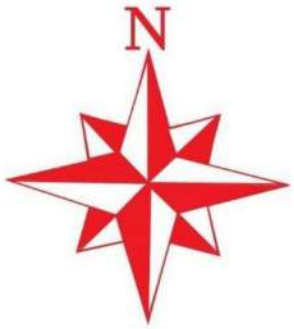
ISSN (печать) 2079-6161
ISSN (онлайн) 2789-6323

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

№2 (117) шығарылым

Выпуск №2 (117)

Issue №2 (117)

1995 жылдан бастап шығады
Издается с 1995 года
Founded in 1995

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

Астана –Астана –Astana

БАС РЕДАКТОР

Алимбаева Д.К., Бас директор

БАС РЕДАКТОР ОРЫНБАСАРЫ

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

РЕДАКЦИЯ

Базарбай Л.Б., жетекші ғылыми қызметкер

Елтай А.Ғ., Ph.D, басқарма бастығы

Жаксыбаева А.Е., жетекші ғылыми қызметкер

Кужагельдина Н.У., басқарма бастығы

Кукенова Б.Т., жетекші инженер

Нұрхан М.Қ., жетекші ғылыми қызметкер

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ

Абдрахимов Р.Г. (Алматы, Қазақстан)

Волчек А.А. (Брест, Беларусь)

Гафуров А. (Потсдам, Германия)

Муртазин Е.Ж. (Алматы, Қазақстан)

Мустафаев Ж.С. (Алматы, Қазақстан)

Опп К. (Марбург, Германия)

Островская Е.В. (Астрахань, Ресей)

Полякова С.Е. (Алматы, Қазақстан)

Сальников В.Г. (Алматы, Қазақстан)

Степанов Б.С. (Алматы, Қазақстан)

Терехов А.Г. (Алматы, Қазақстан)

Тілләкәрім Т.А. (Астана, Қазақстан)

Чередниченко А.В. (Алматы, Қазақстан)

Яфязова Р.К. (Алматы, Қазақстан)

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

E-mail: hydromet.journal@gmail.com

Сайт: https://journal.kazhydromet.kz

Меншік иесі: «Қазгидромет» РМК

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Алимбаева Д.К., Генеральный директор

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

РЕДАКЦИЯ

Базарбай Л.Б., ведущий научный сотрудник

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

Жаксыбаева А.Е., ведущий научный сотрудник

Кужагельдина Н.У., начальник управления

Кукенова Б.Т., ведущий инженер

Нұрхан М.Қ., ведущий научный сотрудник

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абдрахимов Р.Г. (Алматы, Казахстан)

Волчек А.А. (Брест, Беларусь)

Гафуров А. (Потсдам, Германия)

Муртазин Е.Ж. (Алматы, Казахстан)

Мустафаев Ж.С. (Алматы, Казахстан)

Опп К. (Марбург, ФРГ)

Островская Е.В. (Астрахань, Россия)

Полякова С.Е. (Алматы, Казахстан)

Сальников В.Г. (Алматы, Казахстан)

Степанов Б.С. (Алматы, Казахстан)

Терехов А.Г. (Алматы, Казахстан)

Тілләкәрім Т.А. (Астана, Казахстан)

Чередниченко А.В. (Алматы, Казахстан)

Яфязова Р.К. (Алматы, Казахстан)

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

E-mail: hydromet.journal@gmail.com

Сайт: https://journal.kazhydromet.kz

Собственник: РГП «Казгидромет»

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

CHIEF EDITOR

Alimbayeva D., General Director

DEPUTY CHIEF EDITOR

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

RESPONSIBLE SECRETARY

Yeltay A., Ph.D, head of unit

e-mail: hydromet.journal@gmail.com

EDITORIAL STAFF

Bazarbay L., Leading Researcher

Yeltay A., Ph.D, head of unit

Zhaksybayeva A., Leading Researcher

Kuzhageldina N., head of unit

Kukenova B., Leading Engineer

Nurkhan M., Leading Researcher

EDITORIAL BOARD

Abdrakhimov R. (Almaty, Kazakhstan)

Volchek A. (Брест, Беларусь)

Gafurov A. (Potsdam, Germany)

Murtazin E. (Almaty, Kazakhstan)

Mustafayev Zh. (Almaty, Kazakhstan)

Opp C. (Marburg, Germany)

Ostrovskaya E. (Astrakhan, Russia)

Polyakova S. (Almaty, Kazakhstan)

Salnikov V. (Almaty, Kazakhstan)

Stepanov B. (Almaty, Kazakhstan)

Terekhov A. (Almaty, Kazakhstan)

Tillakarin T. (Astana, Kazakhstan)

Cherednichenko A. (Almaty, Kazakhstan)

Yafyazova R. (Almaty, Kazakhstan)

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

E-mail: hydromet.journal@gmail.com

Website: https://journal.kazhydromet.kz

Proprietary: «Kazhydromet» RSE

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

МАЗМҰНЫ

ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

Каракоз Т. Нарбаева, Амражан З. Таиров, Гаухаркуль К. Исмаилова, Марс Т. Нарбаев., Ерлан Ғ.Муханбет 8

ШУ-ТАЛАС СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛАБЫНЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫН БАҒАЛАУ

Фаргана С. Дадашова, Вафа И.Мамедова, Мехрибан А. Аббасова

ӘЗІРБАЙЖАННЫҢ ТЕРМАЛДЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫНА КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІНІҢ ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ ӘСЕРІ (2002-2022 жж.) 18

Нариман А. Амиргалиев, Азамат С. Мадибеков, Диана М. Бурлибаева, Айнұр Мұсақұлқызы

ЖАЙЫҚ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ ӨЗЕНІНІҢ ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДАҒЫ СУЫНЫҢ МИНЕРАЛДАНУЫНЫҢ ҰЗАҚ ЖЫЛДЫҚ ДИНАМИКАСЫ 29

Айжан Д. Рахишева, Жанар Рахымжан, Райхан Р. Бейсенова, Румия М. Тазитдинова

АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНҒАН ӨНДІРІС АУМАҒЫНЫҢ ТОПЫРАҚ ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫН БАҒАЛАУ (ҚАРАҒАНДЫ МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ КОМБИНАТЫ МЫСАЛЫНДА) 38

Людмилла А. Городецкая, Равиль И. Мухамедиев, Надия Р. Юничева, Елизавета С. Витулёва

АЛМАТЫ ҚАЛАЛЫҚ АГЛОМЕРАЦИЯСЫ ШЕГІНДЕ ҰШҚЫШСЫЗ ӘУЕ КӨЛІГІНІҢ КӨМЕГІМЕН ҚАТТЫ ТҰРМЫСТЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ АНЫҚТАУ 49

Шыңғыс С. Сәбит, Екатерина А. Кузнецова, Гульдана М. Минжанова, Корлан К. Хамитова

ӨСКЕМЕН ҚАЛАСЫНДАҒЫ ҚАЛДЫҚТАРДЫ БАСҚАРУ ЖӘНЕ ҚАЙТА ӨҢДЕУ ЖҮЙЕСІН ТАЛДАУ 61

Фуад Гумбатов

ӘЗІРБАЙЖАН РЕСПУБЛИКАСЫН ДЕКАРБОНИЗАЦИЯЛАУ ЖОЛДАРЫ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІК МӘСЕЛЕЛЕРІ 68

Мурабек К. Омаров, Алтын А. Жангужина

ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНЫҢ ОРМАН ЛАНДШАФТТАРЫНДАҒЫ ӨРТТЕРДІҢ КЕҢІСТІКТІК ТАРАЛУЫ 81

ШОЛУ

Канат Б. Самарханов, Гузялия А.Мусина, Марал Х. Шкиева, Аян Б. Жумаканов, Эльмира О. Орынбасарова

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ГРАВИМЕТРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ СУ ОБЪЕКТІЛЕРІН МОНИТОРИНГІЛЕУ ҮШІН СПУТНИКТІК ГРАВИМЕТРИЯНЫ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІКТЕРІ 91

ХРОНИКА

ДАВЛЕТГАЛИЕВ САКЕН КАЛАМКАЛИЕВИЧ (90 жылдық мерейтой) 105

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Каракоз Т. Нарбаева, Амражан З. Таиров, Гаухаркуль К. Исмаилова, Марс Т. Нарбаев., Ерлан Ғ.Муханбет 8
ОЦЕНКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ШУ-ТАЛАССКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА

Фаргана С. Дадашова, Вафа И.Мамедова, Мехрибан А. Аббасова
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АЗЕРБАЙДЖАНА ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД (2002—2022 гг.) 18

Нариман А. Амиргалиев, Азамат С. Мадибеков, Диана М. Бурлибаева, Айнұр Мұсақұлқызы
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ЖАЙЫК НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА 29

Айжан Д. Рахишева, Жанар Рахымжан, Райхан Р. Бейсенова, Румия М. Тазитдинова
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРОМЗОНЫ, ЗАГРЯЗНЕННОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (НА ПРИМЕРЕ КАРАГАНДИНСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА) 38

Людмилла А. Городецкая, Равиль И. Мухамедиев, Надия Р. Юничева, Елизавета С. Витулёва
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ БПЛА В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ АЛМАТЫ 49

Шыңғыс С. Сәбит, Екатерина А. Кузнецова, Гульдана М. Минжанова, Корлан К. Хамитова
АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В ГОРОДЕ УСТЬ-КАМЕНОГОРСКЕ 61

Фуад Гумбатов
ПУТИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ РЕСПУБЛИКИ АЗЕРБАЙДЖАН И ВЫЗОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 68

Мурабек К. Омаров, Алтын А. Жангужина
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРОВ В ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТАХ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ 81

ОБЗОР

Канат Б. Самарханов, Гузялия А.Мусина, Марал Х. Шкиева, Аян Б. Жумаканов, Эльмира О. Орынбасарова
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАЗАХСТАНЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ ГРАВИМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ 91

ХРОНИКА

ДАВЛЕТГАЛИЕВ САКЕН КАЛАМКАЛИЕВИЧ (к 90-летию со дня рождения) 105

CONTENT

SCIENTIFIC ARTICLE

Karakoz Narbayeva, Amrazhan Tairov, Gauharkul Ismailova, Mars Narbaev, Yerlan Mukhanbet
ASSESSMENT OF WATER RESOURCES IN THE SHU-TALAS RIVER BASIN 8

Fargana Dadashova, Vafa Mammadova, Mehriban Abbasova
INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE THERMAL CONDITIONS OF AZERBAIJAN OVER A LONG-TERM PERIOD (2002-2022) 18

Nariman Amirgaliyev, Azamat Madibekov, Diana Burlibayeva, Ainur Mussakulkyzy
MULTIYEAR DYNAMICS OF WATER MINERALIZATION IN THE TRANSBOUNDARY ZHAIYK RIVER ON THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN 29

Aizhan Rakhisheva , Zhanar Rakhymzhan, Raikhan Beisenova, Rumiya Tazitdinova
ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE SOIL COVER OF THE INDUSTRIAL AREA CONTAMINATED WITH HEAVY METALS (IN THE EXAMPLE OF THE KARAGANDY METALLURGICAL COMBINE) 38

Liudmila Gorodetskaya, Ravil Mukhamediev, Nadiya Yunicheva, Yelizaveta Vitulyova
DETECTION OF SOLID DOMESTIC WASTE USING UAVS WITHIN THE URBAN AGGLOMERATION OF ALMATY 49

Shyngis Sabit, Ekaterina Kuznetsova, Guldana Minzhanova, Korlan Khamitova
ANALYSIS OF THE WASTE MANAGEMENT AND RECYCLING SYSTEM IN UST-KAMENOGORSK 61

