – С. 95-100
8. Достай, Ж., Алимкулов, С., Сапарова, А. Оценка водных ресурсов на современном этапе развития Арало-Сырдарьинского природно-хозяйственного комплекса. Гидрометеорология и экология. – 2016. – №1. – С. 93–102
9. «Қазгидромет» РМК гидрологиялық мәліметтер базасы [Электрондық ресурс] URL: https://meteo.kazhydromet.kz/database_hydro_kz/ (жүгінген күні: 12.01.2025).
10. Bissenbayeva S., Abuduwaili J., Issanova G., Samarkhanov K. (2020). Characteristics and Causes of Changes in Water Quality in the Syr Darya River, Kazakhstan. Hydrochemistry, Hydrobiologi: Envirolmental aspects.Water Resources. vol. 47, pp. 904-912
11. Taltakov I. (2015). The Syrdarya river- new ecological disaster in Central Asia Seifullin Kazakh Agro Technical University. Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus. 14 (4), pp. 135–140
12. Absametov M.K., Ospanov K.T, Kenesbayeva B. (2024). Water quality of the Syrdarya River and groundwater of the Kyzylzharma field in the Kyzylorda region (Kazakhstan). Engineering Journal of Satbayev University, vol. 146, no 1, pp. 30-38
13. Satybaldiyev B., Ismailov B., Nurpeisov N., Kenges K., Daniel D., Malakar A., Taukebayev O., Uralbekov B. (2023). Downstream hydrochemistry and irrigation water quality of the Syr Darya, Aral Sea Basin, South Kazakhstan.Water Supply. vol. 23, no 5, pp. 2124-2125
14. Absametov M., Murtazina Y., Ospanov K., Rakhimova V., Berndtssonc R. (2024). Prediction of groundwater drawdown and quality at Kyzylzharma well field in the arid Syr Darya Basin, Kazakhstan. vol. 11, no. 1, Cogent engineering https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2307194
15. Құрлықтың жер үсті суларының режимі мен ресурстары туралы жыл сайынғы деректер (ББЖ) [Электрондық ресурс] URL:https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/ezhegodnye-dannye-o-rezhime-i-resursah-poverhnostnyh-vod-sushi-eds (жүгінген күні: 17.02.2025).

16. Қоршаған ортаның жай-күйі туралы ай сайынғы ақпараттық бюллетень [Электрондық ресурс] URL: https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy (жүгінген күні: 05.03.2025).
17. Bissenbayeva S., Abuduwaili J., Saparova A., Ahmed T. (2021). Long-term variations in runoff of the Syr Darya River Basin under climate change and human activities. 13 (1): pp. 56-70 https://doi.org/10.1007/s40333-021-0050-0 /
18. Zhang W., Long Ma, Abuduwaili J., Yongxiao Ge, Issanova G., Saparov G. (2019). Hydrochemical characteristics and irrigation suitability of surface water in the Syr Darya River, Kazakhstan. Article in Environmental Monitoring and Assessment. 191:572 https://doi.org/10.1007/s10661-019-7713-8
19. Гидрологические и гидрохимические данные по нижнему течению р. Сырдарья за 2010-2024 гг. Кызылординский филиал РГП «Казгидромет» (дата обращения: 18.03.2025).
20. Burlibayev M. Zh., Dyusenova Zh.A., Linnik A.S., Smirnova D.A., Burlibayeva V.N., Orlova I.V., Marynich O.V, Stogova L.L. (2018). Nekotorye aspekty gidroecologicheskih problem Kazakhstana: sbornik nauchnyh trudov KAPE [Some aspects of the hydroecological problems of Kazakhstan: a collection of scientific papers KAPE] - Almaty: ed. "Kaganat", no 2, p. 488.
21. Некоторые аспекты гидроэкологических проблем Казахстана: сборник научных трудов КАПЭ. – Алматы: изд. «Каганат», 2018. – №2. – С. 488
22. Сапарова А., Бурлибаев М., Мустафаев, Ж. (2023). Экологический сток и попуск в формате национальной оценки. Izdenister Natigeler, (3 (99), 259–272. https://doi.org/10.37884/3-2023/27
23. Jiao, Y.; Liu, J.; Li, C.; Xu, Z.; Cui, Y. Refined Calculation of Multi-Objective Ecological Flow in Rivers, North China. Water 2023, 15, 1003. https://doi.org/10.3390/w15051003
24. Greco, M.; Arbia, F.; Giampietro, R. Definition of Ecological Flow Using IHA and IARI as an Operative Procedure for Water Management. Environments 2021, 8, 77. https://doi.org/10.3390/environments8080077
25. Linnansaari, T.; Monk, W.A.; Baird, D.J.; Curry, R.A. Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012, 39, 74.
26. Водный кодекс Республики Казахстан от 9 апреля 2025 года № 178-VIII ЗРК.

REFERENCES

1. (2024). Kontseptsiya razvitiya sistemy upravleniya vodnymi resursami Respubliki Kazakhstan na 2024–2030 gody. [Concept for the development of the water resources management system of the Republic of Kazakhstan for 2024–203] Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan ot 5 fevralya 2024 goda № 66. [in Russian].
2. Shivareva S. P., Popova V. P., Nikiforova L. N., Domran A. O. (2012). Ruslovoy vodnyy balans r. Syrdar'i ot nizhnego b'efa Shardarinskogo vodokhranilishcha do vpadeniya v Severnoe Aralskoe more. [Channel water balance of the Syrdarya river from the lower reach of the Shardara reservoir to the inflow into the Northern Aral Sea] Gidrometeorologiya i ekologiya, (1), 126–137 [in Russian].
3. Chembarisov E. I., Rakhimova M. N. (2024). Reka Syrdar'ya: Gidrologiya i gidroekologiya. [The Syrdarya River: Hydrology and Hydroecology] Monografiya. Tashkent: Voris-nashriyot. [in Russian].
4. Arystambekova D., Tevs N., Tursumbaeva M. (2019). Otsenka gidroekologicheskogo sostoyaniya delty reki Syrdar'ya. [Assessment of the hydroecological state of the Syrdarya River delta] Tsentral'no aziatskiy zhurnal issledovaniy vodnykh resursov (CAJWR), 5(1), 49–62. [in Russian].
5. Tyumenev S. D. (2008). Vodnye resursy i vodoobespechennost' territorii Kazakhstana: Uchebnik. [Water resources and water supply of Kazakhstan: Textbook] Almaty: KazNTU. [in Russian].
6. Popova V., Musenova A. (2008). Opredelenie poter' stoka po dline r. Syrdar'ya v predelakh Respubliki Kazakhstan. [Determination of flow losses along the Syrdarya River within the Republic of Kazakhstan] Gidrometeorologiya i ekologiya, (1), 100–108. [in Russian].
7. Sambaev N. S. (2018). Otsenka gidrologicheskogo sostoyaniya r. Syrdar'ya v predelakh Kyzylordinskoy oblasti. [Assessment of the hydrological state of the Syrdarya River within the Kyzylorda region.] Vektor GeoNauk, 1(3), 95–100 [in Russian].
8. Dostai Zh., Alimkulov S., Saparova A. (2016). Otsenka vodnykh resursov na sovremennom etape razvitiya Aralo-Syrdar'inskogo prirodno-khozyaystvennogo kompleksa. [Assessment of water resources at the current stage of development of the Aral-Syrdarya natural-economic complex] Gidrometeorologiya i ekologiya, (1), 93–102. [in Russian].
9. "Qazgidromet" RMK gidrologiyalyq məlimetter bazasy. [Elektronic resources]. URL: https://meteo.kazhydromet.kz/database_hydro_kz/, date of access: 12.01.2025 [in Kazakh].
10. Bissenbayeva S., Abuduwaili J., Issanova G., Samarkhanov K. (2020). Characteristics and causes of changes in water quality in the Syrdarya River, Kazakhstan. Water Resources, 47, 904–912.
11. Taltakov I. (2015). The Syrdarya River – new ecological disaster in Central Asia. Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus, 14(4), 135–140.
12. Absametov M. K., Ospanov K. T., Kenesbayeva B. (2024). Water quality of the Syrdarya River and groundwater of the Kyzylzharma field in the Kyzylorda region (Kazakhstan). Engineering Journal of Satbayev University, 146(1), 30–38.
13. Satybaldiyev B., Ismailov B., Nurpeisov N., Kenges K., Daniel D., Malakar A., Taukebayev O., Uralbekov B. (2023). Downstream hydrochemistry and irrigation water quality of the Syrdarya, Aral Sea Basin, South Kazakhstan. Water Supply, 23(5), 2124–2125.
14. Absametov M., Murtazina Y., Ospanov K., Rakhimova V., Berndtsson C. (2024). Prediction of groundwater drawdown and quality at Kyzylzharma well field in the arid Syrdarya Basin, Kazakhstan. Cogent Engineering, 11(1). https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2307194
15. Qurlyqtyń zher ústi sularynyń rezhimi men resúrstary turaly jyl sayyngy derekter (BBJ) [Elektronic resources]. URL: https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/ezhegodnye-dannye-o-rezhime-i-resursah-poverhnostnyh-vod-sushi-eds, date of access: 17.02.2025 [in Kazakh].
16. Qorshaǵan ortanyń jaı-kúii turaly aı saıyngy aǵparattyq byulleten' [Elektronic resources]. URL: https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy, date of access: 05.03.2025 [in Kazakh].

17. Bissenbayeva S., Abuduwaili J., Saparova A., Ahmed T. (2021). Long-term variations in runoff of the Syrdarya River Basin under climate change and human activities. Earth Science Frontiers, 13(1), 56–70. https://doi.org/10.1007/s40333-021-0050-0
18. Zhang W., Ma L., Abuduwaili J., Ge Y., Issanova G., Saparov G. (2019). Hydrochemical characteristics and irrigation suitability of surface water in the Syrdarya River, Kazakhstan. Environmental Monitoring and Assessment, 191, 572. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7713-8
19. Gidrologicheskie i gidrokhimicheskie dannye po nizhnemu techeniyu r. Syrdar'ya za 2010–2024 gg. [Hydrological and hydrochemical data on the lower reaches of the Syrdarya River for 2010–2024] Kyzylordinskiy filial RGP "Kazgidromet". (2025, March 18). [in Russian].
20. Burlibayev M. Zh., Dyusenova Zh. A., Linnik A. S., Smirnova D. A., Burlibayeva V. N., Orlova I. V., Marynich O. V., Stogova L. L. (2018). Nekotorye aspekty gidroekologicheskikh problem Kazakhstana: sbornik nauchnykh trudov KAPE. [Some aspects of the hydroecological problems of Kazakhstan: collection of scientific papers KAPE] Almaty: Kaganat. [in Russian].
21. Nekotorye aspekty gidroekologicheskikh problem Kazakhstana: sbornik nauchnykh trudov KAPE. [Some aspects of the hydroecological problems of Kazakhstan: collection of scientific papers KAPE] (2018). Almaty: Kaganat, 2, 488 [in Russian].
22. Saparova A., Burlibaev M., Mustafayev Zh. (2023). Ekologicheskiy stok i popusk v formate natsional'noy otsenki [Ecological flow and release in the format of national assessment]. Izdenister Natigeler, 3(99), 259–272. https://doi.org/10.37884/3-2023/27 [in Russian].
23. Jiao Y., Liu J., Li C., Xu Z., Cui Y. (2023). Refined calculation of multi-objective ecological flow in rivers, North China. Water, 15, 1003. https://doi.org/10.3390/w15051003
24. Greco M., Arbia F., Giampietro R. (2021). Definition of ecological flow using IHA and IARI as an operative procedure for water management. Environments, 8, 77. https://doi.org/10.3390/environments8080077
25. Linnansaari T., Monk W. A., Baird D. J., Curry R. A. (2012). Review of approaches and methods to assess environmental flows across Canada and internationally. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document, 39, 74.
26. (2025). Vodnyy kodeks Respubliki Kazakhstan ot 9 aprelya 2025 goda № 178-VIII ZRK [Water Code of the Republic of Kazakhstan, April 9, 2025, No. 178-VIII ZRK] [in Russian].

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЫРДАРЬЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Раушан Ы. Ырысбек[1*], Шамшагул И. Маштаева[1] к.г.н., Ырысбек Ә. Молдаш[2] к.т.н.

[1] Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; raushanyrysbek@gmail.com, shamshagulmashtayeva@gmail.com
[2] Министерство водных ресурсов и ирригации, общественный совет, Астана, Казахстан; r.moldash@mail.ru
*Автор корреспондент: Раушан Ы. Ырысбек, raushanyrysbek@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

река Сырдарья,
среднегодовой сток,
Коксарайский контррегулятор,
Шардаринское водохранилище,
загрязнение воды,
экологический сток

АБСТРАКТ

Климатические изменения и проблемы трансграничного водопользования оказывают значительное влияние на нижнее течение реки Сырдарья. В данном исследовании проанализированы изменения режима стока реки, ухудшение качества воды и воздействие этих процессов на экосистему. Поскольку более 90 % стока реки формируется за пределами Казахстана (в Кыргызстане, Узбекистане и Таджикистане), особое внимание уделено вопросам трансграничного управления.

Строительство Шардаринского водохранилища и Коксарайского контррегулятора резко изменило режим стока, а значительные заборы воды на сельское хозяйство, особенно в летний период, вызвали дефицит воды. В результате изменилось сезонное распределение стока, что негативно сказалось на экосистеме нижнего течения.

Установлено, что в многолетней динамике гидрологического режима нижнего течения Сырдарьи в период 2017…2024 гг. наблюдается резкое снижение водности.

Минерализация и уровень загрязнения воды превышают допустимые нормы. По качеству воды уровень загрязнения реки Сырдарья относится к 4-му классу (умеренно загрязненная). Данная ситуация подчёркивает необходимость внедрения понятия экологического стока и его практической реализации в управлении водными ресурсами.

Принятый в настоящее время новый Водный кодекс Республики Казахстан и Концепция управления водными ресурсами на 2024…2030 годы, как ожидается, станут основой для положительных изменений в данной сфере.

По статье:

Получено: 9.09.2025
Пересмотрено: 24.12.2025
Принято: 26.12.2025
Опубликовано: 30.12.2025

DYNAMICS OF HYDROLOGICAL REGIME CHANGES IN THE LOWER REACHES OF THE SYRDARYA RIVER AND THEIR IMPACT ON SURFACE WATER QUALITY

Raushan Yrysbek[1*], Shamshagul Mashtayeva[1] Candidate of Geographical Sciences, Yrysbek Moldash[2] Candidate of Technical Sciences

[1] Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; raushanyrysbek@gmail.com, shamshagulmashtayeva@gmail.com
[2] Ministry of Water Resources and Irrigation, Public Council, Astana, Kazakhstan; r.moldash@mail.ru
*Corresponding author: Raushan Yrysbek, raushanyrysbek@gmail.com

KEY WORDS

Syrdarya river,
average annual runoff,
Koksaray counter-regulator,
Shardara reservoir,
water pollution,
environmental flow

ABSTRACT

Climate change and transboundary water use issues have a significant impact on the lower reaches of the Syrdarya River. This study analyzes the changes in the river's flow regime, the deterioration of water quality, and the impacts of these processes on the ecosystem. Since more than 90% of the river's flow is formed outside Kazakhstan (in Kyrgyzstan, Uzbekistan, and Tajikistan), special attention is given to transboundary water management challenges.

The construction of the Shardara reservoir and the Koksaray counter-regulator has drastically altered the flow regime, while large-scale water withdrawals for agriculture, especially during the summer, have caused water shortages. As a result, the seasonal distribution of runoff has changed, negatively affecting the ecosystem of the lower reaches.

It has been observed that, in the long-term hydrological dynamics of the lower Syrdarya, water availability sharply declined during the period 2017...2024.

Water mineralization and pollution levels exceed permissible standards. In terms of water quality, the pollution level of the Syrdarya river is classified as class IV (moderately polluted). This situation underscores the need to introduce the concept of environmental flow and ensure its practical implementation in water resource management.

The newly adopted Water Code of the Republic of Kazakhstan and the Water Resources Management Concept for 2024...2030 are expected to serve as the foundation for positive changes in this field.

About article:
Received: 9.09.2025
Revised: 24.12.2025
Accepted: 26.12.2025
Published: 30.12.2025

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

Гидрометеорология и экология

Ғылыми мақала

АНТРОПОГЕНДІК ЖӘНЕ КЛИМАТТЫҚ ӘСЕРЛЕР ЖАҒДАЙЫНДА ҚОСҚОРҒАН СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ГЕОҚҰРЫЛЫМДЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІ

Нұрлыбек Ә. Әбдімүтәліп PhD, профессор м.а., Газиза Б. Тойчибекова* PhD, доцент,
Ақмарал С. Әділбай, Гульнар Ж. Койшиева х.ғ.к., доцент м.а., Карлыга Т. Сарбаева х.ғ.к., доцент м.а.

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан; nurlibek.abdimutalip@ayu.edu.kz (НӘӘ), gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz (ГБТ), akmaral.adilbay@ayu.edu.kz (АСӘ), gulnar.koishiyeva@ayu.edu.kz (ГЖК), karlyga.sarbayeva@ayu.edu.kz (КТС)
*Автор корреспондент: Газиза Б. Тойчибекова, gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Қосқорған су қоймасы, гидрологиялық режим, климаттың өзгеруі, су ресурстары, салыстырмалы-талдау әдісі, судың химиялық талдауы, судың сапасы, экологиялық бағалау.

АБСТРАКТ

Бұл мақалада Қосқорған су қоймасының 1956 жылдан бастап ауыл шаруашылығы алқаптарын суару үшін пайдалануға берілгендігі және қазіргі уақытта кейбір экологиялық қолайсыздықтарға ұшырағандығы туралы айтылған. Соңғы онжылдықтарда су қоймасы климаттық өзгерістер мен антропогендік факторлардың едәуір әсерін сезінуде. Өңірдегі ағындының орташа жылдық төмендеуі соңғы 30 жылда 8...12% -ға жетті, бұл орташа жылдық ауа температурасының 1,1...1,3 °C өсуіне және атмосфералық жауын-шашын көлемінің 7...10%-ға азаюына байланысты. Зерттеудің әдіснамалық базасы салыстырмалы-талдамалық әдісті, 1994...2024 жылдар кезеңіндегі гидрологиялық деректерді ретроспективті талдауды, сондай-ақ су қоймасын климаттың өзгеруіне бейімдеудің халықаралық тәжірибесімен салыстыруды қамтыды. Алынған нәтижелер судың минералдануының 1994-жылдардағы 0,8...1,0 г/л-дан 2024-жылдардағы 1,5...1,7 г/л-ге дейін артқанын, сондай-ақ нитраттар мен сульфаттар концентрациясының санитарлық нормалармен салыстырғанда 15...20% -ға артқанын көрсетті. Жүргізілген талдау негізінде өңірлік ерекшеліктер мен халықаралық тәжірибелерді ескере отырып, су қоймасын біріктірілген басқару бойынша ұсынымдар берілді.

Мақала жайында:
Жіберілді: 15.10.2025
Қайта қаралды: 25.12.2025
Қабылданды: 26.12.2025
Жарияланды: 30.12.2025

1. КІРІСПЕ

Қосқорған су қоймасы – Түркістан облысының су-ресурстық әлеуетінің маңызды гидротехникалық объектілерінің бірі. Ол ауыл шаруашылығында, экожүйелердің тұрақтылығы мен өңірдің әлеуметтік-экономикалық дамуында ерекше рөл атқарады. Түркістан облысы негізінен аридті және жартылай шөлді климаттық аймаққа жатады. Жауын-шашынның аз болуына байланысты егіншілікті жүргізудің басты шарты суармалы егіншілік болып табылады [1]. Қосқорған су қоймасының суы мақтаны, бақша дақылдарын, дәнді және жеміс-жидек алқаптарын суару үшін пайдаланылады. Бұл өңірдің аграрлық өндірісінің тұрақтылығы мен өнімділігін қамтамасыз етеді. Су қоймасы іргелес өзен-көл жүйесінің гидрологиялық тепе-теңдігін сақтауда шешуші рөл атқарады және табиғи ландшафттың тозу процестерін бәсеңдетуге ықпал етеді [2]. Бұдан басқа, су қоймасы жасанды су қоймасы ретінде құстар мен балықтардың мекендеу ортасын кеңейте отырып, жергілікті флора мен фаунаның өміріне оң әсер етеді. Қосқорған су қоймасы жергілікті халықтың өмір сүру сапасын арттыруға ықпал етеді [3]. Судың тұрақты қоры ауыл шаруашылығы өнімдерінің көлемін ұлғайтуға, халықты жұмыспен қамту деңгейін жақсартуға мүмкіндік береді. Бұдан басқа, су қоймасы балық шаруашылығын және демалыс аймақтарын дамыту үшін негіз бола алады. Су қоймасы өзен ағысын реттейді және су тасқыны қаупін төмендетеді. Бұдан

Дәйексөз үшін:

Әбдімүтәліп Н., Тойчибекова Г., Әділбай А., Койшиева Г., Сарбаева К. Антропогендік және климаттық әсерлер жағдайында Қосқорған су қоймасының гидрологиялық және геоқұрылымдық өзгерістері // Гидрометеорология и экология, 120 (5), 2025, 20-33.

басқа, ол маусымдық су тапшылығы жағдайында шаруашылықтар мен елді мекендерді сумен жабдықтауда буферлік функцияны орындайды. Қосқорған су қоймасы Түркістан облысының агроөнеркәсіптік кешенінің тұрақты дамуына жағдай жасайды. Бұл өз кезегінде өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге және елдің экономикалық дамуына үлес қосуға мүмкіндік береді [4]. Қосқорған су қоймасы (Қарашық өзенінде, Кентау қаласының маңында) суаруды, жергілікті экожүйені қолдауды және ішінара сумен жабдықтауды қамтамасыз ететін Түркістан облысының маңызды жасанды су қоймасы болып табылады. Климаттың антропогендік өзгеруі мен су пайдаланудың артуы жағдайында ол барған сайын айқын стресстік жүктемені сезінеді: ағынның өзгеруі, буланудың күшеюі, су сапасының нашарлауы және қоқыстардың тез жиналуы. Бұл факторлар оның орнықты пайдаланылуына және экологиялық функциясына қауіп төндіреді [5]. Орталық Азиядағы жаһандық және өңірлік жылыну қазірдің өзінде жауын-шашын режимінің өзгеруінен және өзен бастауындағы қар мен мұздықтардың еруінен көрінеді [6]. Оңтүстік бассейндер үшін тиімді көктемгі ағынның азаюы және құрғақшылық маусымдардың жиілігі су қоймаларын толықтыру көлемінің азаюына және су тасқынының шыңының ауысуына алып келеді. Бұл Коскорган үшін қиын кезеңдерде толу сенімділігінің төмендігін және суды ауыл шаруашылығы мен экожүйе қажеттіліктері арасында қайта бөлу қажеттілігін білдіреді. Орташа жылдық температураның көтерілуі және ыстық күндердің көбеюі су қоймаларының бетінен буланууды күшейтеді [7]. Шағын және орта резервуарларда бұл, әсіресе аридті өңірлерде жылдық су балансы ысырабының елеулі үлесін құрауы мүмкін. Ирригациялық желілердің тиімсіз жүйесімен және ағып кетулермен бірге бұл ауыл шаруашылығы және тұрмыстық қажеттіліктер үшін қолжетімді су көлемін төмендетеді [8]. Ағын режимінің өзгеруі (қысқа мерзімді қарқынды су тасқыны және ұзақ сабалар) қатты жаңбыр мен су тасқыны кезінде су қоймасына шөгінділердің көшуін ұлғайтуға ықпал етеді. Бұл су қоймасының пайдалы көлемінің қысқаруына, оның гидравликалық көрсеткіштерінің нашарлауына және дренаж-пайдалану жұмыстарына жұмсалатын шығыстардың өсуіне алып келеді [9]. Бассейн деңгейінде бұл өзен арнасының профилін және жерасты суларын қоректендіру режимін өзгертеді. Су ағыны азайған және температурасы көтерілген кезде ластану шоғырлануы (ауыл шаруашылығы ағындары, тұрмыстық және өнеркәсіптік төгінділер) артады. Жылы тұрып қалған су - балдырлардың гүлденуі мен анаэробтық процестердің дамуы үшін қолайлы орта, бұл оттегі режимінің төмендеуіне, балықтардың өліміне және судың ауыз су мен ауыл шаруашылығы қажеттіліктеріне жарамдылығының нашарлауына алып келеді. Қазақстанда су сапасы төмен су объектілері санының өсуі тіркеліп отыр, бұл бұл проблеманы жүйелі етеді [10].

Зерттеудің мақсаты ұзақ мерзімді экологиялық мониторингінің деректері негізінде Қосқорған су қоймасының гидрологиялық және геоқұрылымдық өзгерістерін талдау болып табылады. Жұмыстың ғылыми негізі су қоймасының гидрологиялық режимінің және онымен байланысты геоморфологиялық үдерістердің өзгеруінің тұрақты ұзақ мерзімді тенденцияларын анықтауға мүмкіндік беретін «Қазгидромет» РМК-ның [11] гидрометеорологиялық бақылауларды ұзақ қатарларын жалпылау және түсіндіру болды. Отыз жылдық деректер массивін осы пайдалану нәтижелердің репрезентативтілігін және толыққанды ұзақ мерзімді гидрометеорологиялық талдау жүргізу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Жүргізілген талдау судың орташа деңгейінің біртіндеп төмендеуінде, буланудың жоғарылауында және өзен ағыны параметрлерінің өзгеруінде көрінетін тұрақты тенденциялардың болуын көрсетті, бұл климаттық факторлардың да, антропогендік жүктеменің де әсерін көрсетеді. Анықталған өзгерістер тұрақты климаттық тенденциялар мәртебесін талап етпейді, алайда орташа жылдық температураның жоғарылауы мен жауын-шашынның азаюының су ресурстарының жай-күйіне ықтимал әсерін көрсетеді. Жағалау сызығының жергілікті шегінуін, шөгу үдерістерін және эрозияның күшеюін қоса алғанда, геоқұрылымдық

бақылаулар, сондай-ақ бақылаулардың ұзақ мерзімді (кемінде 30 жыл) негізінде одан әрі растауды талап ететін алдын ала индикаторлар ретінде қарастырылды. Мақалада Қоскорған су қоймасының жағдайы Арал, Балқаш және Сырдария бассейніндегі өзге су айдындарымен, сондай-ақ шетелдік аналогтармен салыстырылып, аймақтық ерекшеліктер мен ұқсастықтар айқындалды [12]. Алынған нәтижелер практикалық тұрғыдан да маңызды: ұсынылған бейімдеу және басқару шаралары аймақтық су ресурстарын тиімді пайдалануға, экологиялық тұрақтылықты сақтауға және климаттық өзгерістер жағдайында бейімделу стратегияларын әзірлеуге негіз бола алады.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

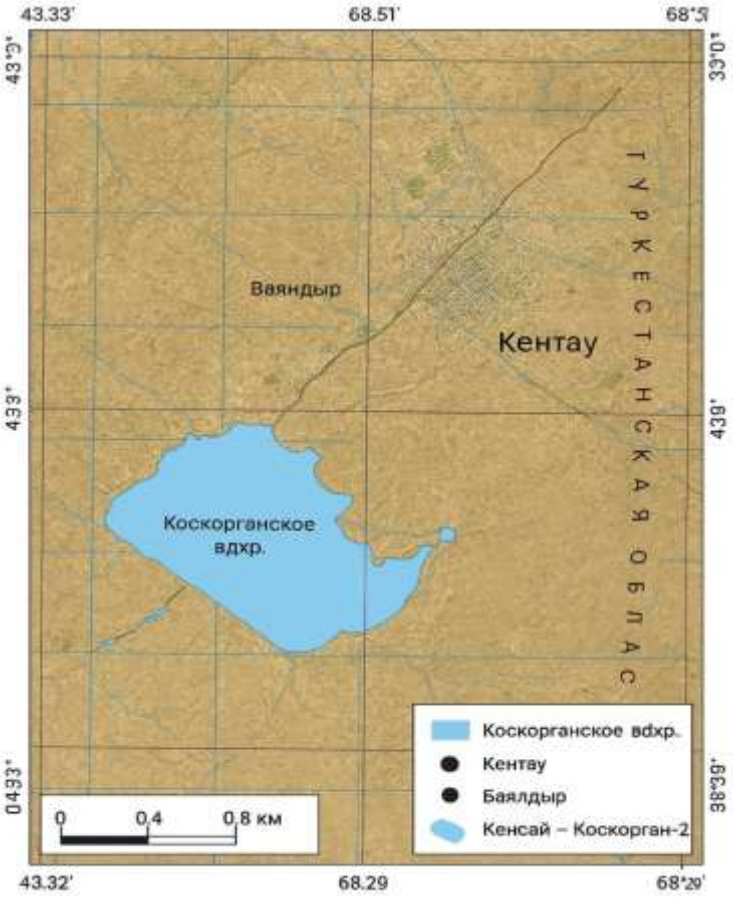
Зерттеу нысаны.

Қоскорған су қоймасы Қазақстанның Түркістан облысындағы Кентау қаласының маңында орналасқан және өңірдің негізгі гидротехникалық құрылыстарының бірі болып табылады. Ол 1982 жылы жөндеу құрылыстарынан өткен соң қайта пайдалануға берілген және содан бері ауыл шаруашылығы алқаптарын су ресурстарымен қамтамасыз етуде және су тасқыны процестерін реттеуде маңызды рөл атқарады. Су қоймасының пайдалы көлемі шамамен 37,3 млн м³ құрайды, бұл суару қажеттілігі және аумақты су басудан қорғау үшін едәуір көлемдегі суды жинақтауға мүмкіндік береді. Қоскорған су торабының негізгі мақсаты жалпы алаңы 7,4 мың гектардан астам жерлерді суармалы сумен жабдықтау, сондай-ақ Сауран ауданының бес ауылдық округінің аумағында су басуды болдырмау болып табылады. Бұдан басқа, су қоймасы «Кеңсай-Коскорған-2» жүйесінің бір бөлігі болып табылады, бұл оның су реттеудің және өңір ресурстарын ұтымды пайдаланудың неғұрлым кең схемасына кірігуін қамтамасыз етеді (сурет 1...2) [13].



Сурет 1. *Қоскорған су қоймасынан су сынамаларын алу*

Осылайша, 2-ші серетте келтіргендей, Қоскорған су қоймасы Түркістан облысының су теңгерімі мен ауыл шаруашылығы өндірісінің маңызды элементі болып қала отырып, бір мезгілде шаруашылық, қорғау және стратегиялық функцияларды орындайды. Қоскорған су қоймасының жай-күйін талдау әдістемесі бірнеше зерттеу бағыттарын қамтитын кешенді тәсілге негізделген.



Сурет 2. Қоскорған су қоймасының карта-схемасы

Әдістер.

Жұмыста салыстырмалы-талдамалық әдіс, гидрологиялық және климаттық деректерді ретроспективті талдау, сондай-ақ климаттың өзгеруі жағдайында су ресурстарын басқарудың халықаралық тәжірибесімен салыстыру пайдаланылды. Салыстырмалы-талдамалық әдіс соңғы бес жылдағы статистикалық деректер негізінде негізгі гидрологиялық көрсеткіштердің динамикасын (су деңгейі, айнаның ауданы, ағын көлемі) анықтауға мүмкіндік берді. Ретроспективті талдау мұрағаттық материалдарды, гидрологиялық есептерді, климаттық мәліметтерді және спутниктік бақылауларды зерделеуді қамтыды, бұл су қоймасы режимінің өзгеру үрдісін қайта құруды қамтамасыз етті. Халықаралық тәжірибе, атап айтқанда Еуропалық Одақ және Орталық Азия елдерінің тәжірибесі климаттық өзгерістерге бейімделу әдістерін салыстыру және су объектілерін орнықты басқару жөнінде ұсынымдар әзірлеу үшін пайдаланылды [14]. Қоскорған су қоймасы суының сапасын химиялық талдауға ерекше назар аударылды. Зертханалық зерттеулер Қазақстан Республикасы мен ТМД-ның қолданыстағы нормативтік құжаттарының талаптарына сәйкес жүргізілді. Негізгі гидрохимиялық көрсеткіштерді анықтау (pH, минералдану, кальций, магний, натрий, калий иондарының, сульфаттардың, хлоридтердің, нитраттардың, сондай-ақ ауыр металдар мен органикалық заттардың құрамы) келесі әдістермен жүзеге асырылды: ынамаларды іріктеуге қойылатын жалпы талаптар МЕМСТ 31861-2012 [15].және су құрамындағы химиялық заттарды анықтау МЕМСТ 31940-2012 [16] әдістерімен жүргізілген. Судың органолептикалық қасиеттерін талдау МЕМСТ 3351-74 [17], сондай-ақ оттегіні биохимиялық тұтынуды және оттегіні химиялық тұтынуды анықтау МЕМСТ 31859-2012 [18] және судың химиялық құрамы МЕМСТ 31942-2012 әдістері бойынша жүргізілді [19]. Осылайша, зерттеудің әдістемелік бөлігі гидрологиялық, климаттық, химиялық және салыстырмалы-талдамалық тәсілдерді біріктірді, бұл

Қоскорған су қоймасының ағымдағы жай-күйін кешенді сипаттауға және климаттың өзгеруі жағдайында оның өзгеруін айқындайтын факторларды анықтауға мүмкіндік берді.

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Қосқорған су қоймасының гидрологиялық режимі негізінен оның су жинауын қоректендіретін өзендер, атап айтқанда, Қаратаудан бастау алатын Байылдыр, Хантағы өзендері және Кентау қаласының шахталық сулары ағынының ауытқуларымен, сондай - ақ климаттық факторлардың-ауа температурасының, жауын-шашын мөлшерінің және булану қарқындылығының маусымдық өзгерістерімен айқындалады. Аймақ жазы ыстық және қысы салыстырмалы түрде жұмсақ құрғақ климатпен сипатталатындықтан, су қоймасы су деңгейінің айтарлықтай маусымдық өзгеруіне ұшырайды. Су қоймасы деңгейінің маусымдық ағынға тұрақты тәуелділігі байқалады. Сырдария бассейні мен оның салаларына қардың еруі мен еріген сулардың түсуіне байланысты көктемгі кезең деңгейдің жоғарылауымен қатар жүреді. Жазғы кезең суару үшін суды көп тұтынумен сипатталады, бұл су деңгейінің төмендеуіне әкеледі. Күзде салыстырмалы тұрақтандыру тіркеледі, ал қыста суды тұтыну мен қабылдаудың төмендеуіне байланысты минималды динамика байқалады. Су деңгейінің маусымдық өзгеру амплитудасы орта есеппен бірнеше метрге жетеді, бұл уақытша су тасқыны мен жағалау сызығының құрғау аймақтарының пайда болуына әкеледі. Бұл процестер жағалау аймағының экожүйесіне әсер етеді, сонымен қатар жағалау эрозиясына ықпал етеді.

Түркістан облысының құрғақ климаты жағдайында булану су балансының негізгі факторларының бірі болып табылады. Буланудың жылдық шығыны су қабатына 800...1000 мм жетуі мүмкін деп есептеледі, бұл жылдық ағынның едәуір бөлігіне тең. Әсіресе жоғары шығындар жазда ауа температурасы +35 °С-тан асқанда және салыстырмалы ылғалдылық 25...30%-ға дейін төмендегенде байқалады. Су балансының қалыптасуы өзен суларының түсуі, жауын-шашын, булану және шаруашылық қажеттіліктері үшін су алу арасындағы арақатынаспен анықталады [20]. Шығындардың негізгі буыны суармалы егіншілік болып табылады, ал су қоймасының табиғи қоректенуі құрғақ климатпен шектеледі. 1-ші кестеде 1994...2024 жж. отыз жылдық байқау кезеңін талдау нәтижелері бойынша алынған Қосқорған су қоймасы суының орташа көпжылдық маусымдық деңгейлерінің мәндері көрсетілген. Есептеулер Қазақстан Республикасының мемлекеттік гидрометеорологиялық мониторинг жүйесі шеңберінде жиналған және "Қазгидромет" РМК ресми материалдарында жинақталған ақпаратты пайдалана отырып орындалды. Климаттық норманы анықтау кезінде ұзақмерзімді кезеңдерді пайдалануды көздейтін жалпы қабылданған халықаралық талаптарға сәйкес келетін бақылаулардың негізіг қатарлары қолданылды. Ұлттық гидрометеорологиялық бақылау операторы ретінде Қазгидрометтің ресми деректері негізгі метеорологиялық және гидрологиялық көрсеткіштердің көпжылдық өлшемдерін де, сондай-ақ 2024 жылғы климаттық жағдайлар туралы мәліметтерді қоса алғанда, жыл сайынғы жиынтық материалдарды да қамтиды. Бұл ақпарат жыл сайынғы Климаттық шолулар мен бюллетеньдерде ұсынылған және зерттелетін су қоймасының маусымдық өзгергіштігін талдау және су режимінің тұрақтылығын бағалау үшін сенімді негіз болып табылады..

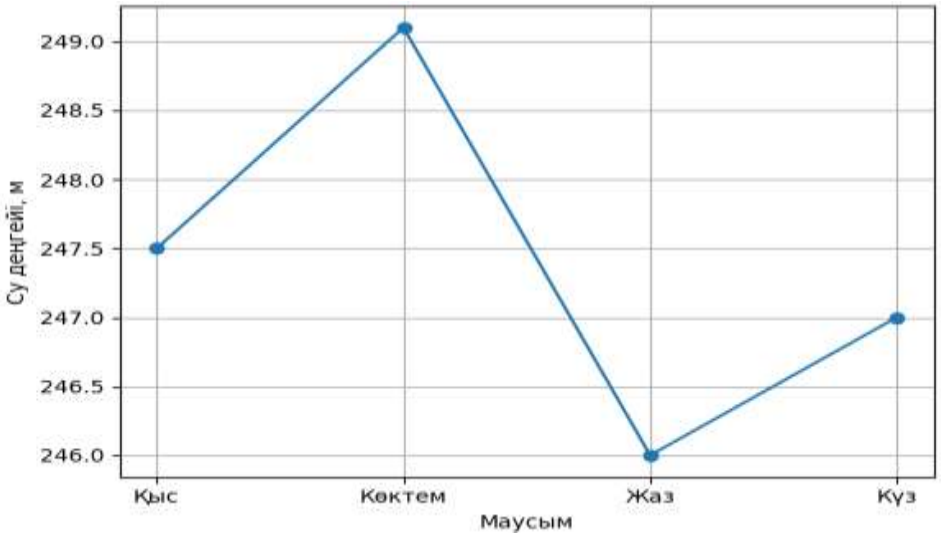
Кесте 1

Қосқорған су қоймасының орташа көпжылдық маусымдық су деңгейі, м

№	Маусымдар	Орташа көпжылдық деңгей, м	Минимум, м	Максимум, м	Стандартты ауытқу, м
1	Қыс	247,5	246,9	248,1	0,3
2	Көктем	249,1	248,4	249,8	0,4
3	Жаз	246,0	245,2	246,7	0,3
4	Күз	247,0	246,3	247,6	0,3

Кестеде көрсетілген маусымдық көрсеткіштер отыз жылдық аралықта (1994...2024) төрт маусымдық деректерді орташалау арқылы алынады, бұл су қоймасының су режимінің маусымдық ерекшеліктерінің сенімді көрінісін қамтамасыз етеді және қысқа мерзімді жыларалық ауытқулардың әсерін азайтады. 2024 жылғы Ақпарат талданатын кезеңнің соңғы кезеңінің есебіне енгізілген және «Қазгидромет» РМК-ң ресми климаттық шолуларында тіркелген қазіргі заманғы климаттық ауытқулардың әсерін ескеруге мүмкіндік береді. Гидрометеорологиялық көрсеткіштердің климаттық нормаларын айқындау Дүниежүзілік метеорологиялық ұйымның әдістемелік ұсынымдарына сәйкес орындалды, ол бақылаулардың ұзақ қатарлары бойынша орташа мәндерді есептеуді көздейді, бұл алынған нәтижелердің климаттық зерттеулердің халықаралық практикасымен салыстырылуын қамтамасыз етеді.

1994...2024 жылдардағы Қоскорған су қоймасының су деңгейінің орташа көпжылдық маусымдық барысын талдау су режимінің жыл ішіндегі тұрақты өзгергіштігін анықтады (сурет 3).



Сурет 3. *1994...2024 жылдар кезеңінде Қоскорған су қоймасының су деңгейінің орташа көпжылдық маусымдық барысы [11]*

Экология ҒЗИ-мен бірлесіп жүргізілген зерттеулер бойынша, Қоскорған су қоймасының су деңгейі маусымдар бойынша айтарлықтай өзгереді. Ең жоғары деңгей көктемде тіркеледі, бұл қар еріген кезеңмен және өзендік ағыстың күшеюімен байланысты. Алынған қисық су қоймасының су режимінің тұрақты маусымдық құрылымын көрсетеді, Ол көктем мезгілінде деңгейдің жоғарылауымен, жаз мезгілінде күрт төмендеуімен және күзде ішінара қалпына келуімен сипатталады. Қысқы мәндер салыстырмалы тұрақтылықпен ерекшеленеді, бұл су қоймасының реттеуші әсерімен және суық мезгілде гидрологиялық белсенділіктің төмендеуімен байланысты. Жазда суармалы егіншілікке су алу көлемінің артуы мен буланудың күшеюінен су деңгейі төмендейді. Күзде деңгей салыстырмалы түрде тұрақталады, ал қыста өзгерістер шамалы болады. Жалпы алғанда, маусымдық амплитуда 2...3 метр шамасында, бұл су қоймасының гидрологиялық режимінің климаттық және антропогендік факторларға тәуелділігін көрсетеді.

Су қоймасының су балансы негізінен төрт құрамдас бөліктен тұрады:

- кірістер: өзендік ағыс, көктемгі қар сулары, жауын-шашын;

- шығыстар: суармалы егіншілікке су алу, булану, сүзілулер мен техникалық жоғалтулар.

Соңғы жылдары Сырдария бассейніндегі өзен ағысының азаюына байланысты Қоскорған су қоймасына түсетін жылдық кіріс көлемі төмендеу үрдісін көрсетуде. Ал суармалы егіншілік пен климаттық факторлардың әсерінен шығыс бөлігі артып отыр. Бұл су қоймасының су балансын теріс бағытқа ығыстырады, яғни су тапшылығының күшеюіне әкеледі (кесте 2).

Кесте 2

Коскорған су қоймасының су балансы көрсеткіштері (көпжылдық орташа мәндер), млн м³

№	Кезең	Кіріс (өзен сулары, жауын-шашын)	Булану шығыны	Суармалы егіншілікке жұмсалған	Басқа шығындар (сүзілулер, техн.)
1	1995...2004	235	50	110	9
2	2005…2014	225	55	118	10
3	2015…2024	210	62	128	12

Кестеден көрініп тұрғандай, соңғы жылдары су қоймасына кіретін су көлемі біртіндеп азайып отыр. Ал булану және суармалы егіншілікке жұмсалатын шығындар керісінше өсуде. Бұл жағдай су балансын тапшылық бағытында қалыптастырып, Қоскорған су қоймасының гидрологиялық тұрақтылығына қауіп төндіреді.

Қоскорған су қоймасының геоструктуралық жағдайы табиғи-гидрологиялық және антропогендік факторлардың әсерінен үнемі өзгеріп отырады. Бұл өзгерістер ең алдымен жағалау сызығының морфодинамикасында, түптік шөгінділердің құрамында, эрозиялық процестерде және техногендік ықпалдарда байқалады. Су қоймасының жағалау сызығы маусымдық су деңгейінің ауытқуына байланысты үнемі өзгеріске ұшырайды. Көктемгі тасқын кезінде уақытша су астында қалатын аумақтар жазда қайтадан ашылады. Мұндай құбылыс жыл сайын қайталанып, жағалаудың тұрақсыздығын арттырады. Ұзақ мерзімдік талдау нәтижелері жағалау сызығының бірқатар учаскелерінде кейін шегіну үрдісін, ал басқа бөліктерінде аккумуляцияны көрсетеді. Су қоймасы құрылғаннан кейінгі кезеңде түбінде негізінен алевритті-сазды және құмды шөгінділер жинақталып келеді. Қазіргі уақытта түптік материалдардың гранулометриялық құрамы әркелкі: су кіретін аймақта ірі түйірлі фракциялар басым болса, орталық және терең бөліктерінде ұсақ түйірлі сазды шөгінділер жинақталған. Бұл шөгінділердің қалыңдауы су қоймасының пайдалы көлемін біртіндеп азайтады. Жағалау аймағында жел әсерінен толқындық шайылу белсенді жүреді. Бұл әсіресе жазғы маусымда су деңгейі төмендеген кезде анық байқалады. Эрозиялық процестердің нәтижесінде ұсақ бөлшектер түпке тасымалданады, ал кейбір учаскелерде опырылу құбылыстары тіркелген. Мұндай жағдайлар жағалау инфрақұрылымына да қауіп төндіреді. Суармалы егіншіліктің дамуы, гидротехникалық құрылыстардың жұмысы және антропогендік қысым геоструктуралық өзгерістердің қарқынын күшейтеді. Жағалау маңындағы жер қазу, жол салу және суармалы арналардың қызметі табиғи морфологиялық тепе-теңдікті бұзып, эрозиялық процестерді жылдамдатады. Сонымен қатар, жергілікті тұрғындардың тұрмыстық қалдықтарды жағалау аймағына тастау фактілері экожүйелік жағдайды күрделендіреді.

Жалпы алғанда, Қоскорған су қоймасының геоструктуралық өзгерістері табиғи климаттық және антропогендік факторлардың бірлескен ықпалын көрсетеді. Бұл өзгерістерді тұрақты түрде мониторинг жүргізу арқылы бақылау, жағалау сызығын инженерлік қорғау шараларын енгізу және түптік шөгінділердің жиналу қарқынын бағалау қажет (сурет 4).

Суреттен көрініп тұрғандай, Коскорған су қоймасы жағалауы жылына 1...2 метрге дейін шегінуде, бұл эрозиялық процестердің белсенділігін дәлелдейді. Сонымен қатар, түптік шөгінділердің қалыңдауы су қоймасының пайдалы көлемін азайтады. Антропогендік қысым табиғи тепе-теңдіктің бұзылуына әкеліп, экожүйелік тұрақсыздықты арттырады. Мұндай геоструктуралық өзгерістерді дер кезінде ескеру және ғылыми тұрғыдан бағалау су ресурстарын тиімді пайдалану мен қорғаудың негізгі шарттарының бірі болып табылады.



Сурет 4. *Қоскорған су қоймасының геоқұрылымдық өзгерістері*

Қоскорған су қоймасының гидрологиялық режиміне климаттық факторлар айқын ықпал етеді. Соңғы бесжылдықтарда байқалған құрғақшылықтың күшеюі су кірісінің маусымдық азаюына алып келуі мүмкін. Атмосфералық жауын-шашын көлемінің төмендеуі нәтижесінде өзен ағынының жылдық жиынтық мөлшері біршама қысқарды. Сонымен қатар, температураның жоғарылауы булану процесін күшейтіп, су қоймасының жалпы су балансын теріс бағытта өзгертті. Орташа жаздық температураның көтерілуі жылына қосымша 5...10% көлеміндегі судың шығындалуына әсер етуде. Ағынның азаюы өз кезегінде су қоймасындағы су деңгейінің тұрақсыздығын арттырды. Бұл жағдай тек гидрологиялық көрсеткіштерге ғана емес, сонымен бірге жағалау сызығының өзгеруіне, түптік шөгінділердің шоғырлануына және экожүйелік тепе-теңдіктің бұзылуына алып келеді. Осылайша, климаттық факторлар Қоскорған су қоймасының су ресурстарын басқаруда шешуші рөл атқарады және болашақта да су деңгейінің төмендеу қаупін күшейте түседі. Қоскорған су қоймасындағы су ресурстарының динамикасына климаттық факторлардың әсерін бағалау мақсатында Казгидрометтің метеорологиялық станцияларының ресми көпжылдық деректері негізінде 1995...2024 жылдар аралығындағы негізгі метеорологиялық және гидрологиялық көрсеткіштерге талдау жүргізілді (сурет 5). Зерттеу барысында 30 жылдық бақылау қатарларын пайдалану гидрометеорологиялық заңдылықтар мен ұзақ мерзімді тенденцияларды ғылыми тұрғыдан негізді түрде анықтауға мүмкіндік берді.. Бұл кезеңде орташа ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері, өзен ағыны, булану қарқыны және су балансы айтарлықтай өзгерістерге ұшырады. Кесте 3-те осы өзгерістердің сандық сипаттамасы келтірілген.

Кесте 3

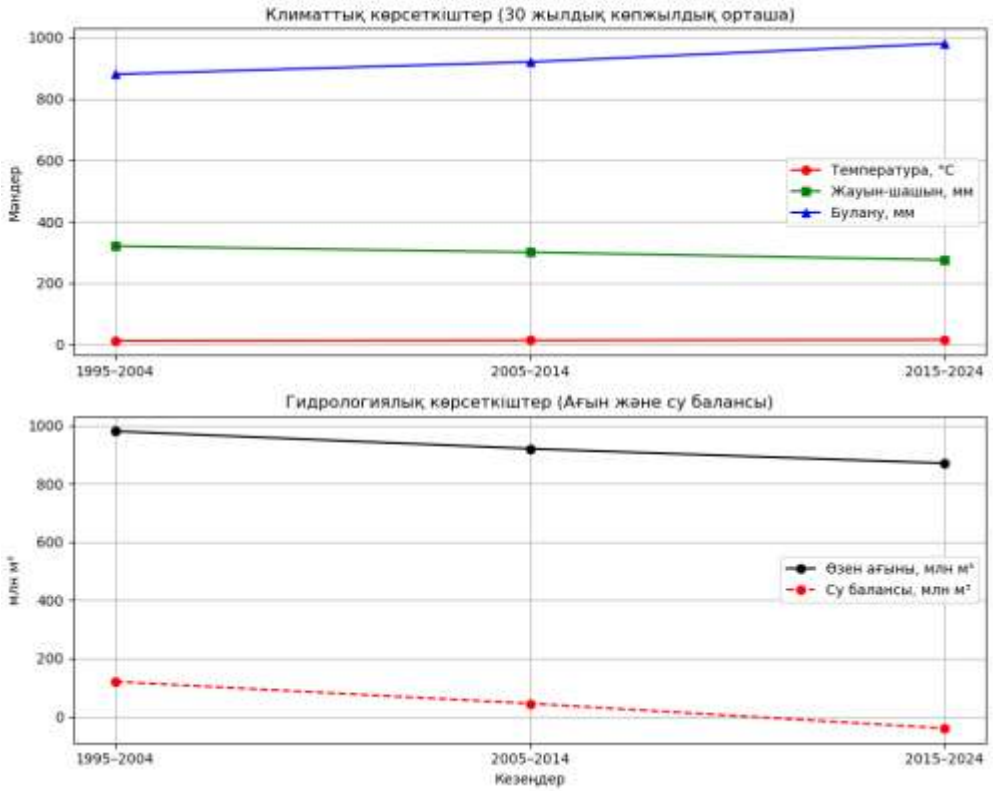
Көпжылдық климаттық факторлардың Қоскорған су қоймасына әсері

№	Кезең	Орташа ауа температурасы, °C	Жауын-шашын мөлшері, мм	Өзен ағыны, млн м³	Булану қарқыны, мм	Су балансына әсері, млн м³
1	1995...2004	12.3	330	165	860	+35
2	2005...2014	13.6	305	148	905	−5
3	2015...2024	14.9	270	132	965	−45

– Орташа температураның жыл сайын көтерілуі булануды арттырады.

– Жауын-шашын азайған сайын өзен ағыны төмендеп отыр.

– Нәтижесінде су қоймасының су балансы теріс көрсеткішке ие болып, жылына шамамен 25–53 млн м³ көлемінде тапшылық қалыптасқан.



Сурет 5. *Қоскорған су қоймасы алабы бойынша 1995...2024 жылдардағы климаттық және гидрологиялық көрсеткіштердің көпжылдық өзгерісі*

1995...2024 жылдар аралығындағы көпжылдық бақылауларға сәйкес Қоскорған су қоймасы аумағында климаттық факторлардың ұзақ мерзімді және тұрақты өзгеріс тенденциялары байқалды. Орташа жылдық ауа температурасы 14,2°C-тан 15,9°C-қа дейін біртіндеп өсті, бұл өңірдегі жылыну трендін көрсетеді. Жауын-шашын мөлшері 310 мм-ден 250 мм-ге дейін қысқарса, булану көлемі 880 мм-ден 980 мм-ге дейін артты. Мұндай қарама-қайшы үрдістер су қоймасындағы су теңгерімінің теріс мән алуына себеп болды (-25-тен -53 млн м³ дейін). Сонымен қатар, өзен ағыны 155 млн м³-тен 126 млн м³-ке дейін төмендеп, аймақтың гидрологиялық ресурстарының азаюын көрсетті. Жалпы алғанда, көрсетілген динамика Қоскорған су қоймасының климаттық құбылмалылыққа осал екенін және су ресурстарын басқаруда бейімделу шараларының маңыздылығын айқындайды. Қоскорған су қоймасының гидрологиялық тұрақтылығын кейбір су нысандарының гидрологиялық параметрлерді (көлем, айна ауданы, су алмасу, деңгей динамикасы) аналогтарымен салыстырылды, бассейндердің климаттық сипаттамаларын (булану, жауын-шашын мөлшері, кеуектілік дәрежесі), антропогендік әсердің ауқымы мен нысандарын (су алу, ирригациялық жүктеме, ағынды реттеу), сондай-ақ гидрохимиялық көрсеткіштер, морфометриялық ерекшеліктер және жағалау сызығының кебуі, шөгуі және өзгеруі сияқты деградациялық процестердің көріністері [21...26]. Арал бассейнінде су алудың тарихи ұлғаюы мен буланудың жоғары деңгейі ұзақ мерзімде көлемнің ≈90% кемуіне әкелсе, Солтүстік Аралдағы бөгет локалды қалпына келуді көрсетті. Балқашта сценарийлік бағалаулар 2050 жылға қарай беткі ағынның ~30% қысқаруы және буланудың ~25% артуы ықтималды екенін аңғартады. Сырдария жүйесінде Шардара–Көксарай тізбегі маусымдық реттеуде кілт рөл атқарады. Ал Лейк

Мид жағдайы көпжылдық құрғақшылық кезінде институционалдық шектеулердің (су бөлу қысқартулары) маңызын айқын көрсетіп отыр. Осы салыстырулар Қоскорған үшін басты басымдықтарды айқындайды: бассейндік деңгейде ағынды қорғау, маусымдық реттеу режимін оңтайландыру, булану шығындарын қысқартатын шаралар және су үнемділігі жоғары агротехнологияларды енгізу (кесте 4).

Кесте 4

Қоскорған су қоймасына ұқсас жүйелермен салыстырмалы талдау

№	Жүйе	Негізгі драйверлер	Соңғы үрдістер мен фактілер	Қоскорған үшін сабақ
1	Арал теңізі (Солт./Оңт.)	Ірі су бұру, ирригация, ағынның күрт кемуі, булану	50 жылда су көлемінің ≈90% жоғалуы; Солт. Аралды бөлуге арналған Көк-Арал бөгеті Солт. бөлікте балық шаруашылығының қайта жануына ықпал етті.	Ағын тапшылығы жағдайында кіші көлемді су айдындарын «сақтау» үшін гидрореттеудің нысаналы, локалды шаралары тиімді болуы мүмкін.
2	Балқаш көлі	Іле ағынына тәуелділік, климат жылынуы, булану↑	Батыс–шығыс бөліктер арасындағы айқын тұздылық градиенті; 2050 ж. дейін модельдер: беткі ағын ~30% азаюы, булану ~25% артуы мүмкін.	Ұзақ мерзімді тепе-теңдік үшін кіріс-ағынды қорғау (Іле–түрлес) мен буланууды азайтуға бағытталған басқару шешімдері қажет; кіші су қоймаларында да осындай тәуекелдер бар.
3	Сырдария жүйесі (Шардара, Көксарай және т.б.)	Маусымдық-трансшекаралық реттеу, ирригация, климаттық құбылмалылық	Сырдария ағыны Шардара, Көксарай қарсыреттегіші және өзге гидрожүйелер арқылы реттеледі; маусымдық тасқын мен вегетациялық кезең сұранысын теңгеру – негізгі міндет	Қоскорған үшін маусымдық су пайдалану кестесін (егін суару шыңы) өңірлік реттеу режимімен ұштастыру маңызды.
4	Шетелдік аналог: Лейк Мид (АҚШ, Колорадо өз. жүйесі)	Көпжылдық құрғақшылық, жылыну, артық алу	Тарихи төмен деңгейлер; 2026 ж. бастап төмен су сценарийлеріне орай су бөлу қысқартулары жалғасады; ұлттық органдар деңгейінде шектеулер енгізілуде.	

Негізгі салыстырмалы тұжырымдар: Қоскорған су қоймасы климаттық аридизация мен антропогендік суды пайдаланудың артуынан туындаған су тапшылығының артып келе жатқанын көрсетеді. Жақында вегетациялық кезеңде ағынның төмендеуі және буланудың жоғарылауы байқалды, бұл судың түсуі мен жоғалуы арасындағы теңгерімсіздікті күшейтеді. Бөгеттерді нығайту, су жіберу режимдерін түзету және тарату арналарының тиімділігін арттыру сияқты жергілікті инженерлік шаралар су қоймасының пайдалану тұрақтылығына оң әсер етеді, бірақ олар бассейн деңгейіндегі жалпы су тапшылығын өтей алмайды. Жағдай ұзақ мерзімді жұмыстарды ескеруді талап етеді: Қазақстанның оңтүстік өңірлері үшін болжамдар шағын өзендер ағынының одан әрі қысқаруын және ғасырдың ортасына қарай буланудың өсуін көрсетеді, бұл су беруді бейімдеп жоспарлауды, күзгі-қысқы кезеңде толтыруды оңтайландыруды және ең төменгі экологиялық ағын нормативтерін сақтауды қажет етеді. Бұл ретте суды бөлудің институционалдық тетіктері шешуші рөл атқарады: су қоймасының жұмыс істеу тиімділігі су пайдаланушылардың келісімділігіне, маусымаралық регламенттердің қатаң сақталуына және су беру-алу кестесінің уақтылы сақталуына, әсіресе ең жоғары суару кезеңдерінде байланысты болады. Бұл тәсіл өсіп келе жатқан климаттық және экономикалық қысым жағдайында Қоскорған су қоймасының ресурстарын тұрақты басқаруды қамтамасыз етеді..

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеулердің гидрологиялық және климаттық деректері Қоскорған су қоймасының жұмыс істеу режиміндегі бірқатар елеулі өзгерістерді көрсетеді. Маусымдық ағын динамикасымен де, ауа температурасының жоғарылауымен де байланысты су деңгейінің орташа ауытқуы байқалады, бұл біршама қарқынды буланууға ықпал етеді. Бірқатар учаскелерде жағалау сызығының біртіндеп өзгеруі және түбіндегі шөгінділердің жергілікті жинақталуы тіркеледі-бұл құрғақ аймақтардағы су нысандарының табиғи дамуына тән үрдістер. Жауын-шашынның азаюы және құрғақ кезеңдердің ұлғаюы су

балансына әсер етеді, алайда ағымдағы табиғи өзгерістер Қазақстанның оңтүстігіне тән шектерде қалады. Мемлекеттік бағдарламалар мен суды басқарудың өңірлік шараларының арқасында гидрологиялық жағдайды тұрақтандыру бойынша қадамдар жасалып жатқанын атап өту маңызды. Суару инфрақұрылымын жақсарту, су тарату арналарын жаңғырту және су қоймасын маусымдық толтыру режимдерін оңтайландыру бойынша жобалар іске асырылуда. Алдын алу жұмыстары климаттық факторлардың әсерін азайтуға және экожүйенің тұрақтылығын сақтауға мүмкіндік береді. Ұзақ мерзімді перспективада су шаруашылығы тәжірибелерін одан әрі жетілдіру суды пайдалану кестелерінің тиімділігін арттыру, булануды азайту және жағалау аймағын нығайту жөніндегі іс-шараларды енгізу, биоресурстарды сақтау үшін ең төменгі экологиялық ағындарды қолдау, сондай-ақ пайдалану режимдерін жалпы бассейндік регламенттермен келісу сияқты бағыттарды қамтиды. Бұл шараларды кешенді жүргізу Қосқорған су қоймасының бейімделу мүмкіндіктерін нығайтуға және оның өзгермелі климат жағдайында тұрақты жұмыс істеуін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Бұл мақалада берілген зерттеу материалдары авторлық ұжыммен ашық дереккөздерден алынды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау - НӘӘ.; деректерді басқару – ГБТ; Ресми талдау – ГЖК; Әдістеме – АСӘ; Бағдарламалық қамтамасыз ету – ГБТ; Қадағалау - НӘӘ; Визуализация - АСӘ; Бастапқы жобаны жазу - ГБТ; Шолу жазу және редакциялау – КТС.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Алиев К.Ш., Смаилов Т.С., Токтамысов Ж.К. Гидрологические ресурсы Южного Казахстана и их рациональное использование // Вестник КазНУ. Серия географии и экологии. – 2021. – №3 (72). – С. 55–64.
2. Сейдахметов Ж.С., Абдрахманова А.Б. Влияние климатических изменений на водные ресурсы Сырдарьинского бассейна // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2022. – №2 (452). – С. 112–121.
3. United Nations. (2023). World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water. UNESCO, Paris. 214 p.
4. Достай Ж.Д., Сапаров К.Т. Водные ресурсы Казахстана в условиях изменения климата. – Алматы: Қазақ университеті, 2018. – 256 с.
5. World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for Drinking-water Quality. 4th edition. Geneva: WHO Press. 631 p.
6. European Environment Agency (EEA). (2020). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 120 p.
7. FAO. (2021). The State of the World’s Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) Managing Systems at Risk. Rome: FAO. 280 p.
8. Аманжолов, М.К., Садыков, Е.К. Гидрология и водные ресурсы Южного Казахстана. – Алматы: Қазақ университеті, 2016. – 312 с.
9. Досмухамбетов, К.М., Ергешов, А.С. Геоэкологическая оценка антропогенных изменений в бассейне р. Арысь. // Вестник НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2021. – №6. – С. 45–53.
10. FAO. (2022). AQUASTAT database: Kazakhstan water resources and use. – Rome: Food and Agriculture Organization.
11. Kazhydromet Meteorological Database [Электрондық ресурс] URL: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/] (жүгінген күні: 02.07.2025).
12. Singh, V.P. (2019). Hydrology and Hydraulics. New Delhi: Springer. 524 p.
13. Государственная геологическая карта Республики Казахстан масштаба 1:200 000. Южно-Казахстанская серия. – Алматы: Комитет геологии и недропользования РК, 2002. – 124 с.
14. Trifonova, T., Stoyanova, V. (2020). Remote sensing and GIS methods in hydrogeological and environmental research. Journal of Environmental Management. Vol. 260, 110–124.
15. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.
16. ГОСТ 31940-2012. Вода. Методы измерения содержания химических веществ. – М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
17. ГОСТ 3351-74. Вода питьевая. Методы определения органолептических показателей. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 8 с.
18. ГОСТ 31859-2012. Вода. Методы определения биохимического потребления кислорода. – М.: Стандартинформ, 2013. – 16 с.
19. ГОСТ 31942-2012. Вода. Методы определения химического состава. – М.: Стандартинформ, 2013. – 28 с.
20. Абдрахманов, Т.Ж. Геология и гидрогеологические условия Туркестанского региона. – Шымкент: ЮКГУ, 2018. – 215 с.
21. Alimkulov S., Makhmudova L., Talipova E. (2025). Long-term forecasts of the water level of Lake Balkhash... Water, 17(13):2021. DOI:10.3390/w17132021
22. Sun Y., Zhang W., Peng H., Zhou F., Jiang A., Chen X., Wang H. (2023). The Impacts of Climate Change on the Hydrological Process and Water Quality in the Three Gorges Reservoir Area, China. Water. Vol. 15, No. 8. P. 1542. DOI: 10.3390/w15081542.

23. Raulino J. B. S., Silveira C. S., Lima Neto I. E. (2021). Assessment of Climate Change Impacts on Hydrology and Water Quality of Large Semi-Arid Reservoirs in Brazil. Hydrological Sciences Journal. Vol. 66, No. 8. P. 1321–1336. DOI: 10.1080/02626667.2021.1933491.
24. Araújo V. F. de, Rodrigues F. M., Silva L. C. da, et al. (2022). Eutrophication Risk Assessment of a Large Reservoir in the Brazilian Semiarid Region under Climate Change Scenarios // Anais da Academia Brasileira de Ciências. Vol. 94, No. 4. DOI: 10.1590/0001-3765202220201689
25. Hamilton D. P., Mitchell S. F., Arhonditsis G. B., et al. (2016) A Synthesis of Climate Change Impacts on Water Quality and Ecology of Freshwater Lakes and Reservoirs. Hydrobiologia. Vol. 1. P. 1–23.
26. Vollenweider R. A. (1968). Advances in Defining Critical Loading Levels for Phosphorus in Lake Eutrophication. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. Vol. 25. P. 53–83.

REFERENCES

1 Aliev K.Sh., Smailov T.S., Toktamysov Zh.K. (2021). Gidrologicheskie resursy Yuzhnogo Kazakhstana i ikh ratsional'noe ispol'zovanie [Hydrological resources of Southern Kazakhstan and their rational use]. Vestnik KazNU. Seriya geografii i ekologii. №3 (72). P. 55–64 [in Russian].
2 Seidakhmetov Zh.S., Abdrakhmanova A.B. (2022). Vliyanie klimaticheskikh izmenenii na vodnye resursy Syrdar'inskogo basseina [The impact of climate change on the water resources of the Syrdarya basin]// Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk. №2 (452). P. 112–121 [in Russian].
3 United Nations. (2023). World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water. UNESCO, Paris. 214 p.
4 Dostai Zh.D., Saparov K.T. (2018). Vodnye resursy Kazakhstana v usloviyakh izmeneniya klimata [Kazakhstan's water resources in the context of climate change]. Almaty: Қазақ universiteti. 256 p. [in Russian].
5 World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for Drinking-water Quality. 4th edition. Geneva: WHO Press. 631 p.
6 European Environment Agency (EEA). (2020). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 120 p.
7 FAO. (2021). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) Managing Systems at Risk. Rome: FAO. 280 p.
8 Amanzholov, M.K., Sadykov, E.K. (2016). Gidrologiya i vodnye resursy Yuzhnogo Kazakhstana [Hydrology and water resources of South Kazakhstan]. Almaty: Қазақ universiteti. 312 p. [in Russian].
9 Dosmukhambetov, K.M., Ergeshov, A.S. (2021). Geoekologicheskaya otsenka antropogennykh izmenenii v basseine r. Arys' [Geoecological assessment of anthropogenic changes in the Arys River basin]. Vestnik NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk. №6. P. 45–53. [in Russian]
10 FAO. (2022). AQUASTAT database: Kazakhstan water resources and use. – Rome: Food and Agriculture Organization.
11 Kazhydromet Meteorological Database [Electronic resources] URL: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/] (date of access: 02.07.2025).
12 Singh V.P. (2019). Hydrology and Hydraulics. New Delhi: Springer. 524 p.
13 Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Respubliki Kazakhstan masshtaba 1:200 000. [1:200,000 scale State Geological Map of the Republic of Kazakhstan] Yuzhno-Kazakhstanskaya seriya. Almaty: Komitet geologii i nedropol'zovaniya RK, 2002. 124 p. [in Russian].
14 Trifonova, T., Stoyanova, V. (2020). Remote sensing and GIS methods in hydrogeological and environmental research. Journal of Environmental Management. Vol. 260, 110–124.
15 GOST 31861-2012. Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob [Water. General sampling requirements]. M.: Standartinform, 2013. 12 p. [in Russian].
16 GOST 31940-2012. Voda. Metody izmereniya soderzhaniya khimicheskikh veshchestv [Water. Methods for measuring the content of chemicals]. M.: Standartinform, 2014. 18 p. [in Russian].
17 GOST 3351-74. Voda pit'evaya. Metody opredeleniya organolepticheskikh pokazatelei [Drinking water. Methods for determining organoleptic parameters]. M.: Izd-vo standartov, 1974. 8 p. [in Russian].
18 GOST 31859-2012. Voda. Metody opredeleniya biokhimicheskogo potrebleniya kisloroda [Water. Methods for determining biochemical oxygen consumption]. M.: Standartinform, 2013. 16 p. [in Russian].
19 GOST 31942-2012. Voda. Metody opredeleniya khimicheskogo sostava [Water. Methods for determining the chemical composition]. M.: Standartinform, 2013. 28 p. [in Russian].
20 Abdrakhmanov, T.Zh. Geologiya i gidrogeologicheskie usloviya Turkestanskogo regiona [Geology and hydrogeological conditions of the Turkestan region]. Shymkent: YuKGU, 2018. 215 p.
21 Alimkulov S., Makhmudova L., Talipova E. (2025). Long-term forecasts of the water level of Lake Balkhash. Water, 17(13):2021. DOI:10.3390/w17132021.
22 Sun Y., Zhang W., Peng H., Zhou F., Jiang A., Chen X., Wang H. (2023). The Impacts of Climate Change on the Hydrological Process and Water Quality in the Three Gorges Reservoir Area, China. Water. Vol. 15, No. 8. P. 1542. DOI: 10.3390/w15081542.
23 Raulino J. B. S., Silveira C. S., Lima Neto I. E. (2021). Assessment of Climate Change Impacts on Hydrology and Water Quality of Large Semi-Arid Reservoirs in Brazil. Hydrological Sciences Journal. Vol. 66, No. 8. P. 1321–1336. DOI: 10.1080/02626667.2021.1933491.
24 Araújo V. F. de, Rodrigues F. M., Silva L. C. da, et al. (2022). Eutrophication Risk Assessment of a Large Reservoir in the Brazilian Semiarid Region under Climate Change Scenarios. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Vol. 94, No. 4. DOI: 10.1590/0001-3765202220201689.
25 Hamilton D. P., Mitchell S. F., Arhonditsis G. B., et al. (2016) A Synthesis of Climate Change Impacts on Water Quality and Ecology of Freshwater Lakes and Reservoirs. Hydrobiologia. Vol. 1. P. 1–23.
26 Vollenweider R. A. (1968). Advances in Defining Critical Loading Levels for Phosphorus in Lake Eutrophication. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. Vol. 25. P. 53–83.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОСКОРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И КЛИМАТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Нурлыбек А. Абдимуталип PhD, и.о.профессора, Газиза Б. Тойчибекова* PhD, доцент, Акмарал С. Адилбай, Гульнар Ж. Койшиева к.х.н., и.о.доцента, Карлыга Т. Сарбаева к.х.н., и.о.доцента

Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан;
nurlibek.abdimutalip@ayu.edu.kz, gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz, akmaral.adilbay@ayu.edu.kz, gulnar.koishiyeva@ayu.edu.kz, karlyga.sarbayeva@ayu.edu.kz
* Автор корреспондент: Газиза Б. Тойчибекова, gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Коскорганское водохранилище,
гидрологический режим,
изменение климата,
водные ресурсы,
сравнительно-аналитический метод,
химический анализ воды,
качество воды,
экологическая оценка.

По статье:
Получено: 15.10.2025
Пересмотрено: 25.12.2025
Принято: 26.12.2025
Опубликовано: 30.12.2025

АБСТРАКТ

Данная статья посвящена Коскорганскому водохранилищу, которое было введено в эксплуатацию для орошения сельскохозяйственных угодий с 1956 года и в настоящее время подвергается некоторым экологическим неблагоприятным воздействиям. В последние десятилетия водохранилище испытывает значительное влияние климатических изменений и антропогенных факторов. Среднегодовое снижение притока в регионе за последние 30 лет достигло 8...12%, что связано с повышением среднегодовой температуры воздуха на 1,1...1,3 °C и уменьшением объема атмосферных осадков на 7...10%. Методологическая база исследования включала сравнительно-аналитический метод, ретроспективный анализ гидрологических данных за период 1994...2024 годы, а также сравнение водоемов с международным опытом адаптации к изменению климата. Полученные результаты показали увеличение минерализации воды с 0,8...1,0 г/л в 1994-х до 1,5...1,7 г/л в 2024-х годах, а также увеличение концентрации нитратов и сульфатов по сравнению с санитарными нормами на 15...20%. На основе проведенного анализа даны рекомендации по интегрированному управлению водохранилищем с учетом региональных особенностей и международного опыта.

HYDROLOGICAL AND GEOSTRUCTURAL CHANGES IN THE KOSKORGAN RESERVOIR UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC IMPACT AND CLIMATIC FLUCTUATIONS

Nurlybek Abdimutalip PhD, acting professor, Gaziza Toychibekova* PhD, associate professor,
Akmaral Adilbai, Gulnar Koishieva Candidate of chemical sciences, Karlyga Sarbayeva Candidate of chemical sciences

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan; nurlibek.abdimutalip@ayu.edu.kz, gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz, akmaral.adilbay@ayu.edu.kz, gulnar.koishiyeva@ayu.edu.kz, karlyga.sarbayeva@ayu.edu.kz
* Corresponding author: Gaziza Toychibekova, gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz

KEY WORDS

Koskorgan reservoir,
hydrological regime,
climate change,
water resources,
comparative analytical method,
chemical analysis of water,
water quality,
environmental assessment.

ABSTRACT

This article is devoted to the Koskorgan reservoir, which has been put into operation for irrigation of agricultural land since 1956 and is currently undergoing some environmental adverse effects. In recent decades, the reservoir has been significantly influenced by climatic changes and anthropogenic factors. The average annual decrease in inflow in the region over the past 30 years has reached 8...12%, which is associated with an increase in the average annual air temperature by 1,1...1,3 °C and a decrease in precipitation by 7...10%. The methodological base of the study included a comparative analytical method, a retrospective analysis of hydrological data for the period 1994...2024, as well as a comparison of reservoirs with international

About article:
Received: 15.10.2025
Revised: 25.12.2025
Accepted: 26.12.2025
Published: 30.12.2025

experience in adapting to climate change. The results showed an increase in water mineralization from 0,8...1,0 g/l in the 1994s to 1,5...1,7 g/l in the 2024s, as well as an increase in the concentration of nitrates and sulfates compared with sanitary standards by 15...20%. Based on the analysis, recommendations on integrated reservoir management are given, taking into account regional specifics and international experience.

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

Гидрометеорология и экология

Scientific article

COMPOSITION AND SPATIAL DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN SURFACE WATERS OF THE NURA RIVER BASIN

Gauhar Ospan, Zhanar Ozgeldinova PhD., associate professor, Saltanat Sadvakasova Candidate of geographical sciences

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; gauhara_ast@mail.ru (GO), ozgeldinova@mail.ru (ZhO), Sadvakassova_sr@enu.kz (SS)

* Corresponding author: Gauhar Ospan, gauhara_ast@mail.ru

KEY WORDS

the Nura river basin, geochemical composition, anthropogenic factor, pollution dynamics, heavy metals

ABSTRACT

This study explores the development of the geochemical composition of surface waters in the Nura River basin, influenced by human activities. Water samples were analyzed at the accredited «Kazhydromet» RSE laboratory in Karaganda city to measure pollutant concentrations. The results were compared to phonic values, showing the pollution trends in the Nura River basin. The main pollution sources are insufficiently treated discharges from industries in Karaganda-Temirtau industrial area, including key facilities such as «Karmed» LLP, «Bassel Group LLS», «Temirtau Electrometallurgical Plant» JSC, and other industrial operations, which release such contaminants as suspended solids, phenols, and heavy metals into the environment. The analysis indicates that anthropogenic activities have a significant impact on water quality, emphasizing the need for improved operation of treatment facilities to maintain the ecological balance of the Nura river and its surrounding water bodies

About article:
Received: 4.11.2024
Revised: 19.12.2025
Accepted: 22.12.2025
Published: 30.12.2025

For citation:
Ospan G., Ozgeldinova Zh., Sadvakasova S. Composition and spatial distribution of chemical elements in surface waters of the Nura river basin// Гидрометеорология и экология, №5 (120), 2025, 34-40.

1. INTRODUCTION

River water chemistry originates from precipitation and meltwater, accumulating salts and organics through soil interaction. However, contemporary surface water quality is primarily shaped by anthropogenic factors. Natural systems are highly sensitive to human-induced changes, specifically regarding industrial discharges and agricultural runoff.

The Nura River basin faces significant technogenic stress. Previous studies have documented extensive mercury contamination and heavy metal accumulation resulting from historical industrial activities [1,2]. Seasonal variations further exacerbate this, with water quality deteriorating during spring floods due to the influx of fertilizers and pesticides [3]. Currently, the primary pollutants are insufficiently treated wastewater from the Karaganda-Temirtau industrial hub and urban runoff. While external inputs are critical, internal processes like sedimentation and redox reactions also define the river's hydrochemical profile.

Despite historical research, contemporary data on pollutant migration patterns in this region remain insufficient. The purpose of this study is to evaluate the current hydrochemical status of the Nura River and identify the dominant factors driving its pollution under modern anthropogenic pressure.

2. MATERIALS AND METHODS

The study area is in the central part of Kazakhstan at the Karaganda and Akmola regions border. It has an area of over 100 thousand sq. km, and geographic coordinates between 48.3°...51.2° N, and 67.7°...76.4° E (Figure 1). It is 265 km long from South to North and over 600 km long from East to West. The highest point here is 1423 m, situated

in the Eastern part of the river basin. The hillside area is in the Eastern half part, while the western part is below 300 m close to the Teniz-Korgalzhyn lake system. All the watercourses in the Nura basin run into the lake system.

The Nura River springs from the western spurs of the Kyzyltas Karkaraly-Aktau low-mountain massif at 1000...1200 m. The total length of the river is 978 km. It refers to steppe and semi-desert landscapes. The heterogeneity of soil formation conditions (climate, relief, vegetation, etc.) affects the basin area [4].



Figure 1. *Map of the Nura river basin*

The average annual precipitation in the study area is 265...322 mm, where 71...81% of the yearly rainfall in the warm season and 19...29% falls in winter. The maximum precipitation in the basin is most often observed in June-July, with a minimum in September [5].

A physicochemical analysis was conducted on 25 surface water samples to evaluate the concentrations of specific pollutants at the accredited laboratory of the «Kazhydromet» RSE (Karaganda). The sampling was performed during the vegetation period of 2023 (from May to September), which allowed for the assessment of the river's hydrochemical state during both high-water and low-water seasons under current anthropogenic pressure. Simultaneously, to assess the migration of contaminants in the "water-soil" system, soil samples were collected from the adjacent coastal zones at the same monitoring locations. All analyses were carried out at the accredited «EcoNUS» laboratory (Karaganda). The results presented in Table 1 represent the averaged values obtained from across the 25 sampling points distributed along the middle and lower reaches of the Nura River basin, providing a comprehensive overview of the regional water quality. The resulting experimental data were processed using variation statistical methods according to the approach of N.A. Plokhinsky (Table 1). This method involves the calculation of fundamental biometrical parameters, including the arithmetic mean (X), standard error (m), and confidence intervals, to ensure the reliability of the observed hydrochemical variations. The analysis focused on the assessment of the significance of differences and the dispersion of pollutant concentrations across the sampling sites. Statistical calculations were performed using Microsoft Excel tools and specialized biometric formulas [6].

To evaluate surface water pollution within the geosystems of the study area, comparisons with phonic values were made. Key locations within Karaganda-Temirtau industrial zone were selected to assess the dispersion of the tested pollutants. Water samples were collected at 500-meter intervals both upstream and downstream of the wastewater discharge point to assess the distribution of pollutants.

Table 1

Variation-Statistical Indicators of the macro-component composition of water in the Nura basin in 2023

Parameters	$\overline{X} \pm S_x$	lim	p	σ	Cv, %
	mg/dm³				
Total mineralization	22575,76±40,09	645...1541	896	200,48	21,50
Turbidity	26,72±0,15	0,3...2,9	2,6	0,7316192	67,24
pH	140,2±0,33	2,14...8,14	6	1,648	28,2
Water hardness	109,04±0,31	2,18...8,15	5,97	1,54	34,09
$HCO3^{-}$	4635,6±9,32	105...285	180	46,60	24,55
CO2	77,90±1,30	0,1...20,5	20,4	6,51	208,54
Cl^{-}	3568,26±17,17	80,2...345,2	265	85,85	58,59
$SO4^{2-}$	4821,76±12,88	119...391	272	64,38	32,61
$NO2^{-}$	7648,65±20,71	157,6...641,6	484	103,55	32,36
$NO3^{-}$	630,96±2,54	13...65	52	12,69	48,52
$NH4^{+}$	4,184±0,04	0,04...0,94	0,9	0,19	114,8
Σ nitrogen	19,508±0,14	0,2...2,9	2,7	0,68	85,94
$Ca2^{+}$	5027,024±52,59	85,4...1458	1372,6	262,94	126,52
$Mg2^{+}$	783,684±2,16	19,5...60,3	40,8	10,82	33,32
Na^{+}	1139,844±3,80	19,4...89,4	70	18,98	40,66
Suspended solids	501,76±1,05	10...32	22	5,24	25,21
Total phosphorus	1,2234±0,004	0,019...0,087	0,068	0,019	37,06
Petroleum products	1,93±0,050	0,0...0,95	0,95	0,25	325,37

Notes

1 $\overline{X} \pm S_x$– average ± standard error of the mean;

2 lim – range of limits;

3 p – difference of limits;

4 σ – standard deviation;

5 Cv % - coefficients of variation.

A study conducted in 2023 identified the highest levels of mineralization in water samples from key sites within the impact zone of «Qarmed» JSC (Karaganda: 1541 mg/dm³, Temirtau: 1423 mg/dm³). These samples showed a marked increase in sulfate ion concentrations and exhibited abnormal levels of several chemical elements. The average sulfate ion concentration across the basin's waters was 4821,76 ± 12,88 mg/dm³, with a coefficient of variation of 32,61%, and values ranging from 119 to 391 mg/dm³. The enrichment of water with sulfate ions is attributed to sulfuric processes. When sulfide minerals are present, a sulfuric acid process occurs, linked to ore-forming deposits, as the oxidation of sulfides generates hydrolytically acidic compounds and sulfuric acid. Technogenic lithoaccumulations, which contain residual sulfites left behind from the mining and processing of ores, are found at mineral extraction sites. The formation of aggressive lateral flows of substances is facilitated by the intense oxidation of sulfides in the hypergenesis zone [7].

3. RESULTS AND DISCUSSION

The Nura River serves as a natural receptor for uncontrolled wastewater discharges from settlements located along its banks, resulting in considerable pollution of both the river and adjacent water bodies. Waste generated by livestock farms within the basin contributes substantial amounts of organic matter. A distinguishing feature of the Nura River basin is the pronounced impact of wastewater discharges on the quality of its surface waters. The hydrochemical properties and pollution levels of specific sections of the Nura River are largely influenced by the composition of the wastewater discharged, particularly in the stretch downstream from Temirtau city [8]. A key element in this pollution transport chain is the Sokyr River, a major tributary that acts as a technogenic collector for the Karaganda-Temirtau industrial hub. By receiving insufficiently treated effluents from heavy industry and municipal systems, the Sokyr River serves as a concentrated source of heavy metals.

In the context of geochemical processes, the interaction between highly acidic waters and carbonate-rich host rocks has been observed to result in an increase in the pH level. This increase, in turn, has been shown to lead to the accumulation of cationic chemical elements at a specific geochemical barrier composed of carbonate. A series of transformations of ore minerals in the oxidation zones of sulfide deposits occurs similarly: sulfides – sulfates – carbonates – oxides. Alongside elevated sulfate ion concentrations, the upper part of the basin also exhibits increased levels of carbon dioxide. The average carbon dioxide content in the basin waters was 77,90 ± 1,30 mg/dm³, with fluctuations ranging from 0,1 to 20,5 mg/dm³ and a variation coefficient of 208,54%. Across all key sites, hydrocarbon and phenol levels in the basin waters were close to absolute minimums.

Heavy metal ions, including zinc, copper, cadmium, lead, and others, are among the most detrimental contaminants in natural geosystems. The average concentration of Cu^{2+} in water of the Nura River basin was measured at 0,0758 ± 0,00028 mg/dm³ level, with values ranging from 0,0014 to 0,0066 mg/dm³ and a variation coefficient of 47,30%. Research indicated that the average cadmium concentration in the basin water was 0,0036±1,01325 mg/dm³, with a variation coefficient of 35,18%. The mean mercury concentration was 0,00082±1,37 mg/dm³, with a variation coefficient of 209,85% and a range of 0,00001...0,0003 mg/dm³.

Zinc (Zn). Zinc is one of the most abundant elements in nature. Like other trace elements, it is predominantly transported in river water in a suspended state. In terms of the strength of bonds between metal ions and suspended particles, zinc ranks third, after lead and copper. Organic matter plays a crucial role in the adsorption of heavy metals, including zinc. Studies have demonstrated that suspended organic substances, such as algae, can adsorb Zn^{2+}, Cu^{2+}, and Pb^{2+}, with this effect being particularly pronounced in water bodies with high biological productivity [9].

In water bodies with controlled flow, approximately 30 to 40% of suspended zinc ions are deposited when the flow transitions from riverine to stagnant conditions. According to archived data from «Kazhydromet» RSE, zinc levels have exceeded the maximum allowable concentrations (MAC) from 1980 to 2022 in areas one kilometer upstream from the combined wastewater discharge points of «ArcelorMittal Temirtau» JSC and TEMK LLP Chemical Metallurgical Plant. Sudden zinc spikes in the river may originate from sources such as groundwater, which in turn may be influenced by mine waters. In any case, river zinc contamination is anthropogenic in nature.

In the Sherubay–Nura and Sokyr rivers, zinc concentrations rose sharply after 2014. Zinc content analysis has shown that concentrations of this element have increased since 2010, reaching their peak in 2022, exceeding the MAC by a factor of 2,2 [10].

To assess geochemical changes in geosystems, we applied a pollution index for environmental components. Extensive studies have shown that soil cover is commonly used as an indicator of environmental contamination [11]. Due to its ability to accumulate and retain substances deposited from both dry and wet atmospheric deposition, soil provides an ideal medium for studying and evaluating environmental pollution. Given that technogenic anomalies (pollutant halos) often have a multi-elemental composition, our research utilized a cumulative soil pollution index (horizon A1), Zc, to determine the extent to which trace element concentrations surpassed natural background levels, based on formula (1).

$$Zc = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{Ci}{Cf} - (n-1) \right) \quad (1)$$

where,

Zc - is the cumulative soil pollution index;

Ci - is the concentration of the i-th element in the soil;

Cf - is the background concentration of the i-th element;

n - is the number of elements.

Temirtau enterprises contaminate the river with heavy metals, as the concentration of heavy metals upstream is significantly lower than at other points along the river. The highest levels of heavy metal pollution were observed in 2010 (up to 0,003 mg/dm³) and 2014 (up to 0.0025 mg/dm³). This was linked to sources such as groundwater, which may be influenced by mine waters. In the middle reaches of the Nura River, the concentrations of heavy metals are generally exceeded. In the lower reaches of the Intumak Reservoir, elevated levels of heavy metals were noted in 2010. In any case, the pollution of the river with zinc is of anthropogenic origin (table 2). This improvement was influenced by the implementation of environmental protection measures, such as the rational use of water resources: modernization of the circulating water supply system for the reuse of process water in the production cycle, optimization of production processes to reduce the volume of wastewater discharged into natural bodies, repair and reconstruction of water supply and sewage networks, and the construction of evaporation ponds for mine water. Additionally, the self-purifying capacity of the rivers has contributed to the improvement in water quality [12].

Table 2

Heavy Metal Content in Surface Waters, mg/dm³

Observation point	1990			2010			2020		
	Cu	Zn	Hg	Cu	Zn	Hg	Cu	Zn	Hg
Osakarovka	0,0051	0,024	0,00054	0,0028	0,011	0,00005	0,0021	0,019	0,00008
Barshyn	0,0032	0,05	0,00004	0,0025	0,01	0,00005	0,0020	0,011	0,00003
Abai	0,0028	0,025	0,00092	0,0025	0,017	0,00019	0,0022	0,012	0,00006
Temirtau	0,0031	0,038	0,00019	0,0027	0,030	0,00194	0,0024	0,016	0,00023
Karaganda	0,0034	0,047	0,00022	0,0039	0,038	0,0098	0,0027	0,021	0,00028

The industrial activities of the Temirtau complex have resulted in elevated levels of pollutants, such as mercury, zinc, and copper, in the Nura River. The presence of mercury above the maximum allowable concentrations is particularly concerning. The intensity of anthropogenic impact on the landscapes of the Nura River basin determines the current ecological state of the Tengiz-Kurgaldzhin group of lakes.

The Tengiz-Kurgaldzhin group of lakes, being the final zone for the accumulation and dispersion of runoff from the Nura River, is entirely dependent on the hydrodynamics of its flow and, in general, on the intensity of landscape functioning in the Nura River basin. In 1968, the Kurgaldzhin State Nature Reserve was established in the territory adjacent to Lake Tengiz and Lake Kurgaldzhin as a wetland of international importance, primarily as a habitat for waterfowl. The increase in natural aridification processes in the region, associated with long-term climate fluctuations, along with intensive economic development of the landscapes of the Tengiz-Kurgaldzhin depression and the Nura River basin, has led to fundamental changes in the hydrological state of the lakes [13].

Regarding the potential for technogenic pollution of the Tengiz-Kurgaldzhin lakes, at the nearest hydrological observation point (village of Kabankay), exceedances of maximum allowable concentrations (MAC) for petroleum products and nitrites have frequently been recorded.

4. CONCLUSION

Based on the data provided, it can be inferred that the Sherubai-Nura river exhibits a higher degree of pollution, particularly with respect to chemical elements, including elevated concentrations of heavy metals. The low water flow also impacts the hydrochemical indicators. The quality of the Sherubai-Nura River is negatively affected by the Sokyr River, which flows into the Sherubai-Nura River 6 km from its mouth (near the village of Karazhar). The Sokyr River serves as a receptor for wastewater from the Karaganda-Temirtau industrial

complex, which impacts the quality of rivers and reservoirs in the area. Wastewater enters the Sokyr River from enterprises such as «Karaganda Su» the «Saran» mine of «Qarmed» LLP, «Kapitalstroy» and «STINK TFK». Additionally, the river's quality is influenced by emergency discharges and natural alluvial runoff.

Based on the analysis conducted, high concentrations of pollutants such as copper, zinc, and mercury have been confirmed in all the studied rivers within the zone of technogenic influence. These contaminants enter the water primarily through wastewater discharges, domestic sewage releases, and emergency spills onto the land surface. The issue of mercury pollution in the rivers of this area remains very complex, as the concentration of this element exceeds the maximum allowable concentration (MAC). Repeated mercury contamination occurs due to technogenic sediments that have accumulated on the riverbeds, which are further dispersed downstream during spring floods.

The technogenic impact of intensive extraction from deep ore deposits in the Nura River basin has significantly altered the hydrogeological and engineering-geological conditions at many mining enterprises, leading to the emergence of various directional processes. In the areas where mines operate, depressional funnels have formed, covering areas of several dozen and even hundreds of square kilometers.

DATA AVAILABILITY

The data used in this study were obtained by the authors from RSE Kazhydromet sources and the doctoral student's field research.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Conceptualization – GO, ZhO; data curation – GO, SS; formal analysis – GO, SS; methodology – GO, SS; software – GO, ZhO; supervision – SS, ZhO; visualization - GO; writing – original draft – GO; writing – review & editing – GO, ZhO, SS.

REFERENCES

1 Ullrich S.M., Tanton T.W., Abdrashitova S.A. (2007). Mercury contamination in the vicinity of a former acetaldehyde plant in Temirtau, Kazakhstan. Journal of Environmental Monitoring. Vol. 9, No. 1. P. 75–85.
2 Tanton T.W., Ullrich S.M., Ilyushchenko M.A. (2015). The problems of managing the mercury contamination of the River Nura. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 22, No. 13. P. 10212–10224.
3 Dzhanaleeva G.M. (1997). Geosystem-basin approach in the study of the natural environment of the Republic of Kazakhstan. Almaty. 44 p.
4 Palgov N.N. (1959). Rivers of Kazakhstan. Alma-Ata: AN KazSSR. 99 p. [in Russian]
5 Dzhanaleeva K.M. (2010). Physical Geography of the Republic of Kazakhstan. Astana, Arka-s. P. 436–439.
6 Plokhinsky N.A. (1970). Biometry. Moscow, Moscow University Press. 367 p.
7 Bekseitova R.T. (2008). The role of the morpho-orographic factor in the eco-morpholitogenesis of the Central Kazakhstan territory. Domestic geomorphology: past, present, future. Materials of the XXX plenum of the Geomorphology Commission of the Russian Academy of Sciences. SPb. P. 189-191.
8 Bekseitova R. T. (2012). Ecological-geomorphological systems of platform-denudation plains of the arid zone of Kazakhstan. Report on research (intermediate). KazGU: hands. Almaty. 160 p. [in Russian]
9 Ozgeldinova Zh.O. (2015). Anthropogenic impact on the geosystems of the Sarysu River Basin: Dis. ... doc. PhD. Astana. 155 p
10 Informational Bulletin on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan for 2022: Astana, RSE "Kazhydromet", 2023. 180 p. [in Russian]
11 Saet Y.E., Revich B.A., Yanin E.P. (1990). Geochemistry of the Environment. Moscow, Nedra. 335 p.
12 Ramazanova N, Berdenov Z.G, Ramazanov S, Kazangapova N, Romanova S, Toksanbaeva S, Wendt J. (2019). Landscape-geochemical analysis of steppe zone basin Zhaiyk, News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 436(4). P.33-41.
13 Suleimenov I.E, Mun G.A, Pak I.T, Kabdushev S.B, Kenessova Z.A, Kopishev E.E. (2017). Redistribution of the concentrations in polyelectrolyte hydrogels contacts as the basis of new desalination technologies. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. P.198-205

НҰРА ӨЗЕНІ АЛАБЫНДАҒЫ ЖЕРҮСТІ СУЛАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ ҚҰРАМЫ МЕН КЕҢІСТІКТЕ ТАРАЛУЫ

Гаухар Т. Оспан, Жанар О. Озгелдиновна PhD, қауымдастырылған профессор, Салтанат Р.Садвакасова
г.ғ.к.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; gauhara_ast@mail.ru, ozgeldinova@mail.ru, Sadvakassova_sr@enu.kz
*Автор корреспондент: Гаухар Т. Оспан, gauhara_ast@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Нұра өзені алабы, геохимиялық құрам, антропогендік фактор, ластану динамикасы, ауыр металдар

Мақала жайында:
Жіберілді: 4.11.2024
Қайта қаралды: 19.12.2025
Қабылданды: 22.12.2025
Жарияланды:30.12.2025

АБСТРАКТ

Бұл мақалада антропогендік факторлардың әсерінен Нұра өзені алабындағы жерүсті суларының геохимиялық құрамының қалыптасуы қарастырылады. Ластауыш заттардың концентрациясын анықтау мақсатында су үлгілері Қарағанды қаласындағы «Қазгидромет» РМК-ның аккредиттелген зертханасында талданды. Зерттеу нәтижелері фондық мәндермен салыстырылып, Нұра өзені алабындағы су сапасының ластану динамикасы анықталды.