Fuad Humbatov
DECARBONIZATION PATHWAYS OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN AND THE ENVIRONMENTAL SECURITY CHALLENGES 68

Murabek Omarov, Altyn Zhanguzhina
SPATIAL DISTRIBUTION OF FIRES IN THE FOREST LANDSCAPES OF PAVLODAR REGION 81

REVIEW

Kanat Samarkhanov, Guzyaliya Mussina, Maral Shkieva, Ayan Zhumakanov, Elmira Orynbassarova
THE CURRENT STATE OF GRAVIMETRIC RESEARCH IN KAZAKHSTAN AND THE POSSIBILITY OF USING SATELLITE GRAVIMETRY FOR MONITORING WATER BODIES 91

CHRONICLE

DAVLETGALIEV SAKEN (on 90th anniversary of his birth) 105

Гидрометеорология и экология

Ғылыми мақала

ШУ-ТАЛАС СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛАБЫНЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫН БАҒАЛАУ

Каракоз Т. Нарбаева[1]* PhD, Амражан З. Таиров[1] г.ғ.к., Гаухаркуль К. Исмаилова[2] г.ғ.к., Марс Т. Нарбаев[3] г.ғ.к., Ерлан Ғ.Муханбет[2]

[1] География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан; narbayeva.kn@gmail.com (КТН), amra2005@list.ru (АЗТ)
[2] Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; gismailova@list.ru (ГКИ) mukhanbet.yerlan@inbox.ru (ЕҒМ)
[3] Қ.И. Сатпаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; mars.narbayev@gmail.com (МТН)
Автор корреспондент: Каракоз Т. Нарбаева, narbayeva.kn@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР:

су шаруашылық есептеулер
су қоймалар
тұрақты суармалау
су тұтынушылар
су тепе-теңдігі

АБСТРАКТ

Климаттық өзгерістерге байланысты жауын-шашын мөлшері мен режимінің өзгеруі, тау мұздықтарының еруі және орташа жылдық ауа температураның артуы өзендердің ағын режиміне айтарлықтай әсер етуде. Бұл жағдай су қоймаларының су балансына және олардың пайдалану тиімділігіне тікелей ықпал етеді. Мақалада Шу-Талас су шаруашылығы алабының су ресурстары Тасөткел, Теріс-Ащыбұлақ және Ыналы су қоймаларының су шаруашылық балансына жүргізілген талдау негізінде бағаланды. Зерттеу нәтижесінде Тасөткел су қоймасында су балансының оң көрсеткіштері байқалса, қалған екі су қоймасында теріс таңбаларын көрсетті. Сонымен қатар, 2009...2018 жылдар аралығындағы тұрақты суаруға арналған су тұтыну көлемі мен суармалы жерлердің аумақтық өзгерісі талданды. Талдау өзен ағысының бөлінісінде аймақтық теңсіздіктің бар екенін көрсетті. Су ресурстарының негізгі тұтынушысы ауыл шаруашылығы саласы болып табылады, оның үлесіне алап суының шамамен 70 % тиесілі. Алынған нәтижелер климаттың өзгеруі жағдайында су ресурстарын басқару мен бейімделу стратегияларын әзірлеуде пайдалануға мүмкіндік береді.

Мақала жайында:
Жіберілді: 4.02.2025
Қайта қаралды: 17.06.2025
Қабылданды: 26.06.2025
Жарияланды: 30.06.2025

Дәйексөз үшін:
Нарбаева К., Таиров А., Исмаилова Г., Нарбаев М., Муханбет Е. Шу-Талас су шаруашылығы алабының су ресурстарын бағалау // Гидрометеорология и экология, №2 (117), 2025, 8-17.

1. КІРІСПЕ

Көпжылдық зерттеулердің деректері бойынша, климаттың жаһандық өзгеруі және антропогендік факторлардың әсеріне байланысты, табиғатта күрделі өзгерістер байқалуда. Әсіресе, халық санының өсуіне байланысты, Қазақстанның оңтүстік өңірлерінде өзен желілерінің қысқаруы байқалады. Бұл сонымен қатар өзен экожүйелерінің деградациясына әкеледі. Су ресурстарын басқару, біріншіден, өзен экожүйелерінің мүдделерін ескеруі керек, ал екіншіден, су шаруашылығындағы әртүрлі экономика салаларының қажеттіліктерін қанағаттандыруы керек [1...4].

Континенталды климаттың әсерінен, өзен желілерінің қалыптасуы біркелкі емес болғандықтан, көктемгі су тасқыны мен су тасу ағынды сулардың қалыптасуына, сондай-ақ өзен желісінің жылішілік және жылдық таралуына да байланысты, ағынды қамтамасыздық қисықтарын үш су градациясына бөлуге болады: суы көп жылдар (P<33,3 %), суы орташа жылдар (33,3 %≤P≤66,7 %) және суы аз жылдар (P>33,3 %) [5].

Жаз мезгілінде өзен желісі құрғақтайды және су тапшылығы байқалады, сонымен қатар суармалау алқаптарына су мөлшерін көбейту көлемі ұлғаяды, бұл маусымдық шектелу уақыты деп аталады. Сондықтан шектеу маусымы кезінде мұндай тапшылықты жабу үшін су қоймаларының қажеттілігі артады. Су қоймалары, әрине, оң және теріс салдарға әкеледі. Оң таңбасы, ол су тапшылығы кезеңінде артық судың көп мөлшерін су қоймасында сақтап қалу және басқа кезеңінде біркелкі реттеу. Ал теріс факторлар, ол егерде өзен ағыны дұрыс реттелмей су басу қауіпі туындаған жағдайында орын алады. Бұл аспектілер су қоймаларын жобалауға кешенді көзқарастың және ықтимал салдарды мұқият бағалаудың маңыздылығын көрсетеді.

Кейбір зерттеулер бойынша [6] Шу-Талас өзені алабының барлық табиғи-географиялық аймақтарында ауыл шаруашылығы алқаптарының су тұтыну тапшылығының артқанын көрсетеді. Бұл ауыл шаруашылығы қызметін жүргізудің қауіпсіздік белгісі болып табылады. Соңдықтан, су шаруашылық алаптарда су ресурстарын, су қоймаларының су тепе -теңдігін және су тұтынушыларды бағалау күрделі мәселелердің бірі болып келеді, және бұл мәселе осы мақалада қарастырылған.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу нысаны. Зерттеу аумағының негізгі бөлігі (73 %) шөлдер мен жартылай шөлдер аймағында жатыр, ал 14 % Тянь-Шань тау жүйелерінің сілемдері. Ауыл шаруашылығын пайдалану тұрғысынан аумақтың тек 13 %, тау бөктеріндегі дала бөлігі, үлкен қызығушылық тудырады.

Шу-Талас алабының аумағы негізінен Жамбыл және Түркістан облыстарында (Созақ ауданы) орналасқан. Шу-Талас және Аса гидрографиялық алабының жалпы ауданы 186,79 мың км^2 немесе республика аумағының 6,8 % құрайды [7].

Гидрографиялық тұрғыдан алапта 3 ірі өзен (Шу, Талас және Аса), 242 кіші өзен (оның ішінде Шу өзенінің алабында – 158, Талас өзенінің алабында – 20, Асы өзенінің алабында – 64) және 35 көл бар [8...9]. Алапта, кешенді мақсаттағы 3 ірі су қоймасы орналасқан (сурет 1): Шу өзеніндегі Тасөткел су қоймасы, 620,0 млн м^3 жобалық сыйымдылығымен; Терс өзеніндегі Терс-Ащыбұлақ су қоймасы 158,0 млн м^3 сыйымдылығымен және Шабақты өзеніндегі Ынталы су қоймасы 30,0 млн м^3 сыйымдылығымен (1 кесте). Оған қоса, 1-ден 10 млн м^3 дейінгі, 131,0 млн м^3 жиынтық сыйымдылығымен – 38 шағын су қоймасы, 164 қазылған және тоған (жиынтық сыйымдылығы 72,2 млн м^3) орналасқан [10].



Сурет 1. *Шу-Талас су шаруашылығы алабының негізгі су қоймаларының орналасу сұлбасы*

Кесте 1

Шу өзенінің негізгі су қоймалары туралы мәліметтер

№	Су қоймасының атауы	Өзен	Іске қосылу жылы	Сыйымдылығы, млн м^3	
				Толық	Пайдалы
1	Тасөткел	р. Шу	1974	620	322
2	Терс-Ащыбұлақ	р. Терс	1963	158	143
3	Ынталы	р. Шабакты	1975	30	23

Су қоймаларын салу және пайдалану нәтижесінде Шу-Талас алабының негізгі өзендерінің гидрологиялық режимі айтарлықтай өзгерді, бұл өзгерістердің мөлшері су қоймаларының пайдалы сыйымдылығы мен өзен ағынының көлемінің арақатынасымен анықталады. Су экожүйесіне ерекше әсер еткен су қоймалары мен тоғандардың құрылысы өзен ағындысына осы уақытқа дейін антропогендік әсердің мөлшерін көрсетеді [11].

Зерттеу әдісі.

Гидротехникалық имараттардың әсерін бағалау су ресурстарын ұтымды пайдалану мен қорғау мәселелерін шешуде практикалық маңызға ие және де үлкен ғылыми қызығушылық тудырады. Оны шешудің негізгі жолы, су қоймаларында су ресурстарының қалыптасу заңдылығын, олардың өзен ағынына әсерін және су қоймаларының су тепе теңдігінің сипаттамаларын зерттеу болып табылады [12...14]. Су ресурстарын пайдаланудың ағымдағы және болашақ деңгейінің сандық және сапалық көрсеткіштері қалыптасатын су тепе - теңдігінің есептеулері су ресурстарын тиімді басқару мәселелерін шешудің тиімді құралы болып табылады.

Зерттеу жұмыстары 2009...2018 жылдардағы Шу-Талас алабының суару және су алу аумағының өзгеруіне және қарастырылым ауданның 2011...2016 жылдардағы су тұтынушыларына статистикалық талдау арқылы жүргізілген. Статистикалық талдау әдісінде үлкен көлемдік ақпараттармен дерек көздері пайдаланылды.

Жалпы, су қоймасының су тепе теңдігін анықтау, Δt уақыт аралығы үшін келесі теңдеу қарастырылды, яғни [12]:

$$\pm \Delta V = Q_т \Delta t = (Q_к - Q)\,\Delta t = [Q_к - (Q_п + Q_ж + Q_ш)]\,\Delta t, \qquad (1)$$

мұнда, ΔV – су қоймасын толтырудың өзгеруі, оң белгісі су қоймасын толтырудың ұлғаюына (аккумуляцияға), азаюы (жіберілім) – теріс белгісіне сәйкес келеді; $Q_т$ – толу, яғни су қоймасына құятын $Q_к$ және реттелген жалпы $Q_ж$ (жеберілім) су өтімдерінің айырмасы; $Q_п$ - пайдаланылатын су өтімі; $Q_с$ - бос ағызу су өтімі; $Q_ш$ - су қоймасынан алатын қосынды су шығындары.

Есептік уақыт аралығындағы (±ΔV) су қоймасынан су жіберілімі немесе толтыру шамасы тепе-теңдіктің кіріс және шығыс бөлігін теңестіретін су реттеу ретінде, су шаруашылығы тепе теңдігін есептеу барысында анықталады.

Су қоймасын толтыру бөгеттің төменгі ағысындағы су пайдаланушыларының мүддесі үшін арнайы су жіберу, қайтарымсыз су тұтыну, сондай-ақ су қоймасынан су жіберілімі көлемін шегергендегі су қоймасына жиынтық ағынының көлемімен айқындалады [15...16].

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Шу-Талас алабының су ресурстарының көпжылдық динамикасында 1997...2005 жылдар аралығында өсу тенденциясы байқалғаны анықталды. Бірақ 2005 жылдан бастап қазіргі уақытқа дейін өзен ағыны азайып келеді және бұл жерде ылғалдың көпжылдық қайта өңделуі маңызды рөл атқарады. Бүгінгі таңда өзендердің қоректенуі негізінен қар мен мұздықтар болып табылады. Кейбір мәліметтер бойынша [17], олардың үлесі соңғы 30 жыл ішінде азайып келеді.

Зерттеу аймағындағы су қоймалары негізінен суармашылық алқаптарды сумен қамтамасыз етеді. Суармалау топырақ құнарлылығымен өнімділіктің артуына ықпал етеді. Бірақ, бұл үлкен антропогендік жүктеме. Мұнда, су және жер ресурстарын тиімсіз пайдалану бүкіл экожүйеге кері әсер жасайды, жердің деградациясына және биоалуантүрліліктің төмендеуіне әкелуі мүмкін екенін ескеру қажет. Зерттеу аймағында суармалы жерлердің 50...60 % жеткіліксіз пайдаланылатынын көрсетті [18]. Бұл аймақтағы көптеген суару жүйелерінің қанағаттанарлықсыз техникалық жағдайына, төтенше жағдайларға және суару жүйелерінің көпшілігінің жеке меншігінде болуына байланысты. Сондықтан су қоймалар, «енгізілген» антропогендік нысандары ретінде,

экожүйелерді тұрақты дамыту және су ресурстарын ұтымды пайдалануда маңызды рөл атқарады. Зерттеу мақсатында су шаруашылық алабында 3 су қоймасы қарастырылды.

Тасөткел су қоймасы Жамбыл облысындағы ірі су қоймаларының бірі, Шу өзенінің төменгі ағысында орналасқан. Су қоймасы Жамбыл облысы Шу және Мойынқұм аудандарының ауыл шаруашылығы жерлерін суару үшін пайдаланылады. Су сыйымдылығы 620 млн м^3 (2 кесте).

Кесте 2

Тасөткел су қоймасының 2018 жылғы су балансы

№	Тепе-теңдіктің құрамдас бөліктері	млн м^3
1	Кезең басындағы су қоймасының көлемі	302,63
2	Су қоймасына құйылу	2152,38
3	Су қоймасынан булану және сүзілу шығындары	160,34
	Су қоймасынан жіберілім	2080,6
	оның ішінде:	
4	Шу ауданын суармалау	67,64
	Мойынқұм ауданын суармалау	16,8
	Арна бойымен санитарлық жібериліммен шығындар	1776,21
5	Кезең соңындағы су қоймасының көлемі	347,8
	Барлығы	+ΔV=71,78

Тасөткел су қоймасының су шаруашылық тепе-теңдіктің талдауына сәйкес, су қоймасын толтырудың негізгі бөлігі (99...100 %) су қоймасына салалардан келіп құйылатын суға байланысты (2152,38 млн м^3). Ал шығын бөлігіне су қоймадан жіберілім жатады, яғни суарылым және санитарлық су жіберілімдері 2080,6 млн м^3 (97 %), бұл су қоймасының аккумуляциясын азайтады, осының ішінде олардың булану және сүзілу шығындары 160,34 млн м^3 (1,6 %) құрайды. Су шаруашылық балансы есептелу бойынша сәйкессіздігі (ΔV) оң таңбада, яғни +71,78 млн м^3 құрады.

Терс-Ащыбұлақ су қоймасы Жамбыл облысы Жуалы ауданындағы Терс өзенінде (Аса өзенінің саласы) орналасқан. Толық су сыйымдылығы 158 млн м^3 (3 кесте).

Кесте 3

Терс-Ащыбұлақ су қоймасының 2018 жылғы су балансы

№	Тепе-теңдіктің құрамдас бөліктері	млн м^3
1	Кезең басындағы су қоймасының көлемі	63,5
2	Су қоймасына құйылу	212,9
3	Су қоймасынан булану және сүзілу шығындары	5,11
4	Су қоймасынан жіберілім	214,81
	оның ішінде:	
	Суармалау жерлерге	11,52
	Күркіреу-су саласын ескере Аса с/т су көлемі	338,5
	Аса өзенінен өндіріс қажеттілігіне су пайдалану	15,77
5	Аса өзенінен су алу және суармалау	65,45
	Арна бойымен санитарлық жібериліммен шығындар	185,8
	Барлығы	-ΔV= 1,91

Терс-Ащыбұлақ су қоймасының су шаруашылық тепе-теңдігінің талдауына сәйкес, су қоймасын толтырудың тән бөлігі Тасөткел су қоймасының талдауына сәйкес, келіп құятын ағынға байланысты, ал ағынның шығын бөлігі су қоймасынан жіберілім, атап айтқанда суару және санитарлық жіберілімдер.

Су шаруашылық тепе-теңдігі есептелу бойынша сәйкессіздігі (ΔV) теріс таңбада, яғни – 1,91млн м^3 құрады, бұл су қоймдан артық шығындардың көп болуын ескереді.

Ынталы су қоймасының (сыйымдылығы 30,0 млн м^3) су шаруашылық тепе-теңдігінің талдауына сәйкес, су қоймасын толтырудың негізгі бөлігі су қоймасына келіп құйылатын су мөлшеріне байланысты, ол 27,43 млн м^3 құрады (4 кесте).

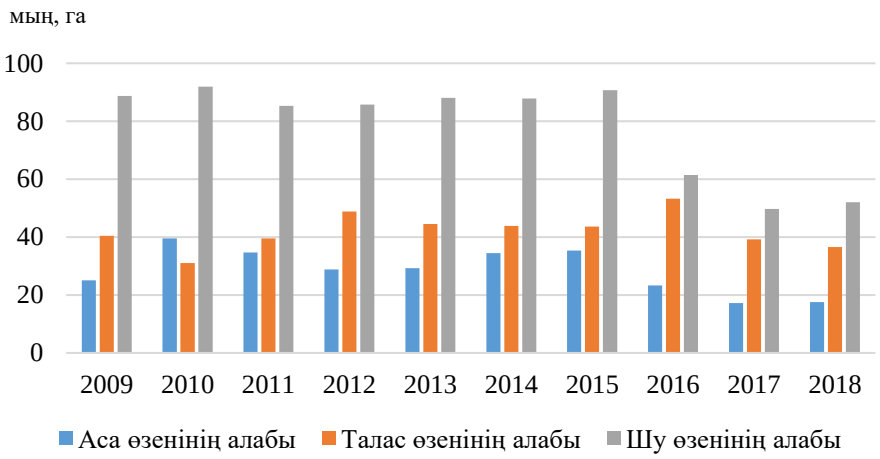
Су шаруашылығы тепе-теңдігінің ең үлкен су шығыны сипаттамасы су қоймасынан суару, шығындары 17,04 млн м^3, ал барлық су жіберілім 27,6 млн м^3 құрайды. Су қоймасына құйылу мен жіберілімге байланысты, сәйкессіздік (ΔV) теріс таңбада байқалды, яғни – 0,17 млн м^3 құрады.

Кесте 4

Ынталы су қоймасының 2018 жылғы су балансы

№	Тепе-теңдіктің құрамдас бөліктері	млн м^3
1	Кезең басындағы су қоймасының көлемі	7,95
2	Су қоймасына құйылу	27,43
3	Су қоймасынан булану және сүзілу шығындары	3,94
4	Су қоймасынан жіберілім	27,6
	оның ішінде:	
	Суармалау жерлерге	17,04
5	Кезең соңындағы су қоймасының көлемі	7,95
	Барлығы	-ΔV= 0,17

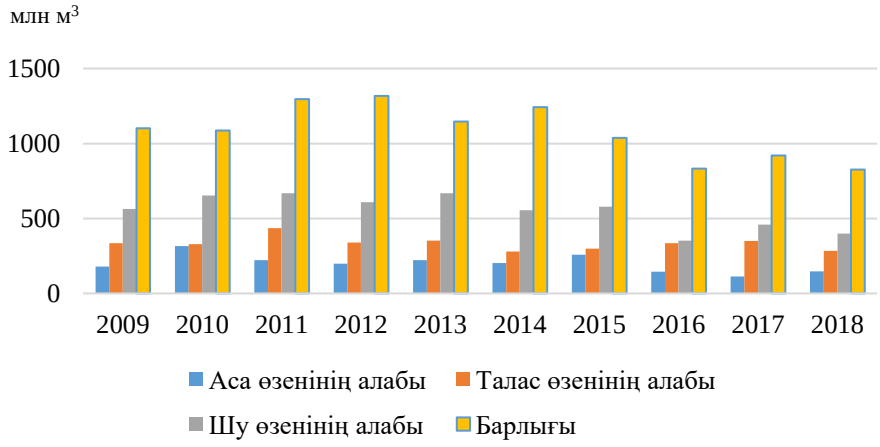
Осыған орай, Шу-Талас алабында суару алқаптарының динамикасы қандай өзгерістерде ұшарағанын 2 суреттен байқауға болады.



Сурет 2. *2009...2018 жылдардағы Шу-Талас алабының суару алқаптарының өзгеру динамикасы*

Суармалау алқаптарының басым бөлігі Шу өзені алабында орналасқан. 2009 жылдан 2015 жылға дейін тұрақты болып, 2015 жылдан 2018 жылға дейінгі аралығында суармалау алқаптары шамамен 37 % дейін төмендеген. Талас өзенінің алабы бойынша суармалау алқаптары 2009 жылдың басынан 2018 жылға дейін 30 %-дан 40 % дейін өзгерістер байқалады, бұл аумақты пайдаланудың орташа мәнін көрсетеді. Суару аймағын ең аз пайдаланған Аса өзен алабында байқалды, ол 18 %-дан 40 % дейін өзгерген.

Тұрақты суаруға су алудың өзгеріс динамикасын 3 суреттен байқауға болады.

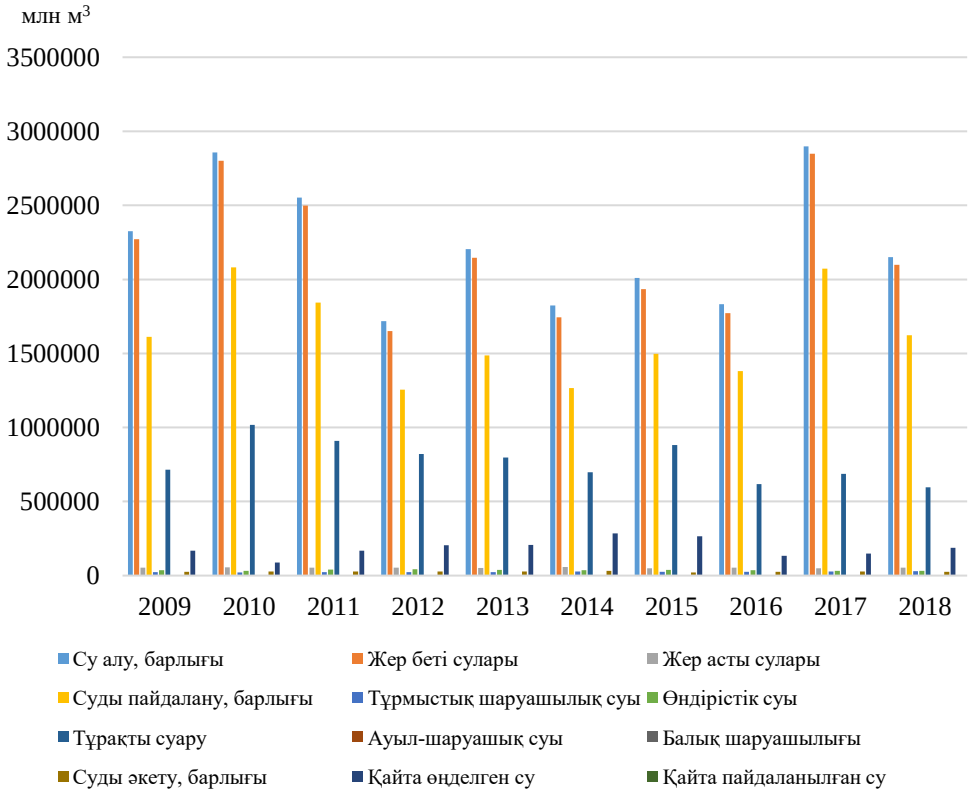


Сурет 3. *2009...2018 жылдары аралығында өзендер алабы алқаптарында тұрақты суаруға су алудың өзгеріс динамикасы*

Шу өзені алабында 2009 жылдан 2015 жылға дейін суармалау қажеттіліктері үшін: min – 460 млн м^3, max – 670 млн м^3 көлемінде су алынған. Талас өзені алабында: min – 280 млн м^3, max – 430 млн м^3 көлемінде су алынып, ең аз пайдаланылғын су мөлшері, Аса алабында байқалған: 113 млн м^3-ден 315 млн м^3 дейін.