Негізгі ластану көздеріне Қарағанды–Теміртау өнеркәсіптік аймағы кәсіпорындарының дұрыс тазартылмаған ағынды суларын төгуі жатады. Олардың қатарында ірі өндірістік нысандар — «Кармед» ЖШС, «Bassel Group LLS» ЖШС, «Теміртаулық электрметаллургиялық комбинат» АҚ және басқа да өнеркәсіптік нысандар бар. Бұл кәсіпорындардың төгінді сулары құрамында қалқымалы заттар, фенолдар, ауыр металдар сияқты ластаушы заттар кездеседі. Жүргізілген талдау антропогендік факторлардың су ресурстарының сапасына айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді және Нұра өзені мен оның алабындағы су айдындарының тұрақты экологиялық жағдайын қамтамасыз ету үшін тазарту құрылыстарының техникалық жағдайын жақсартудың маңыздылығын атап өтеді.

СОСТАВ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ БАССЕЙНА РЕКИ НУРА

Гаухар Т.Оспан, Жанар О.Озгелдинова PhD., ассоциированный профессор, Салтанат Р. Садвакасова к.г.н.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; gauhara_ast@mail.ru, ozgeldinova@mail.ru, Sadvakassova_sr@enu.kz
*Автор корреспондент: Гаухар Т. Оспан, gauhara_ast@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

бассейн реки Нура, геохимический состав, антропогенный фактор, динамика загрязнения, тяжёлые металлы

По статье:
Получено: 4.11.2024
Пересмотрено: 19.12.2025
Принято: 22.12.2025
Опубликовано: 30.12.2025

АБСТРАКТ

В данной статье рассматривается формирование геохимического состава поверхностных вод бассейна реки Нура под влиянием антропогенных факторов. Образцы воды были проанализированы в аккредитированной лаборатории РГП «Казгидромет» в г. Караганда с целью определения концентраций загрязняющих веществ. Проведено сопоставление результатов с фоновыми значениями, выявлена динамика загрязнения вод на территории бассейна реки Нура. Основные источники загрязнения включают сбросы недостаточно очищенных сточных вод предприятий Караганда-Темиртауского промышленного района, в том числе таких крупных объектов, как ТОО «Кармед», ТОО «Bassel Group LLS», АО «Темиртауский электрометаллургический комбинат», и других промышленных объектов, сбросы которых содержат такие загрязнители как взвешенные вещества, фенолы, тяжёлые металлы. Проведенный анализ указывает на значительное влияние антропогенной деятельности на качество водных ресурсов, подчеркивая необходимость в улучшении технического состояния очистных сооружений для обеспечения стабильного экологического состояния реки и водоемов бассейна Нуры.

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

Научная статья

МОНИТОРИНГ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БАССЕЙНА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ЖАЙЫК

Нариман А. Амиргалиев[1] академик КазНАЕН, д.г.н., профессор, Кажмурат М. Ахмеденов[2] к.г.н., профессор, Азамат С. Мадибеков[1,3] PhD, ассоциированный профессор, Лаура Т. Исмуханова[1,3] PhD, Асхат Ө. Жәди[1], Арай Ә. Сұлтанаева*[1,3]

[1] АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; namirgaliev@mail.ru (НАА), madibekov@mail.ru (АСМ), l--aura@bk.ru (ЛТИ), askhat.zhadi@mail.ru (АӨЖ), arai1104@mail.ru (АӘС)
[2] НАО «Западно-Казахстанский университет имени Махамбета Утемисова», Уральск, Казахстан; kazhmurat78@mail.ru (КМА)
[3] Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; madibekov@mail.ru (АСМ), l--aura@bk.ru (ЛТИ), arai1104@mail.ru (АӘС)
*Автор корреспондент: Арай Ә. Сұлтанаева, arai1104@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

полихлорированные бифенилы, трансграничный сток, трансформация, конгенеры

АБСТРАКТ

Одной из важных экологических проблем в современных условиях является загрязнение водоемов и водотоков Казахстана стойкими органическими загрязнителями (СОЗ), особенно входящими в их перечень высоко токсичными полихлорированными бифенилами (ПХБ). В данной работе приводятся результаты впервые проведенных научных исследований по оценке трансграничного притока на территорию Казахстана высокотоксичных ПХБ по р. Жайык, особенностей их трансформации по течению реки на территории РК, об уровнях загрязнения ими многочисленных притоков реки и самостоятельных рек Большой и Малой Узени, притекающих из территории Российской Федерации (РФ). Обозначены основные источники загрязнения ПХБ р. Жайык и показано их разнообразное происхождение, что подтверждается и широким разнообразием конгенерного состава токсиканта, все это дают основание полагать о повышенной токсичности водных ресурсов реки по отношению к ПХБ. Приведены данные ведущих ученых об источниках загрязнения реки ПХБ на территории РФ. Показана загрязненность ПХБ трансграничного стока, водных ресурсов самой реки и ее притоков, выявлены большая межгодовая изменчивость уровня загрязненности речных вод и заметное снижение ее в 2024 г. Повышенная загрязненность ПХБ характерна для воды левобережных притоков, протекающих по территории Актюбинской области.
Результаты исследования могут быть использованы государственными и местными органами по охране природы при разработке практических мероприятий по охране рек от загрязнения этими высоко токсичными поллютантами, что соответствует требованиям Стокгольмской конвенции о СОЗ).

1. ВВЕДЕНИЕ

Водная безопасность в условиях засушливого Казахстана рассматривается в настоящее время как важный компонент национальной безопасности. Важным аспектом количественного лимитирования водных ресурсов в Казахстане является то, что все главные реки Ертис, Иле, Сырдария, Жайык и другие, имеют трансграничный характер. Из 91,3 км^3/год суммарных ресурсов поверхностных вод 48,5 %, т.е. 44,3 км^3/год поступает с сопредельных государств, на территории республики формируется местный сток в объеме 47,0 км^3/год [1].

Трансграничные проблемы для Казахстана приобретают остроту не только в области сохранения оптимального объема притока речных вод в наши водные бассейны, но и в том, что происходит по трансграничным рекам – приток различных токсичных соединений, взаимопроникновение чужеродных гидробионтов, в т.ч. рыб, привнос

По статье:
Получено: 09.07.2025
Пересмотрено:08.12.2025
Принято: 18.12.2025
Опубликовано: 30.12.2025

Для цитирования:

Амиргалиев Н., Ахмеденов К, Мадибеков А., Исмуханова Л., Жәди А., Сұлтанаева А. Мониторинг уровня загрязненности полихлорированными бифенилами водных ресурсов бассейна трансграничной реки Жайык // Гидрометеорология и экология, 120 (5), 2025, 41-56.

новых видов болезней рыб, поскольку территория Казахстана занимает нижнее течение всех трансграничных водотоков. Такая проблема существует и для р. Жайык.

Водные ресурсы р. Жайык широко используются в бассейне для хозяйственных целей. Вместе с тем, приток этих маломинерализованных вод в Каспийское море приводит к существенному опреснению мелководной зоны Казахстанского сектора моря, что создает благополучные условия для воспроизводства запасов ценных промысловых рыб, в т.ч. осетровых видов.

В последние десятилетия в р. Жайык наблюдается изменение водных ресурсов в сторону уменьшения в основном за счет антропогенно обусловленного сокращения стока, что создает серьезную угрозу устойчивому развитию природно-хозяйственной системы Западного Казахстана.

По многолетним данным, начиная с 1971 г., наблюдается системно-поэтапное уменьшение среднегодового стока реки Жайык. Величина годового стока реки по сравнению со среднемноголетним, равным 12,0 км^3 [2], уменьшилась: к 1995 г. – в среднем до 10,0 км^3, или на 16,7 %, а к 2016 г. – в среднем до 7,47 км^3, или на 37,8 % [3].

Помимо проблем сокращения объема трансграничного притока, одной из угроз гидроэкологической безопасности остается антропогенная трансформация качественного состава водных ресурсов р. Жайык. Техногенное загрязнение поверхностных вод бассейна р. Жайык носит прогрессирующий характер, имеет место нарушение экологического баланса всего речного баланса. В реку поступает большое количество загрязняющих веществ антропогенного происхождения. Происходит стабильное загрязнение водотоков по многим параметрам, превышающее предельно-допустимые концентрации (ПДК) для открытых водоемов.

Определяющим фактором техногенной метаморфизации химического состава речной воды на протяжении 50…60 лет и более в бассейне верхнего течения р. Жайык на территории РФ являются многочисленные объекты горнодобывающей и металлургической промышленности [4…5]. От района г. Магнитогорска до г. Орска авторы установили наличие 20 крупных источников химического загрязнения поверхностных вод. В указанных источниках приводятся данные о высокой загрязненности воды р. Жайык и ее притоков рядом токсичных соединений, содержание которых достигает высоких и экстремально высоких уровней.

К числу приоритетных загрязняющих веществ водных ресурсов Казахстана, в т.ч. р. Жайык, требующих системный аналитический контроль, относятся стойкие органические загрязнители (СОЗ). Хлорорганические пестициды (ХОП): (ДДТ, альдрин, гексахлорбензол, ГХЦГ и др.), полихлорированные бифенилы (ПХБ), которые входят в перечень СОЗ, отличаются высокой токсичностью для живых организмов на чрезвычайно низком уровне концентрации в природных объектах. Для ксенобиотиков характерны высокая стойкость к физическим, химическим и биологическим факторам, глобальная распространенность по воздуху, воде и мигрирующими видами, высокая кумуляционная способность в живых организмах, активная миграция по трофическим цепям.

СОЗ признаны международным сообществом веществами, представляющими большую опасность для здоровья человека и окружающей среды. Для принятия мер по охране человека и природной среды в 2001 г. было принято глобальное международное соглашение - Стокгольмская конвенция о СОЗ [6]. Она вступила в силу в 2004 г., Казахстан ратифицировал ее в 2007 г. Конвенция ставит цели: немедленное прекращение производства СОЗ, прекращение к 2025 г. их использование и уничтожение всех отходов не позднее 2028 г. экологически безопасными методами. Проблема, связанная с СОЗ, достаточно остро стоит и для Казахстана.

Одними из наиболее токсичных и распространенных в глобальном масштабе представителями СОЗ являются полихлорированные бифенилы (ПХБ). На территории Республики Казахстан (РК) в настоящее время выявлено ПХБ-содержащие

оборудования в количестве 116 трансформаторов и около 50 тысяч конденсаторов. Объем содержащихся у них ПХБ приблизительно оценивается в 800 тонн. По данным предварительной инвентаризации, в республике были обнаружены восемь «горячих точек» территории, загрязненных ПХБ [7…8].

На водных объектах Казахстана целенаправленного мониторинга в целях реализации национальных задач по Стокгольмской конвенции о СОЗ практически не проводится. Наблюдения за этими ксенобиотиками не ведется и сетью Казгидромет и другими органами РК. В «Концепции экологической безопасности РК на 2004…2015 годы» указано об отсутствии в Казахстане объективной оценки загрязнения природной среды СОЗ.

Источниками поступления в среду ПХБ являются утечки из трансформаторов, конденсаторов, теплообменников, испарения из различных технических установок, где их использовали в качестве диэлектриков, гидравлических жидкостей, жидкие промышленные отходы, сжигание отходов ПХБ, городского мусора и испарение покрытий, материалов, содержащих ПХБ [9…13].

Исследования показали, что атмосферный перенос является основным путем переноса ПХБ, перенося их на большие расстояния от источников выбросов, где они осаждаются на различных экологических матрицах, таких как почва, вода, отложения, фильтраты, воздух. Также они могут осаждаться в биологических образцах, таких как растительные и животные ткани, человеческая кровь, жировая ткань, грудное молоко, в водных животных, таких как рыбы [14...16].

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в чистой воде содержание ПХБ не должно превышать 0,5 нг/л. В США принятый норматив для водных организмов при хроническом воздействии токсиканта составляет 0,014 мкг/л, а для рыбохозяйственных водоемов – 0,079 нг/л (последний критерий установлен с учетом влияния на здоровье человека) [17]. В западной Европе и США вещества этой группы не только жестко нормируются, но и исключаются из технологических процессов [18].

Согласно «Стандартам качества поверхностных вод Китая» (GB-3838-2002), предельно допустимая концентрация ПХБ – 20 нг/л [19…20]. В России величины ПДК для ПХБ имеют следующие значения:

- атмосферных воздух – 1 мкг/м^3;
- вода (водные объекты хозяйственного и культурно-бытового водопользования) – 1 мкг/л;
- почва – 0,1 мг/кг [21…22].

Однако, исследования, проводимые нами в последние десятилетия, показывают значительный уровень загрязненности этими опасными поллютантами водных ресурсов главных трансграничных Иле-Балхашкого, Ертисского [23…24], Арал-Сырдарьинского [25] бассейнов.

При этом следует сослаться на работу российских ученых З.К. Амирова и др. [26], опубликованной 2015 г., в которой сказано, что в то время в РФ создавался Национальный план по реализации Стокгольмской конвенции по СОЗ, в которой, в том числе, определены задачи мониторинга природных объектов, выявления локальных зон повышенного загрязнения, оценки риска воздействия СОЗ, разработка мероприятий по снижению эмиссии и реабилитации территорий в соответсвии с наилучшими известными технологиями [27].

Данные об уровнях загрязнения ПХБ водных ресурсов реки Жайык на территории Казахстана впервые получены нами во время исследований, проведенных в 2005 и 2012 г. в низовьях реки [28]. Пробы воды для хроматографического анализа отбирались на участке реки протяженностью около 50 км.

Выше г. Атырау (с. Бугорки) концентрация ПХБ в воде в 2012 г. составила 0,93 мкг/дм^3, а на замыкающей станции – в начале Урало-Каспийского канала (УКК) - она

возросла до 1,29 мкг/дм^3. Аналогичная картина в распределении ПХБ по течению реки была зарегистрирована и в 2005 г. (рисунок 1).

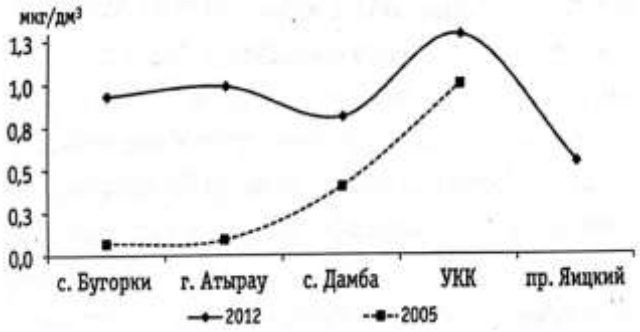


Рисунок 1. *Изменение концентрации ПХБ в воде низовья и дельтовой зоны р. Жайык [28]*

Такой рост количества токсиканта вниз по течению реки, очевидно, обусловлен влиянием отходов в виде сточных вод и атмосферных выбросов промышленных предприятий, расположенных в г. Атырау. Сравнительно менее загрязнена вода в Правом Яицком рукаве дельты, по которому проходит незначительная часть стока реки и берега его менее заселены. Ясно прослеживается увеличение в 2012 г. уровня ПХБ в речной воде по сравнению с 2005 г. - он возрос на порядок в пределах г. Атырау, в два раза у с. Дамба и заметно увеличился в УКК.

Вынос ПХБ речным стоком определяет характер распределения этих токсикантов в воде предустьевой морской акватории. Наибольшее их содержание (1,0 мкг/дм^3) зарегистрировано в квадрате №24, куда в первую очередь поступает речная вода по УКК. По мере удаления от него концентрация ПХБ постепенно снижается.

Главная причина загрязнения ПХБ трансграничной р. Жайык является поступление в речную систему отходов многочисленных промышленных предприятий и других объектов, находящихся на территории РФ. По данным исследований и проведенных инвентаризаций [29] в Южно-Уральском регионе, тяготеющем к бассейну реки, имеются 74,5 тыс. единиц оборудования, содержащих ПХБ (трансформаторы и конденсаторы). Общее количество ПХБ в Оренбургской, Челябинской, Свердловской областях и в Башкортостане - 3354 т. Если к этому добавить огромные, загрязненные ПХБ территории, особенно в пределах главных источников загрязнения, то становится понятным уровень нагрузки ПХБ-содержащих стоков и выбросов в атмосферу в верхней части бассейна р. Жайык.

Согласно исследованиям [30], в Башкирской республике с высокой концентрацией промышленных предприятий, высокая загрязненность ПХБ воды и рыб в реках Башкирии является следствием многолетнего загрязнения рек в результате токсичных сбросов промышленных предприятий и судоходства. Не исключается возможность загрязнения реки и ее притоков в пределах городов Уральск, Актюбинск и Алга. Однако трудно что-либо определенно сказать из-за полного отсутствия информации по содержанию ПХБ как в трансграничном стоке реки Жайык, так и в ее водах в пределах Республики Казахстан.

Исследования Г.Н. Соловых и Н.В. Винокуровой [31] установили широкое распространение ПХБ в воде и донных отложениях р. Жайык на территории Оренбургской области РФ. В районе г. Оренбурга содержание токсиканта составило в 2009 г. в речной воде в пределах 0,0008…0,0012 мг/дм^3, в 2011 г. – от 0,0005 до 0,0010 мг/дм^3, а в донных отложениях 0,04…0,07 мг/кг и 0,015…0,065 мг/кг соответственно. В 2013 г. в пределах всего среднего течения реки: от г. Оренбург до Ириклинского водохранилища, концентрация ПХБ составила в воде 0,0003…0,00075 мг/дм^3, а в донных отложениях от 0,01 до 0,035 мг/кг.

Все приведенные выше результаты исследований ученых Российской Федерации свидетельствуют о значительной загрязненности ПХБ воды и донных отложений на всем протяжении р. Жайык на территории РФ.

Учитывая все изложенное выше, а также важность сохранения нормативного качества водных ресурсов реки, основной целью проводимых исследований определены вопросы: изучение уровня загрязненности ПХБ трансграничного стока р. Жайык, ее основных притоков и характера трансформации токсиканта по течению реки на территории Республики Казахстан.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования река Жайык - третья по длине река в Европе (общая протяженность 2428 км, из них 1084 км - на территории Казахстана), с площадью бассейна около 380 тыс. км^2 [4]. Верховья реки находятся на территории РФ, а нижнее течение – в Западно-Казахстанской и Атырауской областях Казахстана.

Подробный материал об уровнях загрязненности ПХБ речных вод, притекающих на территории РК и всех основных притоков р. Жайык, а также о характере трансформации токсиканта по течению реки до Каспийского моря, получены в 2023 и 2024 гг. Точки отбора образцов воды в бассейне реки показаны на рисунке 2.

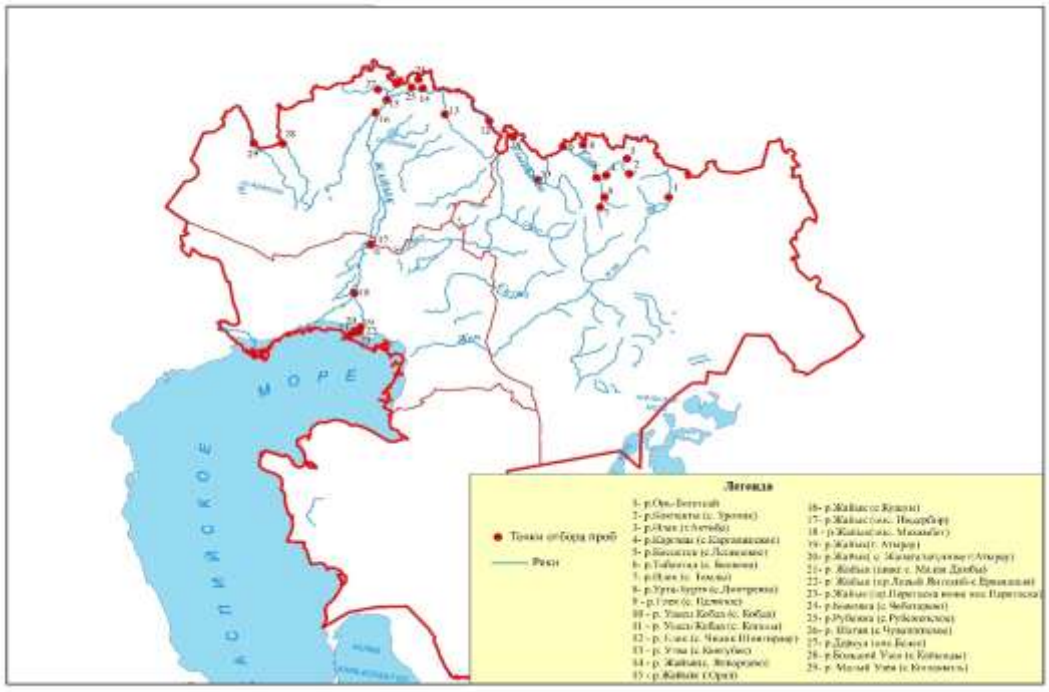


Рисунок 2. *Точки отбора проб воды в бассейне р. Жайык на территории РК*

В процессе исследования изучается не только суммарное содержание ПХБ, но и концентрация всех присутствующих конгенеров, от которых зависит уровень токсичности речной воды.

Собраны литературные сведения об источниках загрязнения воды р. Жайык на территорий Российской Федерации.

Газохроматографический анализ ПХБ в воде проводился в соответствии с (СТБ ИСО 6468-2003, 2004) на газовом хроматографе “Хромос ГХ-1000” с программным обеспечением, электронно-захватным детектором (ДЭЗ) и использованием капиллярной колонки длиной 30 м × 0,32 мм. Условия хроматографирования: температура колонки 220 °С, температура испарителя 240 °С, температура детектора 300 °С, расход газа-носителя (азот “осч”) - 38 мл/мин. В качестве стандарта использовали ГСО состава

раствора Совола в гексане, представляющего собой смесь ПХБ-52, ПХБ-101, ПХ-138, ПХБ-153 и сумму тетра-, пента- и гексахлорбифенилов.

Сущность метода заключается в экстракции ПХБ из пробы анализируемой воды органическим растворителем (n-Гексан), концентрировании и очистке экстракта от сопутствующих соединений, анализе экстракта методом газовой хроматографии с использованием детектора электронного захвата (ДЭЗ), с последующим определением массовых концентраций индивидуальных конгенеров ПХБ с использованием метода абсолютной градуировки.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень загрязнения ПХБ трансграничного стока реки.

Стационарное наблюдение над уровнем загрязнения ПХБ воды, притекающей на территорию Казахстана по р. Жайык, проводилось 2023-2025 гг. По результатам хроматографического анализа проб воды, можно отметить, что во всех отобранных пробах воды зарегистрированы ПХБ. Как видно из данных таблицы 1, содержание токсиканта в речных водах изменялось от 0,014 до 0,076 мкг/дм^3

Таблица 1

Концентрация ПХБ и их конгенеры в трансграничном стоке р. Жайык у с. Январцево

Глубина отбора проб	Дата	Конгенеры ПХБ	Сумма ПХБ, мкг/дм^3
поверх., 0.5 м	27.10.2023	40; 42; 44; 48; 49; 52; 66,95; 70,76; 74; 82; 85; 86; 87,115; 97; 101; 105; 110; 114; 118; 119; 121; 128; 129; 137; 138; 141; 146; 151; 153; 155; 171	0,029
прид., 2 м			0,026
поверх., 0.5 м	03.11.2023		0,016
прид., 2 м			0,033
поверх., 0.5 м	07.12.2023		0,035
прид., 2 м			0,019
поверх., 0.5 м	02.02.2024		0,041
прид., 2 м			0,076
поверх., 0.5 м	02.03.2024		0,028
прид., 2 м			0,022
поверх., 0.5 м	05.04.2024		0,027
поверх., 0.5 м	25.04.2024		0,019
прид., 2 м			0,023
поверх., 0.5 м	06.06.2024		0,041
поверх., 0.5 м	23.07.2024		0,032
поверх., 0.5 м	15.08.2024		0,029
поверх., 0.5 м	11.09.2024		0,014
поверх., 0.5 м	15.10.2024		0,022
поверх., 0.5 м	11.11.2024		0,033
поверх., 0.5 м	05.12.2024		0,039
поверх., 0.5 м	23.01.2025		0,035
поверх., 0.5 м	21.02.2025		0,038

Примечание: поверх. – поверхностный слой, прид. – придонный слой

Конгенерный состав ПХБ в речных водах оказался весьма широким, зарегистрирован 31 индивидуальный изомер ПХБ, относящиеся к гомологическим группам от тетрахлорбифенилов (ПХБ 40,49) до гептахлорбифенилов (ПХБ 171). В числе найденных конгенеров присутствуют строго контролируемые «маркерные» конгенеры: ПХБ 52, 101, 138, 153 и высокотоксичные диоксиноподобные конгенеры ПХБ 105, 114, 118, относящиеся к гомологической группе пентахлорбифенилов. Известно, что более широкое структурное разнообразие конгенеров ПХБ является признаком того, что в загрязнении водоема и водотока этими токсичными соединениями участвуют источники различного происхождения. Это могут быть загрязнения промышленными смесями ПХБ, атмосферными переносами, а также пирогенного происхождения, обусловленного процессами сжигания промышленных и бытовых отходов.

Токсичное свойство природных вод по отношению к ПХБ определяется, очевидно, не только суммарной концентрацией токсиканта, но и содержанием в них более токсичных конгенеров как «маркерные» и особенно диоксиноподобные. Концентрация «маркерных» изомеров была в пределах 0,002…0,004 мкг/дм^3, а относительное их

содержание в отдельных анализированных образцах воды составило от 4 до 24%. Диоксиноподобные конгенеры зарегистрированы в количестве от 0,002 до 0,005 мкг/дм^3, их относительное содержание в отдельных пробах отмечено в интервале 3…18% (таблица 2).

Таблица 2

Содержание «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в трансграничном стоке р. Жайык у с. Январцево

Глубина отбора проб	Дата	Сумма ПХБ, мкг/дм^3	«маркерные»								диоксиноподобные					
			ПХБ 52		ПХБ 101		ПХБ 138		ПХБ 153		ПХБ 105		ПХБ 114		ПХБ 118	
			мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%
поверх., 0.5 м	27.10.2023	0,029	-	-	0,002	8	0,002	6	0,003	11	0,002	7	-	-	-	-
прид., 2 м		0,026	-	-	0,002	7	-	-	0,002	9	-	-	-	-	-	-
поверх., 0.5 м	03.11.//	0,016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	11	-	-
прид., 2 м		0,033	-	-	-	-	0,002	5	0,002	6	-	-	-	-	-	-
поверх., 0.5 м	07.12.//	0,035	0,002	5	-	-	0,003	10	-	-	0,002	6	-	-	0,002	6
прид., 2 м		0,019	0,002	10	0,003	16	-	-	-	-	0,002	12	-	-	0,003	14
поверх., 0.5 м	02.02.2024	0,041	0,002	6	-	-	0,002	4	0,003	7	0,003	7	-	-	-	-
прид., 2 м		0,076	-	-	-	-	-	-	0,002	2	0,002	3	-	-	0,002	3
поверх., 0.5 м	02.03.//	0,028	-	-	0,002	8	0,002	6	0,003	10	-	-	0,005	18	0,002	6
прид., 2 м		0,022	-	-	0,002	8	0,003	12	0,002	10	-	-	-	-	-	-
поверх., 0.5 м	05.04.//	0,027	0,002	8	0,002	8	-	-	0,003	13	-	-	-	-	-	-
поверх., 0.5 м	25.04.//	0,019	-	-	-	-	-	-	0,004	24	-	-	-	-	0,002	10
прид., 2 м		0,023	-	-	0,002	10	0,004	15	0,003	14	-	-	-	-	-	-
поверх., 0.5 м	06.06.//	0,041	-	-	0,002	5	-	-	0,002	5	-	-	-	-	0,002	5
поверх., 0.5 м	23.07.//	0,032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
поверх., 0.5 м	15.08.//	0,029	0,002	9	-	-	0,003	11	-	-	0,002	8	-	-	0,005	16
поверх., 0.5 м	11.09.//	0,014	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-
поверх., 0.5 м	15.10.//	0,022	-	-	-	-	0,003	12	-	-	-		-	-	0,003	14
поверх., 0.5 м	11.11.//	0,033	0,004	12	-	-	-	-	0,004	12	0,003	8	0,003	8	0,002	7
поверх., 0.5 м	05.12.//	0,039	-	-	-	-	0,004	10	-	-	0,002	5	-	-	0,003	8
поверх., 0.5 м	23.01.2025	0,035	0,002	5	0,002	5	-	-	-	-	0,002	5	-	-	0,004	12
поверх., 0.5 м	21.02.//	0,038	0,004	11	0,003	7	-	-	0,004	11	0,003	7	-	-	0,002	4

Приведенный выше материал представляет собой первые научные данные о трансграничном притоке на территорию Казахстана высокотоксичных ПХБ по р. Жайык. Анализ полученного материала показал загрязненность речных вод этими токсикантами у трансграничного ГП в течение всего года. Присутствие в конгенерном составе ПХБ целого ряда строго контролируемых «маркерных» и диоксиноподобных изомеров является показателем повышенного уровня токсичности речных вод по отношению к ПХБ. Распределение концентрации ПХБ по отдельным горизонтам речной воды в целом равномерно.

Уровень загрязнения ПХБ реки Жайык

Образцы речной воды для анализа ПХБ отбирались в апреле и июне 2024 года во время экспедиционных исследований, проведенных по всему течению реки и в ее дельтовой зоне. Согласно результатам хроматографического анализа (таблица 3), концентрация ПХБ в воде самой реки на территории Западно-Казахстанской области была в интервале 0,024…0,033 мкг/дм^3, а на гидростворах по Атырауской области от 0,011 до 0,055 мкг/дм^3. Содержание токсиканта в воде дельтовых притоков Левый Яицкий и Перетаска зарегистрировано в количестве 0,022 и 0,044 мкг/дм^3 соответственно.

Заметное повышение содержания ПХБ в речной воде регистрируется в районе пос. Индербор, очевидно, под влиянием находящихся здесь рудников и других предприятий

по обогащению борных руд. Далее вниз по течению реки некоторый рост концентрации токсиканта наблюдается ниже промышленного города Атырау, а также в воде дельтового протока Перетаска из-за поступления в него сточных вод из Атырауского нефтеперерабатывающего завода.

Таблица 3

Общая характеристика загрязненности ПХБ воды р. Жайык и протоков дельты реки в 2024 г.

Дата отбора проб	Место отбора проб	Конгенеры	Сумма ПХБ, мкг/дм^3
26.04.2024	р. Жайык - г. Уральск (поверхностный)	41,64,71; 42; 44; 48; 52; 66,95; 70,76; 74; 82; 85; 86; 87,115; 97; 101; 105; 110; 114; 118; 119; 121; 128; 129; 137; 138; 141; 146; 151; 153; 171	0,025
26.04.2024	р. Жайык - г. Уральск (придонный)		0,026
06.06.2024	р. Жайык - г. Уральск		0,033
05.06.2024	р. Жайык - с. Кушум		0,024
02.06.2024	р. Жайык - пос. Индербор		0,055
04.06.2024	р. Жайык - пос. Махамбет		0,011
04.06.2024	р. Жайык - г. Атырау		0,033
04.06.2024	р. Жайык - с. Жанаталап (ниже г. Атырау)		0,044
04.06.2024	р. Жайык - ниже с. Малая Дамбы		0,038
04.06.2024	р. Жайык - пр. Левый Яитский - с. Еркенкала		0,020
04.06.2024	пр. Перетаска ниже пос. Перетаска		0,044

В водах р. Жайык и дельтовых протоков зарегистрировано 30 индивидуальных конгенеров ПХБ. Более важно анализировать количество и концентрации высокотоксичных «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров. Из данных таблицы 4 следует, что более широкое распространение в воде р. Жайык имеют «маркерные» конгенеры ПХБ 52, 138 и 153. Концентрация этой группы изомеров менялась в интервале 0,002…0,005 мкг/дм^3, относительное их содержание в отдельных пробах воды составило от 3 до 16%.

Диоксиноподобные конгенеры обнаружены в речной воде также в концентрациях 0,002…0,005 мкг/дм^3, встречаемость их по течению реки значительно реже по сравнению с «маркерными». Относительное их содержание в отдельных пробах от 5 до 16%.

Если сравнить данные, приведенные в таблице 3, с материалами, полученными нами в 2005 и 2012 гг. в низовьях реки (см. рисунок 1), то обнаруживается некоторое соответствие по значениям данных за 2024 и 2005 гг., полученных у г. Атырау и выше него, а в 2012 г. концентрация ПХБ в воде всего изученного участка реки была, примерно, на два порядка выше, по сравнению с данными за 2024 г.

На основе этого сопоставительного анализа можно предположить о существенных межгодовых изменениях уровня загрязнения речных вод ПХБ в низовьях и в дельтовой зоне водотока. Также установлено заметное снижение уровня загрязнения речных вод этими токсичными соединениями в 2024 г.

Таким образом, водные ресурсы реки Жайык по всему ее течению на территории Казахстана загрязнены высокотоксичными соединениями – ПХБ. Уровень загрязнения трансграничного стока и воды р. Жайык характеризуется близкими значениями. Четко прослеживается повышение концентрации токсиканта в районе с. Индербора и г. Атырау под влиянием антропогенных факторов. Выявлено существенные межгодовые колебания уровня загрязнения ПХБ речных вод и заметное его снижение в 2024 г.

Уровень загрязнения ПХБ притоков р. Жайык

В отношении притоков р. Жайык следует отметить, что все левобережные притоки, так называемые притоки первого порядка, как Елек, Орь, Урта-Буртя и Утва, находящиеся на территории Актюбинской области, впадают в р. Жайык на территории РФ, т.е. выше трансграничного гидропоста с. Январцево. Все остальные мелкие притоки второго порядка, как Тамды, Каргалы, Кокбекты и др. впадают в р. Елек. Правобережные притоки Быковка, Рубежка и Шаган впадают непосредственно в р. Жайык уже на территории Казахстана.

Таблица 4

Концентрация «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в воде р. Жайык и протоков дельты реки в 2024 г.

Дата	Место отбора проб	«маркерные»								диоксиноподобные					
		ПХБ 52		ПХБ 101		ПХБ 138		ПХБ 153		ПХБ 105		ПХБ 114		ПХБ 118	
		мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%
26.04.	р. Жайык - г. Уральск (поверхностнвй)	-	-	-	-	-	-	0,003	13	-	-	-	-	-	-
26.04.	р. Жайык - г. Уральск (придонный)	0,003	11	-	-	-	-	-	-	0,004	14	-	-	0,003	12
06.06.	р. Жайык - г. Уральск	0,003	10	-	-	-	-	0,002	5	0,002	6	-	-	0,002	7
05.06.	р. Жайык - с. Кушум	0,003	14	-	-	-	-	-	-	0,002	9	-	-	-	-
02.06.	р. Жайык - пос. Индербор	0,002	3	0,003	6	0,002	4	-	-	-	-	-	-	0,005	10
04.06.	р. Жайык - пос. Махамбет	-	-	-	-	0,002	16	-	-	-	-	0,002	16	-	-
04.06.	р. Жайык - г. Атырау	0,002	6	-	-	0,003	8	0,004	12	0,003	10	0,002	5	-	-
04.06.	р. Жайык - с. Жанаталап (ниже г. Атырау)	0,005	12	-	-	0,003	6	0,005	11	-	-	-	-	0,003	6
04.06.	р. Жайык - ниже с. Малая Дамбы	0,004	9	0,002	5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	6
04.06.	р. Жайык - пр. Левый Яитский - с. Еркенкала	0,002	9	0,003	15	0,002	12	0,003	13	-	-	-	-	-	-
04.06.	пр. Перетаска ниже пос. Перетаска	0,004	10	-	-	0,002	4	0,002	5	0,004	9	0,002	5	-	-

Результаты исследований, проведенных в июне 2024 г., показали загрязненность изучаемыми токсикантами воды всех правобережных притоков и самостоятельных рек Большой и Малой Узени притекающих из РФ (Таблица 5).

Суммарная концентрация ПХБ в водах этих водотоков сравнительно невысока от 0,016 до 0,034 мкг/дм^3. В них зарегистрировано 27 индивидуальных конгенеров ПХБ.

Таблица 5

Общая характеристика загрязненности ПХБ воды правобережных притоков р. Жайык и рек Большой и Малой Узени в

Дата отбора проб	Реки	Конгенеры	Сумма ПХБ, мкг/дм^3
06.06.2024	Быковка – с. Чеботарево	44; 52; 66,95; 70,76; 74; 87,115; 97; 101; 105; 110; 114; 118; 119; 121; 128; 129; 137; 138; 141; 146; 151; 153; 171	0,033
06.06.//	Рубежка – с. Рубеженское		0,021
06.06.//	Шаган – с. Чувашинское		0,017
06.06.//	Деркул – пос. Белес		0,034
02.06.//	Большой Узен - с. Кайынды		0,029
02.06.//	Малый Узен - с. Кошанколь		0,016

Как показано в таблице 6, в водах рассматриваемых водотоков в целом зарегистрированы «маркерные» и диоксиноподобные конгенеры. Однако, в отличие от р. Жайык, в водах этих притоков и рек указанные группы конгенеров присутствуют значительно реже. В воде притока Рубежка найдены всего два «маркерных» конгенера ПХБ 101 и 153, в воде р. Шаган всего один диоксиноподобный конгенер ПХБ 118, а в воде р. Малый Узен при суммарной концентрации ПХБ 0,016 мкг/дм^3 конгенеры из указанных групп вообще отсутствовали.

Относительное содержание «маркерных» конгенеров в воде отдельных рек менялось от 7 до 18% при их концентрации 0,002…0,005 мкг/дм^3. Для диоксиноподобных изомеров эти показатели составили 3…10% и 0,002…0,003 мкг/дм^3 соответственно.

По приведенным материалам следует отметить, что водные ресурсы этих водотоков подвержены загрязнению ПХБ, однако уровень их загрязнения ниже по сравнению с р. Жайык.

Результаты хроматографического анализа, впервые полученные для этих рек, представлены в таблице 7.

Таблица 6

Концентрация «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в воде правобережных притоков р. Жайык и рек Большой и Малой Узени в 2024 г.

Дата	Реки	«маркерные»								диоксиноподобные					
		ПХБ 52		ПХБ 101		ПХБ 138		ПХБ 153		ПХБ 105		ПХБ 114		ПХБ 118	
		мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%	мкг/дм^3	%
06.06.	Быковка – с. Чеботарево	0,005	14	-	-	0,002	5	0,002	7	0,002	6	-	-	0,002	7
06.06.	Рубежка – с. Рубеженское	-	-	0,004	18	-	-	0,003	15	-	-	-	-	-	-
06.06.	Шаган – с. Чувашинское	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	0,002	10
06.06.	Деркул – пос. Белес	-	-	-	-	0,003	8	0,004	12	0,003	10	0,002	5	-	-
02.06.	Большой Узен - с. Кайынды	0,002	7	-	-	0,002	7	0,003	10	-	-	0,002	8	-	-

Таблица 7

Общая характеристика уровня загрязненности речных вод ПХБ

Реки	Дата	Конгенеры	Сумма ПХБ, мкг/дм^3
Орь - с. Богетсай	19.04.2024		0,029
Кокпекты - с. Троицк	19.04.//		0,030
Карагалы - с. Каргалинск	20.04.//		0,035
Косистек - с. Косистек	20.04.//		0,032
Табантал - с. Бескара	20.04.//		0,023
Елек- с. Тамды	20.04.//	40; 42; 44; 48; 52; 66,95; 70,76; 74; 82; 85; 86;	0,022
Елек - с. Целиное	21.04.//	87,115; 97; 101; 105; 110; 114; 118; 128; 129;	0,037
Елек - г. Актобе	21.04.//	137; 138; 141; 146; 151; 153; 171	0,025
Елек - с. Чилик Шингирлау	27.04.//		0,031
Урта-Буртя - с. Дмитревка	21.04.//		0,026
Улкен Кобда - с. Когалы	22.04.//		0,036
Улкен Кобда - с. Кобда	22.04.//		0,032
Утва - с. Кентубек	27.04.//		0,035

Анализ ПХБ в воде левобережных притоков р. Жайык, протекающих по территории Актюбинской области, проводился в апреле 2024 г. Изучению подверглись 10 рек, расположенные в пределах бассейна р. Жайык. Наибольшей протяженностью среди рек области, составляющей 623 км, обладает р. Елек, кроме того, она в большей степени подвержена антропогенному влиянию достаточно крупных городов и населенных пунктов, через которые протекает. Учитывая эти обстоятельства на этой реке пробы воды на определение ПХБ, как и других гидрохимических параметров, отбираются на 4 точках. Как видно из приведенных данных, токсиканты зарегистрированы в воде всех изученных левобережных притоков с концентрацией от 0,022 до 0,037 мкг/дм^3, а среднее ее значение составило 0,031 мкг/дм^3. Содержание ПХБ в воде отдельных рек характеризуется близкими значениями, наиболее высокая концентрация обнаружена в воде р. Елек у с. Целинное (0,037 мкг/дм^3).

В водах рек зарегистрированы 27 индивидуальных конгенеров ПХБ. Встречаемость конгенеров в речных водах составила от 8% до 69% и 77%, особенно это характерно для изомеров ПХБ 153 и 129. Наличие конгенеров ПХБ 44 и ПХБ 52 до 21 и 24% соответственно зарегистрирована в воде р. Елек у с. Целинное.

Важное значение имеет анализ материала о содержании в составе ПХБ наиболее токсичных «маркерных» и диоксиноподобных изомеров. Более подробные сведения об этих конгенерах представлены в таблице 8.

Таблица 8

Концентрация «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в водах изученных рек

Реки	Сумма ПХБ, мкг/дм³	маркерные								диоксиноподобные					
		ПХБ 52		ПХБ 101		ПХБ 138		ПХБ 153		ПХБ 105		ПХБ 114		ПХБ 118	
		мкг/дм³	%	мкг/дм³	%	мкг/дм³	%	мкг/дм³	%	мкг/дм³	%	мкг/дм³	%	мкг/дм³	%
Орь - с. Богетсай	0,029	0,003	11	0,003	10	-	-	0,002	6	-	-	-	-	-	-
Кокпекты –с. Троицк	0,030	-	-	-	-	-	-	0,002	5	0,003	11	-	-	0,003	12
Карагалы – с. Каргалинск	0,035	0,004	11	-	-	0,002	6	0,002	7	-	-	0,004	11	-	-
Косистек – с. Косистек	0,032	0,002	6	-	-	-	-	0,002	5	0,003	11	0,002	8	-	-
Табантал – с. Бескара	0,023	0,002	9	-	-	0,003	11	0,003	11	-	-	-	-	-	-
Елек- с. Тамды	0,022	-	-	-	-	-	-	0,002	10	0,002	8	-	-	-	-
Елек - с. Целиное	0,037	0,009	24	-	-		-	0,004	11	0,002	6	0,003	9	-	-
Елек - г. Актобе	0,025	-	-	-	-	0,003	13	-	-	0,002	9	0,003	11	0,003	12
Елек - с. Чилик Шингирлау	0,031	-	-	0,003	9	0,004	11	-	-	-	-	0,005	17	0,002	7
Урта-Буртя – с. Дмитревка	0,026	-	-	-	-	0,002	9	-	-	0,002	8	-	-	0,004	15
Улкен Кобда – с. Когалы	0,036	0,005	14	-	-	0,002	6	0,003	7	0,002	6	0,002	6	0,003	7
Улкен Кобда – с. Кобда	0,032	0,002	5	-	-	0,002	5	-	0	0,002	7	-	-	-	-
Утва – с. Кентубек	0,035	-	-	-	-	-	-	0,005	13	-	-	0,002	6	0,002	5

Из приведенных данных видно, что в воде всех изученных рек зарегистрированы в основном 3-4 конгенера из класса «маркерных» и диоксиноподобных, большее число – 6 конгенеров зарегистрировано в воде р. Улкен Кобда, а всего 2 конгенера – в воде р. Елек у с. Тамды, т.е. в верховьях этой реки.

Характерной особенностью водных ресурсов изучаемых рек является содержание в них довольно большего количества «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров. «Маркерные» конгенеры ПХБ 52 и 138, например, зарегистрированы в воде 7-и рек, а ПХБ 153 – 8 рек, диоксиноподобные в воде 6 и 8 рек.

В воде р. Елек у с. Целинное, в которой обнаружена максимальная концентрация ПХБ (0,037 мкг/дм^3), зарегистрирован наибольший процент (24%) встречаемости «маркерного» конгенера ПХБ 52. Больше всего высокотоксичных диоксиноподобных конгенеров ПХБ 114 и 118 отмечено в водах р. Елек у с. Чилик (17%) и р. Урта-Буртя (15%), в которых также зарегистрирована максимальная концентрация ПХБ. А наблюдаемая регистрация в воде одного и того же водного объекта максимальной концентрации ПХБ и ее высокотоксичных конгенеров явление крайне редкое. Это, очевидно, показатель того, что вода данных водотоков имеет повышенную токсичность.

Анализ полученных результатов дает основание считать, что водные ресурсы всех изученных рек в повышенной степени загрязнены ПХБ, уровень концентрации ПХБ в воде отдельных водотоков характеризуется близкими значениями. Достаточно частая встречаемость в водах высокотоксичных конгенеров ПХБ, придает речным водам повышенный уровень токсичности. При этом следует особо отметить, что загрязнение этих левобережных притоков р. Жайык высокотоксичными соединениями происходит исключительно промышленными предприятиями Актюбинской области.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материал приведенный в данной работе, представляет собой первые научные данные о трансграничном притоке на территорию Казахстана высокотоксичных ПХБ по

р. Жайык, о трансформации их по течению реки на территории РК, а также об уровнях загрязнения ими многочисленных притоков реки и самостоятельных рек Большой Узен (Караозен) и Малый Узен (Сарыозен), притекающих из территории РФ. Анализ полученного материала показал загрязненность речных вод этими токсикантами у трансграничного ГП во все сроки отбора проб. Присутствие в конгенерном составе ПХБ целого ряда строго контролируемых «маркерных» и диоксиноподобных изомеров является показателем повышенного уровня токсичности речных вод по отношению к ПХБ. Распределение концентрации ПХБ по отдельным горизонтам речной воды в целом равномерно.

Водные ресурсы реки Жайык по всему ее течению на территории Казахстана загрязнены ПХБ. Уровень загрязнения трансграничного стока и воды р. Жайык характеризуется близкими значениями. Выявлено заметное возрастание уровня загрязнения речной воды ПХБ под влиянием различных антропогенных факторов в районе с. Индербора и г. Атырау. На основе анализа имеющегося материала выявлено существенная межгодовая изменчивость уровня загрязненности речных вод ПХБ и сравнительно низкий уровень ее в 2024 г.

Водные ресурсы всех изученных притоков р. Жайык также подвержены загрязнению ПХБ. Повышенный уровень загрязнения этими токсикантами зарегистрирован в воде левобережных притоков реки. Менее загрязнены правобережные притоки и р. Малый Узен (Сарыозен). Максимальные концентрации ПХБ, а также большее количество «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров, зарегистрированы в воде левобережных притоков как р. Елек и Урта-Бурtя, что придают водным ресурсам этих рек повышенную токсичность. Надо учесть, что загрязнение этих левобережных притоков р. Жайык высокотоксичными соединениями происходит исключительно промышленными предприятиями Актюбинской области.