Шу-Талас алабы су ресурстарының едәуір бөлігі суармашылықта пайдаланылады, сондықтан вегетациялық кезеңде Қырғыз тарапының КСРО су шаруашылығы министрлігі 1983 жылы бекіткен «Шу және Талас трансшекаралық өзендерінің ағындарын бөлу туралы Ереженің» талаптарын сақтауына толығымен тәуелді [19].

Негізгі су пайдаланушылар ауыл шаруашылығы (шамамен 94 %), өнеркәсіп және тұрмыстық-шаруашылық кәсіпорындары (5,5 %), өзге де салалар (0,5 %) болып табылады. Бірақ, 2009...2018 жылдар кезеңінде талдауына сәйкес (4 сурет), тұрақты суармашылықта суды тұтыну 60...70% көрсетеді. Суды өнеркәсіп үшін пайдалану – 20...30 %, тұрмыстық-шаруашылық үшін, шамамен 5% байқалады, ал басқалары – 10...15% құрайды.



Сурет 4. *2009...2018 жж. негізгі су тұтынушылардың өзгеру динамикасы*

Негізгі су тұтынушылардың өзгеру динамикасы судың көп бөлігі тұрақты суармалау үшін пайдаланылатынын көрсетеді. Тұрақты суармалау үшін су алу 2009 жылдан 2015 жылға дейін шамамен біркелкі, бірақ 2015 жылда 10 % аралығында өсіп, қалған 2016...2018 жылдары 15 % төмендеген. Өндірістік қажеттіліктердегі суды пайдалану да біркелкі болып келеді, бірақ 2015...2016 жылдары суды тұтыну шамамен 30...40 % төмендеген. Суды әкету, оның ішінде – қайта өңделген су мен қайта пайдаланған сулар, шамамен 2009 жылдан бастап 2018 жылға дейін біркелкі көріністі сипаттайды, дегенмен әрине ±3...5 % аралығында өзгерістер байқалады.

Су-шаруашылық алапты үнемі суармалау үшін су тұтынушылар мөлшері артуы болашақта ресурстардың болжамды мәндерін қарастыру қажеттілігін тудырады. Су шаруашылығын дамытудың белгілі бір кезеңдеріне арналған Шу-Талас алабы ресурстарының болжамды есептік мәндері келтірілген (5 кесте). Су шаруашылығы алабы ресурстарының статистикалық параметрлері мен қамтамасыз етілуін болжамын бағалау

үшін «Су ресурстарын кешенді пайдалану мен қорғаудың бас сұлбасынан» [20] жиынтық су шаруашылығы тепе-теңдігінің деректері пайдаланылды.

Кесте 5

Шу-Талас алабының болжамды ресурстары әр түрлі қамтамасыз етілген жағдайында өлшемі, км^3 [20]

2030 ж.					**2040 ж.**				
C_V	Q_O	5%	50%	95%	C_V	Q_O	5%	50%	95%
0,12	3,51	4,23	3,49	2,85	0,12	3,51	4,24	3,50	2,86

Шу-Талас алабының су ресурстарының болжамды мәндері әр түрлі қамтамасыздықта ($Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ және $Q_{95\%}$) көрсетілгендей, алаптың ресурстары 2030 жылдан 2040 жылдарға дейін ерекше өзгермейді немесе шамалы өсуге бейім.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Су қоймаларын пайдалану нәтижесінде Шу-Талас алабының негізгі өзендерінің гидрологиялық режимі айтарлықтай өзгерді. Бөгеттер мен су қоймаларының имараттары өзен ағынының маусымдық және жылдық таралуына да айтарлықтай өзгеруіне әкелді, бұл экожүйелер мен су деңгейінің табиғи ауытқуларына тәуелді болуы мүмкін. Су ресурстарының жалпы жағдайы, оның ішінде су тұтынушылары мен су қоймалары, су шаруашылығы, және су қоймалардың тепе-теңдігі бойынша бағаланды.

Соңғы жылдары жаһандық жылыну мен климаттың өзгеруі өзен экожүйесіне ғана емес, су қоймаларының суды жинақталуына да әсер етеді. Бұл, яғни булану мен фильтрацияға әсерін көрсетеді. Осы өзгерістерге байланысты, су қоймаларының су тепе-теңдігін талдауымыз бойынша да, аздап толмауын байқаймыз. Осы көрініске сәйкес Ыналы су қоймасының тепе-теңдігінің су қоймасына кіру шығынынан 27,43 млн м^3, барлық су жіберілім 27,6 млн м^3 көп жіберілімге байланысты, сәйкессіздік (ΔV) теріс таңбада байқалды, яғни – 0,17 млн м^3 құрады.

Ал Терс-Ащыбұлақ су қоймасының су шаруашылық тепе-теңдігін есептеу бойынша сәйкессіздігі (ΔV) теріс таңбада, яғни – 1,91 млн м^3 құрады, бұл да, су қоймадан шығындардың көп болуын ескереді. Су шаруашылық тепе-теңдігін талдауы бойынша, Тасөткел су қоймасының сәйкессіздігі (ΔV) оң таңбада, яғни +71,78 млн м^3 құрады.

Негізгі су тұтынушылардың өзгеру динамикасы судың көп бөлігі тұрақты суармалау үшін пайдаланылатынын көрсетеді. Бұл көрсеткіштер 2009...2018 жылдар аралығында аса көп өзгерістер байқалмайды, дегенмен ±3...5 % аралығында өзгерістер бар.

Ал болжамды мәндері әр түрлі қамтамасыздықта ($Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ және $Q_{95\%}$) көрсетілгендей, алаптың ресурстары 2030 жылдан 2040 жылдарға дейін ерекше өзгермейді, дегенмен жаһандық климаттың өзгеруіне байланысты су ресурстарын ұтымды және тиімді пайдалануды қазіргі уақыттан ескеру қажет.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде, пайдаланылған деректерді авторлар BR18574227-ОТ-23 Ауылдық аумақтардың орнықты дамуын қамтамасыз ету үшін Қазақстанның оңтүстік өңірлерінде шөлейттену процестерінің алдын алу жөніндегі ЖСҚ басқармасының Ғылыми-қолданбалы негіздемесінен алды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау - КТН; деректерді басқару - АЗТ; Ресми талдау - МТН; Әдістеме - АЗТ; Бағдарламалық қамтамасыз ету - ГКИ; Қадағалау - КТН; Визуализация - ЕҒМ; Бастапқы жобаны жазу - ЕҒМ; Шолу жазу және редакциялау - ГКИ.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Осы зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (грант № BR 18574227).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., Смирнова Д.А., Скольский В.А., Айтуреев А.М., Линник А.С., Милюков Д.Ю. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана. Бассейны рек Шу и Талас. – Алматы, 2018. – 511 с.
2. Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Кайдарова Р.К., Бурлибаева Д.М., Кулебаев К.М. О требованиях экосистем рек Шу и Талас к гидрологическому и гидрохимическому режимам водотоков // Гидрометеорология и экология. – 2019. – № 1. – С. 73-92
3. Достай Ж.Д., Кулебаев К.М., Камалиев А.М. Гидрологический мониторинг на реках Шу Таласского бассейна и его развитие // Гидрометеорология и экология. – 2018. – № 1. – С. 84-91
4. Shaidyldaeva N., Yaning Chen, Abdyzhaparuulu S. Climate change and its impact on the hydrological processes of the Talas River in central Asia. Fresenius environmental bulletin, 2013, Vol. 23(6), pp. 1423-1432
5. Мусина А.К., Шайбек А.Д., Нарбаева К.Т., Әлімбай А.М. Шу-Талас өзені алабы шегіндегі соңғы онжылдықтардағы жылішілік ағындыны бағалау // Хабаршы. География сериясы. – 2021. – №2 (61). – 88-97 б. https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v61.i2.08
6. Мустафаев Ж.С., Абдешев К.Б., Турсынбаев Н.А. Влияние изменения климата на формирование границ природных зон на водосборах бассейна реки Асса-Талас // Природообустройство. – 2024. – С.82-90. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-82-90
7. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Шу с притоками. Том II. Водные объекты, ресурсы и водоохранные мероприятия. Книга 1. Природные условия.: ПК «Институт Казгипроводхоз». – Алматы, 2007. – 127 с.
8. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Шу с притоками. Том I. Книга 1. Сводная записка. ПК «Институт Казгипроводхоз». – Алматы: – 2007. – 187 с.
9. Шу-Таласская бассейновая инспекция по регулированию использования и охраны водных ресурсов // Отчет о деятельности за 2016 г. – Тараз, 2017. – 151 с.
10. Шу-Таласская бассейновая инспекция по регулированию использования и охраны водных ресурсов // Отчет о деятельности за 2018 г. – Тараз, 2019.
11. Мусина А.К., Шайбек А.Д., Жанабаева Ж.А., Раймбекова Ж.Т. Шу-Талас алабы өзендерінің ағындысына ірі суқоймалардың әсерін бағалау // Хабаршы. География сериясы. – 2020. – № (57). https://doi.org/10.26577/JGEM.2020.v57.i2.03
12. Бахтияров В.А. Водное хозяйство и водохозяйственный расчеты. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1961. – 432 с.
13. Georg Meran, Markus Seihlow, Christian von Hirschhausen. The Economics of Water: Rules and Institutions. Springer Nature, 2020, 301 p.
14. Robert A. Young, John B. LoomisDetermining the Economic Value of WaterConcepts and Methods. Published Routledge, 2014. 358 p.
15. Арсеньев Г.С., Иваненко А.Г. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. С-П.: Гидрометеоиздат, 1993. – 273 с.
16. Кузнецов Е.В., Дегтярева Е.В., Ященко К.В. Водохозяйственные системы и водопользование. Учебное пособие. КубГАУ. – Краснодар, 2018. – 77 с.
17. Safina A.U. River runoff resources of the Shu-Talas water management basin in the context of climate change. Engineering Journal of Satbayev University, 2023, Vol. 145 (2023), Issue 3, pp. 25-30 https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.04
18. Таукебаев О.Ж., Зулпыхаров К.Б., Асылбекова А.А., Дуйсенбаев С.М., Сейтказы М. Ирригациялық жүйелердің техникалық жағдайыжәне оның суармалы жерлердің динамикасына әсері (Жамбыл облысы, Талас ауданы) // Хабаршы. География сериясы. –2022. –№2 (65). https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v65.i2.02
19. Положение о делении стока в бассейне реки Шу. Утверждено Минводхозом СССР 24.02.1983 г. – Москва, 1983. – 12 с.
20. Су ресурстарын кешенді пайдалану мен қорғаудың бас схемасын бекіту туралы. Қазақстан Республикасы Үкіметінің жүгінген күн: 2016 жылғы 8 сәуірдегі № 200 қаулысы [Электрондық ресурс] URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P1600000200, жүгінген күні: 20.01.2025.