Результаты проведенного исследования могут быть полезны при разработке областными органами по охране природы практических мероприятий по охране реки от загрязнений, а также специалистами в области исследования качества природных вод в вопросах научного обоснования важности изучения трансграничных проблем. Следует также отметить о необходимости расширения РГП «Казгидромет» перечня анализируемых в речных водах токсичных веществ, включая стойких органических загрязнителей (СОЗ), учитывая важность данной трансграничной реки и загрязненности ее этими токсикантами.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

В этом исследовании использованы опубликованные данные ученых Российской Федерации, дальнего зарубежья и Казахстана, соответствующие тематике исследования. По вопросам объемов водного стока р. Жайык использованы опубликованные РГП “Казгидромет” данные государственного мониторинга РК. Статья написана на материале собственных и зарубежных изданий.

Проблемы охраны природной среды от воздействия изучаемых высокотоксичных веществ, рассматриваются в соответствии с требованиями Стокгольмской конвенции о СОЗ, принятой многими странами мира, в т.ч. РК.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация - НАА; создание программного обеспечения - НАА; подготовка и редактирование текста – НАА; проведение исследования – КМА; разработка методологии - АСМ; проведение исследований и статистического анализа - ЛТИ; Проведение исследований, визуализация - АӨЖ; ресурсы – АӘС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абишев И.А. Водные ресурсы Казахстана и их использование // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». – Алматы, 2016. – Кн. 1. – С. 9-18.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Урало-Эмбинский район. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – Т. 12, Вып. 2. – 511 с.
3. Медеу А.Р., Амиргалиев Н.А., Давлетгалиев С.К., Сергалиев Н.Х., Ахмедов К.И. Оценка состояния водных ресурсов трансграничных рек Урало-Каспийского бассейна // Материалы международной научно-практической конференции

«Геоэкологические проблемы степных регионов». Охрана природы и региональное развитие: гармония и конфликты. - Оренбург, 2017. – Т. 1. – С. 32-45.

4. Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилев А.А., Падалко Ю.А. Проблемы устойчивого водопользования в трансграничном бассейне реки Урал // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44. № 4. – С. 504–516.
5. Павлейсик В.М., Сивохип Ж.Т. Формирование качества поверхностных вод бассейна верхнего течения реки Урал в условиях техногенной трансформации природной среды // Водные ресурсы. - 2013. – Т. 40. № 5. – С. 153–161.
6. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. - Стокгольм, 2001. – 53 с.
7. Беркинбаев Г. Д., Федоров Г. В. Проблемы стойких органических загрязнителей в Казахстане // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Серия экологическая. – Алматы, 2009. – № 2 (25). – С. 3–8.
8. Ishankulov M.Sh. (2008). PCB-Contaminated Areas in Kazakhstan and Analysis of PCB Impact Human health Experience. In NATO science series volume: The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Enviroment. Springer. 2008, PP. 387–403.
9. Галиулин Р.В. Стойкие хлорорганические соединения в Юго-Восточном районе Азовского моря // Вода: химия и экология. – 2012. – № 10. – С. 3-8.
10. Erickson M.D. Analytical Chemistry of PCBs / M.D. Erickson. – 1997.
11. Kannan N. The Handbook of Environmental Chemistry Part K New Types of Persistent Halogenated Compounds. — 2000. — Vol 3.
12. Qu C., Albanese S., Cicchella D., Fortelli A., Hope D., Esposito M., Cerino P., Pizzolante A., Qi S., DeVivo B. (2022). The contribution of persistent organic pollutants to the environmental changes in Campania region, Italy: results from the Campania trasparente project, J. Geochem. Explor. 241 107071.
13. Eze V.C., Onwukeme V., Enyoh C.E. (2020) Pollution status, ecological and human health risks of heavy metals in soil from some selected active dumpsites in Southeastern, Nigeria using energy dispersive X-ray spectrometer, Int. J. Environ. Anal. Chem. 1–22.
14. Aralu C.C., Okoye P.A., Abugu H.O., Eze V.C. (2023). Chukwuemeka-Okorie H.O. Potentially toxic element contamination and risk assessment of borehole water within a landfill in the Nnewi metropolis, Health Environ. 4 (1) 186–197, https://doi.org/10.25082/HE.2023.01.001
15. Eze V.C., Nwabudike A.R., Duru C.E., Isiuku B.O., Ibe F.C., Ogbuagu J.O., Enyoh C.E., M.O. Muogbo. (2021). Human health risk assessment of the levels of dioxinlike polychlorinated biphenyls (PCBs) in soils from mechanic workshops within Nekede mechanic village, Imo State, Nigeria, Int. J. Environ. Anal. Chem. https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1974424.
16. Arfaeinia H., Asadgol Z., Ahmadi E. (1986). Characteristics, distribution and sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) in coastal sediments from the heavily industrialized area of Asalouyeh, Iran, Water Sci. Technol. 76 (2017) 3340–3350
17. Quality Criteria for Water. EPA 440/5-86-001. p. 484
18. Козловская В.И., Герман А.В. Полихлорированные бифенилы и полиароматические углеводороды в экосистеме Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24, 5. – С. 563-569.
19. Tang S.Z., Chen Z.X., Hao Q.R., Hu Y.P., Wang J.L., Qin D.L., Wang P., Wang H.T. (2024). Detection of PCBs and OCPs in the Irtysh River Water (GC-MS/MS) and ecological risk assessment. MethodsX, 13, 102944. https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102944.
20. GB 3838-2002. Environmental quality standards for surface water, Standards Press of China, Beijing, 2002.
21. Клюев Н.А. Определение полихлорированных бифенилов в окружающей среде и биоте. Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века / Н.А. Клюев, Е.С. Бродский // Инф. выпуск ВИНИТИ. – М., 2000. – № 5. - С. 31-63.
22. Галиулин Р.В. Импактные зоны стойких хлорорганических соединений в окружающей среде / Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина // Агрохимия. – 2011. – № 3. – С. 83-89.
23. Амиргалиев Н.А. Полихлорированные бифенилы в водной экосистеме Иле- Балкашского бассейна. – Алматы: ТОО «Нурай Принт Сервис», 2016. – 192 с.
24. Амиргалиев Н.А., Мадибеков А.С., Мусакулкызы А., Бурлибаева Д.М., Исмуханова Л.Т., Кулбекова Р.А. Водная безопасность Республики Казахстан: трансграничные бассейны рек Иле и Ертис, том V Качество вод. – Алматы, 2021. – Т. V. – 160 с.
25. Amirgaliyev N.; Opp C.; Askarova M.; Ismukhanova L.; Madibekov A.; Zhadi A. (2023) Long-Term Dynamics of Persistent Organic Pollutants in Water Bodies of the Aral Sea-Syrdarya Basin. Appl. Aci., 13, 11453. http://doi.org/10.3390/app132011453
26. Амирова З.К., Белан Л.Н., Валиуллина А.У., Шамсутдинова Л.Р., Саитова Л.Р., Хакимова А.А. Мониторинг стойких органических соединений и полиароматических углеводородов в почвах индустриального, рекреационного и селитебного назначения города Уфы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. № 5-1. – С. 9–15.
27. Soil Guideline Values for dioxins, furans and dioxin-like PCBs in soil. Science Report SC050021 / Dioxins SGV. Environmental Agency September, 2009.
28. Amirgaliev N.A., Askarova M., Opp C., Medeu A.A., Kulbekova R., Medeu A.R. (2022). Water quality problems analysis and assessment of the ecological security level of the Transboundary Ural-Caspian basin of the Republic of Kazakhstan // Applied Sciences (Switzerland). –12(4). – P. 2059. https://doi.org/10.3390/app12042059
29. Майстренко В.Н., Клюев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических зарязнителей. – М.: БННОМ, 2004. – 323 с.
30. Шахтамиров И.Я., Амирова З.К. Диоксины и ПХБ в тканях пресноводных рыб техногенных акватории России // Рыбное хозяйство. – 2011. – №3. – С. 36-39.
31. Соловых Г.Н., Винокурова Н.В. Содержание полихлорированных бифенилов в экосистеме р. Урал // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5.

REFERENCES

1. Abishev I.A. (2016). Vodnye resursy Kazakhstana i ikh ispol'zovanie [Water resources of Kazakhstan and their use]. In: Vodnye resursy Tsentral'noi Azii i ikh ispol'zovanie. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the UN decade “Water for Life”. Almaty, Book 1, pp. 9–18. [in Russian]
2. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Uralo-Embinskii raion. (1970). Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Uralo-Embinskii raion [Surface water resources of the USSR. Ural–Emba region]. Leningrad: Gidrometeoizdat, Vol. 12, Issue 2, 511 p. [in Russian]

3. Medeu A.R., Amirgaliyev N.A., Davletgaliyev S.K., Sergaliyev N.Kh., Akhmedov K.I. (2017). Otsenka sostoyaniya vodnykh resursov transgranichnykh rek Uralo-Kaspiiskogo basseina [Assessment of water resources of the transboundary Ural–Caspian basin]. In: Geoekologicheskie problemy stepnykh regionov. Okhrana prirody i regional'noe razvitie: garmoniya i konflikty. Orenburg, Vol. 1, pp. 32–45. [in Russian]
4. Sivokhip Zh.T., Pavleichik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. (2017). Problemy ustoichivogo vodopol'zovaniya v transgranichnom basseine reki Ural [Problems of sustainable water use in the transboundary Ural River basin]. Vodnye resursy, 44(4), 504–516. [in Russian]
5. Pavleychik V.M., Sivokhip Zh.T. (2013). Formirovanie kachestva poverkhnostnykh vod verkhnego techeniya reki Ural v usloviyakh tekhnogennoi transformatsii prirodnoi sredy [Formation of surface-water quality in the upper Ural River under technogenic impact]. Vodnye resursy, 40(5), 153–161. [in Russian]
6. Stockholm Convention (2001). Stokgol'mskaya konventsiya o stoikikh organicheskikh zagryaznitelyakh [Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants]. Stockholm, 53 p.
7. Berkinbaev G.D., Fedorov G.V. (2009). Problemy stoikikh organicheskikh zagryaznitelei v Kazakhstane [Problems of persistent organic pollutants in Kazakhstan]. Vestnik KazNU. Seriya ekologicheskaya, 2(25), 3–8. [in Russian]
8. Ishankulov M.Sh. (2008). PCB-Contamininated Areas in Kazakhstan and Analysis of PCB Impact Human Health Experience. In: NATO Science Series, The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment, Springer, pp. 387–403.
9. Galiulin R.V. (2012). Stoikie khlororganicheskie soedineniya v Yugo-Vostochnom raione Azovskogo morya [Persistent organochlorine compounds in the southeastern Azov Sea region]. Voda: khimiya i ekologiya, 10, 3–8. [in Russian]
10. Erickson M.D. (1997). Analytical Chemistry of PCBs. CRC Press.
11. Kannan N. (2000). The Handbook of Environmental Chemistry, Part K: New Types of Persistent Halogenated Compounds. Vol. 3. Springer.
12. Qu C., Albanese S., Cicchella D., Fortelli A., Hope D., Esposito M., Cerino P., Pizzolante A., Qi S., De Vivo B. (2022). The contribution of persistent organic pollutants to the environmental changes in Campania region, Italy: results from the Campania trasparente project. Journal of Geochemical Exploration, Vol. 241, 107071.
13. Eze V.C., Onwukeme V., Enyoh C.E. (2020). Pollution status, ecological and human health risks of heavy metals in soil from some selected active dumpsites in Southeastern Nigeria using energy dispersive X-ray spectrometer. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, pp. 1–22.
14. Aralu C.C., Okoye P.A., Abugu H.O., Eze V.C., Chukwuemeka-Okorie H.O. (2023). Potentially toxic element contamination and risk assessment of borehole water within a landfill in the Nnewi metropolis. Health and Environment, Vol. 4(1), pp. 186–197. https://doi.org/10.25082/HE.2023.01.001
15. Eze V.C., Nwabudike A.R., Duru C.E., Isiuku B.O., Ibe F.C., Ogbuagu J.O., Enyoh C.E., Muogbo M.O. (2021). Human health risk assessment of the levels of dioxinlike polychlorinated biphenyls (PCBs) in soils from mechanic workshops within Nekede mechanic village, Imo State, Nigeria. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1974424
16. Arfaeinia H., Asadgol Z., Ahmadi E. (2017). Characteristics, distribution and sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) in coastal sediments from the heavily industrialized area of Asalouyeh, Iran. Water Science and Technology, Vol. 76, pp. 3340–3350.
17. EPA (1986). Quality Criteria for Water. EPA 440/5-86-001, 484 p.
18. Kozlovskaya V.I., German A.V. (1997). Polikhlorirovannye bifenily i poliaromaticheskie uglevodorody v ekosisteme Rybinskogo vodokhranilishcha [PCBs and PAHs in the ecosystem of the Rybinsk reservoir]. Vodnye resursy, 24(5), 563–569. [in Russian]
19. Tang S.Z., Chen Z.X., Hao Q.R., Hu Y.P., Wang J.L., Qin D.L., Wang P., Wang H.T. (2024). Detection of PCBs and OCPs in the Irtysh River Water (GC-MS/MS) and ecological risk assessment. MethodsX, Vol. 13, 102944. https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102944
20. GB 3838-2002. (2002). Environmental quality standards for surface water. Beijing: Standards Press of China.
21. Klyuev N.A., Brodskii E.S. (2000). Opredelenie polikhlorirovannykh bifenilov v okruzhayushchei srede i biote [Determination of PCBs in the environment and biota]. Polikhlorirovannye bifenily. Supertoksikanty XXI veka, VINITI, Issue 5, 31–63. [in Russian]
22. Galiulin R.V., Galiulina R.A. (2011). Impaktnye zony stoikikh khlororganicheskikh soedinenii v okruzhayushchei srede [Impact zones of persistent organochlorine compounds]. Agrokhimiya, 3, 83–89. [in Russian]
23. Amirgaliyev N.A. (2016). Poliklorirovannye bifenily v vodnoi ekosisteme Ile-Balkashskogo basseina [PCBs in the aquatic ecosystem of the Ile–Balkhash basin]. Almaty: Nuray Print Servis, 192 p. [in Russian]
24. Amirgaliyev N.A., Madibekov A.S., Musakulkyzy A., Burlibaeva D.M., Ismukhanova L.T., Kulbekova R.A. (2021). Vodnaya bezopasnost' Respubliki Kazakhstan: transgranichnye basseiny rek Ile i Ertis. Tom V. Kachestvo vod [Water security of Kazakhstan: transboundary basins of the Ile and Irtysh rivers. Vol. V: Water quality]. Almaty, 160 p. [in Russian]
25. Amirgaliyev N., Opp C., Askarova M., Ismukhanova L., Madibekov A., Zhadi A. (2023). Long-Term Dynamics of Persistent Organic Pollutants in Water Bodies of the Aral Sea-Syrdarya Basin. Applied Sciences, Vol. 13, 11453. http://doi.org/10.3390/app132011453
26. Amirova Z.K., Belan L.N., Valiullina A.U., Shamsutdinova L.R., Saitova L.R., Khakimova A.A. (2015). Monitoring stoykikh organicheskikh soedineniy i poliaromaticheskikh uglevodorodov v pochvakh Ufy [Monitoring of POPs and PAHs in soils of Ufa city]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, 17(5-1), 9–15. [in Russian]
27. Environmental Agency (2009). Soil Guideline Values for dioxins, furans and dioxin-like PCBs in soil. Science Report SC050021 / Dioxins SGV.
28. Amirgaliev N.A., Askarova M., Opp C., Medeu A.A., Kulbekova R., Medeu A.R. (2022). Water quality problems analysis and assessment of the ecological security level of the Transboundary Ural-Caspian basin of the Republic of Kazakhstan. Applied Sciences (Switzerland), Vol. 12(4), p. 2059. https://doi.org/10.3390/app12042059
29. Maistrenko V.N., Klyuev N.A. (2004). Ekologo-analiticheskiy monitoring stoykikh organicheskikh zagryaznitelei [Ecological and analytical monitoring of persistent organic pollutants]. Moscow: BNNOM, 323 p. [in Russian]
30. Shakhtamirov I.Ya., Amirova Z.K. (2011). Dioksiny i PKhB v tkanyakh presnovodnykh ryb tekhnogennykh akvatoriy Rossii [Dioxins and PCBs in freshwater fish tissues from technogenic water bodies of Russia]. Rybnoe khozyaistvo, 3, 36–39. [in Russian]
31. Solovykh G.N., Vinokurova N.V. (2015). Soderzhanie poliklorirovannykh bifenilov v ekosisteme r. Ural [PCB content in the Ural River ecosystem]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 5. [in Russian]

ШЕКАРА МАҢЫНДАҒЫ ЖАЙЫҚ ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНІҢ СУ РЕСУРСТАРЫНДАҒЫ ПОЛИХЛОРЛАНҒАН БИФЕНИЛДЕРМЕН ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІН МОНИТОРИНГІЛЕУ

Нариман А. Әмірғалиев[1] ҚазҰЖҒА академигі, г.ғ.д., профессор, Кажмурат М. Ахмеденов[2] г.ғ.к., профессор, Азамат С. Мадибеков [1,3] PhD, қауымдастырылған профессор, Лаура Т. Исмуханова[1,3] PhD, Асхат Ө. Жәди[1], Арай Ә. Сұлтанаева*[1,3]

[1] «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; namirgaliev@mail.ru, madibekov@mail.ru, l--aura@bk.ru, askhat.zhadi@mail.ru, arai1104@mail.ru
[2] «Махамбет Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті» КеАҚ, Орал, Қазақстан; kazhmurat78@mail.ru
[3] Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; madibekov@mail.ru , l--aura@bk.ru, arai1104@mail.ru
*Автор корреспондент: Арай Ә. Сұлтанаева, arai1104@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

полихлорланған бифенилдер, трансшекаралық ағыс, трансформация, конгенерлер

АБСТРАКТ

Қазақстан су айдындарының ағымдарын тұрақты органикалық ластағыштармен, әсіресе олардың ішінде аса улы полихлорланған бифенилдермен (ПХБ) ластануы қазіргі жағдайдағы маңызды экологиялық мәселелердің бірі болып табылады. Бұл жұмыста алғаш рет Жайық өзені арқылы Қазақстан аумағына аса улы полихлорланған бифенилдердің (ПХБ) трансшекаралық тасымалын бағалау бойынша ғылыми зерттеулер нәтижелері келтіріледі. Өзен ағысы бойындағы ПХБ-ның өзгеру ерекшеліктері, олардың Қазақстан аумағындағы көптеген салалары мен Ресей Федерациясы аумағынан келетін Елек және Шаған өзендерінің ластану деңгейі анықталды. Жайық өзеніндегі ПХБ ластануының негізгі көздері және олардың әртүрлі шығу тегі көрсетілген, бұл ластағыштардың конгенерлік құрамының алуан түрлілігімен дәлелденеді және өзен суының ПХБ бойынша жоғары уыттылығын айқындайды. Ресей Федерациясы аумағындағы өзенді ПХБ-мен ластау көздері туралы жетекші ғалымдардың деректері келтірілген. Трансшекаралық ағыс, өзеннің және оның салаларының су ресурстарының ПХБ-мен ластану деңгейі көрсетілген, өзен суларының ластану деңгейінің жылдар бойынша айтарлықтай өзгеретіндігі және 2024 жылы оның айтарлықтай төмендеуі анықталды. ПХБ-мен жоғары ластану Ақтөбе облысының аумағынан өтетін сол жағалаудағы салалар суына тән екені көрсетілді.

Бұл зерттеу нәтижелері Стокгольм конвенциясының ТҰЗ (тұрақты органикалық ластағыштар) жөніндегі талаптарына сәйкес келетін өзендерді осы аса улы ластағыштардан қорғау жөніндегі практикалық шараларды әзірлеу кезінде мемлекеттік және жергілікті табиғатты қорғау органдарымен қолданылуы мүмкін.

Мақала жайында:
Жіберілді: 09.07.2025
Қайта қаралды: 08.12.2025
Қабылданды: 18.12.2025
Жарияланды: 30.12.2025

MONITORING THE LEVEL OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS POLLUTION IN THE WATER RESOURCES OF THE TRANSBOUNDARY ZHAYIK RIVER BASIN

Nariman Amirgaliyev[1] Academician of KazNAEN, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Kazhmurat Akhmedenov[2] Candidate of Geographical Sciences, Professor, Azamat Madibekov[1,3] PhD, Associate Professor , Laura Ismukhanova [1,3] PhD, Askhat Zhadi[1], Aray Sultanayeva*[1,3]

[1] JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan namirgaliev@mail.ru, madibekov@mail.ru, l--aura@bk.ru, askhat.zhadi@mail.ru, arai1104@mail.ru
[2] NJSC «West Kazakhstan University named after Makhambet Utemisov», Uralsk, Kazakhstan; kazhmurat78@mail.ru
[3] Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; madibekov@mail.ru, l--aura@bk.ru, arai1104@mail.ru
* Corresponding author: Aray Sultanayeva, arai1104@mail.ru

KEY WORDS

ABSTRACT

polychlorinated biphenyls,
transboundary flow,
transformation,
congeners

One of the most pressing environmental issues today is the pollution of Kazakhstan's water bodies and streams by persistent organic pollutants, particularly highly toxic polychlorinated biphenyls (PCBs). This paper presents the results of the first scientific study evaluating the transboundary inflow of highly toxic PCBs into Kazakhstan via the Zhayik River, as well as the transformation characteristics of these compounds along the river within Kazakhstan, and the levels of PCB pollution in numerous tributaries and independent rivers such as the Bolshoy and Maly Uzen, flowing from the territory of the Russian Federation. The main sources of PCB pollution in the Zhayik River have been identified, revealing their diverse origins, which is confirmed by the wide variety of congener compositions of the toxicant, suggesting the elevated toxicity of the river's water resources with respect to PCBs. Data from leading scientists regarding the sources of PCB pollution in the river within the Russian Federation are also provided. The contamination levels of transboundary flows, the river's water resources, and its tributaries with PCBs are presented, highlighting significant interannual variability and a noticeable decrease in pollution levels in 2024. Elevated PCB contamination is characteristic of the waters of left-bank tributaries flowing through the Aktobe region.

The findings of this study can be used by national and local environmental protection agencies in developing practical measures to protect rivers from contamination by these highly toxic pollutants, in line with the requirements of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.

About article:
Received: 09.07.2025
Revised: 08.12.2025
Accepted: 18.12.2025
Published: 30.12.2025

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

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДАХ КАЗАХСТАНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Арман О. Байсанов [1], Игорь Ф. Спивак-Лавров [2] д.ф.–м.н., Андрей А. Бебенин [3] к.т.н.

[1] Военный институт Сил Воздушной обороны имени Т.Я. Бегельдинова, Актобе, Казахстан; arbaisanov@mail.ru (АОБ)
[2] Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актобе, Казахстан; spivakif@rambler.ru (ИФС-Л)
[3] Национальный университет обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан; abebenin_77@mail.ru (ААБ)
*Автор корреспондент: Арман О. Байсанов, arbaisanov@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

атмосферный воздух,
загрязнение,
мониторинг,
промышленные города,
динамика изменений.

АБСТРАКТ

В статье проведён анализ изменений уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупнейших промышленных городах Казахстана на основе данных государственного мониторинга окружающей среды за последние несколько лет. Рассмотрены концентрации основных загрязняющих веществ, включая диоксид серы (SO_2), диоксид азота (NO_2), а также взвешенные частицы PM2.5 и PM10. Применение комплексного подхода, сочетающего результаты стационарных наблюдений, статистическую обработку данных и пространственно-временной анализ, позволило выявить динамику изменения качества воздуха и определить наиболее проблемные регионы с повышенной экологической нагрузкой. Полученные результаты позволяют оценить эффективность реализуемых природоохранных мер и формируют основу для совершенствования системы мониторинга и управления качеством атмосферного воздуха в Казахстане. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования выявленных закономерностей для прогнозирования и планирования экологической политики на региональном уровне.

По статье:
Получено: 24.11.2025
Пересмотрено:22.12.2025
Принято: 24.12.2025
Опубликовано: 30.12.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

В условиях роста промышленного производства и урбанизации Республика Казахстан сталкивается с нарастающей проблемой загрязнения атмосферного воздуха. Крупные промышленные города, такие как Караганда, Темиртау, Павлодар, Усть-Каменогорск и Актобе, характеризуются высокой концентрацией вредных веществ, обусловленной деятельностью металлургических, химических и энергетических предприятий. Загрязнение атмосферного воздуха оказывает прямое воздействие на здоровье населения, состояние экосистем и качество жизни, что делает необходимым проведение системного анализа динамики изменений уровня загрязнений на основе данных мониторинга окружающей среды.

Результаты аналогичных исследований представлены в работах [1...4], где показана связь между уровнем атмосферного загрязнения, промышленной нагрузкой, урбанизацией и сезонными метеорологическими факторами. Отмечается, что в промышленных агломерациях наблюдается устойчивое превышение концентраций взвешенных частиц и газообразных загрязнителей, особенно в холодный период года.

Современные методы наблюдения за состоянием атмосферного воздуха в Республики Казахстан опираются на сеть стационарных постов наблюдения, функционирующих под управлением РГП «Казгидромет». Однако данные традиционных

Для цитирования:

Байсанов А., Спивак-Лавров И., Бебенин А. Анализ изменений экологического загрязнения атмосферного воздуха в промышленных городах Казахстана на основе данных мониторинга окружающей среды // Гидрометеорология и экология, 120 (5), 2025, 57-65.

станций нередко имеют пространственные и временные ограничения, что затрудняет оперативную оценку загрязнений. В связи с этим актуальным становится использование комплексного подхода, сочетающего результаты наземных наблюдений и спутниковых данных.

Объектом исследования являются крупные промышленные города Республики Казахстан, а предметом - пространственно-временные изменения загрязнения атмосферного воздуха под воздействием антропогенных факторов.

Целью данной статьи является анализ изменений уровня загрязнения атмосферного воздуха в промышленных городах Республики Казахстан за период 2019...2024 гг. на основе данных официального мониторинга окружающей среды. В работе рассматриваются основные загрязняющие вещества, динамика их концентраций и пространственные различия по регионам, а также выявляются тенденции и возможные причины изменений.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящем исследовании, охватывающем период 2019...2024 гг., использованы данные мониторинга атмосферного воздуха, предоставленные РГП «Казгидромет», а также результаты анализа годовых отчетов и научных публикаций, посвящённых состоянию окружающей среды в промышленных городах Республики Казахстан [5...12]. Основное внимание уделялось концентрациям диоксида серы (SO_2), диоксида азота (NO_2), взвешенных частиц PM2.5 и PM10, а также других ключевых загрязнителей воздуха.

Индекс качества воздуха (Air Quality Index, AQI) рассчитывался в соответствии с методикой Агентства по охране окружающей среды США (US EPA), основанной на нормализованных концентрациях приоритетных загрязняющих веществ ($PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, SO_2). Расчёт AQI осуществлялся по максимальному из подындексов отдельных загрязнителей в соответствии с рекомендациями US EPA. Полученные значения AQI интерпретировались согласно общепринятой шкале: 0...50 - «хорошее», 51...100 - «умеренное», 101...150 - «вредное для чувствительных групп», 151...200 - «вредное», 201...300 - «очень вредное», >300 - «опасное» качество воздуха.

Методы сбора данных:

Стационарные посты наблюдения РГП «Казгидромет» - ежедневные измерения концентраций загрязняющих веществ с использованием стандартных методик, регламентированных государственными нормами.

Анализ годовых отчетов и публикаций [6...15] для уточнения пространственно - временных тенденций загрязнений и оценки факторов урбанизации и промышленной нагрузки.

Спутниковые наблюдения (для некоторых городов) - использование данных NASA и Copernicus (программа непрерывных наблюдений за состоянием Земли, управляемая Европейской комиссией в сотрудничестве с государствами – членами Европейского союза и европейскими международными научными организациями) для оценки распределения аэрозолей и концентраций диоксида азота.

Методы обработки и анализа данных:

- статистический анализ временных рядов с вычислением среднегодовых и сезонных концентраций загрязняющих веществ;
- расчет индексов качества воздуха (AQI) для сравнительной оценки уровня загрязнения по городам;
- визуализация данных в виде графиков и тепловых карт для выявления пространственно - временных закономерностей;
- сравнение данных мониторинга с нормативными значениями для определения превышений предельно допустимых концентраций (далее ПДК).

Использование комплексного подхода позволило выявить основные тенденции изменения качества атмосферного воздуха в промышленных городах Республики Казахстан, определить районы с наибольшей нагрузкой и предложить направления для оптимизации системы мониторинга.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных мониторинга атмосферного воздуха в промышленных городах Казахстана за период 2019…2024 гг. показал устойчивые тенденции изменения концентраций основных загрязнителей.

Динамика концентраций загрязняющих веществ.

Диоксид серы (SO_2): среднегодовые концентрации колебались в диапазоне 15…45 μg/m³. Наиболее высокие значения фиксировались в Караганде и Темиртау, что связано с интенсивной металлургической деятельностью [2, 3].

Диоксид азота (NO_2): максимальные концентрации наблюдались в Алматы и Астане (20…35 μg/m³), преимущественно в зимний период, что связано с отопительным сезоном и транспортными выбросами [1, 7].

Взвешенные частицы PM2.5 и PM10: превышения ПДК отмечались во всех крупных городах, особенно в Алматы и Павлодаре. Среднегодовые концентрации PM2.5 достигали 25…35 μg/m³, а PM10 – 40…60 μg/m³ (таблица 1) [1, 4, 6].

Таблица 1

Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (2019–2024 гг.)

Город	SO_2, мг/м³	NO_2, мг/м³	$PM_{2.5}$, мкг/м³	PM_{10}, мкг/м³	AQI, ед.
Караганда	0,023	0,034	26	48	78
Темиртау	0,029	0,040	32	54	86
Павлодар	0,020	0,031	25	41	74
Усть-Каменогорск	0,035	0,038	35	56	90
Актобе	0,018	0,025	22	37	68
Алматы	0,027	0,045	39	63	95
Астана	0,022	0,030	28	44	76
ПДК (ср.год.)	0,05	0,04	25	40	-

Примечание: данные усреднены на основе годовых отчётов РГП «Казгидромет» и спутниковых наблюдений.

Например, значение AQI = 95, зафиксированное для г. Алматы, соответствует категории «умеренное качество воздуха» с потенциальными рисками для чувствительных групп населения.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) приведены в соответствии действующими санитарными нормами Республики Казахстан (СанПиН по атмосферному воздуху населённых мест) и рекомендациями Всемирной организации здравоохранения и использовались для сопоставления фактических уровней загрязняющих веществ.

Пространственно-временные различия.

Пространственный анализ выявил выраженную неоднородность распределения загрязняющих веществ на территории рассматриваемых городов. Наибольшая экологическая нагрузка характерна для промышленных зон и крупных урбанизированных центров, где сосредоточены металлургические предприятия, теплоэнергетические комплексы и интенсивные транспортные потоки. В таких районах фиксируются повышенные концентрации PM2.5, PM10, NO_2 и SO_2, что указывает на доминирующий вклад антропогенных источников в формирование общего фона загрязнения.

Темпоральный анализ показал наличие ярко выраженной сезонной динамики. Максимальные уровни загрязнения наблюдаются в зимний период, что обусловлено комплексом факторов:

- увеличением потребления топлива в бытовом секторе и на предприятиях;
- работой объектов теплоэнергетики на максимальной нагрузке;
- частыми проявлениями температурных инверсий, препятствующих вертикальному перемешиванию;
- низкими скоростями ветра, способствующими застойным явлениям в приземном слое атмосферы.

Эти условия создают благоприятную среду для накопления загрязнителей, что подтверждается устойчивым превышением концентраций взвешенных частиц и оксидов азота в городах Алматы, Караганда, Темиртау и Павлодар.

В летний период концентрации загрязнений, как правило, ниже за счёт усиленной турбулентности атмосферы и более интенсивных ветровых процессов. Однако в ряде индустриальных регионов (например, Усть-Каменогорск, Павлодар, Темиртау) могут наблюдаться локальные летние пики, связанные с увеличением производственной активности и фотохимическими процессами, влияющими на образование вторичных загрязнителей, таких как озон.

Таким образом, выявленные пространственно-временные закономерности подчёркивают необходимость использования комплексного подхода к мониторингу, включающего постоянные наблюдения, спутниковые данные и мобильные платформы. Это позволяет своевременно выявлять неблагополучные периоды и уточнять вклад различных источников загрязнения в формирование общего фона [9, 10].

На рисунке 1 представлено пространственное распределение уровней загрязнения атмосферного воздуха по взвешенным частицам PM2.5 и PM10 в рассматриваемых промышленных городах.

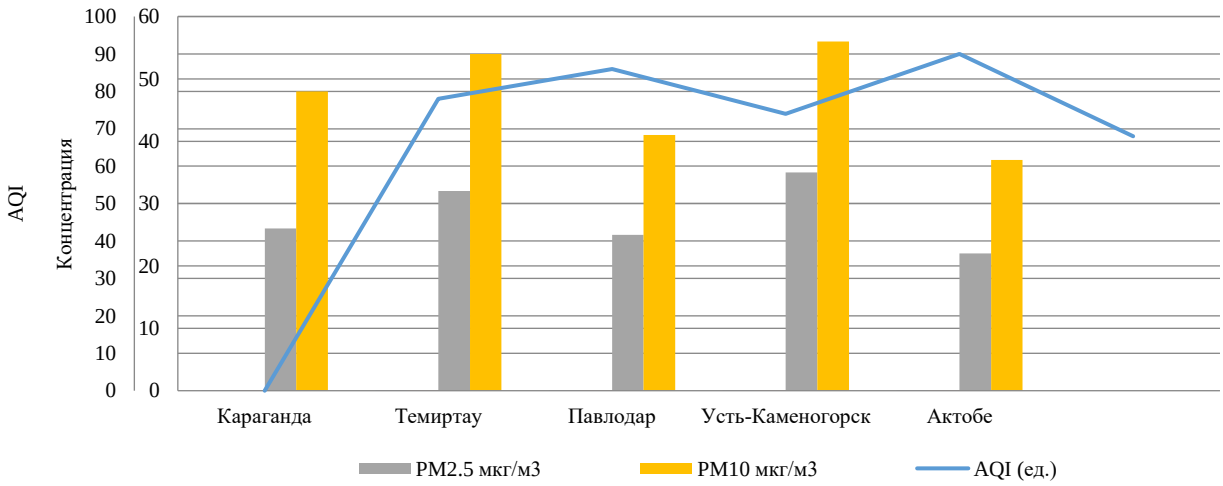


Рисунок 1. *Загрязнение воздуха по городам (Комбинированная диаграмма) по взвешенным частицам PM2.5 и PM10*

Сравнение с нормативными значениями.

Сопоставление фактических концентраций загрязняющих веществ с установленными нормативами показало наличие устойчивых превышений по ряду компонентов в нескольких крупных городах. Наиболее критичная ситуация наблюдается по мелкодисперсным взвешенным частицам PM2.5, средние уровни которых превышают предельно допустимые концентрации в таких городах, как Алматы, Павлодар и Караганда. Это обусловлено высокой плотностью транспортных потоков, особенностями

рельефа (в частности, замкнутостью котловины в Алматы) и интенсивными выбросами от стационарных источников в индустриальных центрах.

По содержанию диоксида азота (NO_2) отмечены превышения ПДК в Алматы и Астане, что отражает вклад автомобильного транспорта, а также влияние неблагоприятных метеорологических условий, препятствующих рассеиванию выбросов в периоды слабого ветра и температурных инверсий. В этих городах фиксируется значительная вариабельность концентраций NO_2, сопряжённая с суточными и сезонными изменениями транспортной нагрузки.

Концентрации диоксида серы (SO_2) демонстрируют превышения нормативов преимущественно в промышленных городах Центрального Казахстана, включая Караганду, Темиртау и Усть-Каменогорск. Основными источниками SO_2 являются объекты металлургической промышленности, теплоэлектростанции, а также сжигание низкокачественного топлива. Повышенное содержание SO_2 особенно заметно в зимний период ввиду увеличения нагрузки на системы теплоснабжения и ограниченного вертикального перемешивания воздушных масс [11, 12].

В целом результаты анализа свидетельствуют о том, что наиболее проблемными компонентами остаются PM2.5, NO_2 и SO_2, в то время как уровни других загрязнителей чаще укладываются в нормативные пределы. Полученные данные подчёркивают необходимость модернизации систем контроля качества воздуха, внедрения более строгих экологических требований к промышленным предприятиям, а также перехода к экологически чистым видам транспорта в крупных городских агломерациях.

Сравнительный анализ фактических концентраций PM2.5 и предельно допустимых значений наглядно представлен на рисунке 2.

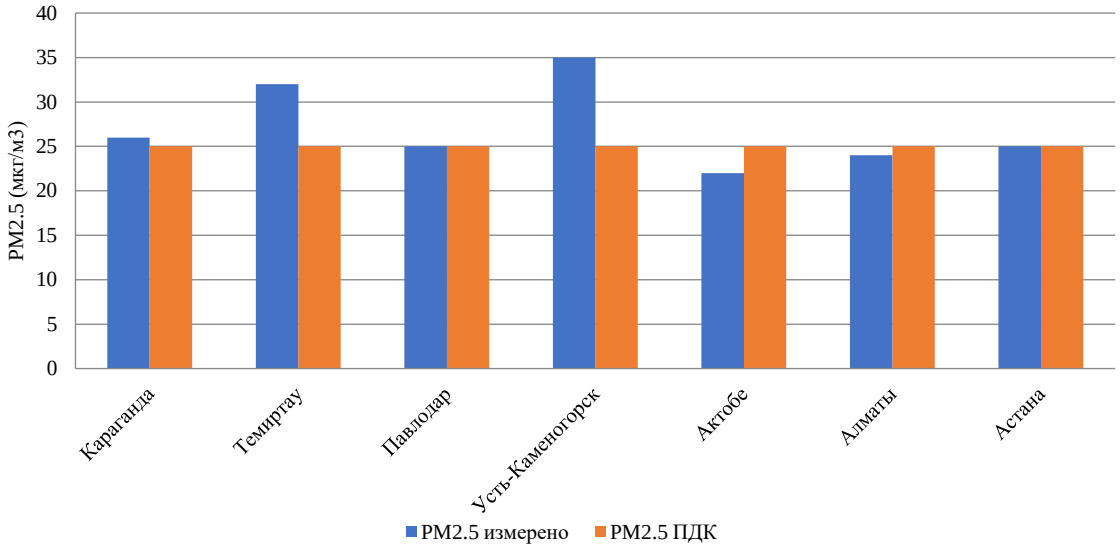


Рисунок 2. *Сравнение концентраций PM2.5 с ПДК*

Полученные результаты подтверждают необходимость внедрения комплексного и многоуровневого подхода к мониторингу качества атмосферного воздуха. Традиционные стационарные посты обеспечивают долгосрочные ряды наблюдений, однако их пространственная ограниченность затрудняет получение полной картины распределения загрязняющих веществ. В этой связи сочетание спутниковых данных, наземных станций и мобильных платформ - включая беспилотные воздушные суда (БВС), оснащённые системами онлайн-анализа состава воздуха - позволяет значительно повысить точность и репрезентативность экологического мониторинга [5, 6].

Использование БВС особенно эффективно в условиях сложной городской структуры, рельефных ограничений или локализованных промышленных выбросов, где

традиционные методы дают недостаточно детализированную информацию. Интеграция масс-спектрометрических и газоанализаторных модулей в составе БВС обеспечивает оперативное получение данных о концентрациях газовых и аэрозольных загрязнителей, а также выявление пространственно-временных аномалий, недоступных для стационарных постов.

Применение современных методов статистического анализа - включая построение временных трендов, кластеризацию данных, оценку вклада различных источников выбросов и моделирование пространственного распределения загрязнителей - способствует более глубокому пониманию механизмов формирования загрязнения воздуха. Методы визуализации, такие как тепловые карты, комбинированные графики и диаграммы превышений ПДК, позволяют наглядно представить полученные результаты и выявить наиболее неблагополучные зоны, требующие приоритетного внимания со стороны органов экологического контроля.

Результаты настоящего исследования согласуются с мировыми исследованиями в области оценки качества воздуха, где многократно подтверждена связь между урбанизацией, индустриальной активностью и повышенным уровнем антропогенных выбросов [14, 15]. В частности, наблюдаемые превышения по $PM_{2.5}$, NO_2 и SO_2 соответствуют глобальным тенденциям в быстрорастущих городских агломерациях и регионах с развитой промышленной инфраструктурой. Это подчёркивает необходимость дальнейшей модернизации систем экологического мониторинга, оптимизации промышленного производства, а также повышения эффективности природоохранных мероприятий.

В целом интеграция многоисточниковых данных и развитие мобильных технологий мониторинга создают основу для формирования адаптивной и научно обоснованной системы управления качеством атмосферного воздуха, способной своевременно реагировать на экологические вызовы и снижать риски для здоровья населения.

Следует отметить ряд ограничений настоящего исследования. Во-первых, пространственная разреженность сети стационарных постов мониторинга в отдельных городах может приводить к недоучёту локальных источников загрязнения и микромасштабных особенностей распределения концентраций. Во-вторых, использование спутниковых данных сопряжено с определёнными погрешностями, связанными с облачностью, вертикальным профилем атмосферы и ограниченным пространственным разрешением. Кроме того, в рамках данного исследования не проводился детальный анализ ветрового переноса загрязняющих веществ между промышленными зонами и жилыми районами, что может оказывать влияние на формирование наблюдаемых концентраций. Указанные факторы следует учитывать при интерпретации полученных результатов и при планировании дальнейших исследований.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования проведён комплексный анализ изменений уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных городах Республики Казахстан за период 2019...2024 гг. Основные выводы:

1. Динамика загрязнения: выявлены устойчивые тенденции повышения концентраций взвешенных частиц PM2.5 и PM10 в зимний период, а также диоксида азота в городах с высокой плотностью транспорта. Диоксид серы преобладал в промышленных центрах Центрального Казахстана.
2. Пространственные различия: наибольшая нагрузка по загрязнителям наблюдается в промышленных районах и городских центрах, что связано с концентрацией металлургических, химических и энергетических предприятий, а также с транспортными выбросами.
3. Сравнение с нормативами: превышения предельно допустимых концентраций фиксировались для PM2.5 в Алматы, Павлодаре и Караганде, для NO_2 - в Алматы и Астане, для SO_2 - преимущественно в Центральном Казахстане.

4. Практическая значимость: результаты исследования подтверждают необходимость постоянного мониторинга качества атмосферного воздуха, применения комплексного подхода и интеграции современных технологий, включая спутниковые данные и мобильные платформы, такие как беспилотное воздушное судно, аппараты с аналитическими системами контроля. Данные позволяют планировать мероприятия по снижению загрязнения и оценивать эффективность уже действующих мер экологического контроля.

5. Научная ценность: представлен анализ пространственно - временных изменений загрязнения, который может быть использован в дальнейшем для прогнозирования динамики атмосферных загрязнителей, моделирования воздействия промышленности и урбанизации на окружающую среду, а также для разработки рекомендаций по устойчивому развитию городов Казахстана.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в исследовании, получены авторами из официальных источников РГП «Казгидромет», годовых отчетов и научных публикаций.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – АОБ, ИФС-Л; управление данными – АОБ, ААБ; формальный анализ - АОБ; методология – АОБ, ИФС-Л; визуализация – АОБ, ААБ; написание исходного проекта - АОБ; написание и редактирование обзора - АОБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tursynbayeva M., Kerimray A., Karaca F., Permadi D.A. (2022). Planetary Boundary Layer and its Relationship with $PM_{2.5}$ Concentrations in Almaty, Kazakhstan. Aerosol and Air Quality Research. Vol. 22, Article 210294. DOI:10.4209/aaqr.210294.
2. Beisenova R., Kuanyshevich B.Z., Turlybekova G., Yelikbayev B., Kakabayev A.A., Shamshedenova S., Nugmanov A. (2023). Assessment of Atmospheric Air Quality in the Region of Central Kazakhstan and Astana. Atmosphere. Vol. 14(11). P. 1601. DOI:10.3390/atmos14111601.
3. Assanov D., Zapasnyi V., Kerimray A. (2021). Air Quality and Industrial Emissions in the Cities of Kazakhstan. Atmosphere. Vol. 12(3). P. 314. DOI:10.3390/atmos12030314.
4. Bekbossinova A., Niyazbekov A. (2024). The Impact of Urbanization on Air Quality in Largest Cities of Kazakhstan. Eurasian Journal of Economic and Business Studies. Vol. 68(3). P. 66–81.
5. Adambekova A., Kozhagulov S., Salnikov V., et al. (2025). Reducing Atmospheric Pollution as the Basis of a Regional Circular Economy: Evidence from Kazakhstan. Sustainability. Vol. 17(5). P. 2249. DOI:10.3390/su17052249.
6. (2024). Emerging threats in Central Asia: Comparative characterization of organic and elemental carbon in ambient $PM_{2.5}$ in urban cities of Kazakhstan. Environmental Research.
7. (2019) Spatiotemporal Variations and Contributing Factors of Air Pollutants in Almaty, Kazakhstan // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – Vol. 16(4). – P. 611–620.
8. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан». Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. – Астана, 2023. – 220 с.
9. (2022). Atmospheric Modelling of Photochemical Transformations of Pollutants: Impact of Weather Conditions and Diurnal Cycle (Case Study: Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan). Mathematical Modelling of Engineering Problems. Vol. 10(5). P. 1218–1224.
10. (2020). Quantitative and Structural Components of Solid Particles' Emissions in the City of Almaty. Vibroengineering Procedia. Vol. 32. P. 91–96.
11. Statistical Bulletin of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. On the State of Protection of Atmospheric Air in the Republic of Kazakhstan. (2024). [Электронный ресурс] – URL: https://stat.gov.kz (дата обращения: 01.02.2025).
12. Kazakh Research Institute of Ecology. Monitoring of Atmospheric Air in Industrial Regions of Kazakhstan for 2022. Almaty, 2023. 8 p.
13. Брагин Н.В., Муратова Д.С. Оценка динамики загрязнения атмосферного воздуха в промышленных центрах Казахстана // Экология и промышленность Казахстана. – 2021. – № 4. – С. 15–24.
14. Chen W., Li J., Wang Y. (2020). Long-Term Trends and Driving Factors of Urban Air Pollution: A Global Perspective. Environmental Pollution. Vol. 263. P. 114–120. DOI:10.1016/j.envpol.2020.114120.
15. (2023). World Health Organization. Ambient (Outdoor) Air Pollution: Health Impacts. Geneva: WHO. 45 p.

REFERENCES

1. Tursynbayeva M., Kerimray A., Karaca F., Permadi D.A. (2022). Planetary Boundary Layer and its Relationship with $PM_{2.5}$ Concentrations in Almaty, Kazakhstan. Aerosol and Air Quality Research. Vol. 22, Article 210294. DOI:10.4209/aaqr.210294.
2. Beisenova R., Kuanyshevich B.Z., Turlybekova G., Yelikbayev B., Kakabayev A.A., Shamshedenova S., Nugmanov A. (2023). Assessment of Atmospheric Air Quality in the Region of Central Kazakhstan and Astana. Atmosphere. Vol. 14(11). P. 1601. DOI:10.3390/atmos14111601.