REFERENCES

1 Burlibaev M.Zh., Shenberger I.V., Burlibaeva D.M., Smirnova D.A., Skol'skij V.A., Ajtureev A.M., Linnik A.S., Miljukov D.Ju. (2018). Problemy zagrjaznenija osnovnyh transgranichnyh rek Kazahstana. Bassejny rek Shu i Talas [Problems of pollution of the main transboundary rivers of Kazakhstan. Shu and Talas River basins.], Almaty, 511 p.

2 Burlibaev M.Zh., Shenberger I.V., Kajdarova R.K., Burlibaeva D.M., Kulebaev K.M. (2019).O trebovanijah jekosistem rek Shu i Talas k gidrologicheskomu i gidrohimicheskomu rezhimam vodotokov [On the requirements of the ecosystems of the Shu and Talas rivers to the hydrological and hydrochemical regimes of watercourses]. Gidrometeorologija i jekologija, Vol. 1, pp. 73-92

3 Dostaj Zh.D., Kulebaev K.M., Kamaliev A.M. (2018). Gidrologicheskij monitoring na rekah Shu Talasskogo bassejna i ego razvitie [Hydrological monitoring on the rivers Shu Talas basin and its development]. Gidrometeorologija i jekologija, Vol. 1, pp. 84-91

4 Shaidyldaeva N., Yaning Chen, Abdyzhaparuulu S. (2013). Climate change and its impact on the hydrological processes of the Talas River in central Asia. Fresenius environmental bulletin, Vol. 23(6), pp. 1423-1432

5 Musina A.K., Shajbek A.D., Narbaeva K.T., Әlimbaj A.M. (2021). Shu-Talas өzeni alaby shegindegi songy onzhyldyktardagy zhylishilik agyndyny bagalau [Assessment of intra-annual runoff for the last decades within the Shu-Talas river basin]. Habarshy. Geografija serijasy, Vol. 2 (61), pp. 88-97. https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v61.i2.08

6 Mustafaev Zh.S., Abdeshev K.B., Tursynbaev N.A (2024). Vlijanie izmenenija klimata na formirovanie granic prirodnyh zon na vodosborah bassejna reki Assa-Talas [Impact of climate change on the formation of natural zone boundaries in the watersheds of the Assa-Talas river basin]. Prirodoobustrojstvo, pp. 82-90. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-82-90

7 Shema kompleksnogo ispol'zovanija i ohrany vodnyh resursov bassejna r. Shu s pritokami [Scheme of integrated use and protection of water resources of the Shu River basin with tributaries. Volume II. Water bodies, resources and water protection measures]. Tom II. Vodnye obekty, resursy i vodoohrannye meroprijatija. Kniga 1. Prirodnye uslovija.: PK «Institut Kazgiprovodhoz», Almaty, 2007, 127 p.

8 Shema kompleksnogo ispol'zovanija i ohrany vodnyh resursov bassejna r. Shu s pritokami [Scheme of integrated use and protection of water resources in the Shu River basin with tributaries]. Tom I. Kniga 1. Svodnaja zapiska. PK «Institut Kazgiprovodhoz». – Almaty, 2007, 187 p.

9 Shu-Talasskaja bassejnovaja inspekcija po regulirovaniju ispol'zovanija i ohrany vodnyh resursov [Shu-Talas Basin Inspectorate for Regulation of Water Resources Use and Protection]. Otchet o dejatel'nosti za 2016 g., Taraz, 2017, 151 p.
10 Shu-Talasskaja bassejnovaja inspekcija po regulirovaniju ispol'zovanija i ohrany vodnyh resursov [Shu-Talas Basin Inspectorate for Regulation of Water Resources Use and Protection]. Otchet o dejatel'nosti za 2018 g., Taraz, 2019.
11 Musina A.K., Shajbek A.D., Zhanabaeva Zh.A., Rajmbekova Zh.T. (2020). Shu-Talas alaby өzenderinің agyndysyna iri sukojmalardyn әserin bagalau [Assessment of the impact of large reservoirs on the flow of rivers of the Shu-Talas basin]. Habarshy. Geografija serijasy, Vol. (57). https://doi.org/10.26577/JGEM.2020.v57.i2.03
12 Bahtijarov V.A. (1961). Vodnoe hozjajstvo i vodohozjajstvennyj raschety [Water economy and water management calculations]. L.: Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 432 p.
13 Georg Meran, Markus Seihlow, Christian von Hirschhausen (2020). The Economics of Water: Rules and Institutions. Springer Nature, 301 p.
14 Robert A. Young, John B. Loomis (2014). Determining the Economic Value of WaterConcepts and Methods. Published Routledge,358 p.
15 Arsen'ev G.S., Ivanenko A.G. (1993). Vodnoe hozjajstvo i vodohozjajstvennye raschety [Water economy and water management calculations]. S-P.: Gidrometeoizdat, 1993, 273 p.
16 Kuznecov E.V., Degtjareva E.V., Jashhenko K.V. (2018).Vodohozjajstvennye sistemy i vodopol'zovanie [Water management systems and water use.]. Uchebnoe posobie. KubGAU, Krasnodar, 2018, 77 p.
17 Safina A.U. (2023). River runoff resources of the Shu-Talas water management basin in the context of climate change. Engineering Journal of Satbayev University, Vol. 145 (2023), Issue 3, pp. 25-30 https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.04
18 Taukebaev O.Zh., Zulpyharov K.B., Asylbekova A.A., Dujsenbaev S.M., Sejtkazy M. (2022). Irrigacijalyk zhijelerdin tehnikalyk zhagdajyzhәne onyn suarmaly zherlerdin dinamikasyna әseri (Zhambyl oblysy, Talas audany) [Technical condition of irrigation systems and its impact on the dynamics of irrigated lands (Talas district, Zhambyl province)]. Habarshy. Geografija serijasy, Vol. 2 (65). https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v65.i2.02
19 Polozhenie o delenii stoka v bassejne reki Shu [Regulations on flow division in the Shu River basin.]. Utverzhdeno Minvodhozom SSSR 24.02.1983 g., Moskva, 1983, 12 p.
20 Su resurstaryn keshendi pajdalanu men қorgaudyn bas shemasyn bekitu turaly [On approval of the general scheme of integrated use and protection of water resources.]. Kazakstan Respublikasy Ukimetinin date of access: 2016 zhylgy 8 sәuirdegi № 200 kaulysy [Electronic resources]. URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P1600000200, date of access: 20.01.2025.

ОЦЕНКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ШУ-ТАЛАССКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА

Каракоз Т. Нарбаева[1]* PhD, Амражан З. Таиров[1]к.г.н., Гаухаркуль К. Исмаилова[2] к.г.н., Марс Т. Нарбаев[3] к.г.н., Ерлан Ғ.Муханбет[2]

[1] Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан; narbayeva.kn@gmail.com, amra2005@list.ru
[2] Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан; gismailova@list.ru, mukhanbet.yerlan@inbox.ru
[3] Казахский национальный технический университет им.К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан; mars.narbayev@gmail.com
Автор корреспондент: Каракоз Т. Нарбаева, narbayeva.kn@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

водохозяйственные расчеты
водохранилища
регулярное орошение
водопотребление
водный баланс

По статье:
Получено: 4.02.2025
Пересмотрено: 17.06.2025
Принято: 26.06.2025
Опубликовано: 30.06.2025

АБСТРАКТ

В условиях изменения климата, сопровождающегося изменениями количества и режима выпадения осадков, таянием горных ледников и повышением среднегодовых температур, наблюдаются значительные изменения в речном стоке, что влияет на водный баланс и эксплуатационные характеристики водохранилищ. В данной статье проведена оценка водных ресурсов Шу-Таласского водохозяйственного бассейна на основе анализа водохозяйственного баланса Тасоткельского, Терс-Ащибулакского и Ынталынского водохранилищ. Результаты показали положительный водный баланс для Тасоткельского водохранилища и отрицательный - для 2 остальных. Также проанализирована динамика водозабора на регулярное орошение и изменения орошаемой площади в период с 2009 по 2018 годы, показывающие неравномерное распределение водного стока. Установлено, что основным водопотребителем является сельское хозяйство, потребляющее до 70 % водных ресурсов бассейна. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации водопользования и разработки адаптационных мер в условиях климатических изменений.

ASSESSMENT OF WATER RESOURCES IN THE SHU-TALAS RIVER BASIN

Karakoz Narbayeva[1*] PhD, Amrazhan Tairov [1] Candidate of Geological Sciences, Gauharkul Ismailova[2] Candidate of Geographical Sciences, Mars Narbayev[3] Candidate of Geological Sciences, Yerlan Mukhanbet[2]

[1] Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; narbayeva.kn@gmail.com, amra2005@list.ru
[2] Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan; gismailova@list.ru, mukhanbet.yerlan@inbox.ru
[3] K.I. Satpayev Kazakh National Technical University, Almaty, Kazakhstan; mars.narbayev@gmail.com
Corresponding author: Karakoz Narbayeva, narbayeva.kn@gmail.com

KEY WORDS

water management calculations
reservoirs
regular irrigation
water consumption
water balance

About article:
Received: 4.02.2025
Revised: 17.06.2025
Accepted: 26.06.2025
Published: 30.06.2025

ABSTRACT

Under the conditions of climate change, accompanied by changes in the amount and regime of precipitation, melting of mountain glaciers and increase in average annual temperatures, significant changes in river flow are observed, which affects the water balance and operational characteristics of reservoirs. In this paper, the water resources of the Shu-Talas water basin were assessed based on analysing the water balance of the Tasotkel, Ters-Ashchybulak and Intaly water reservoirs. The results showed positive water balance for the Tasotkel water reservoir and negative water balance for the other 2 reservoirs. The dynamics of water withdrawal for regular irrigation and changes in irrigated area from 2009 to 2018 were also analysed, showing uneven distribution of water flow. It was found that the main water consumer is agriculture, which consumes up to 70 % of the basin's water resources. The obtained data can be used to optimise water use and develop adaptation measures under climate change conditions.

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

Гидрометеорология и экология

Научная статья

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АЗЕРБАЙДЖАНА ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД (2002-2022 гг.)

Фаргана С. Дадашова*, Вафа И.Мамедова, Мехрибан А. Аббасова

Министерство Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан; hidromet-institut@mail.ru (ФСД), vafa__mamedova@mail.ru (ВИМ), mehribanabbasova8@gmail.com (МАА)
Автор корреспондент: Фаргана С. Дадашова, e-mail: hidromet-institut@mail.ru.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

изменение климата
среднегодовая температура воздуха
суточный максимум
многолетний период

АБСТРАКТ

Изменения, наблюдаемые в глобальной климатической системе, отразились на климатических условиях Азербайджана, и анализ многолетних наблюдений показал, что произошло повышение суточных максимальных, среднемесячных и среднегодовых температур, снижение суточных минимальных температур, а также произошли сезонные сдвиги. Средняя годовая температура воздуха по республике начала расти более резко после 2010 года (с 1,3 ºС до 2,3 ºС), а в 2022...2022 годах она составила соответственно 2 ºС и 2,2 ºС выше нормы. В целом по республике за многолетний период средняя многолетняя температура воздуха была на 1,3 ºС выше нормы. Температура воздуха во все сезоны была выше нормы. Температура воздуха на территории республики зимой превысила многолетнюю норму на 1,1 ºС, весной на 1,2 ºС, летом на 1,5 ºС, осенью на 0,9 ºС. В многолетнем периоде 2002...2022 гг. наибольшее повышение среднемесячной температуры зимой наблюдалось в январе и феврале. В январе температура была на 1,3 ºС, а в феврале на 1,2 ºС выше нормы. При этом среднегодовая температура воздуха по республике увеличилась на всех высотах, но больше всего она повысилась на высоте 0...201 м (1,4 ºС) и на высоте более 1000 м (1,4 ºС).