3. Assanov D., Zapasnyi V., Kerimray A. (2021). Air Quality and Industrial Emissions in the Cities of Kazakhstan. Atmosphere. Vol. 12(3). P. 314. DOI:10.3390/atmos12030314.
4. Bekbossinova A., Niyazbekov A. (2024). The Impact of Urbanization on Air Quality in Largest Cities of Kazakhstan. Eurasian Journal of Economic and Business Studies. Vol. 68(3). P. 66–81.
5. Adambekova A., Kozhagulov S., Salnikov V., et al. (2025). Reducing Atmospheric Pollution as the Basis of a Regional Circular Economy: Evidence from Kazakhstan. Sustainability. Vol. 17(5). P. 2249. DOI:10.3390/su17052249.
6. (2024). Emerging threats in Central Asia: Comparative characterization of organic and elemental carbon in ambient $PM_{2.5}$ in urban cities of Kazakhstan. Environmental Research.
7. (2019) Spatiotemporal Variations and Contributing Factors of Air Pollutants in Almaty, Kazakhstan // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – Vol. 16(4). – P. 611–620.
8. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii okruzhayushchej sredy Respubliki Kazahstan» [The State report "On the state of the environment of the Republic of Kazakhstan"]. Ministerstvo ekologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan. Astana, 2023. 220 p.
9. (2022). Atmospheric Modelling of Photochemical Transformations of Pollutants: Impact of Weather Conditions and Diurnal Cycle (Case Study: Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan). Mathematical Modelling of Engineering Problems. Vol. 10(5). P. 1218–1224.
10. (2020). Quantitative and Structural Components of Solid Particles' Emissions in the City of Almaty. Vibroengineering Procedia. Vol. 32. P. 91–96.
11. Statistical Bulletin of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. On the State of Protection of Atmospheric Air in the Republic of Kazakhstan. (2024). [Электронный ресурс] – URL: https://stat.gov.kz (дата обращения: 01.02.2025).
12. Kazakh Research Institute of Ecology. Monitoring of Atmospheric Air in Industrial Regions of Kazakhstan for 2022. Almaty, 2023. 8 p.
13. Bragin N.V., Muratova D.S. (2021). Ocenka dinamiki zagryazneniya atmosfernogo vozduha v promyshlennyh centrah Kazahstana [Assessment of the dynamics of atmospheric air pollution in industrial centers of Kazakhstan]. Ekologiya i promyshlennost' Kazahstana. № 4. P. 15–24.
14. Chen W., Li J., Wang Y. (2020). Long-Term Trends and Driving Factors of Urban Air Pollution: A Global Perspective. Environmental Pollution. Vol. 263. P. 114–120. DOI:10.1016/j.envpol.2020.114120.
15. (2023). World Health Organization. Ambient (Outdoor) Air Pollution: Health Impacts. Geneva: WHO. 45 p.

ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ МОНИТОРИНГТЕУ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚСТАННЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛАЛАРЫНДАҒЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІНІҢ ӨЗГЕРІСТЕРІН ТАЛДАУ

Арман О. Байсанов [1], Игорь Ф. Спивак-Лавров[2] ф-м.ғ.д., Андрей А. Бебенин[3] т.ғ.к.

[1] Т.Я. Бегельдинов атындағы Әуе қорғанысы күштерінің әскери институты, Ақтөбе, Қазақстан; arbaisanov@mail.ru
[2] Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан; spivakif@rambler.ru
[3] Қазақстан Республикасының Ұлттық қорғаныс университеті, Астана, Қазақстан; abebenin_77@mail.ru
*Автор корреспондент: Арман О. Байсанов, arbaisanov@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

атмосфералық ауа,
ластану,
мониторинг,
өнеркәсіптік қалалар,
өзгерістер динамикасы.

Мақала жайында:
Жіберілді: 24.11.2025
Қайта қаралды: 22.12.2025
Қабылданды: 24.12.2025
Жарияланды: 30.12.2025

АБСТРАКТ

Мақалада соңғы бірнеше жылдағы қоршаған ортаның мемлекеттік мониторингінің деректері негізінде Қазақстанның ірі өнеркәсіптік қалаларында атмосфералық ауаның ластану деңгейінің өзгеруіне талдау жасалды. Негізгі ластаушы заттардың концентрациясы, соның ішінде күкірт диоксиді (SO_2), азот диоксиді (NO_2), сондай-ақ тоқтатылған PM2.5 және PM10 бөлшектері қарастырылады. Стационарлық бақылаулардың нәтижелерін, деректерді статистикалық өңдеуді және кеңістіктік-уақыттық талдауды біріктіретін кешенді тәсілді қолдану ауа сапасының өзгеру динамикасын анықтауға және экологиялық жүктемесі жоғары ең проблемалы аймақтарды анықтауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер іске асырылып жатқан табиғат қорғау шараларының тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді және Қазақстандағы атмосфералық ауаның сапасын бақылау мен басқару жүйесін жетілдіру үшін негіз қалыптастырады. Зерттеудің практикалық маңыздылығы аймақтық деңгейде экологиялық саясатты болжау және жоспарлау үшін анықталған заңдылықтарды қолдану мүмкіндігі болып табылады.

ANALYSIS OF CHANGES IN ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN INDUSTRIAL CITIES OF KAZAKHSTAN BASED ON ENVIRONMENTAL MONITORING DATA

Arman Baisanov [1], Igor Spivak-Lavrov[2] Doctor of Physics and Mathematics, Andrey Bebenin [3] Candidate of Technical Sciences

[1] Military Institute of the Air Defense Forces named after T.Ya. Begeldinov, Aktobe, Kazakhstan; arbaisanov@mail.ru
[2] Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan; spivakif@rambler.ru
[3] National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan; abebenin_77@mail.ru
* Corresponding author: Arman Baisanov, arbaisanov@mail.ru

KEY WORDS

atmospheric air,
pollution,
monitoring,
industrial cities,
dynamics of changes

About article:
Received: 24.11.2025
Revised: 22.12.2025
Accepted: 24.12.2025
Published: 30.12.2025

ABSTRACT

The article analyzes changes in atmospheric pollution levels in Kazakhstan's largest industrial cities based on data from state environmental monitoring over the past several years. It examines the concentrations of major pollutants, including sulfur dioxide (SO_2), nitrogen dioxide (NO_2), and PM2.5 and PM10 particulate matter. The use of a comprehensive approach combining the results of stationary observations, statistical data processing, and spatiotemporal analysis made it possible to identify trends in air quality and determine the most problematic regions with increased environmental stress. The results obtained make it possible to assess the effectiveness of the environmental protection measures being implemented and form the basis for improving the system of monitoring and managing atmospheric air quality in Kazakhstan. The practical significance of the study lies in the possibility of using the identified patterns to forecast and plan environmental policy at the regional level.

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

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КЛАССОВ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ЦЕЛЬЮ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ НА МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Рашад. Г. Нематзаде, Гюнель. З. Рзаева, Рауф. М. Рагимов PhD, Фарид. Р. Самедов

Научно- Исследовательский Институт Аэрокосмической Информатики, Баку, Азербайджан; Rashad.Nematzade@nasa.az (РГН), Gunel.Rzayeva@nasa.az (ГЗР), rauffmahmud@yahoo.com (РМР), farid.samedov@hotmail.com (ФРС)
*Автор корреспондент: Фарид Р. Самедов, farid.samedov@hotmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

классификация,
объект,
методика,
космический снимок,
виды,
растительность

АБСТРАКТ

В работе рассматриваются методы автоматизированной классификации типов растительности и почвенного покрова на основе аэрокосмических данных высокого пространственного разрешения и геоинформационных технологий. Исследование выполнено с использованием космического снимка IKONOS и включает формирование обучающих и тестовых выборок для 12 классов растительности и почв, характерных для исследуемого региона. Проведён статистический анализ спектральных характеристик кластеров и оценка их репрезентативности и разделяемости. Показано, что неравномерное распределение обучающих примеров и перекрытие спектральных признаков отдельных классов снижают устойчивость классификации. Для повышения качества распознавания предложен подход, основанный на объединении спектрально близких классов и формировании альтернативных классификационных схем. Эффективность метода оценена с использованием статистического классификатора максимального правдоподобия и нейросетевого классификатора типа многослойного перцептрона. Полученные результаты подтверждают целесообразность оптимизации структуры классификационной схемы и состава обучающих выборок при решении задач аэрокосмического экологического мониторинга.

По статье:
Получено: 03.07.2025
Пересмотрено:22.12.2025
Принято: 22.12.2025
Опубликовано: 30.12.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

Аэрокосмические методы мониторинга экологической обстановки в исследуемом регионе предполагают регулярное отслеживание изменений ключевых индикаторов, включая климатические параметры, распределение и деградацию растительных сообществ, а также химические характеристики почвенного покрова. При выявлении неблагоприятных изменений в природно-экологическом равновесии становится необходимым установить первопричины этих процессов – как с точки зрения их влияния на окружающую среду, так и с позиции пространственно-временного распределения.

К традиционным сферам применения данных и методов дистанционного зондирования относятся, прежде всего, исследования природных ресурсов, мониторинг экологической обстановки и оценка антропогенного воздействия на окружающую среду, мониторинг для оценки состояния и роста культивируемой растительности, исследования, связанные с оценкой сейсмической и оползневой активностью в зоне прокладки магистральных нефте-газо проводов и т.д. Однако, в связи с появлением космических снимков высокого пространственного разрешения и высокоточных космических данных, изменились характер и акценты исследований задач в области

Для цитирования:

Нематзаде Р., Рзаева Г, Рагимов Р., Самедов Ф. Метод формирования классов пространственно распределенных объектов с целью их классификации и распознавания на многоспектральных космических изображениях высокого разрешения // Гидрометеорология и экология, 120 (5), 2025, 66-78.

дистанционного зондирования. Кроме того, космоснимки метрового и субметрового разрешения стали применяться в таких областях, где они раньше не применялись или применялись в очень ограниченном виде, например, создание крупномасштабных электронных карт, поиск и обнаружение новых месторождений нефти и газа, прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур, экологический мониторинг геологической среды и т.д. [1…2].

Существенные изменения претерпели формы и подходы применения данных дистанционного зондирования в связи с разработкой и внедрением геоинформационных технологий, когда ГИС технологии и технологии дистанционного зондирования, фактически интегрировались. При этом подходе, абстрактная постановка основной задачи дистанционного зондирования – классификация, распознавание и дешифрирование обьектов – трансформируется в задачу исследования георасределенных ресурсов, где из них выбираются распознаваемые объекты-индикаторы, которые характеризуя состояние и особенности распространения объектов, могут адекватно отображать ситуацию.

На начальной стадии анализа определяются координаты географических точек, в которых зафиксировано присутствие определённых видов растительности. Эти точки подвергаются геокодированию на основе спутниковых снимков, после чего выделяются участки территории, используемые в качестве обучающих и тестовых площадок для последующей работы алгоритма классификации.

В таблице 1 и рисунке 1 представлены наименования отдельных видов растительности, характерных для рассматриваемого региона.

Таблица 1

Первоначальный набор классов и типов растительности и почв

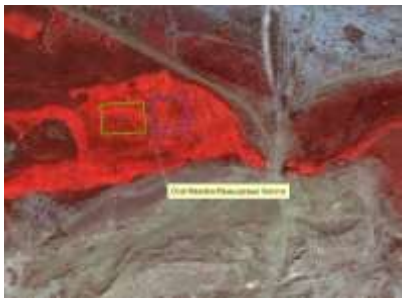
Номер класса	Полное название растения
Класс 1	Болотистая тростниковая растительность
Класс 2	Болотистый кустарниковый тамариск (Tamarix)
Класс 3	Прибрежная зона: полупустынная растительность
Класс 4	Тростник ложный австралийский (Phragmaties australis)
Класс 5	Солянка древовидная (Salsola ericoides)
Класс 6	Солянка гористая (Salsola nodulosa)
Класс 7	Солянка гористая (Salsola nodulosa) / Полынь Лерха (Artemesia lerchiana)
Класс 8	Солянка гористая (Salsola Nodulosa) / Трава
Класс 9	Полупустынная растительность - поташник каспийский, (Kalidium capsicum)
Класс 10	Полупустынная растительность с доминированием Верблюжьей колючки (Alhagi pseudoalhagi)
Класс 11	Голая почва
Класс 12	Солянка гористая (Salsola nodulosa) / голая почва

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Возможности, проектируемой ГИС для распознавания и классификации объектов позволяют не только автоматизировать процессы извлечения тестовых примеров из космического снимка в границах выделенных участков, но и использовать для этого различные алгоритмы.

В первом случае используется алгоритм, который учитывает все пиксели и имеет незначительное перекрытие с выделенным участком. Во втором случае пиксели, пересекающиеся с границей участка, добавляются в набор только в том случае, если площадь перекрытия составляет больше половины площади одного пиксела (1 м^2, в данном случае).

В таблице 2 приведены количественные данные по разным классам растительного покрова, которые сформированы по космическому снимку исследуемого региона со спутника IKONOS. В таблицу добавлены вычисленные статистические характеристики, которые позволяют получить предварительные оценки по репрезентативности кластеров [3...5]. Другие комбинации объектов классов во втором случае. Поэтому количественно отличаются друг от друга.



Растительность болотного типа с преобладанием тростника



Заболоченные участки с кустарниковыми формами тамариска (Tamarix)



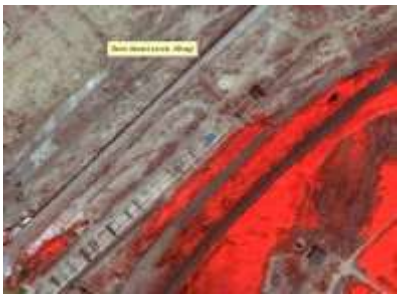
Горный тип солянки (Salsola nodulosa)



Древовидная форма солянки (Salsola ericoides)



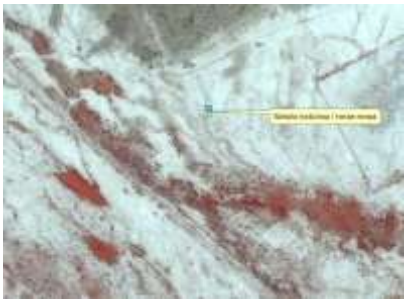
Полупустынные сообщества с доминированием поташника каспийского (Kalidium capsicum)



Полупустынные растительные сообщества, где преобладает Верблюжья колючка (Alhagi pseudoalhagi)



Обнажённый почвенный покров



Горная солянка (Salsola nodulosa) и открытый почвенный покров

Рисунок 1. *Некоторые виды растительности на исследуемой территории*

Из таблицы видно, что распределение примеров по классам неравномерно. Это связано, как с общим количеством примеров, извлекаемых из разных классов растительности и типов почв, представленных на сцене, так и с характером фрагментарности ареалов распространения различных типов растений. В первую очередь рассмотрим оценки по их общему количеству:

$$N_T = 5N_w$$
$$N_T = 30pN_0$$

$$N_T = 10N_w$$
$$N_T = 30N_1(N_1^{+1})$$
$$N_w = N_H(N_1 + N_0)$$

где, N_1 – количество исходных нейронов в рассматриваемом случае соответствует числу спектральных каналов спутникового изображения; N_0 – число выходных нейронов, соответствующих распознаваемым классам объектов; N_H – количество нейронов, размещённых в скрытом уровне нейросети; N_w – количество весовых коэффициентов; p – число нейронов или элементов, приходящихся на один класс, варьируется в диапазоне от 3 до 8.

Таблица 2

Размеры трейнинговых и тестовых образцов, определенные для выделенных 12 классов растительности и почвы.

Идентификатор класса	Количество примеров. Процедура 1	Количество примеров. Процедура 2	Количество примеров. Процедура 1	Количество примеров. Процедура 2
Класс 1	1215	1113	1487	1368
Класс 2	3181	2955	2087	1893
Класс 3	97	67	63	33
Класс 4	1891	1748	2055	1859
Класс 5	234	186	279	176
Класс 6	2393	1992	2867	2658
Класс 7	690	564	478	388
Класс 8	200	182	147	124
Класс 9	52	35	49	30
Класс 10	40	33	28	21
Класс 11	474	242	553	287
Класс 12	680	604	579	472
Общее	11147	9721	10672	9309
Математическое ожидание	928,9167	810,.0833	889,3333	775,75
Среднеквадратическое отклонение	1036,354	950,3847	976,7583	917,4441

Используя приведенные формулы, определены минимальное и максимальное значение необходимого количества нейронов классификатора:

$$N_{H_{min}=57}$$
$$N_{H_{max}=120}$$
$$N_{w_{min}=8(4+12)=684}$$
$$N_{w_{max}=120(8+12)=2400}$$

На основе проанализированных данных выявлен значительный диапазон значений, что создает определённые сложности при установлении оптимального порогового значения для выбора необходимого объема обучающих примеров. Наиболее обоснованными считаются те оценки, в которых учитывается число весовых параметров модели. В целях повышения точности анализа, произведена оценка распределения обучающих примеров по категориям объектов с использованием интервалов, определённых на основе крайних значений – минимального и максимального количества доступных примеров.

$$\boldsymbol{CI = [N_{av} - \alpha N_{msd}, N_{av} + \alpha N_{msd}]}$$

$$\boldsymbol{N_{av} = (N_T/N_0)}$$

где, N_{av} - математическое ожидание, N_T - общее количество примеров для обучения или тестирования; N_0– количество классов, α – действительное число в интервале чисел

от одного до трех, N_{msd} – среднеквадратическое отклонение количества примеров по различным классам [6, 7].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрены статистические тесты на репрезентативность и разделяемость образцов (таблица 3).

Из таблицы 3 следует, что некоторые кластеры или пересекаются или частично совпадают. В статье были рассмотрены различные комбинации гистограмм по различным вариантам комбинаций классифицируемых классов растительности. Для удобства проведения анализа распознаваемые классы были представлены в различных цветах.

Таблица 3

Статистические характеристики обучающих кластеров из «Основного набора» по четырем каналам.

Название класса	Красный канал		Зеленый канал		Синий канал		Инфракрасный канал	
	Минимум-Максимум	Среднее± Стан.откл	Минимум-Максимум	Среднее± Стан.откл	Минимум-Максимум	Среднее± Стан.откл	Минимум-Максимум	Среднее± Стан.откл
Класс 1	241–655	363,5 ± 40,5	398-725	497,9 ± 31,4	356-553	418,0 ± 20,0	466-1132	820,5±115,8
Класс 2	264-738	497,8 ± 65,9	391-779	574,4 ± 53,2	354-605	468,6 ± 33,9	396-821	631,8 ± 52,6
Класс 3	555-826	704,7 ± 60,4	648-878	772,5 ± 56,5	511-655	586,1 ± 36,7	481-759	649,4 ± 57,4
Класс 4	216-697	380,7 ± 44,5	362-737	498,7± 38,0	329-553	424,7 ± 22,4	416-1394	806 ±289,4
Класс 5	544–981	769,6 ± 95,3	653-1008	839,7 ± 77,2	493-724	619 ± 50,1	481-941	713,7±100,8
Класс 6	395–1058	743,2± 89,7	523-1051	799,2 ± 75,9	409-760	609,3 ± 42,8	362-1000	698,1 ± 87,8
Класс 7	554–930	729 ± 55,5	631-973	780,1 ± 50,7	493-691	583,7 – 30,1	534-896	700,4–50,2
Класс 8	597–972	784,1 ± 63,5	694-994	835,8 ± 51,2	517-715	618,6 ± 33,2	541-928	738,3 ± 65,7
Класс 9	639–761	689,0 ± 30,6	684-781	722,4 ± 24,4	528-598	553 ± 16,1	642-783	698 ± 30,2
Класс 10	389–870	657,1±139,6	520-914	742,8 ± 115,7	424-672	561,4 ± 70,2	432-909	696,8±137,9
Класс 11	760–1104	941,4 ± 64,6	841-1141	1001,8 ± 60,2	607-800	709,8 ± 38,0	673-1001	851,5 ± 61,1
Класс 12	613–1047	854,0 ± 75,9	715-1078	912 ± 63,3	530-768	660,6 ± 40,7	523-975	780,0 ± 76,4

В таблице 4 представлена цветовая характеристика класса по типам растительности и почвенных категорий.

Таблица 4

Исходная классификация типов растительности и почвенных категорий

Номер класса	Цветовая характеристика класса
Класс 1	
Класс 2	
Класс 3	
Класс 4	
Класс 5	
Класс 6	
Класс 7	
Класс 8	
Класс 9	
Класс 10	
Класс 11	
Класс 12	

На рисунке 2 рассмотрены совместные гистограммы кластеров по отдельным спектральным каналам.

Приведенный тест характеризует один из возможных вариантов модификации исходной классификационной схемы. Например, рассмотрен алгоритм классификационной схемы, в которой дополнительный набор состоит из 7-ми классов типов растительности [8].

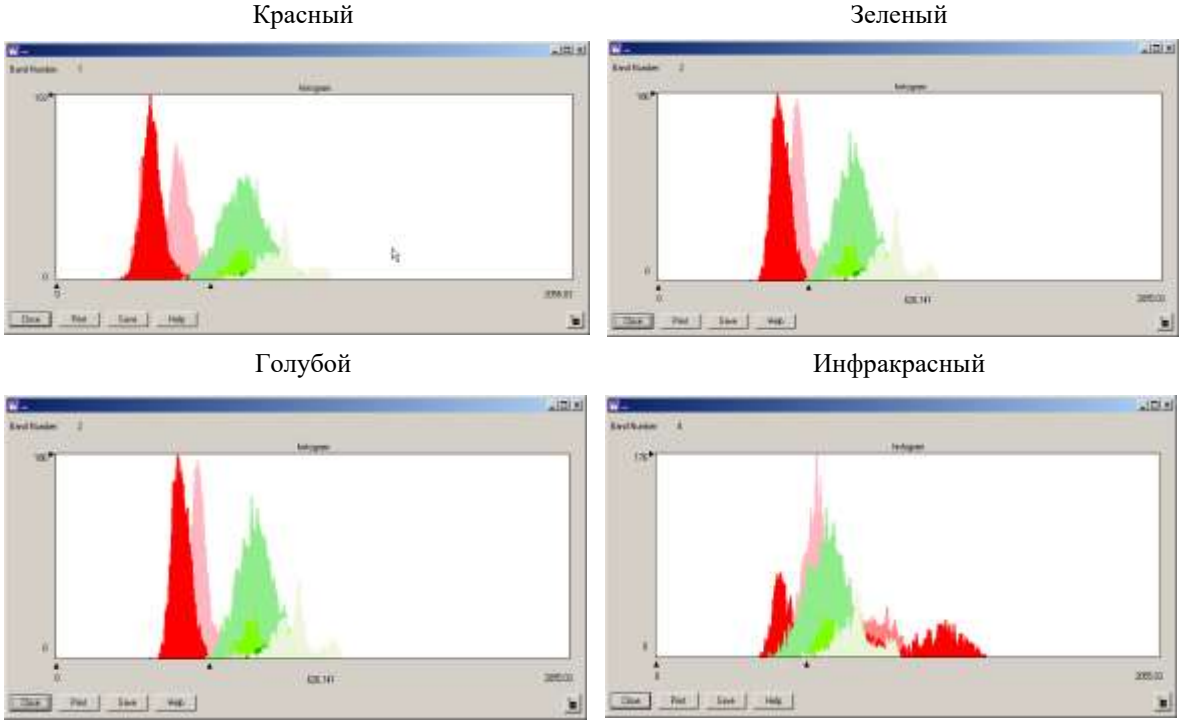


Рисунок 2. *Гистограммы кластеров*

Вычисление таблиц неточностей с использованием правил решения, базирующихся на статистических характеристиках.

После проведения статистических тестов и оценок, мы из исходного 12-и кластерового набора создали два дополнительных набора, состоящих, соответственно, из 7-и и 5-и кластеров (таблицы 5...6). Дополнительные наборы были составлены до начала процедуры обучения нейронного классификатора с целью определения границ возможных изменений классификационной схемы.

Таблица 5.

Таблица неточностей, полученных при применении статистического правила максимального правдоподобия для примеров из «Максимального» набора обучающих примеров - (12 классов).

Класс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Кол. прим	Кол. прав. откл. прим.
1	88,89	0,00	0,00	9,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1261	1080
2	0,66	82,62	0,00	9,94	0,00	0,00	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2830	2628
3	0,00	7,48	79,38	0,05	8,12	2,05	5,65	1,50	0,00	0,00	0,00	0,29	428	77
4	10,45	5,16	0,00	80,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1812	1521
5	0,00	0,03	0,00	0,00	83,33	0,82	6,96	4,00	0,00	0,00	0,00	1,32	520	195
6	0,00	0,00	1,03	0,00	0,43	82,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1975	1973
7	0,00	3,87	14,43	0,00	2,14	2,13	64,06	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	662	442
8	0,00	0,00	4,12	0,00	4,70	1,76	17,39	81,00	0,00	0,00	0,00	0,00	339	162
9	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,08	0,00	0,00	58	51
10	0,00	0,63	1,03	0,00	0,00	0,00	2,90	0,00	0,00	1,92	100,0	0,00	82	40
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	92,62	0,00	0,00	5,74	481	439
12	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	0,79	1,74	0,00	7,38	0,00	0,00	92,65	699	630
Итого	1215	3181	97	1891	234	2393	690	200	474	52	40	680	11147	11147

ОУК = 100%*(КПКП/ОКП) = 100%*(9238/11147) = **82.87%**

Примечание: ОУК – Оценка Усредненной Корректности; КПКП - Количество Правильно Классифицируемых Примеров; ОКП - Общее Количество Примеров.

Полученные результаты позволяют прогнозировать возможность качественного обучения нейронного классификатора по данной классификационной схеме, на примерах из данного набора.

Таблица 6.

Таблица неточностей, полученных в ходе обучения статистического классификатора максимального правдоподобия с помощью тестовых образцов из «Максимального набора» - (12 классов).

Класс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Кол. прим.	Кол. прав. откл. прим.
1	90,32	1,25	0,00	11,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1614	1343
2	5,78	90,42	0,00	10,36	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2187	1887
3	0,00	0,00	73,02	0,00	8,24	1,88	2,09	4,76	0,00	0,00	0,00	0,35	142	46
4	0,90	4,55	0,00	7,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1750	1597
5	0,00	0,00	15,87	0,00	74,19	5,16	3,35	0,68	0,00	0,00	0,00	5,70	415	207
6	0,00	0,14	0,00	0,00	2,51	65,47	0,63	3,40	0,00	0,00	0,00	0,35	1897	1877
7	0,00	3,59	11,11	0,00	0,72	4,12	83,05	1,36	0,00	0,00	0,00	0,00	594	397
8	0,00	0,00	0,00	0,00	4,30	18,63	7,74	89,80	0,00	0,00	0,00	0,00	715	132
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	95,66	0,00	0,00	7,25	54	49
10	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	28	28
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	573	529
12	0,00	0,00	0,00	0,00	10,04	4,74	1,67	0,00	4,34	0,00	0,00	86.36	696	500
Итого	1487	2087	63	2055	279	2867	478	147	553	49	28	579	10672 10665	8592

Чтобы минимизировать риски, связанные с неопределенностью процедуры обучения, необходимо сформировать репрезентативные множества обучающих примеров. Перед началом процесса обучения нейронных классификаторов, наборы множеств обучающих примеров тестируются на основе вычисления таблиц неточностей с использованием правил решения, базирующихся на статистических характеристиках. В работе составлены таблицы неточностей вычисленные по правилу максимального правдоподобия на кластерах из максимального 12-ти классового набора примеров. Каждый набор имеет две равновидности: наборы обучающих примеров и примеры для тестирования называемые трейнинговыми и тестовыми кластерами. В полном варианте статьи приводяться таблицы по двум разновидностям наборов, а также таблица неточностей классификации примеров из тестового набора.

Предварительный анализ таблиц позволяет сделать следующие выводы:

1. Результаты тестирования, при использовании того же множества примеров, что и для обучения классификатора, по обеим разновидностям кластеров, составляют порядка 80 %;

2. Результаты тестирования при использовании для тестирования тестовых кластеров, а для обучения классификатора трейнинговых кластеров, составляет порядка 70 %;

3. Практическое совмещение результатов тестирования классификаторов выявило несовпадение результатов по отдельным классам, что указывает на наличие проблем процесса обучения.

Применяемый алгоритм формирует новые кластеры путём выборки примеров из одного или нескольких ранее созданных кластеров, основанных на исходной классификационной структуре. Основная сложность на начальном этапе формирования обучающей выборки заключается в неравномерном распределении примеров между кластерами. Теоретически возможно перераспределить примеры так, чтобы они были более равномерно распределены между классами.

В данной работе предложена методика, предполагающая изменение постановки задачи, связанной с определением структуры классификационной схемы. Как правило, этот подход демонстрирует более высокую эффективность при решении задач управления природными ресурсами, а также в задачах контроля и аэрокосмического мониторинга. При его применении приоритет отдаётся выбору распознаваемых индикаторов, необходимых для оценки ситуации. По результатам первичных тестов был предложен вариант объединения классов с близкими характеристиками и формирования новых классификационных схем. Это позволяет повысить качество обучения классификатора и улучшить результаты распознавания объектов.

Предлагаемый подход, объединяющий методы современных информационных технологий и модели данных, обеспечивает возможность подбора оптимального набора индикаторов и эффективного решения поставленной задачи.

После проведения статистических тестов и оценок из исходного 12-кластерного набора были сформированы два дополнительных набора, содержащие соответственно 7 и 5 кластеров. До начала обучения нейронного классификатора, с целью определения границ возможных изменений классификационной схемы, были составлены дополнительные наборы данных. Для минимизации рисков, связанных с неопределённостью процедуры обучения, необходимо формировать репрезентативные множества обучающих примеров. Перед началом обучения нейронных классификаторов эти множества проходят тестирование на основе вычисления таблиц неточностей с использованием правил решения, основанных на статистических характеристиках [9...11].

В данной работе таблицы неточностей рассчитаны по правилу максимального правдоподобия для кластеров исходного 12-классового набора примеров. Каждый набор представлен в двух вариантах: обучающие примеры (тренинговые кластеры) и примеры для тестирования (тестовые кластеры). В полном тексте статьи приведены таблицы для обеих разновидностей наборов, а также таблица неточностей классификации примеров из тестового набора. [12...13].

Процесс активного обучения классификатора Многослойный Перцептрон зависит от разных параметров, значениями которых, в зависимости от условий эксперимента, можно в разной степени варьировать.

Основными параметрами классификатора являются:

- Размер трейнинговых областей;
- Количество итераций;
- Использование разного количества исходных нейронов;
- Параметры быстроты обучения и моментум;
- Количество скрытых слоев и количество в них нейронов;
- Вид и тип передаточной функции.

Рассмотрим набор эвристических правил, используемых для уменьшения временобучения и, в целом, для улучшения качества и производительности классификатора:

- при определении количества примеров небходимо иметь больше примеров для трейнинговых образцов, чем весов. Можно предположить, что качество МСП, при

использовании тестового набора, будет ограничено отношением N>W/e, где N – количество итераций обучения, W – количество весов, E – ошибка в качествеобучение классификатора минимизируется, пока среднеквадратическая ошибка не будет меньше, чем e/2;

- трейнинговые данные необходимо нормализовать;
- использовать функцию гиперболического тангенса вместо других сигмоидов;
- нормализовать ожидаемый сигнал,выбрав его значение в интервале (0, 1);
- установить соответствующий размер шага, например, для одного скрытого слоя Многослойный Персептрон **(**МСП**)**, установить размер шага на 0,05 выше в синапсе между входным и скрытым слоями и 0,01 в синапсе между скрытым и выходным слоями;
- инициализировать сетевые веса в линейной части нелинейности.

В результате проведенных эсперимента было составлено оптимальное по разным наборам множество значений для всех перечисленных параметров классификатора МСП, кроме числа итераций, значения которых варьировалось с целью достижения наилучшей производительности. При этом состав трейнинговых образцов не изменялся, учитывая, что размеры образцов, которые использовались для обучения статистических классификаторов, превосходили оптимальные значения, вычисленные согласно существующим правилам. [14…15].

Таким образом, во всех экспериментах был использован следующий набор постоянных значений параметров, для обучения классификатора МСП:

1. Исходные веса, сгенерированные программой, это случайные значения в интервале [0; 0,05];
2. Количество исходных нейронов – 4, равное количеству спектральных каналов;
3. Количество скрытых слоев – 1;
4. Количество нейронов в скрытом слое – 25 для «основного набора» и 50 - для «расширенного набора».Увеличение количества примеров не приводит к увеличению количества весов, варьирование которыми позволяет обучать классификатор, следовательно, для того, чтобы сохранить порядок соотношения кол-во примеров/кол-во весов мы увеличиваем количество нейронов, а значит, и количество весов;
5. Параметры быстроты обучения или размер шага между входным и скрытым слоями, η – 0,5;
6. Момент между входным и скрытым слоями, α – 0,7. Параметры быстроты обучения или размер шага между скрытым входным и выходным слоями, η – 0,25;
7. Момент между входным и скрытым слоем, α – 0,7;
8. Вид и тип передаточной функции - гиперболический тангенс;
9. Порог ошибки, erthresh – 0,01;
10. Качество классификатора определяется, начиная с 2500-ой итерации с проверкой через каждые 2500 итераций, вплоть до достижения порога установленной ошибки - (0,001). При этом использовались следующие параметры качества:

- MSE – среднеквадратическая ошибка. При достижении двойной кратности порога ошибки (установленное значение ошибки- 0,001), обучение останавливалось;
- r - коэффициент корреляции между изменениями направлений реальных выходов сети, к ожидаемым. Чем ближе эта величина к 1, тем лучше классификатор обученя;
- %err – процент погрешности, который определяет погрешность на единицу элемента, по которой вычисляются ошибки. Чем ближе значение этой величины к 0,1...0,2, тем выше качество обучения классификатора.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрены возможности применения аэрокосмических данных высокого пространственного разрешения и геоинформационных технологий для решения задач распознавания и классификации типов растительности и почвенного покрова в условиях сложной природной среды. На основе космического снимка IKONOS

и наземной информации сформирован исходный набор из 12 классов растительности и почв, отражающих основные типы природных сообществ исследуемого региона.

Проведённый анализ показал, что ключевым фактором, влияющим на качество автоматической классификации, является репрезентативность обучающих выборок и их распределение между классами. Установлено, что при неравномерном распределении примеров по классам существенно возрастает вероятность перекрытия спектральных характеристик и снижается разделяемость кластеров, что негативно отражается на результатах обучения как статистических, так и нейросетевых классификаторов.

На этапе предварительного анализа выполнена оценка статистических характеристик кластеров по всем спектральным каналам, что позволило выявить частичное совпадение и пересечение спектральных признаков отдельных классов. Результаты тестирования статистического классификатора максимального правдоподобия показали, что при использовании одних и тех же выборок для обучения и тестирования общая точность классификации составляет порядка 80–83 %, тогда как при раздельном использовании трейнинговых и тестовых наборов точность снижается до уровня около 70 %. Это указывает на наличие переобучения и подтверждает необходимость оптимизации структуры классификационной схемы и состава обучающих данных.

В работе предложен методический подход, основанный на изменении постановки задачи классификации за счёт объединения спектрально близких классов и формирования альтернативных классификационных схем. В результате из исходного 12-классового набора сформированы дополнительные наборы, содержащие 7 и 5 укрупнённых классов, что позволило снизить влияние неравномерности обучающих выборок и повысить устойчивость классификаторов. Проведённые статистические тесты показали целесообразность такого подхода на этапе предварительной оценки данных до обучения нейронных моделей.

В целом результаты исследования подтверждают, что эффективное применение нейросетевых и статистических методов классификации в задачах аэрокосмического мониторинга требует не только выбора алгоритма, но и обоснованного формирования классификационной схемы и системы индикаторов. Предлагаемый подход, основанный на интеграции данных дистанционного зондирования, ГИС-технологий и методов интеллектуального анализа данных, может быть использован при решении широкого круга задач экологического мониторинга, управления природными ресурсами и оценки состояния природных территорий.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением временных рядов космических данных, использованием дополнительных спектральных и текстурных признаков, а также внедрением методов активного и ансамблевого обучения для повышения устойчивости и точности классификации в условиях высокой природной неоднородности.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация - РГН; создание программного обеспечения - ГЗР; подготовка и редактирование текста – ФРС; проведение исследования – РМР, ФРС; разработка методологии – РГН, ГЗР; проведение исследований и статистического анализа - ФРС; Проведение исследований, визуализация - ФРС; ресурсы – РМР, ФРС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев В.П., Захарян Ю.Г., Блохина С.Ю. Состояние и перспективы использования дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2022. - Т. 19. - №1. - С. 287–294.
2. Нематзаде Р., Рзаева Г. Теоретические основы проектирования модели Геоинформационной системы для решения задач ДЗ по исследованию пространственно-распределенных объектов и ресурсов // Scientific Research International Scientific Journal. – 2024. – Vol. 4, Issue 10/99-105. e-ISSN: 2789-6919.
3. Груздов В.В., Колковский Ю.В., Криштопов А.В., Кудря А.И. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса. - Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 482 с. ISBN 978-5-94836-502-2

4. Грекусис Дж. Методы и практика пространственного анализа. Описание, исследование и объяснение с использованием ГИС / пер. с анг. А.Н. Киселева. – Москва: ДМК Пресс, 2021.
5. Пузаченко М.Ю., Черненькова Т.В., Беляева Н.Г. Совместный анализ наземных и дистанционных данных при оценке структуры и состава лесов на примере западной части Подмосковья // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. - 2020. - Т. 65. - Вып.2 - С.303-313
6. Ragimov R., Isgenderzade E., Ramazanov R., Samadov F., Jahidzada Sh. (2023). An innovative technology for aerospace monitoring of geotechnical systems based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs). Azerbaijan National Aerospace Agency 74th International Astronautical Congress Baku, Azerbaijan 2-6 October 2023
7. Ban H., Ahn J., Lee B. (2019). Assimilating MODIS data-derived minimum input data set and water stress factors into CERES-Maize model improves regional corn yield predictions. PLOS ONE, [e-journal] 14(2), e0211874. DOI: 10.1371/journal.pone.0211874.
8. Николаева О.В. Алгоритм обнаружения водных объектов на многоспектральных снимках // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. - 2023. - Т. 20. - Вып. 3. - С 9-18.
9. Нематзаде Р.Г., Рзаева Г.З., Рагимов Р.М., Самедов Ф.Р. Выбор оптимального маршрута прокладки магистральных нефтегазопроводов на основе дешифрирования космических снимков высокого разрешения // Земля Беларуси. - 2025 (2). - С.53-58. https://belzeminfo.by/images/archive/2025/ZB_2025_2.pdf
10. Zhao H., Wang W., Zou X., Chen M., Pan Zh. (2025). Low-level and high-level features co-directed weakly supervised instance segmentation for optical remote sensing image interpretation. International Journal of Remote Sensing, Volume 46, Issue 13, P. 4959-4980.
11. PIMENTEL J.F.F., ARENAS R.D., SANTILLÁN Sh. M. Sh., APARICIO P.E.G., PIMENTEL D.E.F. (2022). Application Of Remote Sensing In Environmental Studies: A Theoretical Review. International Journal of Environmental, Sustainability, and Social Science. Vol. 3 No. 1.
12. Tan Y., Xu X., You H., Zhang Y., Chen M. (2025). Automated registration of forest point clouds from terrestrial and drone platforms using structural features. SPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Volume 223. P. 28-45
13. Feigl J., Frey J., Seifert T., Koch B. (2025) Close-Range Remote Sensing of Forest Structure for Biodiversity Assessments: A Systematic Literature Review. Current Forestry Reports 11, 18. https://doi.org/10.1007/s40725-025-00251-x
14. Čorňák A., Delina R. (2022). Application of Remote Sensing Data in Crop Yield and Quality: Systematic Literature Review. Quality Innovation Prosperity. Vol. 26, No.3. p. 22-36. https://doi.org/10.12776/qip.v26i3.1708
15. Eze E., Girma A., Zenebe A., Kourouma J., Zenebe G. (2020). Exploring the possibilities of remote yield estimation using crop water requirements for area yield index insurance in a data-scarce dryland. Journal Of Arid Environments, [e-journal] 183, 104261. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104261.

REFERENCES

1. Yakushev V. P., Zakharyan Y. G., Blokhina S. Y. (2022). Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya distancionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom hozyajstve [Current state and prospects of using Earth remote sensing in Agriculture]. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 19(1), 287–294. [in Russian]
2. Nematzade R., Rzayeva G. (2024). Teoreticheskie osnovy proektirovaniya modeli Geoinformacionnoj sistemy dlya resheniya zadach DZ po issledovaniyu prostranstvenno-raspredelennyh ob"ektov i resursov [Theoretical foundations for designing a geoinformation system model for solving remote sensing problems of spatially distributed objects and resources]. Scientific Research International Scientific Journal, 4(10), 99–105. e-ISSN 2789-6919. . [in Russian]
3. Gruzdov V. V., Kolkovsky Y. V., Krishtopov A. V., Kudrya A. I. (2018). Novye tekhnologii distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [New technologies of Earth remote sensing from Space]. Moscow, Russia: Technosphere. ISBN 978-5-94836-502-2. [in Russian]
4. Grekousis G. (2021). Metody i praktika prostranstvennogo analiza. Opisanie, issledovanie i ob"yasnenie s ispol'zovaniem GIS [Methods and practice of spatial analysis: Description, exploration, and explanation using GIS] (A. Kiseleva, Trans.). Moscow, Russia: DMK Press. (Original work published in English)
5. Puzachenko M. Y., Chernenkova T. V., Belyaeva N. G. (2020). Sovmestnyj analiz nazemnyh i distancionnyh dannyh pri ocenke struktury i sostava lesov na primere zapadnoj chasti Podmoskov'ya [Integrated analysis of ground-based and remote sensing data in assessing forest structure and composition: A case study of western Moscow Region]. Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences, 65(2), 303–313. . [in Russian]
6. Ragimov R., Isgenderzade E., Ramazanov R., Samadov F., Jahidzada S. (2023). An innovative technology for aerospace monitoring of geotechnical systems based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs). In Proceedings of the 74th International Astronautical Congress (October 2–6, 2023). Baku, Azerbaijan.
7. Ban H., Ahn J., Lee B. (2019). Assimilating MODIS data-derived minimum input data set and water stress factors into the CERES-Maize model improves regional corn yield predictions. PLOS ONE, 14(2), Article e0211874. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211874
8. Nikolaeva O. V. (2023). Algoritm obnaruzheniya vodnyh ob"ektov na mnogospektral'nyh snimkah [Algorithm for detecting water bodies in multispectral images]. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 20(3), 9–18. . [in Russian]
9. Nematzade R. G., Rzayeva G. Z., Ragimov R. M., Samedov F. R. (2025). Vybor optimal'nogo marshruta prokladki magistral'nyh neftegazoprovodov na osnove deshifrirovaniya kosmicheskih snimkov vysokogo razresheniya [Selection of the optimal route for main oil and gaspipelines based on interpretation of high-resolution satellite imagery]. Land of Belarus, 2, 53–58. https://belzeminfo.by/images/archive/2025/ZB_2025_2.pdf . [in Russian]
10. Zhao H., Wang W., Zou X., Chen M., Pan Zh. (2025). Low-level and high-level features co-directed weakly supervised instance segmentation for optical remote sensing image interpretation. International Journal of Remote Sensing, Volume 46, Issue 13, P. 4959-4980.
11. PIMENTEL J.F.F., ARENAS R.D., SANTILLÁN Sh. M. Sh., APARICIO P.E.G., PIMENTEL D.E.F. (2022). Application Of Remote Sensing In Environmental Studies: A Theoretical Review. International Journal of Environmental, Sustainability, and Social Science. Vol. 3 No. 1.
12. Tan Y., Xu X., You H., Zhang Y., Chen M. (2025). Automated registration of forest point clouds from terrestrial and drone platforms using structural features. SPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Volume 223. P. 28-45

13. Feigl J., Frey J., Seifert T., Koch B. (2025) Close-Range Remote Sensing of Forest Structure for Biodiversity Assessments: A Systematic Literature Review. Current Forestry Reports 11, 18. https://doi.org/10.1007/s40725-025-00251-x
14. Čorňák A., Delina R. (2022). Application of Remote Sensing Data in Crop Yield and Quality: Systematic Literature Review. Quality Innovation Prosperity. Vol. 26, No.3. p. 22-36. https://doi.org/10.12776/qip.v26i3.1708
15. Eze E., Girma A., Zenebe A., Kourouma J., Zenebe G. (2020). Exploring the possibilities of remote yield estimation using crop water requirements for area yield index insurance in a data-scarce dryland. Journal Of Arid Environments, [e-journal] 183, 104261. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104261

ЖОҒАРЫ АЖЫРАТЫМДЫЛЫҚТАҒЫ КӨП СПЕКТРЛІ ҒАРЫШТЫҚ БЕЙНЕЛЕРДЕ ОЛАРДЫ ЖІКТЕУ ЖӘНЕ ТАНУ МАҚСАТЫНДА КЕҢІСТІКТЕ БӨЛІНГЕН ОБЪЕКТІЛЕР КЛАСТАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ӘДІСІ

Рашад. Г. Нематзаде, Гюнель. З. Рзаева, Рауф. М. Рагимов PhD, Фарид. Р. Самедов

Аэроғарыштық Информатика Ғылыми-Зерттеу Институты, Баку, Әзірбайжан; Rashad.Nematzade@nasa.az, Gunel.Rzayeva@nasa.az, rauffmahmud@yahoo.com, farid.samedov@hotmail.com
*Автор корреспондент: Фарид Р. Самедов, farid.samedov@hotmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

жіктеу,
нысан,
әдістеме,
ғарыштық сурет,
көріністер,
өсімдік жамылғысы

Мақала жайында:
Жіберілді: 03.07.2025
Қайта қаралды: 22.12.2025
Қабылданды: 22.12.2025
Жарияланды: 30.12.2025

АБСТРАКТ

Жұмыста кеңістіктік ажыратымдылығы жоғары аэроғарыштық деректер мен геоақпараттық технологиялар негізінде өсімдік жамылғысы мен жер жамылғысының түрлерін автоматтандырылған жіктеу әдістері қарастырылады. Зерттеу IKONOS ғарыштық суретін қолдану арқылы жүзеге асырылады және зерттелетін аймаққа тән өсімдіктер мен Топырақтардың 12 класы үшін оқыту және сынақ үлгілерін қалыптастыруды қамтиды. Кластерлердің спектрлік сипаттамаларына статистикалық талдау және олардың өкілдігі мен бөлінуін бағалау жүргізілді. Оқыту мысалдарының біркелкі бөлінбеуі және жеке сыныптардың спектрлік белгілерінің қабаттасуы классификацияның тұрақтылығын төмендететіні көрсетілген. Тану сапасын арттыру үшін спектрлік жақын сыныптарды біріктіруге және балама жіктеу схемаларын қалыптастыруға негізделген тәсіл ұсынылады. Әдістің тиімділігі максималды ықтималдық статистикалық жіктеуіші мен көп қабатты перцептрон типіндегі нейрондық желілік жіктеуіштің көмегімен бағаланады. Алынған нәтижелер аэроғарыштық экологиялық мониторинг міндеттерін шешу кезінде жіктеу схемасының құрылымын және оқыту үлгілерінің құрамын оңтайландырудың орындылығын растайды.

METHOD OF FORMING CLASSES OF SPATIALLY DISTRIBUTED OBJECTS FOR THE PURPOSE OF THEIR CLASSIFICATION AND RECOGNITION ON HIGH-RESOLUTION MULTISPECTRAL SPACE IMAGES

Rashad Nematzade, Gunel Rzayeva, Rauf Ragimov PhD, Farid Samedov

Research Institute of Aerospace Informatics, Baku, Azerbaijan; Rashad.Nematzade@nasa.az, Gunel.Rzayeva@nasa.az, rauffmahmud@yahoo.com, farid.samedov@hotmail.com
* Corresponding author: Farid Samedov, farid.samedov@hotmail.com

KEY WORDS

classification,
object,
methodology,
satellite image,
types,
vegetation

ABSTRACT

The paper discusses methods for automated classification of vegetation types and soil cover based on high-resolution aerospace data and geoinformation technologies. The study was conducted using IKONOS satellite imagery and includes the formation of training and test samples for 12 classes of vegetation and soils characteristic of the region under study. A statistical analysis of the spectral characteristics of clusters and an assessment of their representativeness and separability were performed. It was shown that the uneven distribution of training examples and the overlap of spectral features of individual classes reduce the stability of classification. To improve recognition quality, an approach based on combining spectrally similar classes and forming alternative classification schemes was

About article:
Received: 03.07.2025
Revised: 22.12.2025
Accepted: 22.12.2025
Published: 30.12.2025

proposed. The effectiveness of the method is evaluated using a maximum likelihood statistical classifier and a multilayer perceptron neural network classifier. The results confirm the feasibility of optimizing the structure of the classification scheme and the composition of training samples when solving aerospace environmental monitoring problems.

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

СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОЛЕЙ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Кирилл С. Гаринских[1], Алпамыс Г. Карыпов[1], Адилхан Сымагулов[1], Ян И. Кучин[1,2], Алексей Г. Терехов[1,2] к.т.н., Равиль И. Мухамедиев[1,2] д.инж.н., Надия Р. Юничева[2,3*] к.т.н., Нурсултан Е. Кульдеев[1], Рат Ш. Бердибаев[1,3] к.п.н.

[1] Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан; mlkirillg@gmail.com (КСГ), karypov1@gmail.com (АГК), a.symagulov@satbayev.university (АС), ykuchin@mail.ru (ЯИК), aterekhov1@yandex.ru (АГТ), ravil.muhamedyev@gmail.com (РИМ), naduni@mail.ru (НРЮ), kuldeevnursultan129@gmail.com (НЕК), r.berdybaev@aues.kz (РШБ)
[2] Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан; ykuchin@mail.ru (ЯИК), aterekhov1@yandex.ru (АГТ), ravil.muhamedyev@gmail.com (РИМ)
[3] Алматинский Университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан; naduni@mail.ru (НРЮ), r.berdybaev@aues.kz (РШБ)
*Автор корреспондент: Надия Р. Юничева, naduni@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

точное земледелие,
сегментация,
NDVI,
дроны,
дистанционное зондирование.

АБСТРАКТ

Методы точного земледелия требуют учета тонких различий в процессах произрастаний растений на разных участках возделываемой пашни. Различия в рельефе поля, его водообеспечении, мощности слоя гумуса и т.п. вызывают необходимость ранжирования пашни для применения агротехнических операций разной интенсивности, что в итоге приводит к повышению урожайности и снижению себестоимости с\х культур. Ранжирование пашни внутри поля обычно осуществляется с помощью сегментации данных дистанционного зондирования. Для создания системы сегментации необходим периодический дистанционный и наземный мониторинг полей, сбор и обработка получаемой информации с ее географической привязкой. Для этих целей могут использоваться как спутниковые системы дистанционного зондирования, так и беспилотные летательный платформы (БЛП). Объем получаемой информации, особенно при применении БЛП весьма значителен, а требования к оперативности обработки высоки. В этой связи актуальны эффективные методы систематизации и обработки получаемых изображений, которые опираются на достаточно быстрые алгоритмы сегментации. В настоящей работе рассмотрены методы сегментации изображений от различных систем дистанционного зондирования, которые позволяют повысить экономические показатели агротехнических мероприятий в контуре точного земледелия. Приведен пример программы пороговой сегментации, которая может быть использована отдельно или в составе информационной системы поддержки процессов точного земледелия. В работе приводятся результаты ее применения для сегментации спутниковых изображений поля по значению индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Проведенный анализ и выработанные рекомендации по данным сегментации будут способствовать предотвращению экологических нарушений, потерь урожая вследствие резких изменений погодных условий и различий рельефа обрабатываемых пашен.

1. ВВЕДЕНИЕ

Принципы точного земледелия базируются на учете локальных почвенных разностей такого пространственного масштаба, который является приемлемым для реакции на них сельскохозяйственной техники. Обычно такие различия имеет смысл учитывать начиная с десятков до сотен метров. Почвенные неоднородности такого масштаба на сельскохозяйственных полях в Казахстане, как правило вызваны рельефными особенностями. Небольшие возвышения или понижения определенным образом организуют пространственное распределение весенней влаги после таяния

По статье:
Получено: 21.01.2025
Пересмотрено:22.12.2025
Принято: 23.12.2025
Опубликовано: 30.12.2025

снежного покрова. Этот процесс происходит ежегодно и формирует различия в характеристиках почвенной разности. Понижения аккумулируют более мелкие взвешенные частицы, переносимые с водой. Поэтому, они имеют более тяжелый механический состав, а в ряде случаев, возможно даже более высокое содержание гумуса и толщина плодородного слоя. Возвышения сложены почвами несколько более легкого механического состава. В случае заметных различий рельефа при определенных условиях даже могут регистрироваться выраженные элементы водной эрозии внутри поля.

Для цитирования:

Гаринских К., Карыпов А., Сымагулов А., Кучин Я., Терехов А., Мухамедиев Р., Юничева Н., Кульдеев Н., Бердибаев Р. Сегментация изображений полей в точном земледелии // Гидрометеорология и экология, 120 (5), 2025, 79-90.

Локальные различия почвенных характеристик внутри поля по-разному реагируют на сезонные условия погоды. В условиях влажной погоды низины переувлажняются и лучшие условия формируются на локальных возвышенностях. В условиях дефицита увлажнения все меняется на обратную картину. Лучшие условия формируются в низинах. Соответственно, если в течение сезона имеют место существенные различия общей увлажненности, например длительные периоды дождей или наоборот периоды ясной, жаркой погоды, возникнет сезонная динамика варьирования лучших условий для произрастания растительности. Будут формироваться пространственные различия в росте или развитии культуры из-за неодинаковой благоприятности условий при прохождения ключевых фаз развития. Неоднородность роста\развития культуры на поле — это один из факторов потерь урожая. Поэтому, в рамках точного земледелия требуются усилия по анализу таких неоднородностей и выдаче рекомендаций по мерам адаптации к потенциальным негативным последствиям.

Цель сегментации – выявить и численным образом описать неоднородности почвенной разности внутри поля. Процесс сегментации и классификации изображений начинается с анализа данных дистанционного зондирования, спутниковых снимков или снимков с борта беспилотных летательных платформ (БЛП) или дронов, на основе которых поле делится на несколько зон. Такой подход позволяет локализовать участки с различной плотностью и степенью развития растений, что является ключевым фактором для дальнейшего анализа. В каждой из выделенных зон устанавливаются репрезентативные контрольные точки или участки, для которых проводится детальное наземное описание и съемка с использованием БЛП.

Полученные показатели из контрольных точек или участков затем экстраполируются на все поле с учетом различий в зонах вегетации, что обеспечивает достаточно точное и полное представление о состоянии посевов на всей площади без необходимости проведения сплошного обследования. Такая технология позволяет провести калибровку данных дистанционного зондирования и на этой основе оптимизировать процесс дистанционного мониторинга, обеспечивая удовлетворительную точность и оперативность в принятии решений о применении необходимых агротехнических операций. Объектом настоящего исследования является процесс сегментации изображений сельскохозяйственных полей необходимый для внедрения технологий точного земледелия. В работе описаны методы сегментации изображений растительности и приведён пример реализации порогового сегментатора, использующего Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [1].

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В точном земледелии для оценки густоты стояния растительности или зон продуктивности применяются следующие методы сегментации изображений полей.

1. *Кластеризация, включающая простые и быстрые алгоритмы «обучения без учителя»,* такие как K-means [2], Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique (ISODATA) [3], [4] алгоритм иерархической кластеризации (HC) [5] и другие алгоритмы из библиотеки scikit-image [6]. Алгоритмы K-means и ISODATA разделяют данные на (k) кластеров на основе схожести признаков. Количество кластеров задается экспериментатором. HC (Hierarchical clustering) создает дерево кластеров, что позволяет анализировать данные на разных уровнях детализации.

2. *Анализ временных серий спутниковых изображений*, который позволяет выделять однородные области на основе анализа временной динамики характеристик растительности [7] в том числе в сочетании с методами машинного обучения [8…9].

3. *Геостатистические методы*, например, кригинг [10]. Кригинг - метод интерполяции, который учитывает пространственную корреляцию данных для создания карт распределения растительности.

Эти методы позволяют анализировать спутниковые снимки и данные с БЛП, улучшая эффективность управления сельскохозяйственными операциями. Вегетационные спектральные индексы, такие как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) или EVI (Enhanced Vegetation Index) [11], широко используются для выделения и описания состояния растительности на основе анализа яркостных характеристик подстилающей поверхности в различных частях спектра.

Наиболее быстрыми, с точки зрения реализации и практической работы, являются методы сегментации, базирующиеся только на основе индекса вегетации. Сегментация на основе NDVI направлена на выделение различных зон в пределах поля, различающихся по уровню активности растительности (Рисунок 1). NDVI рассчитывается на основе коэффициентов отражения подстилающей поверхности в красном и ближнем инфракрасном частях спектра, регистрируемых на спутниках или с борта БПЛА:

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B4 + B5} \quad (1)$$

где B5 - Band 5, Near-Infrared (0,85...0,88 nm), B4 - Band 4, Red (0,64...0,67 nm).

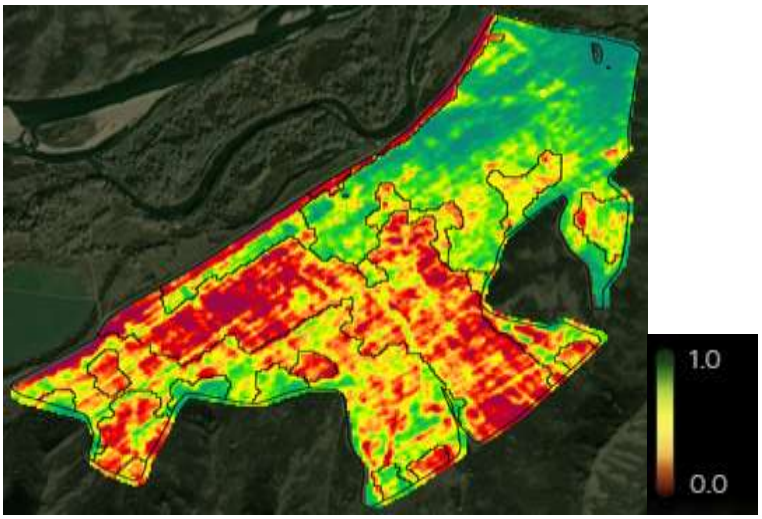


Рисунок 1. *Пример снимка с рассчитанными значениями индекса [12]*

Границы экстента поля: x_{min} (левая граница): 82.4621; x_{max} (правая граница): 82.5005; ymin (нижняя граница): 50.4699; y_{max} (верхняя граница): 50.4908. Дата: 20.08.2024

Алгоритм сегментации делит поле на несколько зон с различными показателями вегетации. В простейшем случае это три класса продуктивности: с высокой, средней и низкой активностью растений. Основные методы сегментации для одиночных спутниковых сцен или временных серий могут включать:

- Для одиночных сцен, пороговую сегментацию: деление NDVI-диапазона на фиксированные интервалы для создания классов;
- Для временных серий, кластеризацию (k-means или ISODATA): алгоритм группирует данные на основе близости значений NDVI в различные календарные даты, формируя искомые классы;

- Генеративные модели: используются для предсказания зон на основе исторических данных и текущих значений NDVI.

Пример разделения поля на зоны по значениям NDVI приведен на рисунках 1 и 2.

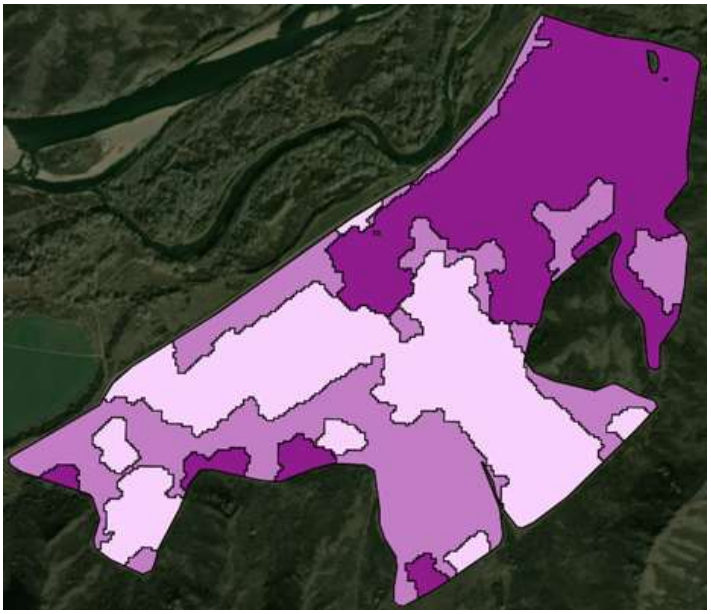


Рисунок 2. *Результат разделения поля на зоны по значениям NDVI [12] с помощью порогового алгоритма.*

Границы экстента поля: x_{min} (левая граница): 82.4621; x_{max} (правая граница): 82.5005; y_{min} (нижняя граница): 50.4699; y_{max} (верхняя граница): 50.4908. Дата: 20.08.2024

Для оценки состояния растительности кроме NDVI могут использоваться и другие спектральные индексы, например, EVI, GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) [13], CVI (Chlorophyll Vegetation Index) [14] и прочее.

Для временных рядов многолетних спутниковых сцен (сотни снимков) возникает необходимость проведения еще одной предварительной стадия обработки, направленной на уменьшение информации в обработке. Например, эффективен переход к композитному изображению, каждый канал которого представляет собой результат статистической обработки временного ряда спутниковых сцен (средние многолетние значения, максимальные\минимальные, и пр.). В дальнейшем, обработка созданного композиционного изображения может быть аналогична обработке отдельной спутниковой сцены. Пороговая сегментация отдельных одноканальных сцен часто применяется на практике. Она является быстрой и достаточно точной математической процедурой, однако имеет особенности в реализации в зависимости от области применения.

Метод пороговой сегментации изображений пашни на основе индекса NDVI

Работа с пороговым алгоритмом, как правило, предполагает предобработку данных, целью которой является адаптация результатов к практическому применению. Первая необходимая обработка — это Гауссовская фильтрация. Гауссов фильтр применяет математическую операцию свертки между массивом NDVI и ядром фильтра. Гауссово ядро имеет форму колокола, ширина которого определяется внутренними параметрами. Эти параметры можно регулировать, так, например параметр 0,5 даёт слабое размытие сохраняя больше деталей, а параметр 0,3 создают более сильное размытие, убирая больше шума, но также сглаживая важные границы.

В данном случае Гауссов фильтр помогает сгладить NDVI-данные, удаляя мелкие аномалии, что необходимо для эффективной работы последующих процедур. Следующая за Гауссовской фильтрацией процедура кластеризация формирует маски зон

с различной продуктивностью, которые также нуждаются в последующей морфологической обработке для удаления лишних деталей. Критерий значимости для мелких объектов в этом случае подбирается экспертным путем. В рассмотренном примере в качестве критерия незначимости был принят остров, размером менее 100 пикселей. Это позволяет частично очистить маску от излишней детализации, что необходимо для дальнейшей работы.

Следующая операция, это бинарное открытие. Она выполняется с помощью структурного элемента в форме окружности радиусом 3 пикселя. Эта процедура представляет собой эрозию (уменьшение границ объектов) на 3 пикселя, с последующей дилатацией (расширение оставшихся объектов) на эту же величину. Такая морфологическая трансформация границ зон приводит к ликвидации мелких деталей и огрублению извилистости границ между классами. Все описанные выше процедуры морфологической фильтрации и сглаживания необходимы для упрощения итоговой карты зон для эффективной работы сельскохозяйственных агрегатов точного земледелия.

Весь программный код для выполнения данных операций приведен в листинге А, содержащем необходимые пояснения.

Основным языком для разработки является Python версии 3.10, вспомогательным языком для визуализации используется javascript. Основными фреймворками являются numpy версии 1.25.2 для работы с массивами, pillow версии 9.3.0 для работы с изображениями, matplotlib версии 3.6.2 для отрисовки NDVI и Django версии 5.0 для графического веб интерфейса. Все остальные библиотеки вспомогательные для них.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для апробации разработанного программного средства пороговой сегментации было использовано спутниковое изображение одного из полей Восточно-Казахстанской области (рисунок 3).

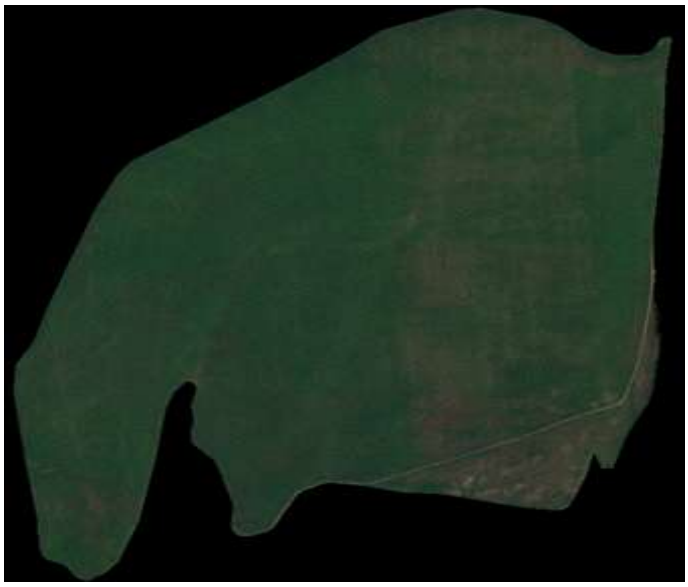


Рисунок 3. *Спутниковое изображение тестового поля. Псевдоцветной композит, преобразованный к естественной палитре [15].*

Снимок Sentinel-2 на 22 августа 2023 (разрешение 10 м). Границы экстента поля: x_{min} (левая граница): 82.4223; x_{max} (правая граница): 82.4492; y_{min} (нижняя граница): 50.4027; y_{max} (верхняя граница): 50.4214

ЛИСТИНГ А

```
#Подключение библиотек
import os
import numpy as np
import rasterio
from scipy.ndimage import zoom
from skimage import filters, morphology
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
import io
import base64
from django.http import JsonResponse
from django.shortcuts import render

#Загрузка изображений
def zoom_image(path, binary_ndvi):
    # Получаем текущую директорию
    current_directory = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))

    # Путь к изображению
    image_file_path = os.path.join(current_directory, path)

    with rasterio.open(image_file_path) as src:
        # Чтение данных изображения
        image = src.read()

    # Создание копии исходного изображения
    masked_image = np.copy(image)

    # Изменение размеров бинарной маски до размера изображения
    resized_array = zoom(binary_ndvi, (image.shape[1] /
binary_ndvi.shape[0], image.shape[2] / binary_ndvi.shape[1]),
                         order=1)

    # Наложение маски на изображение
    masked_image[:, resized_array == 0] = 0

    # Преобразование массива в изображение
    image_pil = Image.fromarray(masked_image.transpose(1, 2, 0))
    plt.figure(figsize=(8, 6))
    plt.imshow(image_pil, cmap='viridis')
    plt.axis('off')

    # Сохранение изображения в буфер
    buffer = io.BytesIO()
    plt.savefig(buffer, format='png')
    buffer.seek(0)

    # Кодирование изображения в base64
    encoded_image =
base64.b64encode(buffer.getvalue()).decode('utf-8')

    plt.close()
    return encoded_image

def prime_ndvi(sigma_value, up, d, mask):
    # Получаем текущую директорию
    current_directory = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))

    # Путь к исходному TIFF-файлу
    file_name = 'ndvi_field_421_2023-08-24_(сырые данные NDVI).tiff'
    file_path = os.path.join(current_directory, file_name)

    with rasterio.open(file_path) as src:
        # Чтение NDVI с указанной маской
        ndvi = src.read(mask)

        # Применение фильтра Гаусса
        smoothed_ndvi = filters.gaussian(ndvi, sigma=sigma_value)

        # Создание бинарной маски на основе порогов
        binary_ndvi = np.logical_and(smoothed_ndvi > up,
smoothed_ndvi < d)

        # Удаление мелких объектов из маски
        binary_ndvi = morphology.remove_small_objects(binary_ndvi,
min_size=100)

        # Применение бинарного открытия
        binary_ndvi = morphology.binary_opening(binary_ndvi,
morphology.disk(3))

        # Генерация изображений
        path = "ndvi_contrast_field_421_2023-08-24_(готовые
карты_NDVI контраст).tiff"
        encoded_image = zoom_image(path, binary_ndvi)

        buffer = io.BytesIO()
        plt.figure(figsize=(8, 6))
        plt.imshow(binary_ndvi, cmap='viridis')
        plt.axis('off')
        plt.savefig(buffer, format='png')
        buffer.seek(0)
        encoded_image2 =
base64.b64encode(buffer.getvalue()).decode('utf-8')

        path = "visual_field_421_2023-08-24_(готовые
карты_визуальный снимок).tiff"
        encoded_image3 = zoom_image(path, binary_ndvi)

        return encoded_image, encoded_image3, encoded_image2
#Расчет и визуализация NDVI
def NDVI(request):
    # Установка стандартных значений параметров
    default_sigma = 1.5
    default_up = 0.01
    default_d = 1
    default_mask = 1

    # Получение параметров из запроса
    sigma_value = float(request.GET.get('sigma', default_sigma))
    mask = int(request.GET.get('mask', default_mask))
    up = float(request.GET.get('up', default_up))
    d = float(request.GET.get('d', default_d))

    # Обработка NDVI
    processed_ndvii, processed_ndvi, masks = prime_ndvi(sigma_value,
up, d, mask)

    # Возвращение JSON-ответа для AJAX-запроса
    if request.headers.get('X-Requested-With') == 'XMLHttpRequest':
        return JsonResponse({'processed_ndvi': processed_ndvi,
"processed_ndvii": processed_ndvii, "masks": masks})
    else:
        # Рендеринг HTML-страницы
        return render(request, 'games_tracker/ndvi.html',
{'processed_ndvi': processed_ndvi, "processed_ndvii": processed_ndvii
})
```

Используя спутниковый продукт, рассчитывающий значение индекса NDVI (рисунок 4 справа), была выполнена сегментация изображения по двум границам индекса. На рисунках 4...7 показаны результаты расчетов, которые позволяют с помощью рассчитанного значения индекса NDVI и выполненной сегментации определить изменение границ отображаемой индексации позволяет выявлять зоны с низкой, средней и высокой вегетацией.

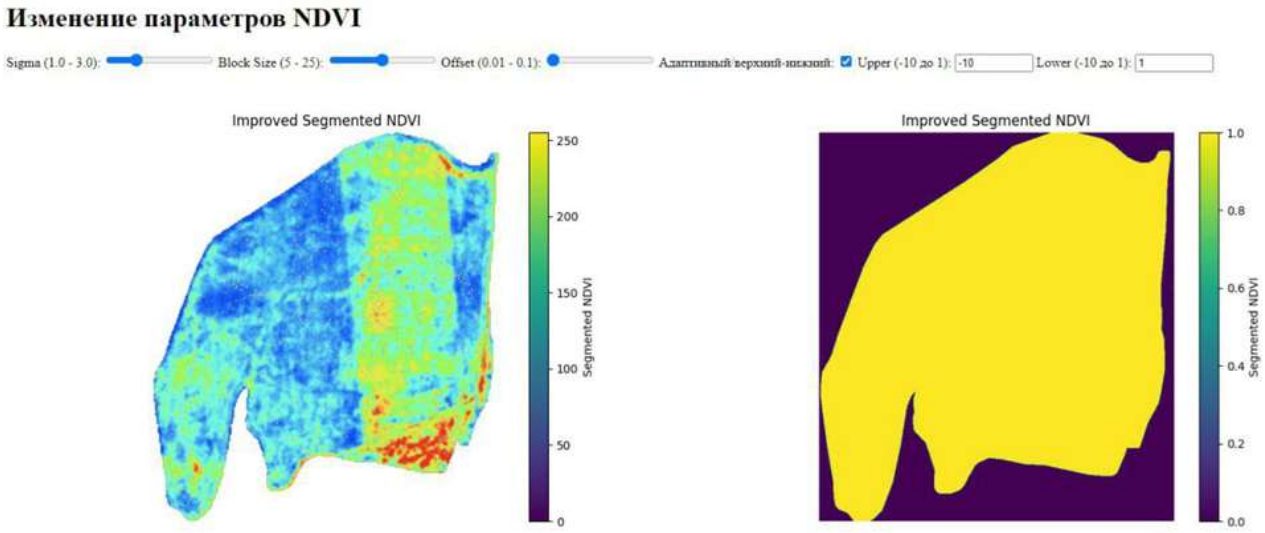


Рисунок 4. *Индекс вегетации NDVI (слева) и изображение с минимальным пороговым значением (справа)*

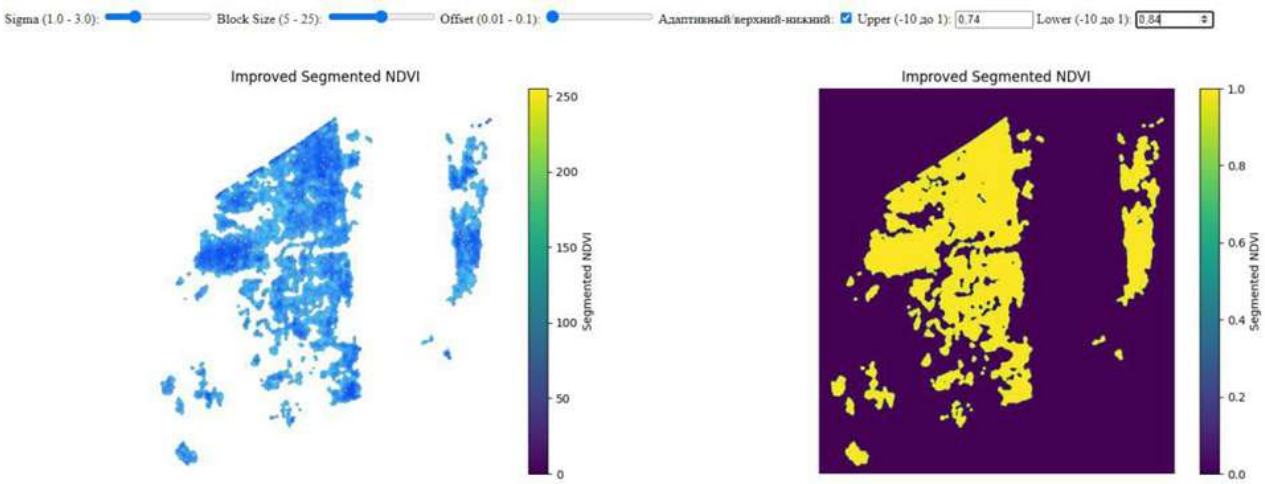


Рисунок. 5. *Сегментация участка поля со средним значением индекса вегетации*

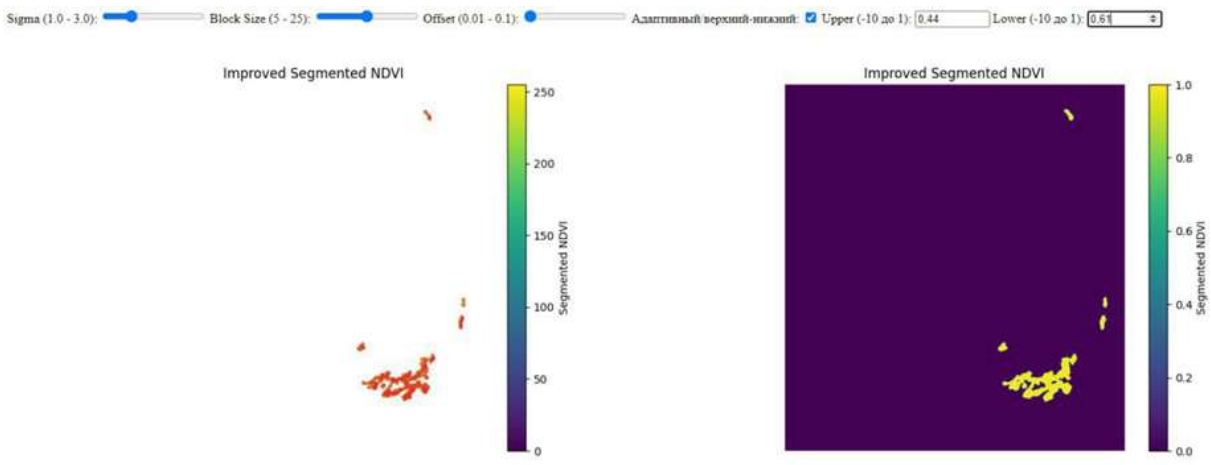


Рисунок. 6. *Сегментация участка поля с низким значением индекса вегетации*

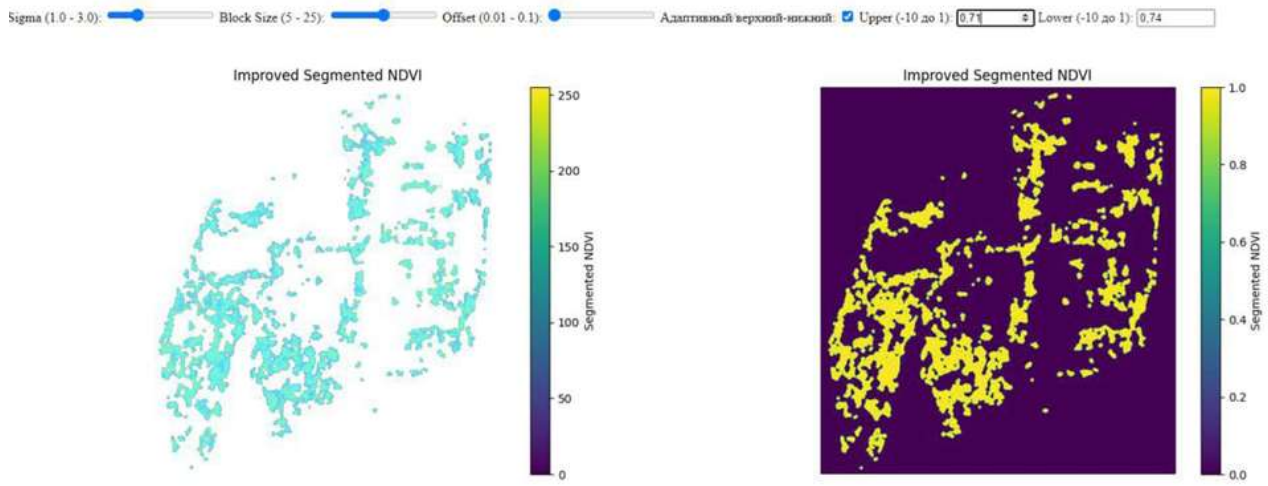


Рисунок. 7. *Сегменты поля с нижнесредним значением NDVI*

Для проведения экспериментов с низковысотными изображениями была использована БЛП типа гексакоптер разработанная в учебно-производственной лаборатории «Беспилотные летательные аппараты» (создана КазНИТУ им. К.И. Сатпаева в январе 2021г.). Разработанная платформа имеет параметры, перечисленные в таблице 1.

Таблица 1

БЛП типа гексакоптер использованная для получения мультиспектральных снимков

Параметр	Значение
Тип	гексакоптер
Взлетный вес	4 кг
Время полета	до 45 минут
Скорость полета	0-60 км/час
Высота полета	0-3000 метров
Радиус действия	до 10 км (в открытой местности)
Количество двигателей	6
Диаметра по осям двигателей	80 мм
Телеметрия	Да (по MavLink)
Поддержка RTK	Да

На БЛП через виброизолированную площадку установлена 5 канальная камера MicaSense Altum. БЛП позволяет в зависимости от высоты полета покрывать площадь от 1 до 100 гектаров на одном заряде батарей. При наличии сменных комплектов батарей площадь покрытия ограничивается только условиями освещенности. БЛП не может использоваться во время дождя и при скорости ветра больше 15 метров в секунду.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе кратко представлены и проанализированы методы тематической обработки снимков возделываемой пашни для проведения ее сегментации. Для практической реализации выбран метод, использующий изображения с расчетными значениями индекса NDVI. выполнена сегментация изображения по двум границам индекса. Получены результаты расчетов, которые позволяют с помощью рассчитанного значения индекса NDVI и выполненной сегментации определить изменение границ отображаемой индексации и выявлять зоны с низкой, средней и высокой вегетацией. Этот подход требует минимума ресурсов, обеспечивает высокую скорость и определенную гибкость в выборе порогов сегментации. Метод позволяет обрабатывать

как спутниковые снимки, так и данные, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов, оснащенных мультиспектральными камерами. Для этих целей могут быть использованы непосредственно мультиспектральные камеры, например камеры MicaSense RedEdge-MX, Parrot Sequoia установленные подходящий носитель или дроны промышленного производства, такие как, DJI Phantom 4 Multispectral. Хотя все отдельные процедуры обработки снимков сами по себе не новы, разработанный модуль может использоваться как часть системы поддержки агротехнических мероприятий в точном земледелии. В дальнейших работах авторы планируют реализовать систему сегментации на основе комплекса спектральных индексов оценки растительности (NDVI, EVI, GNDVI, CVI) а также исследовать вопросы применения моделей машинного обучения для сегментации, идентификации и классификации объектов на изображениях, полученных с помощью БЛП.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

В этом исследовании использованы опубликованные данные зарубежных ученых соответствующие тематике исследования. По вопросам анализа временных серий спутниковых изображений, который позволяет выделять однородные области на основе анализа временной динамики характеристик растительности, в том числе в сочетании с методами машинного обучения, использовались собственные исследования авторов, полученные ранее.Статья написана на материале собственных и зарубежных изданий. Результаты применения разработанной программы пороговой сегментации, которая может быть использована отдельно или в составе информационной системы поддержки процессов точного земледелия, основаны на значениях индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Для опробации программы, использовались данные из дата-портала Copernicus Data Space Ecosystem, https://dataspace.copernicus.eu/ .

ВКЛАД АВТОРОВ

Разработка концепции - АГТ, разработка методологии - РИМ, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация - НРЮ, создание программного обеспечения - КСГ, АГК, АС, ЯИК, проведение исследования - НЕК, РШБ.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (проект программно-целевого финансирования № BR24992908 «Система поддержки агротехнических мероприятий в растениеводстве на базе комплекса средств мониторинга и методов искусственного интеллекта (Agroscope)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Texas A&M University, Remote Sensing Center.
2. MacQueen J. B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. University of California Press. Vol. 1. P. 281–297.
3. Vassilaros A. ISODATA. Presentation [Electronic resources] URL: https://web.pdx.edu/~jduh/courses/Archive/geog481w07/Students/Vassilaros_ISODATA.pdf (date of access: 15.12.2024)
4. Guastaferro F., Castrignanò A., De Benedetto D., Sollitto D., Troccoli A., & Cafarelli B. (2010). A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. Precision Agriculture, 11(5), 600–620. https://doi.org/10.1007/s11119-010-9183-4
5. Johnson S. C. (1967). Hierarchical clustering schemes. Psychometrika, 32(3). P. 241–254.
6. Scikit-image. (n.d.). Segmentation — Image analysis in Python. [Electronic resources] URL: https://scikit-image.org/skimage-tutorials/lectures/4_segmentation.html (date of access: 15.12.2024)
7. Verbesselt J., Hyndman R. J., Newnham G., Culvenor D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. Remote Sensing of Environment, 114(1). P. 106–115. https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.014
8. Miller L., Pelletier C., Webb G. I. (2024). Deep learning for satellite image time series analysis: A review. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.03936
9. Mukhamediev R. I., Terekhov A., Amirgaliyev Y., Popova Y., Malakhov D., Kuchin Y., Sagatdinova G., Symagulov A., Muhamedijeva E., Gricenko P. (2024). Using pseudo-color maps and machine learning methods to estimate long-term salinity of soils. Agronomy, 14, 2103. https://doi.org/10.3390/agronomy14092103
10. Matheron G. (1963). Principles of geostatistics. Economic Geology, 58(8), 1246–1266.
11. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X., Ferreira L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83(1–2), 195–213.
12. OneSoil Yield. (n.d.). Пример снимка NDVI. [Electronic resources] URL:https://app.yield.onesoil.ai/ (date of access: 20.08.2024)
13. Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Merzlyak M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment, 58(3), 289–298.

14. Lymburner L., Beggs P. J., Jacobson C. R. (2000). Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66(2), 183–191.
15. Copernicus Data Space Ecosystem, [Electronic resources] URL: https://dataspace.copernicus.eu/ (date of access: 20.08.2024)

REFERENCES

1. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Texas A&M University, Remote Sensing Center.
2. MacQueen J. B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. University of California Press. Vol. 1. P. 281–297.
3. Vassilaros A. ISODATA. Presentation [Electronic resources] URL: https://web.pdx.edu/~jduh/courses/Archive/geog481w07/Students/Vassilaros_ISODATA.pdf (date of access: 15.12.2024)
4. Guastaferro F., Castrignanò A., De Benedetto D., Sollitto D., Troccoli A., & Cafarelli B. (2010). A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. Precision Agriculture, 11(5), 600–620. https://doi.org/10.1007/s11119-010-9183-4
5. Johnson S. C. (1967). Hierarchical clustering schemes. Psychometrika, 32(3). P. 241–254.
6. Scikit-image. (n.d.). Segmentation — Image analysis in Python. [Electronic resources] URL: https://scikit-image.org/skimage-tutorials/lectures/4_segmentation.html (date of access: 15.12.2024)
7. Verbesselt J., Hyndman R. J., Newnham G., Culvenor D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. Remote Sensing of Environment, 114(1). P. 106–115. https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.014
8. Miller L., Pelletier C., Webb G. I. (2024). Deep learning for satellite image time series analysis: A review. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.03936
9. Mukhamediev R. I., Terekhov A., Amirgaliyev Y., Popova Y., Malakhov D., Kuchin Y., Sagatdinova G., Symagulov A., Muhamedijeva E., Gricenko P. (2024). Using pseudo-color maps and machine learning methods to estimate long-term salinity of soils. Agronomy, 14, 2103. https://doi.org/10.3390/agronomy14092103
10. Matheron G. (1963). Principles of geostatistics. Economic Geology, 58(8), 1246–1266.
11. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X., Ferreira L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83(1–2), 195–213.
12. OneSoil Yield. (n.d.). Example of NDVI image. [Electronic resources] URL:https://app.yield.onesoil.ai/ (date of access: 20.08.2024)
13. Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Merzlyak M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment, 58(3), 289–298.
14. Lymburner L., Beggs P. J., Jacobson C. R. (2000). Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66(2), 183–191.
15. Copernicus Data Space Ecosystem, [Electronic resources] URL: https://dataspace.copernicus.eu/ (date of access: 20.08.2024)

ДӘЛДІ ШАРУАШЫЛЫҚТА ДАЛА БЕЙНЕСІН СЕГМЕНТТЕУ

Кирилл С. Гаринских[1], Алпамыс Г. Карыпов[1], Адилхан Сымағұлов[1], Ян И. Кучин [1,2], Алексей Г. Терехов [1,2] т.ғ.к., Равиль И. Мұхамедиев [1,2] и.ғ.д., Надия Р. Юничева[*2,3] т.ғ.к , Нурсултан Е. Көлдеев[1], Рат Ш. Бердібаев[1] п.ғ.к

[1] Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан; mlkirillg@gmail.com, karypov1@gmail.com, a.symagulov@satbayev.university, ykuchin@mail.ru, aterekhov1@yandex.ru, ravil.muhamedyev@gmail.com, naduni@mail.ru, kuldeevnursultan129@gmail.com, r.berdybaev@aues.kz
[2] ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан; ykuchin@mail.ru, aterekhov1@yandex.ru, ravil.muhamedyev@gmail.com
[3] Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан; naduni@mail.ru, r.berdybaev@aues.kz
*Автор корреспондент: Надия Р. Юничева, naduni@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

нақты ауыл шаруашылығы,
сегменттеу,
NDVI,
дрондар,
қашықтықтан зондтау.

АБСТРАКТ

Дәл егіншілік әдістері егістік алқаптардың әртүрлі учаскелеріндегі өсімдіктердің өсу процестеріндегі нәзік айырмашылықтарды ескеруді талап етеді. Өрістің рельефіндегі, оны сумен қамтамасыз етудегі, қарашірік қабатының қуаттылығындағы және т.б. айырмашылықтар әртүрлі қарқындылықтағы агротехникалық операцияларды қолдану үшін егістікті саралау қажеттілігін тудырады, нәтижесінде өнімділіктің жоғарылауына және дақылдардың өзіндік құнының төмендеуіне әкеледі. Өріс ішіндегі егістік жерлердің рейтингі әдетте қашықтықтан зондтау деректерін сегменттеу арқылы жүзеге асырылады. Сегменттеу жүйесін құру үшін өрістерді мерзімді қашықтықтан және жердегі Бақылау, алынған ақпаратты георефереңттеу арқылы жинау және өңдеу қажет. Осы мақсаттар үшін спутниктік қашықтықтан зондтау жүйелерін де, ұшқышсыз да қолдануға болады ұшу платформалары (ұшу аппараттары). Алынған ақпараттың көлемі, әсіресе БЛП қолданған кезде

Мақала жайында:
Жіберілді: 21.01.2025
Қайта қаралды: 22.12.2025
Қабылданды: 23.12.2025
Жарияланды: 30.12.2025

өте маңызды, ал өңдеудің жеделдігіне қойылатын талаптар Жоғары. Осыған байланысты алынған кескіндерді жүйелеу мен өңдеудің тиімді әдістері өзекті болып табылады, олар өте жылдам сегменттеу алгоритмдеріне сүйенеді. Бұл жұмыста нақты егіншілік контурындағы агротехникалық іс-шаралардың экономикалық көрсеткіштерін арттыруға мүмкіндік беретін әртүрлі қашықтықтан зондтау жүйелерінен кескіндерді сегменттеу әдістері қарастырылған. Жеке немесе нақты егіншілік процестерін қолдаудың ақпараттық жүйесінің бөлігі ретінде пайдалануға болатын шекті сегменттеу бағдарламасының мысалы келтірілген. Жұмыста оны NDVI индексінің мәні бойынша өрістің спутниктік кескіндерін сегменттеу үшін қолдану нәтижелері келтірілген. Жүргізілген талдау және осы сегменттеу бойынша әзірленген ұсынымдар экологиялық бұзылулардың, ауа-райының күрт өзгеруіне және өңделетін егістіктердің рельефінің айырмашылығына байланысты егіннің жоғалуын болдырмауға ықпал етеді.

FIELD IMAGE SEGMENTATION IN PRECISION AGRICULTURE

Kirill Garinskikh[1], Alpamys Karypov[1], Adilkhan Symagulov[1], Yan Kuchin [1,2], Alexey Terekhov [1,2] Candidate of technical science, Ravil Mukhamediev [1,2] Doctor of engineering science, Nadiya Yunicheva [2,3*] Candidate of technical science, Nursultan Kuldeev[1], Rat Berdibaev[1] Candidate of pol.science

[1] Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan; mlkirillg@gmail.com, karypov1@gmail.com, a.symagulov@satbayev.university, ykuchin@mail.ru, aterekhov1@yandex.ru, ravil.muhamedyev@gmail.com, naduni@mail.ru, kuldeevnursultan129@gmail.com, r.berdybaev@aues.kz
[2] Institute of Information and Computing Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan; ykuchin@mail.ru, aterekhov1@yandex.ru, ravil.muhamedyev@gmail.com
[3] Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan; naduni@mail.ru, r.berdybaev@aues.kz
*Corresponding author: Nadiya Yunicheva, naduni@mail.ru

KEY WORDS

precision agriculture,
segmentation,
NDVI,
drones,
remote sensing.

ABSTRACT

Precision farming methods require consideration of subtle differences in plant growth processes in different areas of cultivated arable land. Differences in the relief of the field, its water supply, the thickness of the humus layer, etc. cause the need to rank the arable land for the application of agrotechnical operations of different intensities, which ultimately leads to higher yields and lower costs of agricultural crops. The ranking of arable land within a field is usually accomplished by segmentation of remotely sensed data. The creation of a segmentation system requires periodic remote and ground monitoring of fields, collection and processing of the received information with its geographical reference. Both satellite remote sensing systems and unmanned aerial platforms (UAPs) can be used for this purpose. The volume of information received, especially when using UAVs, is very significant, and the requirements for the speed of processing are high. In this regard, efficient methods of systematization and processing of the received images, which rely on sufficiently fast segmentation algorithms, are relevant. This paper considers methods of image segmentation from various remote sensing systems, which allow to increase the economic performance of agronomic measures in the precision farming loop. An example of a threshold segmentation program is given, which can be used separately or as part of an information system to support precision farming processes. The paper presents the results of its application for segmentation of satellite images of a field by NDVI index value. The conducted analysis and recommendations on the segmentation data will contribute to the prevention of environmental violations, yield losses due to sudden changes in weather conditions and differences in the relief of cultivated arable land.

About article:
Received: 21.01.2025
Revised: 22.12.2025
Accepted: 23.12.2025
Published: 30.12.2025

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

Обзорная статья

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ ТБО В КАРАГАНДЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Сагыныш Куанышева[1], Адиль Шаяхметов

[1] Miras International School, Астана, Казахстан; (СК)
[2] Школа исследований и проектов “ODEP Lab”, Астана, Казахстан; adil200431@gmail.com (АШ)
*Автор корреспондент: Адиль Шаяхметов, adil200431@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

управление отходами,
ТБО,
Караганда,
раздельный сбор,
экологическое просвещение,
waste-to-energy,
международный опыт,
свалки,
переработка мусора,
устойчивое развитие

АБСТРАКТ

В исследовании рассматривается проблема сбора и утилизации твёрдых бытовых отходов в городе Караганда, Казахстан. Целью работы является выявление ключевых барьеров в управлении отходами и разработка рекомендаций на основе международного опыта. Методологическая база включает качественный анализ документов, интервью с представителями государственных и частных структур, а также сопоставление локальных практик с зарубежными кейсами. В результате установлено, что основными препятствиями являются недостаточная сортировка мусора, нехватка инфраструктуры и слабая экологическая осведомлённость населения. Представлены рекомендации по внедрению системы раздельного сбора, экологическому просвещению и использованию технологии waste-to-energy. Исследование может быть полезно для муниципальных органов, экологических организаций и научного сообщества.

О статье;
Получена: 08.10.2024
Проверена: 30.12.2024
Принята: 19.12.2025
Опубликована: 30.12.2025

Для цитирования:
Шаяхметов А., Куанышева С. Пространственный анализ управления ТБО в Караганде: проблемы и перспективы // Гидрометеорология и экология, №5 (120), 2025, 91-98

1. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день проблема несанкционированных свалок, скопления твердых бытовых отходов (далее — ТБО) в городах Казахстана, и в частности в Караганде, остается актуальной. Скопление ТБО в больших объемах является причиной загрязнения воздуха и почвы в городе, также она вызывает общественный дискомфорт, портя внешний вид и эстетический облик города. Кроме того, проблема негативно сказывается на развитии туризма и на сохранении биоразнообразия в городе.