По статье:
Получено: 06.03.2025
Пересмотрено: 24.06.2025
Принято: 25.06.2025
Опубликовано: 30.06.2025

Для цитирования:
Дадашова Ф., Мамедова В., Аббасова М. Влияние изменения климата на термические условия Азербайджана за многолетний период (2002...2022 гг.) // Гидрометеорология и экология, №2 (117), 2025, 18-28.

1. ВВЕДЕНИЕ

XIX век был самым теплым столетием в мире, а периоды 1990…2000 гг. и 2001…2010 гг. вошли в историю как самые теплые десятилетия в мире. Так, только за 2001…2010 гг. среднегодовая температура на Земле увеличилась на 0,5 ºС по сравнению с нормой 1961…1990 гг. В целом температура воздуха Земли с 1993 года повысилась почти на 1,0 ºС по сравнению с многолетней нормой, а в некоторых регионах этот показатель даже выше. В этом контексте одной из ключевых особенностей аграрной экономики является ее прямая зависимость от гидрометеорологических условий. Результаты многочисленных исследований показывают, что 65 % ущерба, наносимого мировой экономике в результате неблагоприятных погодных условий, приходится на сельское хозяйство [1…8]

Все это доказывает, что изменение климата представляет реальную угрозу человечеству и заставляет мировое сообщество, ученых и политиков серьезно отнестись к данной проблеме. Сегодня в большинстве встреч на высшем уровне мировых государств, которая не включала бы в повестку дня вопросы, связанные с изменением климата и вызываемыми им стихийными бедствиями [9…21].

В 2024 году под лозунгом «Вместе за зеленый мир» в Азербайджане прошла 29-я сессия Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата COP-29, на которой были приняты решения и обязательства по удержанию температуры Земли на уровне 1,5 ºС [22...23].

МРНТИ 37.21.29 https://doi.org/10.54668/2789-6323-2025-117-2-18-28 УДК 551.511.33

Климат территории Азербайджана также является неотъемлемой частью глобальной климатической системы, и процессы, происходящие в этой системе, с различной интенсивностью и в разные периоды времени влияют на климатические условия страны. В данной статье анализируются метеорологические условия территории Азербайджанской Республики за многолетний период.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения влияния глобального потепления на климатические условия республики за многолетний период использованы данные наблюдений 59 гидрометеорологических станций, находящихся в ведении Национальной Гидрометеорологической Службы при Министерстве Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики, расположенных в различных физико-географических регионах и имеющих многолетние ряды наблюдений [24].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ многолетних данных наблюдений за температурой воздуха по территории республики за период 2010…2022 гг. показал устойчивую тенденцию к повышению среднегодовой температуры по сравнению с климатической нормой.

В 2010 году среднегодовая температура воздуха была на 1,3 °С выше нормы, при этом наиболее выраженное повышение зафиксировано на высоте 1000 м на +1,9 °С. В 2011 году температура находилась в пределах климатической нормы, однако на высотах 501…1000 м были отмечены локальные понижения температуры ниже нормы.

В 2012 году средняя температура вновь превысила норму на 1,3 °С, причём наибольшее превышение зарегистрировано на высотах 1…200 м на +1,7 °С. В 2013 году превышение составило 1,1 °С в среднем по республике и достигло +1,7 °С на высотах 201…500 м. Аналогичная тенденция наблюдалась в 2014 году (+1,3 °С в среднем, +1,6 °С на высоте 201…500 м).

В 2015 году наблюдалось дальнейшее усиление потепления: среднегодовая температура была на 1,6 °С выше нормы, а на высоте 1000 м на 3,1 °С выше нормы. Несмотря на некоторое снижение температуры в 2016 году по сравнению с предыдущим годом, она всё ещё превышала норму на 0,7 °С, а на высоте 1000 м на 1,1 °С.

В 2017 году рост температуры продолжился: среднее превышение составило 1,0 °С, максимальное на высоте 1000 м (+1,5 °С). В 2018 году аномалия увеличилась до 1,9 °С в среднем и 2,3 °С на высоте 1000 м. В 2019 году температура была на 1,5 °С выше нормы, особенно на высотах 1…500 м (+1,7 °С).

В 2020 году среднегодовая температура превысила норму на 1,6 °С, наибольшее повышение отмечено на высоте 1…200 м (+1,7 °С). В 2021 году температурная аномалия достигла 2,1 °С, а на высотах >1000 м и 1…200 м составила +2,2 °С. По регионам наибольшие превышения наблюдались в Малом Кавказе (+2,5 °С), Большом Кавказе и Ленкоранско-Астаринском регионе (+2,1 °С), наименьшее – в Апшеронско-Гобустанском регионе (+1,6 °С).

В 2022 году среднегодовая температура воздуха по республике была на 2,2 °С выше климатической нормы. Наибольшее повышение вновь отмечено на высотах 1…200 м (+2,2 °С) и 201…500 м (+2,0 °С).

В целом, по результатам анализа за многолетний период 2007…2022 гг., средняя температура воздуха на высотах 1…200 м и >1000 м была на 1,4 °С выше нормы.

На рисунке 1 представлены отклонения среднемесячных температур воздуха за период 2002…2022 гг. от климатической нормы 1961…1990 гг. В среднем по всему многолетнему периоду температура превышала норму на +1,2 °С. Месячные аномалии распределились следующим образом: на 1,3 ºС выше нормы в январе, в августе, в сентябре, на 1,6 ºС в феврале, на 1,8 ºС в марте, на 0,5 ºС в апреле, на 1,2 ºС в мае, на 1,7 ºС в июне, в августе, на 1,0 ºС в июле, на 0,3 °С в октябре, на 0,1 °С в ноябре, на 1,2 °С в декабре, а в среднем за многолетний период составила 1,2 °С.

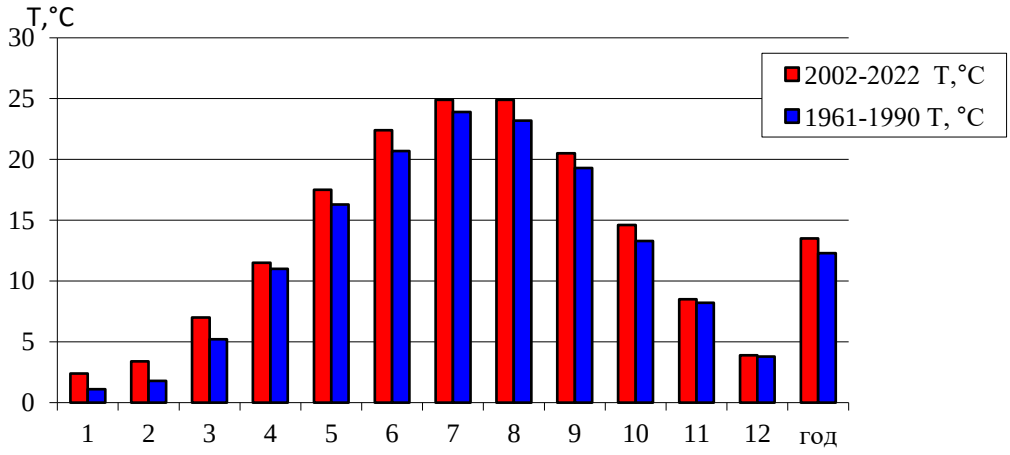


Рисунок 1. *Сравнительный график среднемесячных температур воздуха по республике по сравнению с нормой (1961…1990 гг.)*

По данным наблюдений 2010, 2012, 2015, 2018, 2020 и 2022 годы были признаны самыми теплыми годами. Как мы уже отметили выше, в Азербайджане в эти годы наблюдается повышение температуры воздуха, причем за последние два года это повышение составило на 2°C больше нормы.

Сравнительный анализ изменения температуры воздуха за период 2010…2022 гг., 2002…2022 гг. по сравнению с климатической нормой показала (рисунок 2), что во все месяцы, за исключением ноября и декабря, особенно в 2010…2022 гг., которые считаются теплыми десятилетиями, среднемноголетняя температура превышала норму за последние 20 лет. Аномалия среднемесячной температуры воздуха за этот многолетний период составила: в январе 1,6 ºC, в феврале 1,7 ºC, в марте 1,8 ºC, в апреле 0,8 ºC, в мае 1,5 ºC, в июне 2,1 ºC, в июле и октябре 1,3 ºC, в августе 1,9 ºC, в сентябре 1,4 ºC, в ноябре 0,3 ºC, в декабре 0,4 ºC и на 1,3 ºC превысила среднемноголетнюю температуру.

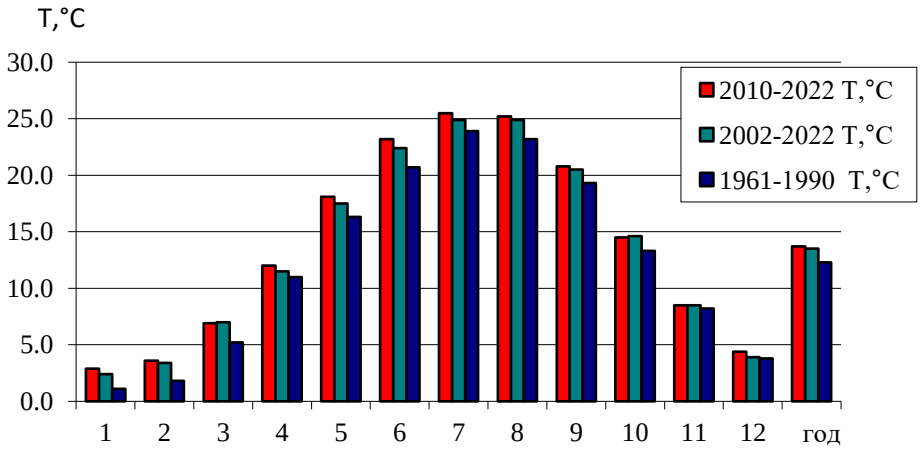


Рисунок 2. *Сравнительный график среднемесячных температур воздуха на территории республики по десятилетиям в сравнении с нормой (1961…1990 гг.)*

Влияние изменения климата на температуру воздуха на различных высотах (ниже 0 м, 0…200 м, 201…500 м, 501…1000 м и выше 1000 м) проанализированы отдельно (рисунок 3).

Анализ многолетней среднемесячной температуры на высотах ниже 0 м по сравнению с нормой показал, что в большинстве месяцев наблюдается устойчивое превышение температур (рисунок 3а). В ноябре температуры соответствовали норме, в апреле превышение составило +0,4 ºС, а в декабре +0,2 ºС. В течение года все месяцы, за исключением мая (+0,9 ºС), были на +1,1+1,2 ºС выше нормы, а в июне и августе они были соответственно на 1,5 ºС, 1,3 ºС и 0,9 ºС выше многолетней нормы.