В данном исследовании описаны меры, принятые государством для решения проблемы загрязненности города мусором, а также обратная связь (интервью) по этим мерам со стороны экспертов по экологии. Исследование будет полезно для государства, бизнеса и СМИ в общем понимании ситуации с ТБО в г. Караганда.

2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данное исследование основывается на качественном методе анализа, включающем сбор, интерпретацию и сопоставление информации из различных источников. В частности, применялись следующие методы:

1) Контент-анализ научных публикаций, правительственных документов и СМИ по теме ТБО в Караганде и Казахстане;

2) Полуструктурированные интервью с представителями государственных органов (Департамент экологии Карагандинской области) и частного сектора (компания ВСК), проведённые с использованием заранее подготовленного перечня вопросов;

3) Кейс-стади (case study) по городу Караганда как фокусная точка исследования, позволяющая глубоко проанализировать проблему ТБО на локальном уровне;

4) Сравнительный анализ международных практик обращения с ТБО (Швеция, Бразилия, Китай) и их сопоставление с текущей ситуацией в Казахстане.

Инструментами анализа служила мануальная кодировка ответов из интервью по тематическим категориям. Программное обеспечение не использовалось, так как объём данных был ограничен и позволял ручную обработку.

Исследование не включает количественный социологический опрос, но опирается на данные предыдущих опросов [1] и предлагает провести повторное анкетирование в будущем с расширенной выборкой.

Ограничения исследования:

1) Локальная направленность: исследование охватывает исключительно город Караганда, и результаты не могут быть напрямую экстраполированы на другие регионы Казахстана.

2) Отсутствие количественных данных: в исследовании не использовались оригинальные статистические методы или репрезентативные опросы населения.

3) Ограниченное число интервью: выводы основываются на мнениях двух организаций и могут не полностью отражать мнение всего сектора управления отходами.

4) Временные рамки: данные актуальны на 2023...2024 годы, и последующие изменения в экологической политике могут повлиять на релевантность выводов.

Указанные ограничения не умаляют значимости исследования, но задают рамки его интерпретации и указывают направления для будущей работы.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В силу специфического характера темы, научной литературы по ней мало. В отдельных небольших работах [2] вкратце рассказано о том, кто занимается вопросами сбора ТБО (а именно – ТОО “ГорКомТранс”), однако не приводятся как результаты декларируемых мер, так и мнение жителей города насчет проводимых работ.

Общий обзор по проблемам ТБО в Карагандинской области, сделанный Байбатшаевым А. Н. [3], синтезировал, что, хоть и услугами по вывозу ТБО обеспечены 74% населения Карагандинской области, и что на полигонах в стране накопилось 43 млрд тонн мусора, только 10% подлежит вторичной обработке. Более того, как было показано, 82% полигонов и мусорных свалок не соответствуют экологическим и санитарным нормам. Данная информация полезна в том отношении, что позволяет понять серьезность и масштаб проблемы, тем не менее, автором не был представлен взгляд тех специалистов и органов, которые занимаются вопросами ТБО, и поэтому исследование вышло односторонним, с исключительно негативной окраской проблемы. Однако в сравнении с другими авторами, приведены результаты мер за несколько лет.

Стоит также отметить социологический опрос по оценке экологической ситуации в городе Караганда, проведенный в 2016 году [1]. Это исследование полезно тем, что авторы обращаются непосредственно к жителям города, получая от них рефлексию по проводимым экологическим работам. Однако, во-первых, подобные мероприятия должны проводиться регулярно для обеспечения воспроизводимости результатов исследования и, во-вторых, для качественного социологического опроса выборка (212 человек в 2016 году) должна быть шире, приблизительно 1000 человек соответственно “золотому стандарту” социологических опросов.

Тема, поскольку она связана с ежедневной практикой, часто освещается в СМИ [4]. Они полезны тем, что отражают настроение населения, однако не включают в себя решение проблемы, а также критического анализа ситуации. В данном исследовании, учитывая опыт предыдущих ученых и СМИ, будет, наряду с анализом проблемы и ее решения, дана также обратная связь от представителей исполнительных органов по мероприятиям, проводимых по сбору ТБО. Вдобавок ко всему, учитывая успешный опыт развитых зарубежных государств, будут предложены новые мероприятия и методы для решения проблемы утилизации мусора.

Текущая ситуация по ТБО в Караганде

Для утилизации отходов используется несколько методов. Сперва коммунальные отходы сортируются на влажные и сухие. Сухой мусор передается организациям, которые его перерабатывают. По данным департамента экологии Карагандинской области, около 70% мусора сжигается, что, по мнению специалистов, связано с нехваткой сортировки и отсутствием переработки. Также отмечена нехватка полигонов как ключевая причина образования несанкционированных свалок. Для решения этой проблемы разрабатывается система раздельного сбора и планируется строительство новых полигонов в пяти районах области. Проверки по нарушению норм экологической безопасности осуществляет Национальная гидрометеорологическая служба Казахстана (далее – Казгидромет). Если по результатам проверки наблюдаются превышения нормы каких-либо показателей, департамент экологии также проверяет организации, чтобы понять, какая, например, сбрасывает мусор в реки.

Для выявления несанкционированных свалок создается группа из представителей областного акимата, департамента экологии и полиции, которая еженедельно проводит рейды. При нахождении несанкционированной свалки ликвидацией занимается акимат. Так, например, в 2023 году акиматом Карагандинской области было ликвидировано 137 несанкционированных свалок из 141 выявленной [5].

По данным департамента экологии, решающим фактором в образовании свалок является нехватка полигонов для ТБО. В этой связи для решения проблемы на средства государственного бюджета в настоящее время открываются новые полигоны в сельских округах Топар, Приозерск, Нура, в городе Балхаш и в Бухар-Жырауском районе Карагандинской области.

Кроме появления несанкционированных свалок, существует проблема скопления мусора в таких зонах отдыха, как Федоровское водохранилище, или на берегу реки Букпа. Для ликвидации мусора в зонах отдыха департамент экологии проводит субботники и информирует население через соцсети и местные СМИ. По мнению компании ВСК, субботники являются эффективным инструментом борьбы с мусором и несут просветительскую функцию. Однако при отсутствии системной работы по изменению поведенческих моделей населения их эффект носит краткосрочный характер. Регулярное повторение загрязнений в одних и тех же зонах, таких как Федоровское водохранилище, свидетельствует о необходимости перехода от символических акций к устойчивым просветительским и инфраструктурным решениям. Более того, как заявляет компания ВСК, главная трудность, с которой они сталкиваются, есть недостаточная информированность населения по разделению отходов. Например, зачастую в сетчатых контейнерах для вторсырья, ВСК находит пакеты с бытовым мусором, а неправильно припаркованные машины препятствуют опорожнению сетчатых контейнеров для вторсырья, которые установлены на мусорных площадках. Эти факты свидетельствуют о проблемах в области пропаганды экологической культуры. Также в исследованиях и СМИ часто упоминается проблема загрязнения почвы, где находятся несанкционированные свалки, данная проблема решается выявлением предприятия, которое устроило свалку, далее же это предприятие должно заниматься рекультивацией земли.

Регулярные рейды и субботники, организуемые департаментом экологии и акиматом, призваны сократить количество несанкционированных свалок, особенно в зонах отдыха. Однако, несмотря на их частоту, проблема остается актуальной. Это свидетельствует о недостаточной эффективности текущих мер и указывает на необходимость системных изменений: повышения уровня экологической культуры, установки контейнеров и ужесточения контроля. Например, субботники у Федоровского водохранилища не приводят к долгосрочному улучшению, так как не подкреплены образовательной и инфраструктурной базой.

Основной нерешённой проблемой остаются строительные отходы. Их объёмы растут, но инфраструктура переработки слабо развита. Исследования [6] предлагают внедрение экономики замкнутого цикла, что требует поддержки со стороны местных властей и бизнеса.

Для улучшения системы сбора мусора акиматом Карагандинской области разрабатывается программа по раздельному накоплению, то есть будут поставлены 3 отдельных контейнера для пластика, бумаги и стекла, чтобы было легче перерабатывать отходы во вторсырье. Также сейчас реализуется инвестиционный проект по строительству мусоросжигающего завода.

Также, трудностью в решении проблемы утилизации ТБО департамент экологии назвал контроль предпринимателей в переработке ТБО. Причиной проблемы постоянного скопления мусора департамент экологии назвал отсутствие экологической культуры. Несмотря на это, учитывая показанный выше низкий уровень информирования населения, стоит отметить, что у людей есть интерес в получении экологических знаний, однако методы просвещения, используемые департаментом экологии не так эффективны, как хотелось бы.

Компанией ВСК установлены контейнеры для раздельного сбора пластикового мусора. За выброс мусора в неположенном месте применяются штрафы юридическим лицам. Как заявляет департамент экологии, планируется вводить штрафы за выброс мусора в неположенном месте физическим лицам. Акиматом области разрабатывается программа для установки контейнеров для отдельного сбора пластикового, бумажного и стеклянного мусора.

Международная практика в сборе и утилизации ТБО

Многие современные технологии утилизации отходов в Казахстане на 2024 год находятся на стадии разработки. Например, строительство заводов по технологии waste-to-energy, раздельный сбор и переработка мусора.

Для успешной разработки экологических решений можно обратиться к международной практике. Один из способов решения проблемы – образование. Например, Институтом глобальных экологических стратегий и Программой ООН по окружающей среде разработана серия планов уроков для учителей начальных школ Камбоджи, которые желают включить в свои учебные программы экологическое образование и управление отходами. Ученики могут взять уроки о сокращении отходов, разделении отходов, переработке и компостировании и применять их у себя дома [7]. В Казахстане такие программы, в основном, не применяются в школах. Экологическим обучением занимаются экологические организации и тренеры, однако отдельная образовательная программа по экологии в школах не введена.

Другой важный метод решения проблемы – соблюдение “иерархии отходов”. Соблюдая иерархию отходов, можно предпринять наиболее экологически правильные шаги, снизив количество отходов, отправляемых на полигоны. Агентство по охране окружающей среды США разработало следующую иерархию управления ТБО [8]:

1) Предотвращение появления новых отходов (reduce) и повторное использование предметов (reuse);
2) Переработка (recycle) и компостирование
3) Получение энергии с отходов (energy recovery);
4) Отправление отходов на полигоны (treatment and disposal).

В иерархии, согласно, например, шведским и европейским законодательствам, предотвращение появления новых отходов является важнейшей ступенью. В Швеции, в обязанности всех муниципалитетов входит разработка плана по утилизации отходов, включая предотвращение отходов. С 2020 года все муниципалитеты стали обязанными предоставлять домохозяйствам информацию о мерах предотвращения отходов. Шведская компания Avfall Sverige, являющаяся координатором по управлению ТБО в Швеции, ведет профилактическую работу по предотвращению отходов, например,

информируя население о “невидимых отходах”. “Невидимые отходы” – это отходы, которые возникают в процессе производства. Например, при производстве мобильного телефона, который весит около 200 грамм, образуется 86 килограмм отходов. Приняв меры по предотвращению отходов до стадии производства, можно прийти к значимым экологическим выгодам. Компанией Avfall Sverige уже разработаны и доступны материалы для информирования о невидимых отходах [9].

Одна из успешных практик по переработке органических отходов реализуется с 2015 года в городе Сан-Паулу, Бразилия. В городе действует эффективная и недорогая технология местного компостирования. Каждый день, до 100 тонн органических отходов с местных рынков отправляются в 5 городских предприятия. Переработанные отходы используются в качестве компоста для озеленения общественных мест, городских садов, повышая здоровье растений и урожайность. Проект начал реализовываться с района Лапа, в котором с 26 рынков компостировали 170 тонн органических отходов в год. Экологическое обучение играло важную роль в данном проекте. Городское правительство, сотрудничая с местными клининговыми компаниями проводили тренинги для продавцов о том, как правильно разделять отходы. Продавцам выдаются специальные мешки для утилизации органических отходов, который собираются клининговой компанией после того, как рынок закрывается. Благодаря мешкам, прилавки и прилегающая территория содержится в чистоте. Также, предприятия по компостирования открыты для посетителей, что дает возможность информировать местных жителей о пользе и процессе компостирования. В рамках проекта, за 2020 год было компостировано 10 000 тонн отходов, а с начала 2015 года - 20 000 тонн. Это позволило сократить выбросы углекислого газа на 14 176 тонн [8].

Успешный опыт города Сан-Паулу в переработке органических отходов демонстрирует потенциал низкозатратных локальных решений, сочетающих технологию и участие населения. Для Караганды, где 70% мусора сжигается, применение подобных практик может сократить нагрузку на полигоны и улучшить экологическую ситуацию. Тем более, что существующая система сжигания не включает энергогенерацию, в отличие от примера Вэньчжоу в Китае. Это указывает на неиспользуемый потенциал технологии waste-to-energy, адаптированной к региональным условиям.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из всего вышесказанного, мы можем перечислить следующие проблемы с ситуацией по ТБО в Караганде и предложить следующие меры для их решения. Ключевые проблемы остаются прежними: преобладание сжигания отходов, слабая сортировка и устаревшая инфраструктура. Также актуальны слова акима города, проверяемые ежедневной практикой: “проблема своевременного вывоза твердых бытовых отходов все еще не решена. К тому же повсеместно стоят старые разбитые контейнеры и не очищается от мусора санитарная территория вокруг баков” [10]. Во-вторых, проанализировав исследования и документы о реализуемых практиках по управлению ТБО, важно отметить, что перед реализацией и во время реализации всех практик, местные правительства и компании уделяли особое внимание информированию населения. Так как по словам государственного экологического инспектора по Карагандинской области Б. А., о том, что на данный момент разрабатывается проект по управлению коммунальными отходами, по результату которого будут установлены контейнеры для раздельного сбора бумаги, пластика и стекла, важно учесть слова пресс-службы компании по сбору вторсырья «ВСК» о недостаточной информированности населения по разделению отходов: “Недостаточная информированность населения по разделению отходов, зачастую в сетчатых контейнерах для вторсырья, находим пакеты с бытовым мусором. Также часто сталкиваемся с проблемой, когда неправильно припаркованные машины препятствуют опорожнению сетчатых контейнеров для вторсырья, которые установлены на мусорных площадках. На основе полученного ответа, следует усилить меры по информированию общественности.

Содействие в решении проблемы должно исходить как со стороны соответствующих органов, так и со стороны научного сообщества.

На основе проведённого исследования и анализа текущей ситуации в сфере управления ТБО в Караганде можно выделить следующие направления для совершенствования экологической политики и практики.

1. Актуализация социологических данных.

Со времени последнего опроса [1] в городе произошли значительные изменения, включая новые инициативы и инфраструктурные проекты. Для объективной оценки эффективности этих мер необходимо проведение нового социологического исследования с расширенной выборкой (не менее 1000 человек) и охватом различных районов города (центр, Майкудук, Юго-Восток и др.). Такой шаг позволит выявить текущий уровень экологической осведомлённости и сформировать адресные просветительские программы.

2. Развитие партнёрств с локальными инициативами.

Учитывая выявленную проблему низкой информированности населения, департаменту экологии следует наладить сотрудничество с местными урбанистическими и медийными платформами, например, с инициативой *@urban.karaganda*. Их охват и опыт в коммуникации с населением могут значительно повысить эффективность информационных кампаний. Потенциальный барьер — низкая вовлечённость чиновников в неформальные коллаборации — может быть преодолён через пилотные кампании и отчётную интеграцию в официальные инициативы.

3. Исследование объёмов и состава ТБО.

Как показала практика в Астане [11], детализированное исследование морфологии отходов позволяет проектировать реалистичные и экономически обоснованные системы обращения с ТБО. В Караганде такое исследование пока не проводилось. Его реализация поможет уточнить долю пищевых, строительных и пластиковых отходов, а также понять, какие категории мусора требуют первоочередной переработки. Потенциальным ограничением выступает нехватка местных исследовательских мощностей — решение заключается в привлечении студентов и исследователей из вузов города.

4. Внедрение технологии waste-to-energy.

Учитывая, что около 70% отходов в Карагандинской области сжигается без рекуперации энергии, строительство завода по технологии waste-to-energy (WTE) представляется обоснованной мерой. Это позволит не только уменьшить нагрузку на полигоны, но и создать дополнительные рабочие места и энергоисточники для домохозяйств. Возможные барьеры включают высокие капитальные затраты и отсутствие специализированных кадров. Их преодоление возможно через государственно-частное партнёрство и импорт международного опыта.

5. Соблюдение иерархии управления отходами.

Важно структурировать все мероприятия по ТБО в соответствии с иерархией: предотвращение, повторное использование, переработка, утилизация. В частности, необходимо разработать школьную образовательную программу по экологической культуре, включая темы предотвращения отходов, сортировки и повторного использования. Среди взрослого населения можно применять цифровые платформы и соцсети для просвещения и распространения информации. Барьером здесь может стать слабая интеграция экопросвещения в школьные стандарты — решение возможно через пилотные курсы, разработанные совместно с МОН РК.

6. Создание регионального проекта по компостированию.

Успешный опыт Сан-Паулу показал, что компостирование органических отходов при участии рынка и горожан снижает выбросы и сокращает объёмы захоронения. В Караганде целесообразно запустить аналогичный проект на базе городских рынков или зелёных зон. Для этого потребуется выработка логистической модели сбора и переработки органических отходов, а также информационная поддержка со стороны местных властей. Потенциальные сложности — сопротивление со стороны бизнеса и

населения — могут быть смягчены через систему поощрений и информационных кампаний.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация - АШ; подготовка и редактирование текста – СК, АШ; проведение исследования – СК; разработка методологии - АШ; проведение исследований и статистического анализа – АШ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чергизова Б. Т., Гергелюк А., Искакова А., Кремляков Н. Оценка экологической ситуации города Караганды по результатам социологического опроса // Декада экологии. – 2016. – С. 121–125.
2. Оспанова Г. К., Мырзабек А. М. Мероприятия по утилизации ТБО на примере города Караганда // Экологические проблемы региона и пути их разрешения. – 2019. – С. 58–60.
3. Байбатшаев А. Н. Текущая ситуация с управлением ТБО в Казахстане и в частности в Карагандинской области // Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения. – 2021. – С. 277–281.
4. Ныгметжан А. Окраины Караганды превратились в стихийные мусорные полигоны (2024). [Электронный ресурс]. URL: https://ekaraganda.kz/?mod=news_read&id=139193 (дата обращения: 04.06.2025).
5. Акимат Карагандинской области. 137 стихийных свалок ликвидировали за этот год в Караганде (2023). [Электронный ресурс]. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/karaganda/press/news/details/678176?lang=ru (дата обращения: 04.06.2025).
6. Karaca F., Tleuken A. (2023). Reforming Construction Waste Management for Circular Economy in Kazakhstan: A Cost–Benefit Analysis of Upgrading Construction and Demolition Waste Recycling Centres. Recycling. Vol. 9, №1. P. 2. DOI: 10.3390/recycling9010002.
7. Yagasa R. (2019). Ecology Note – Towards a Clean, Green and Beautiful Capital City. Institute for Global Environmental Strategies.
8. United States Environmental Protection Agency. (2020). Best practices for solid waste management: A guide for decision-makers in developing countries. [Электронный ресурс]. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/master_swmg_10-20-20_0.pdf (дата обращения: 04.06.2025).
9. Avfall Sverige. Swedish Waste Management. (2022). [Электронный ресурс]. URL: https://www.avfallsverige.se/media/lbdg3vcp/svensk_avfallshantering_2022_en.pdf (дата обращения: 04.06.2025).
10. Сбродова С. Аким Караганды намерен решить проблему своевременного вывоза мусора (2023). [Электронный ресурс].URL: https://inkaraganda.kz/main_news/akim-karagandy-nameren-reshit-problemu-svoevremennogo-vyvoza-musora/ (дата обращения: 04.06.2025).
11. Abylkhani B., Guney M., Aiymbetov B. (2021). Detailed municipal solid waste composition analysis for Nur-Sultan City, Kazakhstan with implications for sustainable waste management in Central Asia. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 28. P. 24406–24418. DOI: 10.1007/s11356-020-08431-x

REFERENCES

1 CHergizova B. T., Gergelyuk A., Iskakova A., Kremlyakov N. (2016). Ocenka ekologicheskoj situacii goroda Karagandy po rezul'tatam sociologicheskogo oprosa [Assessment of the environmental situation in Karaganda based on the results of a sociological survey]. Dekada ekologii. P. 121–125 [in Russian]
2 Ospanova G. K., Myrzabek A. M. (2019). Meropriyatiya po utilizacii TBO na primere goroda Karaganda [Solid waste disposal measures in the city of Karaganda]. Ekologicheskie problemy regiona i puti ih razresheniya. P. 58–60 [in Russian]
3 Bajbatshaev A. N. (2021). Tekushchaya situaciya s upravleniem TBO v Kazahstane i v chastnosti v Karagandinskoj oblasti [The current situation with solid waste management in Kazakhstan, particularly in the Karaganda region]. Aktual'nye problemy transporta i energetiki: puti ih innovacionnogo resheniya. P. 277–281 [in Russian]
4 Nygmetzhan A. Okrainy Karagandy prevratilis' v stihijnye musornye poligony [The outskirts of Karaganda have turned into spontaneous garbage dumps]. (2024). [Electronic resource]. URL: https://ekaraganda.kz/?mod=news_read&id=139193 (date of access: 04.06.2025) [in Russian]
5 Akimat Karagandinskoj oblasti. 137 stihijnyh svalok likvidirovali za etot god v Karagande [Karaganda Region Akimat. 137 illegal dumpsites have been eliminated in Karaganda this year]. (2023). [Electronic resource]. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/karaganda/press/news/details/678176?lang=ru (date of access: 04.06.2025) [in Russian]
6 Karaca F., Tleuken A. (2023). Reforming Construction Waste Management for Circular Economy in Kazakhstan: A Cost–Benefit Analysis of Upgrading Construction and Demolition Waste Recycling Centres. Recycling. Vol. 9, №1. P. 2. DOI: 10.3390/recycling9010002.
7 Yagasa R. (2019). Ecology Note – Towards a Clean, Green and Beautiful Capital City. Institute for Global Environmental Strategies.
8 United States Environmental Protection Agency. (2020). Best practices for solid waste management: A guide for decision-makers in developing countries. [Electronic resource]. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/master_swmg_10-20-20_0.pdf (date of access: 04.06.2025).
9 Avfall Sverige. Swedish Waste Management. (2022). [Electronic resource]. URL: https://www.avfallsverige.se/media/lbdg3vcp/svensk_avfallshantering_2022_en.pdf (date of access: 04.06.2025).
10 Sbrodova S. Akim Karagandy nameren reshit' problemu svoevremennogo vyvoza musora [Karaganda mayor intends to resolve the issue of timely waste collection]. (2023). [Electronic resource].URL: https://inkaraganda.kz/main_news/akim-karagandy-nameren-reshit-problemu-svoevremennogo-vyvoza-musora/ (date of access: 04.06.2025) [in Russian]
11 Abylkhani B., Guney M., Aiymbetov B. (2021). Detailed municipal solid waste composition analysis for Nur-Sultan City, Kazakhstan with implications for sustainable waste management in Central Asia. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 28. P. 24406–24418. DOI: 10.1007/s11356-020-08431-x

ҚАРАҒАНДЫДАҒЫ ҚАТТЫ ТҰРМЫСТЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ БАСҚАРУДЫҢ КЕҢІСТІКТІК ТАЛДАУЫ: МӘСЕЛЕЛЕРІ МЕН БОЛАШАҒЫ

Сағыныш Қуанышева, Әділ Шаяхметов

[1] Miras International School, Астана, Қазақстан;
[2] ODEP Lab зерттеу мен жобалар мектебі, Астана, Қазақстан; adil200431@gmail.com
*Автор корреспондент: Адиль Шаяхметов, adil200431@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

қатты тұрмыстық қалдықтар,
органикалық қалдықтарды компосттау,
қалдықтарды энергияға қалдыру,
қалдықтарды басқарудың заманауи технологиялары,
қалдықтарды жинау және кәдеге жарату

Мақала жайында:
Жіберілді: 08.10.2024
Қайта қаралды: 30.12.2024
Қабылданды: 19.12.2025
Жарияланды:30.12.2025

АБСТРАКТ

Зерттеуде Қазақстан, Қарағанды қаласында қатты тұрмыстық қалдықтарды жинау және кәдеге жарату мәселесі қарастырылады. Жұмыстың мақсаты қалдықтарды басқарудағы негізгі кедергілерді анықтау және халықаралық тәжірибе негізінде ұсыныстар әзірлеу болып табылады. Әдістемелік база құжаттарды сапалы талдауды, мемлекеттік және жеке құрылымдардың өкілдерімен сұхбаттарды, сондай-ақ жергілікті тәжірибелерді шетелдік жағдайлармен салыстыруды қамтиды. Нәтижесінде қоқыстарды сұрыптаудың жеткіліксіздігі, инфрақұрылымның жетіспеушілігі және халықтың экологиялық хабардарлығының төмендігі негізгі кедергілер болып табылады. Бөлек жинау жүйесін енгізу, экологиялық білім беру және waste-to-energy технологиясын пайдалану бойынша ұсыныстар берілген. Зерттеу муниципалды органдарға, экологиялық ұйымдарға және ғылыми қоғамдастыққа пайдалы болуы мүмкін.

SPATIAL ANALYSIS OF SOLID WASTE MANAGEMENT IN KARAGANDA: PROBLEMS AND PROSPECTS

Sagynysh Kuanysheva, Adil Shayakhmetov

[1] Miras International School, Astana, Kazakhstan;
[2] ODEP Lab School of Research and Projects, Astana, Kazakhstan; adil200431@gmail.com
*Corresponding author: Adil Shayakhmetov, adil200431@gmail.com

KEY WORDS

solid household waste,
composting of organic waste,
waste-to-energy,
modern waste management technologies,
waste collection and disposal

About article:
Received: 08.10.2025
Revised: 30.12.2025
Accepted: 19.12.2025
Published: 30.12.2025

ABSTRACT

The study examines the problem of solid waste collection and disposal in the city of Karaganda, Kazakhstan. The aim of the work is to identify key barriers to waste management and develop recommendations based on international experience. The methodological framework includes qualitative analysis of documents, interviews with representatives of government and private entities, and a comparison of local practices with foreign cases. The study found that the main obstacles are insufficient waste sorting, lack of infrastructure, and low environmental awareness among the population. Recommendations are presented on the implementation of a separate collection system, environmental education, and the use of waste-to-energy technology. The study may be useful for municipal authorities, environmental organizations, and the scientific community.

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

Обзорная статья

ВОЗМОЖНОСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СВОИХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ В РАМКАХ ГЛОБАЛЬНОЙ МЕТАНОВОЙ ИНИЦИАТИВЫ (GMI)

Айман С. Есекина[1], Александр В. Чередниченко[2]*, Зуфар Р. Токпаев[2], Казбек Т. Рысбеков [2], Эльмира М. Ермаханова [2], Дана А. Касенова [2], Саида Г. Абдрахим [2]

[1] НАО «Международный центр зеленых технологий и инвестиционных проектов» Астана, Казахстан ayessekina@gmail.com (ACE)
[2] АО «Жасыл даму» МЭПР РК, Астана, Казахстан; a.cherednichenko@recycle.kz (АВЧ), z.tokpaev@recycle.kz (ЗРТ), k.rysbekov@recycle.kz (КТР), e.yermakhanova@recycle.kz (ЭМЕ), d.kasenova@recycle.kz (ДАК), s.abdrakhim@recycle.kz (СГА)
*Автор корреспондент: Александр В. Чередниченко, a.cherednichenko@recycle.kz

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

метановая инициатива,
международные обязательства,
потенциал сокращения,
категории источников эмиссий,
энергетика,
сельское хозяйство,
отходы,
механизмы сокращения.

АБСТРАКТ

В статье рассматриваются стартовые позиции Республики Казахстан в рамках поддержки Глобальной метановой инициативы, направленной на сокращение выбросов метана как основного парникового газа. Анализируются ключевые источники эмиссий в стране, такие как энергетика, сельское хозяйство и нефтегазовый сектор, показана динамика их изменений за последние 30 лет. Оценены перспективы реализации продолженных проектов по снижению выбросов. Показано, что объем предложенных мер недостаточен для достижения целей инициативы. Подчеркнута необходимость принятия более комплексных и эффективных проектов, включая улучшение регулирования для крупных участников рынка и стимулирование частного сектора.

По статье:
Получено: 18.12.2024
Пересмотрено: 23.12.2025
Принято: 29.12.2024
Опубликовано:30.12.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

В 2023 г. на полях Климатического саммита 28-ой Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата для Республики Казахстан произошло знаменательное событие. Глава государства Касым-Жомарт Кемелевич Токаев выступил с заявлением о присоединении Казахстана к глобальному обязательству по метану [1].

Напомним, что запущенная в 2004 году США Глобальная инициатива по метану является международной государственно-частной инициативой, которая продвигает экономически эффективное краткосрочное снижение выбросов метана и его извлечение, а также использование метана в качестве ценного источника энергии [2]. Обязательства по метану были объявлены в ноябре 2021 г. в Глазго на COP-26. Здесь была объявлена общая цель, которую преследует данная инициатива: сократить глобальные выбросы метана не менее чем на 30% по сравнению с уровнем 2020 года к 2030 году, что должно снизить риски глобального потепления более чем на 0,2˚C к 2050 году [3].

В ряде международных докладов [2, 3] отмечено, что совокупное выполнение целей, прописанных в определяемых на национальном уровне вкладах (ОНУВ), которые являются, по сути, ключевым элементом Парижского соглашения [4], является недостаточным для достижения цели удержания потепления в пределах 1,5...2˚C по сравнению с доиндустриальным уровнем, что очень хорошо демонстрирует рисунок 1.

МРНТИ 37.27.23 https://doi.org/10.54668/2789-6323-2025-120-5-99-113 УДК 504.03, 502.3,504.75,711

Диаграмма 1 показывает, что необходимо усилить меры по снижению эмиссий парниковых газов каждой страной. Однако здесь возникает ряд как технических, так и политических сложностей и рисков. В частности, необходимость выполнения ОНУВ уже является довольно амбициозной целью для каждой из стран [5]. Второе: взятие дополнительных обязательств как механизм возможно, но есть реальные риски их невыполнения. В этом плане сокращение одного из самых распространенных и довольно сильных эмиттеров является логичным шагом для достижения целей Парижского соглашения.

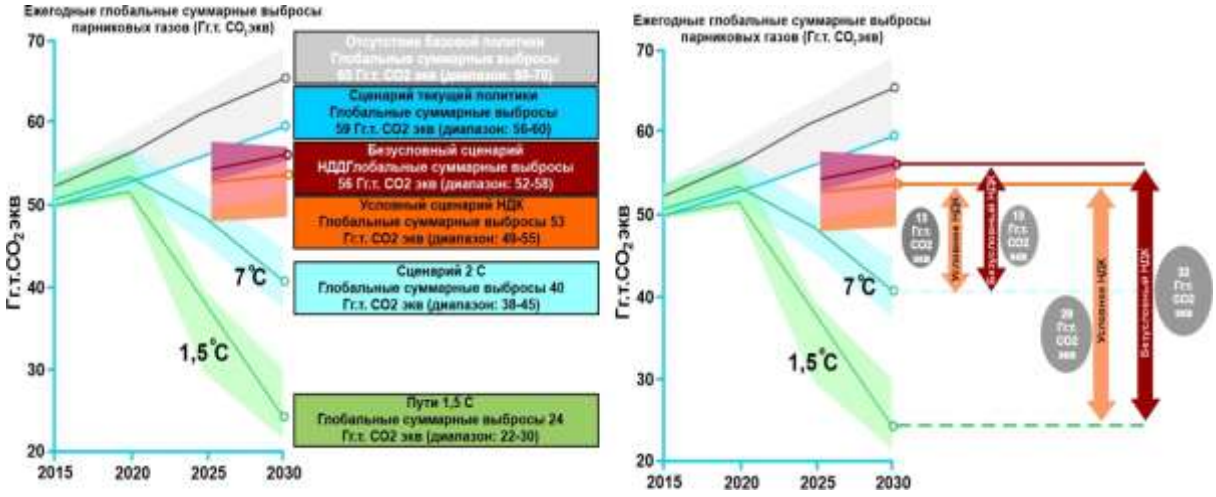


Рисунок 1. *Совокупность всех обязательств по странам в достижении уменьшения глобального потепления [3]*

Для цитирования:
Есекина А.С., Чередниченко А.В., Токпаев З.Р., Рысбеков К.Т., Ермаханова Э.М., Касенова Д.А., Абдрахим С.Г. Возможности Республики Казахстан для выполнения своих обязательств в рамках Глобальной метановой инициативы (GMI)// Гидрометеорология и экология, 120 (5), 2025, 99-113.

Известно, что вклад метана в эффект глобального потепления при столетнем горизонте составляет 17%, однако в перспективе двадцатилетней оценки его роль увеличивается более чем в два раза и составляет 38,6% (рисунок 2). Объясняется это тем, что глобальный потенциал потепления (GWP) для одной тонны метана в настоящее время, установленный в 28 тонн $CO_{2\text{-экв}}$., рассчитан на сто лет. Однако, если рассматривать вклад метана в краткосрочной – двадцатилетней перспективе, то вклад одной тонны составит уже 84 тонны $CO_{2\text{-экв}}$. По этой причине сосредоточение усилий по уменьшению эмиссий метана выглядит перспективно, так как если не будут приняты более жесткие меры по сокращению выбросов метана, то их объем увеличится примерно на 9% относительно ожидаемого уровня 2020 года, что приведет к эмиссиям 10 220 миллионов метрических тонн эквивалента двуокиси углерода [6]. При том, что на долю стран-партнеров GMI приходится около 70% расчетного общемирового объема антропогенных выбросов метана, предлагаемые меры представляются важными при продолжении общей политики борьбы с эмиссиями парниковых газов, предусмотренной в ОНУВ.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе применён комплексный междисциплинарный подход, сочетающий методы анализа климатической политики, экономико-статистические и нормативно-правовые методы и результаты предварительноых прогнозов полученных по модели LEAP.

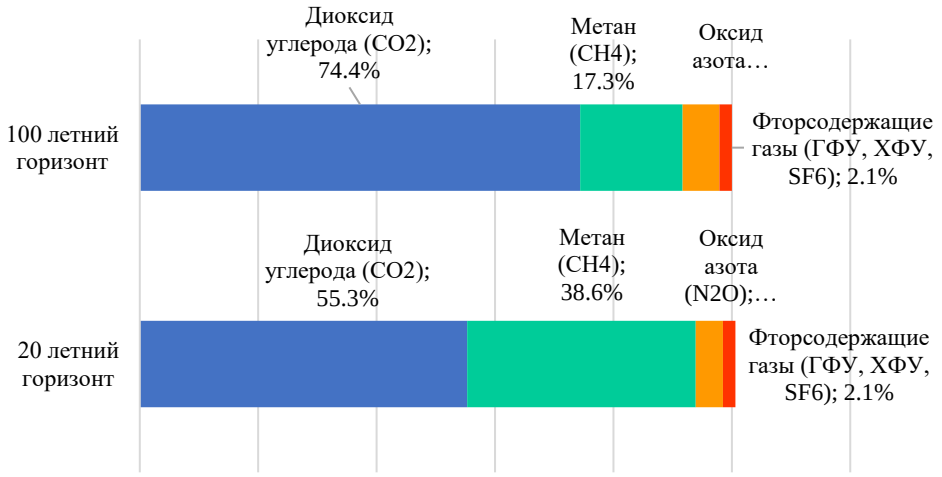


Рисунок 2. *Вклад метана в эффект глобального потепления при 100 летнем и 20 летнем горизонте [6]*

Анализ нормативных и стратегических документов позволил изучеть международные обязательства Республики Казахстан в рамках РКИК ООН, Парижского соглашения и Глобального метанового обязательства, а также национальных документов стратегического планирования, включая ОНУВ 2.0, ОНУВ 3.0 [7] и Стратегии достижения углеродной нейтральности. Анализ выявил степень согласованности национальных целей с международными требованиями и уровень детализации секторальных мер по сокращению выбросов метана.

Сравнительный анализ методик оценки выбросов выполненный на сопоставление применяемых в Казахстане подходов к инвентаризации выбросов метана с международными методическими рекомендациями МГЭИК (IPCC) [*8*], включая использование усреднённых и дифференцированных отраслевых коэффициентов. Это позволило оценить уровень неопределённости в расчётах и выявить методологические ограничения.

Секторальный анализ источников выбросов метана как основа работы основан на источниках выбросов в нефтегазовом и угольном секторах, а также технологические процессы, определяющие их объём и структуру [*9*]. Особое внимание уделено возможностям внедрения инструментального мониторинга и программ обнаружения и устранения утечек (LDAR) [10].

Обобщение и синтез на основе полученных результатов сформулированы выводы о потенциале совершенствования климатической политики Казахстана и роли уточнения отраслевых коэффициентов в повышении достоверности национальной отчётности и эффективности мер по сокращению выбросов метана.

Эмпирической и информационной базой исследования послужили:

Официальные отчёты Республики Казахстан в рамках РКИК ООН и материалы ОНУВ 3.0 [7],

международные методические документы МГЭИК (IPCC) по инвентаризации выбросов парниковых газов/ [7…8];

национальные стратегические и программные документы в сфере климатической и энергетической политики [11];

аналитические и статистические материалы государственных органов и профильных организаций [9];

результаты научных публикаций и экспертных оценок, посвящённых проблематике выбросов метана и развитию систем MRV [12].

Использование указанных методов и материалов обеспечило комплексность анализа и позволило сформировать научно обоснованные выводы и рекомендации, соответствующие целям и задачам настоящего исследования.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем разбираться в необходимости применения тех или иных мер для достижения любых целей по сокращению метана, необходимо определиться с существующими объемами эмиссий метана, которые происходят в Казахстане по отраслям, а также с динамикой выбросов. На диаграмме 3 представлены эмиссии метана по результатам инвентаризации ПГ 2024 г. для Республики Казахстан.

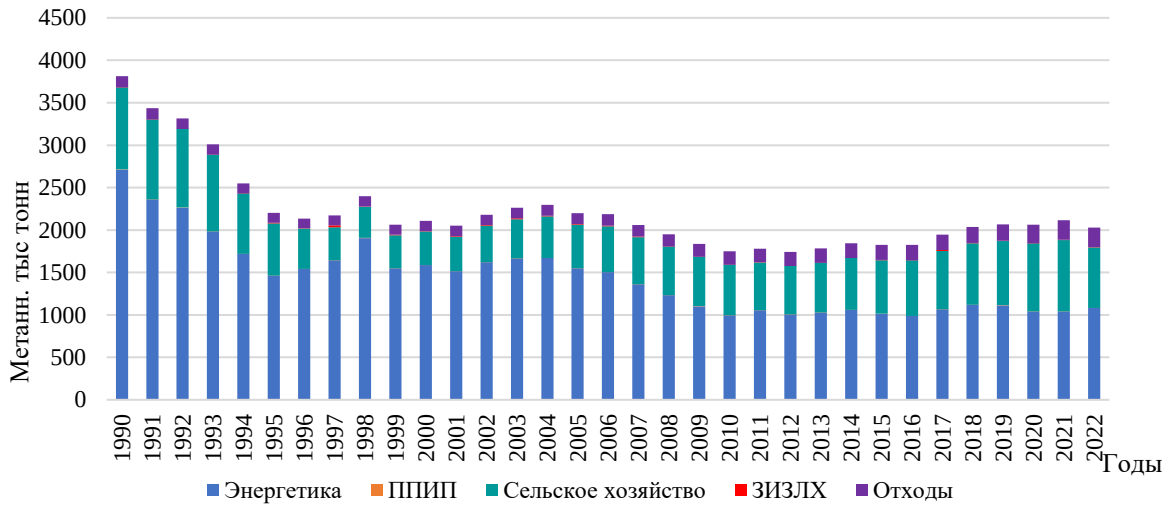


Рисунок 3. *Эмиссии метана по результатам инвентаризации ПГ 2024 г для РК (расчёты выполнены согласно методики МГЭИК 2006 г.)* [13]

Можно видеть, что объемы эмиссий метана в 1990 году составили около 3,8 млн тонн, в то время как в 2022 году они составили уже 2,03 млн тонн. В целом, за тридцатитрехлетний период сокращение составило 1,78 млн тонн, что является очень хорошим результатом, особенно если бы это было осуществлено после 2020 года.

Основные эмиссии метана, порядка 53%, приходятся на энергетический сектор. На сектор «Сельское хозяйство» приходится порядка 35%, и эта категория является второй по значимости в плане вклада в эмиссии метана. На долю отходов приходится в среднем 11%, и это делает ее третьей категорией по значимости вклада в эмиссии метана. Самые незначительные категории — «Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ) и «Промышленные процессы и использование продукции» (ППИП) — вносят вклад менее одного процента: 0,16% и 0,21% соответственно [13].

Представленная диаграмма в целом отлично показывает общую динамику изменения эмиссий метана, однако не показывает детально, какие именно сектора имеют высокие эмиссии и за счет каких подсекторов произошли существенные изменения, достигшие в результате 1,78 млн тонн. В целом, по источникам эмиссий Казахстан особо не отличается от других стран, однако свои особенности у Республики имеются. Для более глубокого анализа воспользуемся структурными диаграммами 4 и 5, которые иллюстрируют, в каких именно подкатегориях произошли сокращения и имеется ли дальнейший потенциал для снижения эмиссий метана в них.

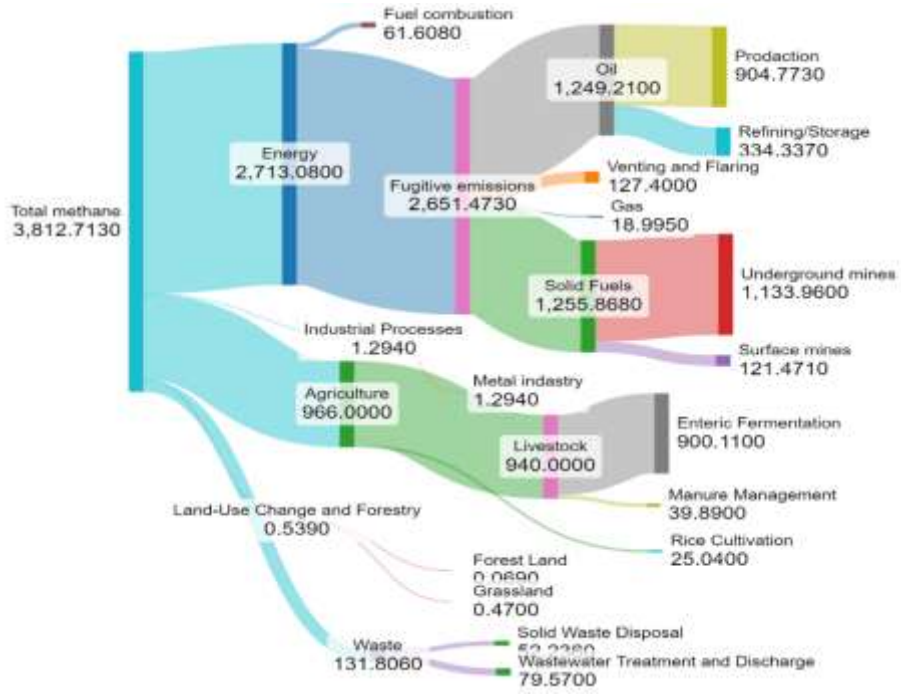


Рисунок 4. *Структура эмиссий метана в 1990 г по результатам инвентаризации 2024 года(расчёты выполнены согласно методики МГЭИК 2006 г.) [13]*

Диаграмма 4 отлично демонстрирует, что на момент 1990 года в Республике имелось два основных источника метана: «Энергетическая деятельность», доля которой составляла 71,2%, и «Сельское хозяйство» с долей 25,3% от общих эмиссий, сектор «Отходы» занимал всего 3,4%. На долю остальных источников приходилось порядка 0,1% от всех эмиссий. Однако, если разбираться детально в структуре представленных эмиссий, то можно видеть, что главными эмиттерами метана в «энергетическом секторе» являлись подсектора «добычи и переработки нефти» с долей 46% и 33% от общих эмиссий, или 32% и 23% от сектора «Энергетика», а также «добыча твердого топлива» - 41,8% от общих выбросов, или 32,9% от категории «Энергетика». Доля «факельного сжигания» составила всего 4,6% от общих эмиссий (или 3,3% от Энергетики), что сравнимо с долей вклада от «открытой добычи угля» - 4,4% от общих и 3,1% от сектора «Энергетика». Непосредственно «переработка, хранение нефти и газа» составила значительные 12% от общих эмиссий, или 8,7% от доли в секторе «Энергетика».

В категории «Сельское хозяйство» основным эмиттером метана в 1990 году было «Животноводство», где ферментация метана составила 23% от общих эмиссий или 93% секторальных. На остальные потенциальные категории, такие как управление навозом и выращивание риса, приходилось 1,0% и 0,6% от общих эмиссий метана, или 4,1% и 2,5% от сектора «Сельское хозяйство».

В секторе «Отходы» основные эмиссии метана образуются от захоронения на полигонах твердых бытовых отходов (ТБО) и переработки бытовых сточных вод. В связи с тем, что на момент 1990 года более 60% населения Республики проживали в сельской местности, а структура потребления и технологии упаковки существенно отличались от современного состояния, доля твердых отходов составляла всего 1,3%, а сточные воды – всего 2,0% от общих эмиссий (39,6% и 60,3% секторальных соответственно).

Если рассматривать оставшиеся сектора более подробно, то в отношении сектора «Промышленные процессы» выбросы парниковых газов от метана считаются только в категории «Выбросы парниковых газов от металлургической

промышленности» (2.С.). Основным и единственным производителем чугуна в Республике Казахстан является завод АО «QARMET» (бывший АО «Арселор Миттал Стил»), который представляет собой интегрированное производство, включающее производство чугуна, стали, а также производство кокса и агломератов.

Самые незначительные выбросы парниковых газов от стихийных пожаров (лесных и степных) вносит сектор «Землепользование», изменения в землепользовании и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ), менее одного процента — 0,16% соответственно. Выбросы от лесных и степных пожаров относятся к неорганизованным (стихийным) источникам выбросов в атмосферу, которые происходят на протяжении относительно короткого периода времени и характеризуются значительной неопределенностью.

Представленная диаграмма 5 наглядно отражает долю выбросов парниковых газов в Казахстане, возникающих в результате «стихийных пожаров». Эти эмиссии были оценены как незначительные, составляя лишь малую часть от национальных (регулируемых) выбросов. Доля метана от «лесных и степных пожаров» (сектор ЗИЗЛХ) в 1990 году составляла всего 0,1% от всех эмиссий.

Однако к 2022 году структура эмиссий метана существенно изменилась, и вклад отдельных категорий стал заметно другим (диаграмма 5).

Согласно данным, представленным на диаграмме 5, баланс эмиссий метана в Казахстане в 2022 году существенно изменился. В целом, лидирующие позиции за собой сохранили основные сектора: «Энергетическая деятельность», на которую пришлось 49,8% от всех эмиссий метана (снижение на 21,3% по сравнению с 1990 годом); «Сельское хозяйство» — 39,5% (рост на 14,1% по сравнению с 1990 годом); и «Отходы» — доля которых составила 10,4% (рост на 7,0% по сравнению с 1990 годом). Представленная динамика уже показывает, что произошло перераспределение эмиссий метана между секторами при общем уменьшении объемов эмиссий метана на 1,7 млн тонн.

Во внутренней структуре произошли следующие изменения: доля метана существенно снизилась в категории добычи нефти и газа — 7,3% от общих эмиссий и 14,7% в категории «Энергетика» (снижение на 18,6%). Возросла доля эмиссий в переработке углеродного сырья — 16,4% от общих эмиссий, или 33% от секторальных, рост составил почти 20%. Вклад факельного сжигания существенно уменьшился — 0,3% от общих эмиссий, 0,7% от секторальных (снижение на 10%).

В категории «Твердое топливо» доля эмиссий составила 15% от общих или 32% секторальных (снижение на 17,1%). При этом вклад подземной добычи составил 9,5% от общих или 19,1% от секторальных (снижение эмиссий метана почти на 20%). В то время как доля карьерной добычи выросла — 6,2% от общих или 12,6% от секторальных (рост на 3%).

В «Сельском хозяйстве№ положительную динамику увеличения доли метана внесли «Животноводство» — 38,5% от общих эмиссий или 97,4% секторальных (увеличение доли на 13,8%). «Управление навозом» выросло несущественно — всего на 0,4% и составляет 1,3% от общих эмиссий метана. Также увеличилась доля категории «Выращивание риса» и составила 1,0% от общих эмиссий. В числовом выражении эмиссии метана сократились на 142 тыс. тонн, т.е. при том, что доля вклада данной категории в общих эмиссиях выросла, общие эмиссии сократились.

В 2022 году эмиссия метана (CH_4) от «внутренней ферментации» составила 669,68 тыс. тонн, что на 230,43 тыс. тонн (25,6%) меньше, чем в 1990 году (900,11 тыс. тонн). Это изменение связано с динамикой поголовья животных, которое в 1990 году было наибольшим за весь исследуемый период. Для сравнения, в 2021 году выбросы уменьшились на 121,20 тыс. тонн (15%). Причиной этого стало уточнение данных о поголовье животных в 2022 году, проведенное Бюро национальной статистики

АСПИР РК. Наименьшие значения эмиссий были зафиксированы в 1998 году (337,50 тыс. тонн) в период экономического кризиса 90-х годов.

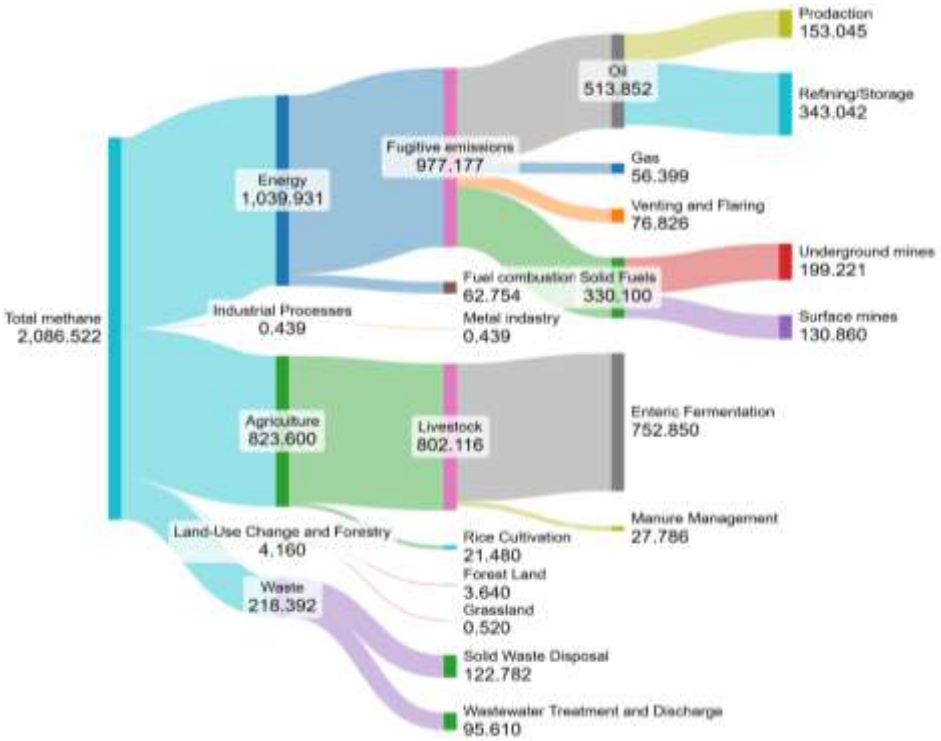


Рисунок 5. *Структура эмиссий метана в 2022 г. в Казахстане, по результатам инвентаризации 2024 года (расчёты выполнены согласно методики МГЭИК 2006 г.) [13]*

В 2022 году эмиссия метана (CH_4) от «систем сбора, хранения и использования навоза» составила 24,235 тыс. тонн, что на 15,662 тыс. тонн (39%) меньше, чем в 1990 году (39,896 тыс. тонн). В 1990 году поголовье было максимальным в исследуемом временном ряду. По сравнению с 2021 годом выбросы уменьшились на 4,741 тыс. тонн (16%). Наименьшие выбросы наблюдались в 1998 году (14,840 тыс. тонн).

В 2022 году эмиссия метана от подкатегории «выращивание риса» (CH_4) составила 18,45 тыс. тонн, что на 7,59 тыс. тонн (29%) меньше, чем в 1990 году. По сравнению с 2021 годом выбросы уменьшились на 1,84 тыс. тонн (9%) за счет уменьшения посевной площади. Минимальные значения эмиссии наблюдались в 2002 году (14,28 тыс. тонн).

Сектор «Отходы» продемонстрировал рост динамики эмиссий метана, как в числовом выражении на 86 тыс. тонн, так и в общей доле эмиссий, с 3,4% в 1990 году до 10,4% в 2022 году, т.е. рост составил более 6%. Здесь значительно увеличилась доля как «твердых отходов» — 5,8% от общих эмиссий, так и «сточных вод» — 4,5% от общих эмиссий метана. В дальнейшем можно ожидать рост именно этой категории в общих эмиссиях метана.

Представленный обзор эмиссий метана в 2022 году показывает, что в «Энергетическом секторе» акцент смещается от « добыча подземным способом». В связи с тем, что в настоящее время одним из факторов снижения эмиссий метана является снижение общей добычи угля именно подземным способом (с 1,333 тыс. тонн до 199 тыс. тонн), выбросы метана в секторе «Энергетическая деятельность» сократились на 60%. Это связано с успешной реализацией проектов по утилизации попутного газа на нефтяных месторождениях и с вводом запрета на факельное сжигание и сброс газов в атмосферу.

Закон Республики Казахстан «О нефти» требует, чтобы операторы разработали план утилизации попутного газа до получения разрешения на разработку каких-либо новых нефтяных месторождений [14].

Данный Закон предусматривает четыре варианта использования попутного газа:

1. Газ допускается сжигать на факелах, если он подпадает под одно из исключений (например, аварийное факельное сжигание для защиты здоровья и безопасности человека, факельное сжигание во время испытаний и т. д.).

2. Газ может использоваться для непосредственных целей оператора, например, сжигаться для получения электроэнергии на месте.

3. Газ может быть продан другому потребителю для переработки и сбыта.

4. Если переработка сырого газа нерентабельна, газ можно повторно закачивать в подземный резервуар для хранения или для поддержания пластового давления.

Также, производители нефти смогут поставлять газ через существующую транспортную инфраструктуру на внутренний и экспортный рынки. Упор, сделанный на обеспечении того, чтобы попутный газ мог попасть на потребительские рынки, наряду с нормативными ограничениями, позволили значительно сократить факельное сжигание попутного газа.

В сельском хозяйстве лидерство сохраняет животноводство и ожидаемо – сектор управление навозом. Несмотря на то, что эмиссии несколько снизились, можно предположить, что явление это временное, так как динамика роста населения в настоящее время положительная, и соответственно будет расти спрос на продукты, в том числе - мясных, которые является одним из основных компонентов традиционной кухни. Важность всего вопроса заключается в продовольственной безопасности страны и возможные меры, которые здесь могут применятся должны, быть очень осторожными и прагматичными. В частности, это могут быть проекты по улучшению качественного состава племенного поголовья скота, и улучшения в области управления отходами в сельском хозяйстве.

Что касается отходов, то основными источниками на сегодняшний день являются полигоны ТБО и сброс бытовых сточных вод, на которых происходит разложение органических материалов. Основной проблемой в секторе является развитие недостаточной инфраструктуры для переработки и утилизации отходов, что приводит к накоплению органических материалов на свалках, создавая условия для интенсивного выброса метана.

При этом, прогнозы по данному сектору основываются на динамике роста населения, а также на делении сельского и городского населения. И если первый показатель уже дает положительную динамику, а значит рост эмиссий метана будет расти, то и второй показатель тоже дает мало оптимизма. В настоящее время соотношение городского населения начало превалировать над сельским, а это дает в обозримом будущем рост эмиссий метана.

По остальным секторам инвентаризации выбросы метана составляют не такой значительный объем по сравнению с выбросами двуокиси углерода.

В настоящее время в мире существует различные подходы и технологии, которые могут значительно снизить выбросы метана в достижении целей в рамках обязательств Казахстана метановой инициативы. Ниже представлены наиболее релевантные для Казахстана мероприятия (таблица).

Расчеты, представленные по мерам в таблице 1, показывают, что совокупность возможных сокращений составляет около 12,5 % что менее половины от требуемых. Можно предположить, что результат сокращений будет несколько больше в виду имеющихся погрешностей в оценке результата, обычно погрешность в таких случаях бывает около 5%. Даже в этом случае, в результате реализации перечисленных мер можно предположить о сокращениях в 20%.

Таблица

Предварительные предложения по мероприятиям для сокращения метана в Казахстане до 2030 г. (скомпилированные по материалам рабочих встреч, семинаров и консультаций за период 2023-2024 гг., в том числе международной практики сокращения выбросов метана (LDAR, утилизация шахтного метана, использование СММ/СВМ).

№	Наименование мероприятия	Ответственный исполнитель (соисполнитель)	Срок исполнения	Индикаторы исполнения (%) от секторальных эмиссий	Объемы сокращения по отношению к 2020 г. в тоннах
	ДОБЫЧА И ПЕРЕРАБОТКА НЕФТИ И ГАЗА (в т. ч. сокращение выбросов метана)				
1	Создание систем своевременного обнаружения утечек метана на нефтепромышленных объектах	МЭ	2040	10%	513852
2	Внедрение программы обнаружения и устранения утечек (LDAR) при транспортировке газа	МЭ, МТ	2030	5%	76522,5
	ДОБЫЧА УГЛЯ				
3	Применение мер по утилизации шахтного метана для электро- и теплоснабжения	МПС	2040	15%	
	ПРОМЫШЛЕННОСТЬ (в т. ч. сокращение выбросов метана; энергоэффективность и энергосбережение)				
4	Применение мер по утилизации угольного метана для перевода спецтехники на сжиженный природный газ	МПС	2050	25%	896494,5 (совместно с 3 мерой)
5	Производство моторного топлива из шахтного метана и метана угольных пластов		2060	30%	327150 (от карьеров)
	СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО, ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ (в т. ч. сокращение выбросов метана)				
6	Стимулирование циркулярного сельского хозяйства (отходы, биогаз и т.д.)	МНЭ, МСХ	2025…2030	30%	83358
	УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ (в т.ч. сокращение выбросов метана)				
7	Переработка органических отходов в биогазовых установках (в том числе с получением компоста)	МСХ, МСП, МЭПР	2035	35%	368346
8	Установка систем сбора и утилизации свалочного газа на полигонах ТБО	МЭПР, МИО	2035	30%	334635
Всего сокращений метана				12,5%	2600358

Распределение ответственности, между уполномоченными государственными органами по мероприятием осуществлялось согласно из предположения ответственности и задачам попадающих в круг решения.

В настоящее время в мире существует различные подходы и технологии, которые могут значительно снизить выбросы метана в достижении целей в рамках обязательств Казахстана метановой инициативы. Ниже представлены наиболее релевантные для Казахстана мероприятия.

Расчеты, представленные по мерам в таблице 1, показывают, что совокупность возможных сокращений составляет около 12,5 % что менее половины от требуемых. Можно предположить, что результат сокращений будет несколько больше в виду имеющихся погрешностей в оценке результата, обычно погрешность в таких случаях бывает около 5%. Даже в этом случае, в результате реализации перечисленных мер можно предположить о сокращениях в 20%.

Также, существуют дополнительные мероприятия, которые тоже могут внести вклад в сокращение выбросов метана, такие как:

- Методы сокращения выбросов метана в секторе «Энергетическая деятельность»:
- Мониторинг и обнаружение утечек.
- Точные и регулярные измерения основа для управления выбросами метана. Передовые технологии включают:

Спутниковый мониторинг, позволяющий отслеживать крупные выбросы в реальном времени.

- Установка постоянных сенсоров на объектах добычи и переработки газа.
- Повышение эффективности оборудования

Старое или неисправное оборудование является основным источником утечек метана. Необходимые меры:

Регулярная проверка и ремонт компрессоров, клапанов и трубопроводов.

Замена устаревших систем на низкоутечные технологии, такие как сухие уплотнения в компрессорах.

- Улавливание и использование метана
- Улавливание метана с последующей его переработкой позволяет не только сократить выбросы, но и получить дополнительный источник энергии:
- Установка систем для сбора метана, выделяющегося на месторождениях нефти и газа.

Энергетическая трансформация

Переход на возобновляемые источники энергии и оптимизация процессов:

Снижение доли угля и природного газа в энергобалансе, замена их ветровой и солнечной энергией.

- Электрификация добычи и транспортировки энергоресурсов для минимизации утечек.
- По сектору Отходы предлагаются наиболее эффективные методы:
- Дегазация свалок;

Анаэробное сбраживание: анаэробное сбраживание может быть использовано на более современных полигонах ТБО, а также в системах переработки органических отходов, таких как сельскохозяйственные или пищевые отходы.

Модернизация полигонов ТБО:

- Обновление и улучшение существующих полигонов твердых бытовых отходов с целью минимизации выбросов метана включает несколько ключевых направлений:
- Устройство герметичных покрытий для свалок, которые предотвращают попадание кислорода в отходы, что минимизирует образование метана.
- Применение инновационных методов управления отходами, таких как системы управления жидкостями на свалках, которые помогают снижать накопление газов.
- Создание контролируемых зон для дегазации и сжигания метана, что снижает его выбросы в атмосферу.

Снижение образования отходов: один из наиболее эффективных методов — снижение объема отходов на стадии их образования. Это может быть достигнуто через:

- Повышение осведомленности населения и бизнеса о важности минимизации отходов, раздельного сбора мусора и переработки.
- Применение принципов экономики замкнутого цикла, которые предполагают сокращение использования одноразовых продуктов и переработку отходов в новые товары.

Общие меры:

– Нормативно-правовое регулирование
– Государственные меры играют ключевую роль в сокращении выбросов метана:
– Введение жестких стандартов и квот на выбросы метана.
– Предоставление субсидий и налоговых льгот для внедрения экологически чистых технологий.

Обучение и подготовка персонала

Профессиональная подготовка сотрудников играет важную роль в снижении выбросов метана. Регулярное обучение методам обнаружения и устранения утечек, а также правильной эксплуатации оборудования, позволяет повысить эффективность работы. Комплексное обучение персонала может обеспечить сокращение выбросов на 5-10%.

Существует политический вопрос, на который пока нет однозначного ответа, заявленная цель сокращения глобальных выбросов метана не менее чем на 30% по сравнению с уровнем 2020 года к 2030 году, является общей или 30% к 2030 г. будет обязательным индикатором для каждой старны в отдельности, что является важным аспектом переговорного процесса и понимания своей позиции при взятии конкрентынх объязательств. В первом случае предполагаемые сокращения метана в 12,5 % могут являтся достаточными для достижения своих целей. Во втором случае, необходимо задуматься о дополнительных мерах.

Следует подчеркнуть, что достижение климатических целей и выполнение международных обязательств Казахстана невозможно без наличия максимально точных и репрезентативных данных о выбросах метана на национальном уровне. В настоящее время инвентаризация выбросов метана в стране осуществляется преимущественно с использованием дефолтных отраслевых коэффициентов, приведённых в Руководящих принципах МГЭИК 2016 г., которые носят усреднённый характер и не учитывают специфику национальных технологических, геологических и производственных условий.

Между тем международный опыт показывает, что переход от расчетных коэффициентов МГЭИК к собственным, инструментально подтвержденным отраслевым коэффициентам может существенно изменить оценку фактических выбросов. Так, в Российской Федерации при использовании национальных данных и результатов прямых измерений величина выбросов метана оказалась на 34 % ниже, чем при расчетах на основе стандартных коэффициентов, что подтверждает значительный потенциал уточнения национальных инвентаризаций [2].

В этой связи одной из приоритетных мер должно стать разработка либо адаптация специализированной методологии определения выбросов метана для условий Казахстана как при карьерной, так и при шахтной добыче угля. Особое значение имеет формирование дифференцированных коэффициентов метанообильности для каждого подземного горизонта добычи, поскольку концентрация и интенсивность выделения метана существенно варьируются в зависимости от глубины, геологического строения пластов и применяемых технологий.

Аналогичный подход целесообразно реализовать и в нефтегазовом секторе, где требуется разработка национальных отраслевых коэффициентов, основанных на данных инструментального мониторинга, программах обнаружения и устранения утечек (LDAR) и результатах эксплуатационных измерений. Это позволит перейти от обобщённых оценок к более точному учёту фактических источников выбросов.

Ожидаемыми эффектами пересмотра отраслевых коэффициентов являются:

повышение достоверности национальной отчетности в рамках РКИК ООН;

формирование научно обоснованной базы для разработки мер по сокращению выбросов метана;

снижение неопределенностей при оценке выполнения международных климатических обязательств;

повышение инвестиционной привлекательности проектов по утилизации и сокращению выбросов метана за счет более точной оценки их климатического эффекта.

Таким образом, пересмотр и уточнение отраслевых коэффициентов следует рассматривать как один из ключевых элементов совершенствования климатической политики Казахстана, обеспечивающий ее научную обоснованность и практическую реализуемость.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ показывает, что Казахстан располагает значительным потенциалом для выполнения заявленных обязательств, однако его реализация сдерживается рядом институциональных и методологических ограничений. Ключевым из них является высокая неопределённость в оценке фактических выбросов метана, обусловленная использованием усреднённых международных коэффициентов, а также недостаточная детализация секторальных мер в действующих стратегических документах.

Выполнение Казахстаном принятых международных климатических обязательств, включая цели, заявленные в рамках РКИК ООН, Парижского соглашения и Глобального метанового обязательства, в значительной степени зависит от способности страны перейти от декларативных целей к системной реализации секторальных мер по сокращению выбросов, прежде всего метана как одного из наиболее климатически активных парниковых газов.

Проведённый анализ показывает, что Казахстан располагает значительным потенциалом для выполнения заявленных обязательств, однако его реализация сдерживается рядом институциональных и методологических ограничений. Ключевым из них является высокая неопределённость в оценке фактических выбросов метана, обусловленная использованием усреднённых международных коэффициентов, а также недостаточная детализация секторальных мер в действующих стратегических документах.

При этом наличие развитых нефтегазового и угольного секторов, а также участие страны в международных климатических инициативах создают предпосылки для поэтапного внедрения более строгих требований к мониторингу, отчетности и верификации выбросов (MRV), что является необходимым условием выполнения международных обязательств не только формально, но и по существу.

С правовой точки зрения реализация мер по сокращению выбросов метана требует дальнейшей гармонизации национального законодательства с международными требованиями, включая закрепление обязательств по мониторингу утечек, внедрению программ LDAR и учету выбросов на уровне отдельных объектов. В настоящее время часть таких мер уже отражено в ОНУВ 3.0. и прописано в Стратегии достижения углеродной нейтральности.

Экономические аспекты реализации климатической политики связаны как с необходимостью мобилизации инвестиций, так и с формированием стимулов для недропользователей и промышленных предприятий. Более точная оценка выбросов метана позволяет не только корректнее определять климатический эффект от реализуемых мер, но и повышает экономическую обоснованность проектов по утилизации метана, производству энергии и альтернативных видов топлива.

С технической точки зрения приоритетное значение имеют развитие инструментального мониторинга, внедрение современных технологий обнаружения утечек, а также адаптация международных методик измерения выбросов к геологическим и технологическим условиям Казахстана. Особую роль играет разработка дифференцированных отраслевых коэффициентов, позволяющих

учитывать специфику отдельных месторождений, горизонтов добычи и технологических процессов.

При этом наличие развитых нефтегазового и угольного секторов, а также участие страны в международных климатических инициативах создают предпосылки для поэтапного внедрения более строгих требований к мониторингу, отчетности и верификации выбросов (MRV), что является необходимым условием выполнения международных обязательств не только формально, но и по существу.

Достижение указанных результатов позволит не только повысить достоверность национальной отчётности Казахстана в рамках РКИК ООН, но и создать научно обоснованную основу для планирования мер по сокращению выбросов метана до 2030 года и в более долгосрочной перспективе, в полном соответствии с целью настоящего исследования.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в данном исследовании, были получены авторами из Национального Доклада о кадастре парниковых газов за 2024 г. подготовленного АО «Жасыл Даму».

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – АСЕ, ВСЧ; управление данными – ЗРТ, КТР, формальный анализ – ЕМЕ, ДАК, СГА; методология – ЕМЕ, ДАК, СГА; руководство – АСЕ, ВСЧ; визуализация – АВЧ; написание исходной статьи– ВСЧ, АСЕ, КТР; написание и редактирование статьи – ЕМЕ, ЗРТ, ДАК, СГА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Казахстан присоединится к Глобальному обязательству по сокращению выбросов метана [Электронный ресурс]. URL: zakon.kz/sobytiia/6415993-kazakhstan-prisoedinitsya-k-globalnomu-obyazatelstvu-po-sokrashcheniyu-vybrosov-metana.html (дата обращения: 05.11.2025).
2 Global Methane Initiative (GMI) [Электронный ресурс]. URL: globalmethane.org/index.aspx (дата обращения: 07.11.2025).
3 Агентство по охране окружающей среды США (EPA). Глобальная метановая инициатива [Электронный ресурс]. URL: epa.gov/gmi/learn-about-global-methane-initiative (дата обращения: 08.11.2025).
4 Закон Республики Казахстан от 28 декабря 2016 года № 20-VI [Электронный ресурс]. URL: adilet.zan.kz/rus/docs/Z1600000020 (дата обращения: 03.11.2025).
5 Обновлённый национально определяемый вклад (ОНГУВ) Республики Казахстан [Электронный ресурс]. URL: adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000313 (дата обращения: 04.11.2025).
6 Global Methane Initiative. Partners [Электронный ресурс]. URL: globalmethane.org/partners/ (дата обращения: 10.11.2025).
7 Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН). Национальные сообщения и двухгодичные отчёты Республики Казахстан [Электронный ресурс]. URL: unfccc.int/ru/node/655101 (дата обращения: 11.11.2025).
8 Национально определяемый вклад Республики Казахстан 3.0 [Электронный ресурс]. URL: unfccc.int/sites/default/files/2025-11/NDC_Kazakhstan_3.0_eng.pdf (дата обращения: 12.11.2025).
9 Qazaq Green. Климатическая политика Республики Казахстан [Электронный ресурс]. URL: qazaqgreen.com/en/news/kazakhstan/981 (дата обращения: 06.11.2025).
10 Программа развития Организации Объединённых Наций (ПРООН). Правительство Казахстана и ПРООН представили Восьмое национальное сообщение в рамках РКИК ООН [Электронный ресурс]. URL: undp.org/kazakhstan/press-releases/government-kazakhstan-and-undp-present-eighth-national-communication-under-un-framework-convention-climate-change (дата обращения: 09.11.2025).
11 Бюро национальной статистики Республики Казахстан [Электронный ресурс]. URL: stat.gov.kz/ru/ (дата обращения: 13.11.2025).
12 Министерство иностранных дел Республики Казахстан. Официальный пресс-релиз [Электронный ресурс]. URL: gov.kz/memleket/entities/mfa-brussels/press/news/details/281374 (дата обращения: 14.11.2025).
13 Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН). Кадастры выбросов парниковых газов стран Приложения I (2024) [Электронный ресурс]. URL: unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2024 (дата обращения: 15.11.2025).
14 Указ Президента Республики Казахстан от 1995 года № 2350 [Электронный ресурс]. URL: adilet.zan.kz/rus/docs/U950002350_ (дата обращения: 02.11.2025).

REFERENCES

1. Kazakhstan to Join the Global Methane Pledge [Electronic resource]. URL: zakon.kz/sobytiia/6415993-kazakhstan-prisoedinitsya-k-globalnomu-obyazatelstvu-po-sokrashcheniyu-vybrosov-metana.html (date of access: 05.11.2025) [in Russian]
2. Global Methane Initiative (GMI) [Electronic resource]. URL: globalmethane.org/index.aspx (date of access: 07.11.2025).
3. U.S. Environmental Protection Agency. Learn About the Global Methane Initiative [Electronic resource]. URL: epa.gov/gmi/learn-about-global-methane-initiative (date of access: 08.11.2025) [in Russian]
4. Law of the Republic of Kazakhstan No. 20-VI (2016) [Electronic resource]. URL: adilet.zan.kz/rus/docs/Z1600000020 (date of access: 03.11.2025) [in Russian]
5. Updated Nationally Determined Contribution (NDC) of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. URL: adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000313 (date of access: 04.11.2025) [in Russian]
6. Global Methane Initiative. Partners [Electronic resource]. URL: globalmethane.org/partners/ (date of access: 10.11.2025).

7. UNFCCC. National Communications and Biennial Reports of Kazakhstan [Electronic resource]. URL: unfccc.int/ru/node/655101 (date of access: 11.11.2025) [in Russian]
8. Republic of Kazakhstan. Nationally Determined Contribution 3.0 [Electronic resource]. URL: unfccc.int/sites/default/files/2025-11/NDC_Kazakhstan_3.0_eng.pdf (date of access: 12.11.2025) [in Russian]
9. Qazaq Green. Kazakhstan Climate Policy Developments [Electronic resource]. URL: qazaqgreen.com/en/news/kazakhstan/981 (date of access: 06.11.2025) [in Russian]
10.United Nations Development Programme (UNDP). Government of Kazakhstan and UNDP Present the Eighth National Communication under the UNFCCC [Electronic resource]. URL: undp.org/kazakhstan/press-releases/government-kazakhstan-and-undp-present-eighth-national-communication-under-un-framework-convention-climate-change (date of access: 09.11.2025) [in Russian]
11. Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. URL: stat.gov.kz/ru/ (date of access: 13.11.2025) [in Russian]
12.Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Kazakhstan. Official Press Release [Electronic resource]. URL: gov.kz/memleket/entities/mfa-brussels/press/news/details/281374 (date of access: 14.11.2025) [in Russian]
13.UNFCCC. Greenhouse Gas Inventories for Annex I Parties (2024) [Electronic resource]. URL: unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2024 (date of access: 15.11.2025) [in Russian]
14.Presidential Decree of the Republic of Kazakhstan No. 2350 (1995) [Electronic resource]. URL: adilet.zan.kz/rus/docs/U950002350_ (date of access: 02.11.2025) [in Russian]

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЖАҺАНДЫҚ МЕТАН БАСТАМАСЫ (GMI) БОЙЫНША МІНДЕТТЕРДІ ОРЫНДАУ МҮМКІНДІКТЕРІ

Айман С. Есекина[1], Александр В. Чередниченко[2]*, Зуфар Р. Токпаев[2], Казбек Т. Рысбеков [2], Эльмира М. Ермаханова [2], Дана А. Касенова [2], Саида Г. Абдрахим [2]

[1] «Жасыл технологиялар және инвестициялық жобалардың халықаралық орталығы» ҰЕҰ Астана, Қазақстан ayessekina@gmail.com
2 «Жасыл Даму» АҚ ҚР Қоршаған ортаны қорғау министрлігі, Астана, Қазақстан; a.cherednichenko@recycle.kz, z.tokpaev@recycle.kz, k.rysbekov@recycle.kz, e.yermakhanova@recycle.kz, d.kasenova@recycle.kz, s.abdrakhim@recycle.kz
*Автор корреспондент: Александр В. Чередниченко, a.cherednichenko@recycle.kz

ТҮЙІН СӨЗДЕР

метан бастамасы,
халықаралық міндеттемелер,
қысқарту әлеуеті,
шығарындылар көздерінің категориялары,
энергетика,
ауыл шаруашылығы,
қалдықтар,
азайту механизмдері.

Мақала жайында:
Жіберілді: 18.12.2024
Қайта қаралды: 23.12.2025
Қабылданды: 29.12.2025
Жарияланды: 30.12.2025

АБСТРАКТ

Мақалада негізгі парниктік газ ретінде метан шығарындыларын азайтуға бағытталған Жаһандық метан бастамасын қолдаудағы Қазақстан Республикасының бастапқы ұстанымдары талқыланады. Еліміздегі энергетика, ауыл шаруашылығы және мұнай-газ секторы сияқты шығарындылардың негізгі көздері талданып, олардың соңғы 30 жылдағы өзгеру динамикасы көрсетілген. Шығарындыларды азайту бойынша жалғасатын жобаларды іске асыру перспективалары бағаланады. Ұсынылған шаралардың ауқымы бастаманың мақсаттарына қол жеткізу үшін жеткіліксіз екендігі көрсетілген. Нарықтың ірі қатысушылары үшін реттеуді жақсартуды және жеке секторды ынталандыруды қоса алғанда, неғұрлым ауқымды және тиімді жобаларды қабылдау қажеттілігі атап өтілді.

OPPORTUNITIES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN TO FULFILL ITS COMMITMENTS IN THE FRAMEWORK OF THE GLOBAL METHANE INITIATIVE (GMI)

Aiman Yessekina[1], Alexander Cherednichenko[2]*, Zufar Tokpaev[2], Kazbek Rysbekov [2], Elmira Ermakhanova [2], Dana Kasenova [2], Saida Abdrakhim[2]

1 «International Center for Green Technologies and Investment Projects» NGO Astana, Kazakhstan; ayessekina@gmail.com
2 «Green Development» JSC Ministry of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan; a.cherednichenko@recycle.kz, z.tokpaev@recycle.kz, k.rysbekov@recycle.kz, e.yermakhanova@recycle.kz, d.kasenova@recycle.kz, s.abdrakhim@recycle.kz

*Corresponding author: Alexander Cherednichenko, a.cherednichenko@recycle.kz

KEY WORDS

methane initiative,
international commitments,
reduction potential,
emission source categories,
energy,
agriculture,
waste,
reduction mechanisms.

About article:
Received: 18.12.2024
Revised: 23.12.2025
Accepted: 29.12.2025
Published: 30.12.2025

ABSTRACT

The article examines the starting positions of the Republic of Kazakhstan in the framework of supporting the Global Methane Initiative aimed at reducing methane emissions as the main greenhouse gas. The key sources of emissions in the country, such as energy, agriculture and the oil and gas sector, are analyzed, and the dynamics of their changes over the past 30 years are shown. The prospects for implementing continued projects to reduce emissions are assessed. It is shown that the volume of proposed measures is insufficient to achieve the goals of the initiative. The need for more comprehensive and effective projects, including improved regulation for large market participants and stimulation of the private sector, is emphasized.

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

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,

опубликованных в журнале «Гидрометеорология и экология» в 2025 г.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Фаргана Дадашова, Вафа Мамедова, Мехрибан Аббасова. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АЗЕРБАЙДЖАНА ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД (2002—2022 гг.), №2, 18-28 с.

Джамал Гусейнов, Наила Исмайлова. СОВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОЗДУХА НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ БОЛЬШОГО КАВКАЗА, №3, 22-33 с.

Андрей Бондарович, Даурен Нурекенов, Мархаба Карменова, Нұрасыл Жомартқан, Юрий Каменов. РЕГИОНАЛЬНАЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ МОНИТОРИНГОВАЯ СЕТЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА АГРОЦЕНОЗОВ ЗАСУШЛИВЫХ ОБЛАСТЕЙ КАЗАХСТАНА, №3, 34-47 с.

Андрей Бондарович, Даурен Нурекенов, Мархаба Карменова, Нұрасыл Жомартқан, Юрий Каменов. РЕГИОНАЛЬНАЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ МОНИТОРИНГОВАЯ СЕТЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА АГРОЦЕНОЗОВ ЗАСУШЛИВЫХ ОБЛАСТЕЙ КАЗАХСТАНА, №3, 34-47 с.

Жанат Байгазинов, Саян Сальменбаев, Нурлан Мухамедияров, Касым Жумадилов, Медет Актаев, Лаура Кенжина, Елена Поливкина, Ажар Ташекова, Алмагуль Мухамедиярова, Валерий Монаенко, Назира Берікбол. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО ВОЗДУХА В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ГОРОДАХ КАЗАХСТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АТМОСФЕРНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ, №3, 48-65 с.

Сабир Асадов, Гасан Мусаев. ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЗЕРБАЙДЖАНСКОГО СЕКТОРА КАСПИЙСКОГО МОРЯ: РАЙОН НЕФТЯНЫХ КАМНЕЙ, №4, 150-158 с.

Жанар Наурозбаева, Александр Холопцев, Жулдыз Кенжина, Нурканат Рахматулла. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ГРОЗ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ПРИКАСПИЯ, С УЧЕТОМ ВАРИАЦИЙ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, №4, 159-176 с.

Бакыт Жездибаева, Аружан Әбілқади, Акмарал Самгулова, Айзат Жаксыбаева. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА В КАЗАХСТАНЕ, №4, 177-189 с.

Жанар Наурозбаева, Гульсара Монкаева, Макпал Жунисова, Еркебулан Белдеубаев, Нұрқанат Рахматулла , Жулдыз Кенжина. АНАЛИЗ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ В ШУ-ТАЛАССКОМ БАССЕЙНЕ (КАЗАХСТАН), №4, 205-220 с.

ГИДРОЛОГИЯ

Жумахан Мустафаев, Алия Козыкеева, Унзила Шугайып, Куаныш Абдешев, Нуржан Турсынбаев. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК В ВОДОСБОРЕ БАССЕЙНА РЕКИ НУРА, №1, 8-23 с.

Алия Нурбацина, Айсулу Турсунова, Жанат Салаватова. ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА ТИПИЧНЫХ РЕК КАЗАХСТАНА (НА ПРИМЕРЕ РЕК БУКТЫРМА, ЕСИЛЬ, ЖАЙЫК), №1, 24-37 с.

Дильшад Сулейманлы. ПОСЛЕДСТВИЯ РЕЗКОГО ПОНИЖЕНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ, №1, 38-44 с.

Каракоз Нарбаева, Амражан Таиров, Гаухаркуль Исмаилова, Марс Нарбаев, Ерлан Муханбет. ШУ-ТАЛАС СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛАБЫНЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫН БАҒАЛАУ, №2, 8-17 б.

Алия Нурбацина, Жанат Салаватова, Жанибек Смагулов, Кайрат Кулебаев, Ахан Мырзахметов. СОВРЕМЕННЫЕ НАТУРНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ УЧАСТКОВ БАССЕЙНОВ РЕК БУКТЫРМА, ЕСИЛЬ И ЖАЙЫК, №3, 8-21 с.

Zhumakhan Mustafayev, Kanat Mustafayev. METHOD OF ASSESSING INDIRECT ANTHROPOGENIC LOADS IN RIVER BASIN CATCHMENT AREAS USING THE GENERALIZED HARRINGTON DESIRABILITY FUNCTION, №3, 14-21 p.

Турсун Ибраев, Марина Ли, Нурлан Бакбергенов, Талгат Иманалиев, Нурлан Балгабаев. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ НИЗОВИЙ РЕКИ ШУ, №4, 22-34 с.

Татьяна Гричаная, Павел Калашников, Алихан Кали, Гульнаурыз Отеберген. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ ПО АРАЛО-СЫРДАРЬИНСКОМУ ВХБ, №4, 35-46 с.

Әлима Амангелді, Гульнара Искалиева, Айбек Мерекеев, Мәдина Сағат. АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОЩАДИ ЛЕДНИКОВ И МОРЕННЫХ ОЗЕР В БАССЕЙНЕ РЕКИ ТУРГЕН, №4, 47-57 с.

Лаура Исмуханова , Ботакоз Султанбекова, Айнур Мұсақұлқызы, Азамат Мадибеков. КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ БУКТЫРМИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ОСНОВЕ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ (2014...2025 ГГ.), №4, 58-69 с.

Serik Sairov, Aizat Yeltay, Galina Shishkina, AigerimKurmangalieva, Laura Bazarbay, Nurganym Zhagparova. FUTURE WAVE HEIGHT DYNAMICS IN THE KAZAKH PART OF THE CASPIAN SEA, №4, 70-83 p.

Айгерим Калыбаева, Саним Бисенбаева. ОЦЕНКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПРИ ПАВОДКАХ НА РЕКЕ ЖАЙЫК (УРАЛ), №4, 84-94 с.

Саят Алимкулов, Ляззат Махмудова, Эльмира Талипова, Жанибек Смагулов, Ақгүлім Сайлаубек. ЖАЙЫҚ-КАСПИЙ СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛАБЫНДАҒЫ КӨКТЕМГІ СУ ТАСҚЫНЫ АҒЫНДЫСЫН БАҒАЛАУ: ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ СЦЕНАРЛЫҚ БОЛЖАМЫ, №4, 95-109 б.

Саят Алимкулов, Альфия Загидуллина, Гаухар Баспакова. МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАНСГРАНИЧНОГО СТОКА В ЖАЙЫК-КАСПИЙСКОМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ БАССЕЙНЕ, №4, 110-120 с.

Айнур Мусина , Маржан Оспанова, Әсел Абдуллаева, Гүлжанат Байдашева. БАДАМ ӨЗЕНІ АҒЫНДЫСЫНЫҢ СОҢҒЫ 10-ЖЫЛДЫҚТАРДАҒЫ ӨЗГЕРІСІН БАҒАЛАУ, №4, 121-132 б.

Серик Саиров, Турсын Тілләкәрім, Бота Айтымова, Мариям Нұрхан. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКЕ СЫРДАРЬЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, №4, 133-149 с.

Раушан Ы. Ырысбек, Шамшагул И. Маштаева, Ырысбек Ә. Молдаш. СЫРДАРИЯ ӨЗЕНІ ТӨМЕНГІ АҒЫСЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ РЕЖИМІНІҢ ӨЗГЕРУ ДИНАМИКАСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ АҒЫН СУ САПАСЫНА ӘСЕРІ, №5, 8-19 б.

Нұрлыбек Ә. Әбдімүтәліп, Газиза Б. Тойчибекова, Ақмарал С. Әділбай, Гульнар Ж. Койшиева, Карлыга Т. Сарбаева. АНТРОПОГЕНДІК ЖӘНЕ КЛИМАТТЫҚ ӘСЕРЛЕР ЖАҒДАЙЫНДА ҚОСҚОРҒАН СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ГЕОҚҰРЫЛЫМДЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІ, №5, 20-33 б.

ЭКОЛОГИЯ

AsimaKoshim, Aliya Aktymbayeva, Aigul Sergeyeva, DamirKanatkaliev, MuratMakhambetov, Aida Kaliyeva. ASSESSMENT OF THE IMPACT OF MINING ENTERPRISES IN THE AKTOBE REGION ON THE ENVIRONMENT(USING THE EXAMPLE OF CHROMIUM DEPOSITS), №1, 59-76 p.

Виталий Сальников, Тамара Тажибаева, Светлана Полякова, Зуфар Токпаев, Гульнур Мусралинова, Ирина Миськив. ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА, №1, 59-76 с.

Екатерина Кузнецова, Шыңғыс Сәбит, Гульдана Минжанова, Корлан Хамитова. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ В АЛМАТЫ С УЧЕТОМ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА, №1, 77-90 с.

Нариман Амиргалиев, Азамат Мадибеков, Диана Бурлибаева, Айнұр Мұсақұлқызы. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ЖАЙЫК НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА, №2, 29-37 с.

Айжан Рахишева, Жанар Рахымжан, Райхан Бейсенова, Румия Тазитдинова. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРОМЗОНЫ, ЗАГРЯЗНЕННОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (НА ПРИМЕРЕ КАРАГАНДИНСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА), №2, 38-48 с.

Людмила Городецкая, Равиль Мухамедиев, Надия Юничева, Елизавета Витулёва. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ БПЛА В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ АЛМАТЫ, №2, 49-60 с.

Shyngis Sabit, Ekaterina Kuznetsova, Guldana Minzhanova, Korlan Khamitova. ANALYSIS OF THE WASTE MANAGEMENT AND RECYCLING SYSTEM IN UST-KAMENOGORSK, №2, 61-67 p.

Fuad Humbatov. DECARBONIZATION PATHWAYS OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN AND THE ENVIRONMENTAL SECURITY CHALLENGES, №2, 68-80 p.

Эльмира Ермолдина, Ерлан Бекешев, Бибигуль Миркаримова, Бахытжан Бариева, Елена Степанова, Аскар Муканов, Жансая Рымжанова. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЛИФАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ ИХ МИГРАЦИИ ИЗ ПОЧВЫ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ, №3, 66-77 с.

Yerlan Doszhanov, Mudasir Zahid, Noorahmad Ahmadi, Rahmuddin Ihsas, AituganSabitov, 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, №3, 78-87 p.

Наталья Серая, Гульжан Даумова, Ольга Петрова. ТИХАЯ ӨЗЕНІ ЖЕР ҮСТІ СУЛАРЫНЫҢ ҚЫШҚЫЛ-НЕГІЗДІК КҮЙІНІҢ ДИНАМИКАСЫ, №3, 88-102 с.

Раушан Джайсамбекова, Александр Басманов, Балжан Аманбаева, Людмила Шагарова, Екатерина Шайдуллина. ПОВЫШЕНИЕ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ, №3, 103-114 с.

VyacheslavZharkov, Ermekgul Zhaparkulova, AinurBeisenkulova, NurlanBalgabaev, Pavel Kalashnikov. FEATURES OF ONION CULTIVATION TECHNOLOGY WITH DRIP IRRIGATION IN THE ARID ZONE OF SOUTHERN KAZAKHSTAN, №3, 115-126 p.

Арай Темиржанова, Жанат Байгазинов, Нурлан Мухамедияров, Медет Актаев, Касым Дускаев. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАГРЯЗНЕННОГО УЧАСТКА РЕКИ ШАГАН, №4, 190-204 с.

Gauhar Ospan, Zhanar Ozgeldinova, Saltanat Sadvakasova. COMPOSITION AND SPATIAL DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN SURFACE WATERS OF THE NURA RIVER BASIN, №5, 34-40 p.

Нариман А. Амиргалиев, Кажмурат М. Ахмеденов, Азамат С. Мадибеков, Лаура Т. Исмуханова, Асхат Ө. Жәди, Арай Ә. Сұлтанаева. МОНИТОРИНГ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БАССЕЙНА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ЖАЙЫК, №5, 41-56 с.

Арман О. Байсанов, Игорь Ф. Спивак-Лавров, Андрей А. Бебенин. АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДАХ КАЗАХСТАНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, №5, 57-65 с.

ГЕОГРАФИЯ

ZhandosMukayev, ZhanarOzgeldinova, Altyn Zhanguzhina, SaltanatSadvakassova, MeruertUlykpanova. SPATIAL STRUCTURE OF CONFLICTS OF RECREATIONAL NATURE MANAGEMENT IN EAST KAZAKHSTAN, №1, 91-99 p.

Dana Akhmetova, Zhanar Ozgeldinova, Nurgul Ramazanova, Aigul Yeginbayeva, Rabiga Kenzhebay. THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE LANDSCAPE DYNAMICS OF TURKESTAN REGION: SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS, №1, 100-115 p.

Ырысжан Жакыпбек, Еркежан Бегимжанова, Гульмира Кезембаева, Серик Турсбеков, Женис Кожаев. АЛМАТЫ ҚАЛАСЫ АУАСЫН ЛАСТАУШЫ ЗАТТАРДЫҢ КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІН КАРТОГРАФИЯЛЫҚ ТАЛДАУ, №1, 106-131 б.

Sabina Toxanbayeva. CURRENT ECO-GEOMORPHOLOGICAL CONDITION OF THE ZHAIYK RIVER BASIN, №1, 132-138 p.

Saltanat Sadvakassova, Ayazhan Shynybek, Yerbolat Mukanov, Jan A. Wendt, Tangal Tursynova. IMPORTANCE OF LANDSCAPE DIVERSITY IN HYDROLOGY (ON THE EXAMPLE OF EAST KAZAKHSTAN REGION), №1, 139-147 p.

Мурабек Омаров, Алтын Жангужина. ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНЫҢ ОРМАН ЛАНДШАФТТАРЫНДАҒЫ ӨРТТЕРДІҢ КЕҢІСТІКТІК ТАРАЛУЫ, №2, 81-90 б.

Гаухар Мусайф, Жанат Толеубекова, Асет Ахмадия, Хуралай Молдамурат. ЦЕЛИНОГРАД АУДАНЫНЫҢ АГРОҚАЛАЛЫҚ АУМАҒЫНДА ЖЕР ПАЙДАЛАНУ ӨЗГЕРІСТЕРІН ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ЖӘНЕ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕР НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ, №3, 127-140 б.

Назым Шогелова, Сергей Сартин. ОЦЕНКА УЩЕРБА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ РЕЗЕРВАТА «СЕМЕЙ-ОРМАНЫ» ПОСЛЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПОЖАРА 2023 ГОДА НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, №3, 141-151 с.

Рашад. Г. Нематзаде, Гюнель. З. Рзаева, Рауф. М. Рагимов, Фарид. Р. Самедов. МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КЛАССОВ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ЦЕЛЬЮ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ НА МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ, №5, 66-78 с.

Кирилл С. Гаринских, Алпамыс Г. Карыпов, Адилхан Сымагулов, Ян И. Кучин, Алексей Г. Терехов, Равиль И. Мухамедиев, Надия Р. Юничева, Нурсултан Е. Кульдеев, Рат Ш. Бердибаев. СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОЛЕЙ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ, №5, 79-90 с.

ОБЗОР

Саят Алимкулов, Айсулу Турсунова, Ляззат Махмудова, Асель Сапарова, Кайрат Кулебаев, Айдана Базарбек. ЖЕР БЕТІ СУ РЕСУРСТАРЫН БАҒАЛАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗДЕР, №1, 148-162 б.

Канат Самарханов, Гузялия Мусина, Марал Шкиева, Аян Жумаканов, Эльмира Орынбасарова. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАЗАХСТАНЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ ГРАВИМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, №2, 91-104 с.

Турсунова Айсулу Алашевна, Гаухар Баспакова, Кулебаев Кайрат Муратович , Биримбаева Ляззат Муратбековна , Гүлсайра Исақан. ӘМУДАРИЯ ӨЗЕНІ АЛАБЫНЫҢ ЖЕР БЕТІ СУ РЕСУРСТАРЫ, №3, 152-165 б.

Сагыныш Куанышева, Адиль Шаяхметов. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ ТБО В КАРАГАНДЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ, №5, 91-98 с.

Айман С. Есекина, Александр В. Чередниченко, Зуфар Р. Токпаев, Казбек Т. Рысбеков, Эльмира М. Ермаханова, Дана А. Касенова, Саида Г. Абдрахим. ВОЗМОЖНОСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СВОИХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ В РАМКАХ ГЛОБАЛЬНОЙ МЕТАНОВОЙ ИНИЦИАТИВЫ (GMI), №5, 99-113 с.

ХРОНИКА

ДАВЛЕТГАЛИЕВ САКЕН КАЛАМКАЛИЕВИЧ (к 90-летию со дня рождения), №2, 105.

РОМАНОВА СОФИЯ МАКСИМОВНА (к 75-летию со дня рождения). №3, 166-167 с.