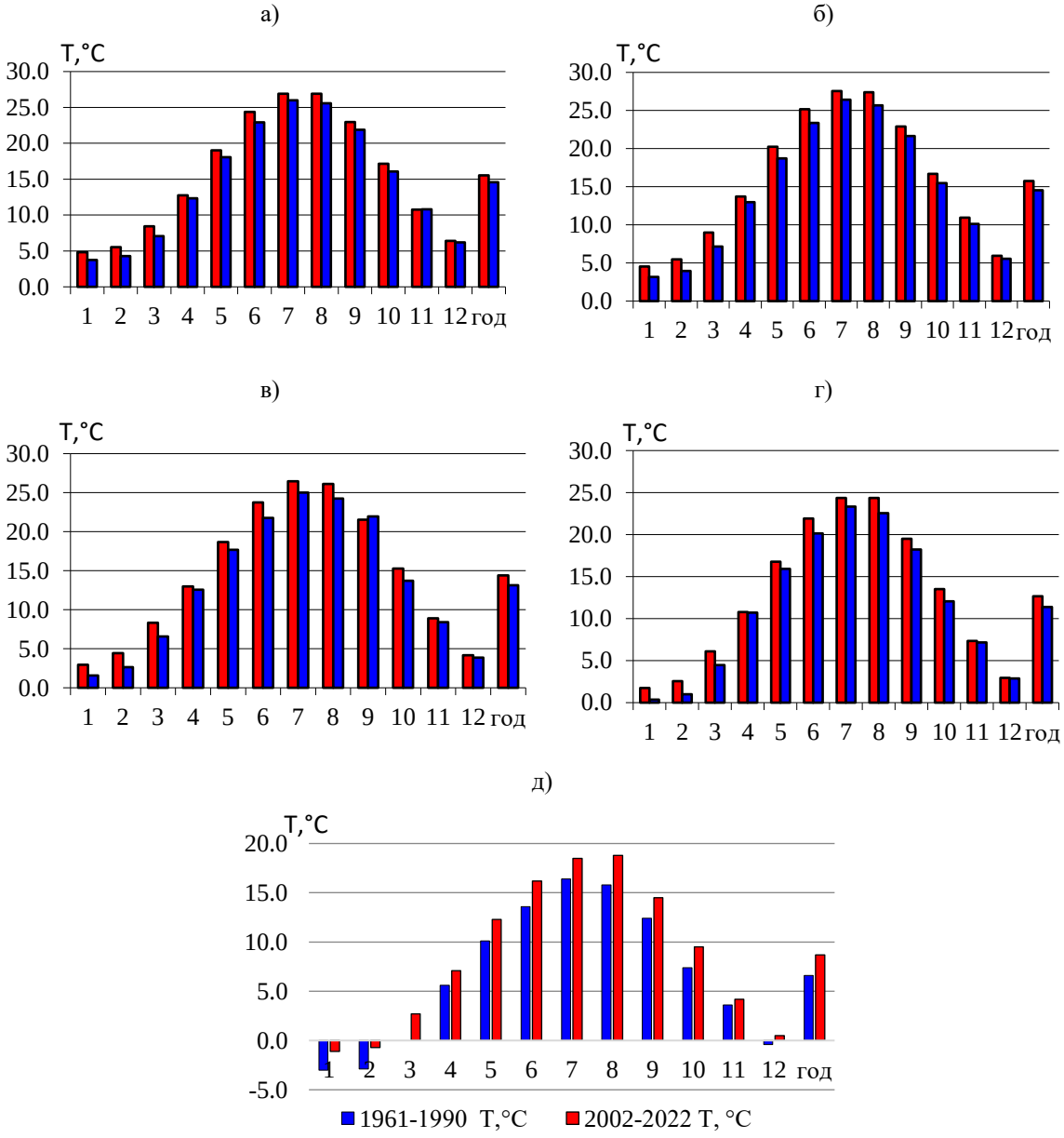


Рисунок 3. *График изменения многолетних среднемесячных температур на высотах а) ниже 0 м б) 0…200 м в) 201…500 м г) 501…1000 м д) >1000 м по сравнению с нормой (1961…1990 гг.)*

На высоте 0…200 м температура была выше нормы во все месяцы, за исключением декабря (0,3 ºС), апреля (0,7 ºС) и ноября (0,9 ºС), особенно в феврале (1,5 ºС), марте (1,9 ºС), мае (1,6 ºС), июне (1,8 ºС) и августе (1,7 ºС). Средняя многолетняя аномалия температуры составила 1,3 ºС выше нормы. Температура на этой высоте повысилась больше, чем на высотах ниже 0 (рисунок 3б).

На высоте 201…500 м (рисунок 3в) в апреле, ноябре и декабре среднемноголетняя температура была относительно выше нормы. В другие месяцы по сравнению с предыдущими максимумами она повысилась больше нормы, особенно в феврале (1,8 ºС)

и июне (1,9 ºС), и снизилась на 0,4 ºС по сравнению с ноябрем. Среднемноголетняя аномалия температуры составляет 1,3 ºС.

На рисунке 3г показано, что даже на высоте 501…1000 м в апреле, ноябре и декабре температуры были около нормы. Наибольшее повышение температуры по сравнению с нормой наблюдается в январе (1,4 ºС), феврале, марте (1,6 ºС), июне, августе (1,9 ºС).

На рисунке 3д показано, что температура воздуха на высоте более 1000 м повысилась больше, чем на предыдущих высотах. Температура воздуха в январе превысила норму на 1,9 ºС, в феврале на 2,2 ºС, в марте на 2,7 ºС, в апреле на 1,5 ºС, в мае на 2,2 ºС, в июне на 2,6 ºС, в июле на 2,1 ºС, в августе на 3 ºС, в сентябре и октябре на 2,1 ºС, в ноябре на 0,6 ºС, в декабре на 0,9 ºС.

За период 2002…2022 гг. наибольшие изменения температуры воздуха наблюдаются на высотах 1…200 м, более 1000 м (рисунок 4).

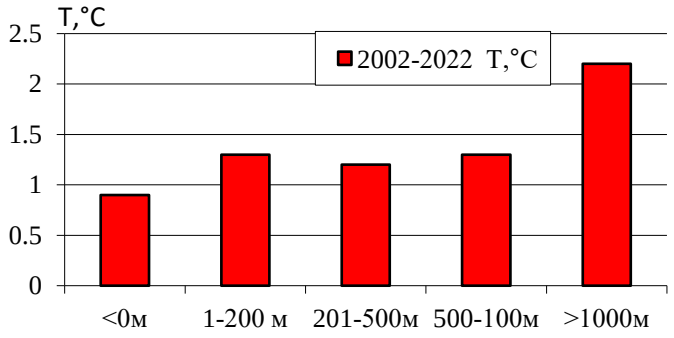


Рисунок 4. *Динамика изменения среднемноголетних температур по всем высотам*

На рисунке 5 показано, что средняя многолетняя температура воздуха на высотах ниже 0 м составила 0,9 ºС выше нормы, на высоте 0…200 м 1,5 ºС, на высоте 201…500 м 1,1 ºС, на высоте 501…1000 м 0,8 ºС, выше 1000 м 0,9 ºС, и на 1,1 ºС выше среднемноголетней нормы.

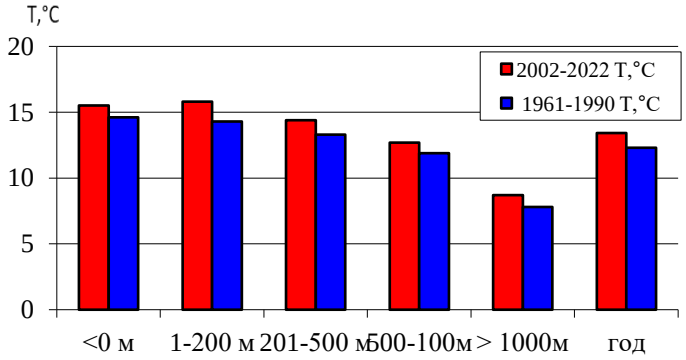


Рисунок 5. *График средних многолетних температуры по высоте в сравнении с нормой (1961—1990 гг.)*

Проанализирована динамика сезонных изменений температуры воздуха за многолетний период как в целом по стране, так и на различных высотах. Из рисунка 6 видно, что температура воздуха на территории республики зимой превысила многолетнюю норму на 1,1 ºС, весной на 1,2 ºС, летом на 1,5 ºС, осенью на 0,9 ^{0}С, а выше средней многолетней нормы на 1,2 ºС.

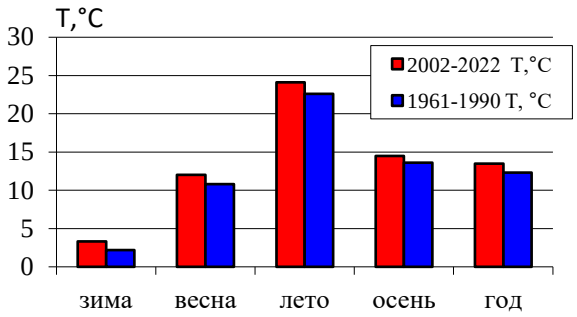
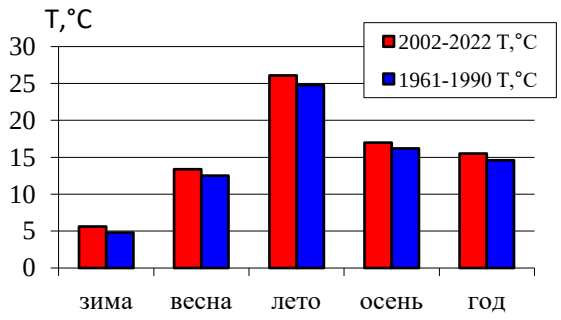


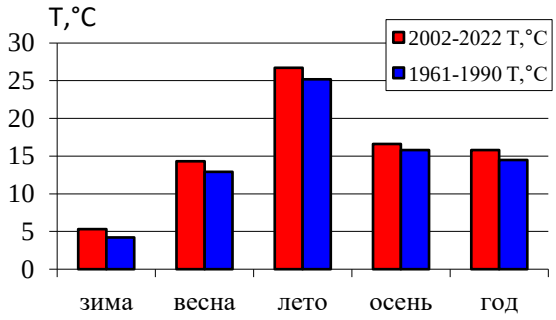
Рисунок 6. *Сезонный ход многолетних температуры воздуха по республике с нормой (1961—1990 гг.)*

На рисунке 7а показано, что на высоте 0 м наблюдается повышение температуры от нормы на 0,8 ºС зимой, на 0,9 ºС весной, на 1,3 ºС летом, на 0,8 ºС осенью, и на 0,9 ºС за среднемноголетний период.

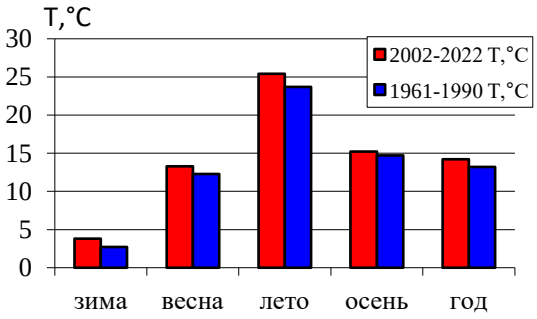
а)



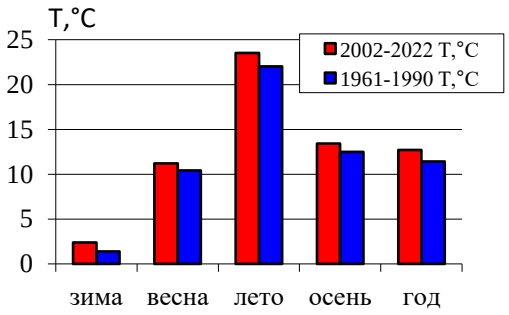
б)



в)



г)



д)

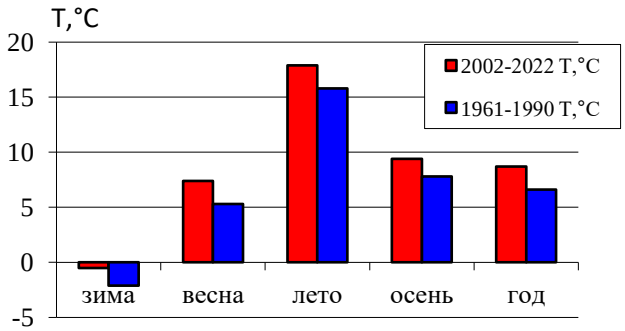


Рисунок 7. *График сезонного тренда многолетних температуры на высотах а) ниже 0 м б) 0…200 м в) 201…500 м г) 501…1000 м д) >1000 м по сравнению с нормой (1961…1990 гг.)*

На рисунке 7б показано, что на высоте 0…200 м температура зимой была выше нормы на 1,1 ºС, весной на 1,4 ºС, летом на 1,5 ºС, осенью на 0,8 ºС, а за среднемноголетний период она составила 1,3 ºС.

Из рисунка 7в видно, что температура на высоте 201…500 м больше всего превысила норму летом на 1,7 ºС. Осенью она была почти близка к норме, превысив ее на 0,5 ºС. На этой высоте температура была на 1,1 ºС выше нормы зимой и на 1 ºС выше нормы весной и в среднем за многие годы.

На рисунке 7г видно, что динамика сезонных изменений температуры воздуха на высоте 501…1000 м показывает, что здесь наибольшее повышение температуры по сравнению с нормой произошло в зимний сезон (1,1 ºС) и летний сезон (1,5 ºС). Летом температура понизилась на 0,3 ºС по сравнению с высотой 201…500 м. Температура воздуха весной была на 0,8 ºС выше нормы, осенью на 0,9 ºС выше нормы, а в среднем за много лет она была на 1,3 ºС выше нормы. На этой высоте наблюдается повышение температуры в осенний сезон по сравнению с предыдущими высотами (0,4 ºС)

Из анализа многолетних наблюдений известно, что температура больше повышается на высотах выше 1000 м (рисунок 7д), на этой высоте температура во все сезоны повысилась больше нормы по сравнению с предыдущими высотами. Температура зимой была на 1,6 ºС выше нормы, весной и летом на 2,1 ºС выше нормы, осенью на 1,6 ºС выше нормы, а многолетняя средняя температура составила 2,1 ºС выше нормы. На этой высоте температура осенью была на 0,7 ºС, 0,8 ºС и 1,1 ºС выше нормы по сравнению с предыдущими высотами 201…500 м.

Динамика изменения суточных максимальных и минимальных температур воздуха по регионам показала, влияние изменения климата на суточные максимальные и минимальные температуры воздуха в регионах Баку—Апшерон, Ленкорань—Астара, Малого Кавказа, Большого Кавказа, Кура—Аразской низменности и Нахичеване также приведено в таблице 1.

Таблица 1

Влияние изменения климата на суточные максимальные и минимальные температуры воздуха в регионах Азербайджана

Год	Апшерон-Кобустан		Ленкорань-Астара		Большой Кавказ		Малый Кавказ		Кура-Араз		Нахичевань	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
2010	40,4	-4,3	36,5	-6,7	38,1	-12	37,7	-10,9	42,7	-9,5	42,5	-17
2011	42,4	-3,3	37,1	-3	39,8	-11,7	37,4	-12,9	43,7	-7,8	43,5	-14
2012	41,7	-10,2	35,2	-18	39,8	-17,2	38	-16,7	42	-12,3	39	-18
2013	36,3	-1,5	36,7	-7,7	38,3	-13,8	38,4	-11,7	39,6	-7,4	39	-20
2014	41,1	-7,6	39,7	-17	41,2	-21,6	38	-20,2	41,7	-17,1	41,5	-16
2015	41,2	-4,4	40,5	-8,1	40,4	-15,3	38,9	-14,2	42,7	-10	43,4	-16
2016	41,2	-4,7	39,6	-9,9	40,1	-18,2	38	-18	42	-11,5	42,9	-21
2017	42,6	-3,4	40,7	-11	41	-19,9	38,5	-15,4	42,5	-14,2	44	-23
2018	44,5	-2,2	43,3	-12	42,6	-15,8	39,1	-10,9	43,8	-4,3	41,7	-11
2019	39,6	-1,8	39,3	-3,7	40,2	-10,3	38,6	-7,8	41,9	-5,4	42,2	-11
2020	40,4	-2	38,8	-10	39,6	-20,6	38,1	-16,4	41,6	-10,2	44,2	-11
2021	42,7	-5,5	39,9	-7,3	40,1	-14,9	37,8	-11,8	43,8	-8,2	44,2	-18
2022	40,1	-2	34,1	-6,6	40,1	-15,7	38	-12	41,8	-7,3	42,4	-18

Из таблицы 1 видно, что в умеренном полупустынном регионе Баку-Апшерон, где лето засушливое, максимальная суточная температура за период 2010…2022 гг. составила 44,5 ºС (2018 год), а минимальная температура в 2012 году составила -10,2 ºС. За последние двенадцать лет суточная температура ниже 40 ºС составила 36,3 ºС в 2013 году, а минимальные температуры повысились. За последние десять лет суточная минимальная температура снизилась от -10,2 ^{0}С до -2 ^{0}С.

Ленкораньско-Астаринский регион отличается умеренным, теплым климатом с сухим летом и мягкой зимой. Здесь максимальная температура воздуха в 2018 году составила 43,3 ºС, а минимальная температура в 2012 году составила -18 ºС. С 2012 года наблюдается снижение минимальных суточных температур с -18 ºС до -6,6 ºС.

На Большом Кавказе, где наблюдаются все типы климата от полупустынного и сухостепного до горнотундрового, максимальная суточная температура в 2018 году составила 42,6 ºС, а минимальная температура в 2014 году составила -21,6 ºС. Максимальные суточные температуры на Большом Кавказе выросли с 2013 года, а минимальные температуры колеблются от -10 ºС до -20 ºС. Самая низкая минимальная температура за этот многолетний период составила -10,3 ºС в 2019 году

На Малом Кавказе, расположенном в климатической зоне с умеренно теплым климатом с сухой зимой в предгорьях и низкогорьях, сухим холодным климатом с зимой в среднегорьях и горно-тундровой климатической зоной в высокогорьях, суточный максимум в 2018 году составил 39,1 ºС, а минимум в 2014 году составил -20,2 ºС. Максимальные температуры колебались в пределах 38…39 ºС, а минимальные температуры уменшилось с 2010 по 2017 год, снизившись до -7,8 ºС в 2019 году.

Климат полупустынной сухой степи в Кура-Аразской низменности с мягкой зимой и жарким сухим летом составил 43,8 ºС в 2011, 2018 и 2021 годах, а самая низкая минимальная температура составила -17,1 ºС в 2014 году и -14,2 ºС в 2017 году. Максимальные температуры превышали 40 ºС, за исключением 2013 года (39,6 ºС). Минимальная температура снизилась только в 2018 году, достигнув -4,3 ºС.

В Нахичеване, где преобладает холодный полупустынный сухостепной климат с засушливым летом, суточные максимальные температуры превышали 40 ºС, а в 2020 и 2021 годах составили 44,2 ºС, а самая низкая минимальная температура за этот многолетний период составила -23 ºС в 2017 году.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средняя годовая температура воздуха в республике начала расти более резко после 2010 года (с 1,3 ºС до 2,3 ºС), превысив норму на 2 ºС в 2022 году и на 2,2 ºС в 2023 году. В целом по республике за многолетний период средняя многолетняя температура воздуха была на 1,3 ºС выше нормы. Температура воздуха во все сезоны была выше нормы. Температура воздуха на территории республики зимой превысила многолетнюю норму на 1,1 ºС, весной на 1,2 ºС, летом на 1,5 ºС, осенью на 0,9 ºС.

В многолетнем периоде 2002...2022 гг. самая высокая температура зимой была на 1,3 ºС выше нормы в январе и на 1,2 ºС выше нормы в феврале. Весной в марте и мае температура была на 1,2 ºС выше нормы соответственно, а в апреле она была равна норме без повышения. Летом температура в июне и августе была на 1,7 ºС, а в июле на 1 ºС выше нормы. Осенью в сентябре температура была на 1,2 ºС, в октябре на 1,3 ºС, а в ноябре на 0,3 ºС выше нормы.

Температура воздуха повысилась на всех высотах по всей республике, но самая высокая была на высоте 0...201 м, а на высотах более 1000 м она была на 1,4 ºС выше нормы. Самая высокая суточная максимальная температура была зафиксирована в Нахичеване (44 ºС) в 2017 году и в Апшерон-Гобустане (44,5 ºС) в 2018 году.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании, получены авторами из Национальной гидрометеорологической службы при Министерстве Экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ФСД; управление данными – ВИМ, МАА; формальный анализ – ФСД; методология – ФСД, МАА; руководство – ФСД; визуализация – МАА; написание исходного текста – ФСД, МАА; написание и редактирование окончательного текста – ФСД, МАА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Клиге Р. Глобальное изменения режима гидросферы // Материалы VII-го Всероссийского гидрологического съезда. Росгидромет, Санкт- Петербург. – 2014. – 101 с.

2 Махмудов Р. Климатические изменения и опасные гидрометеорологические явления Азербайджана. Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата // Сборник научных статей Международной научной конференции, Издательский центр БГУ, Минск. – 2015. – С.127-128.

3 Махмудов Р. Региональные климатические изменение в Азербайджане и его влияние на речной сток // Гидрология и метеорология. – 2016. – №9. Москва 2016
4 Neugschwandtner R.W., Liebhard P., Kaul H.P., Wagentrist H. Soil chemical properties as affected by tillage and crop rotation in a long-term field experiments // Plant and Soil Environment, 2014, Vol. 60(2), pp. 57– 62.
5 The GA Handbook: A practical guide to the United Nations General Assembly (PDF) (2 ed.). New York: Permanent Mission of Switzerland to the United Nations, 2017, p. 124. ISBN 978-0-615-49660-3.
6 Mahmudov R., Aliyev V., Teymurov M., Gafarov E. Regional climate changes in Azerbaijan and assessment of their impact on water resources with a new method // Reliability: Theory and Applications, 2024, pp. 830-837
7 Махмудов Р.Н. Опасные гидрометеорологические явления в Азербайджане. – Баку, 2014. – 130 с.
8 Махмудов Р.Н. Современные изменения климата и опасные гидрометеорологические явления. – Баку, 2016. – 158 с.
9 Махмудов Р.Н. Региональные изменения климата и опасные гидрометеорологические явления в Азербайджане. – Баку, 2021. – 169 с.
10 Karamouz M., Ahmadi A., Akhbari M. Groundwater hydrology: Engineering, Planning, and Management. CRC Press, 2011, 634 p.
11 Komeil Rokni, Anuar Ahmad, Ali Selamat, Sharifeh Hazini. Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery // Journal of Remote Sensing, 2014, Vol. 6, pp. 41.
12 Imanov F.A., Rajabov R.F., Nuriyev A.A. A method to determine ecological flows: A Case Study for mountainous Ganjachay River in Azerbaijan // 31st session EFC/FAO Working Party on the Management of Mountain Watersheds. Management. Prague, 2017, September 4-6, pp.15-25.
13 Mahmudov, R. N. Modern climate changes and dangerous hydrometeorological phenomena. – Baku: National Aviation Academy, 2018, Vol. 232
14 Humbatov F. Green Energy Cooperation towards Environmental and Political Security of the Broader South Caucasus Region // Международная научная конференция «Энергетика XXI века: экономика, политика, экология»: сборник докладов / под ред. д—ра экон. наук, профессора И.А. Максимцева, канд. экон. наук Д.В. Василенко. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ. – 2024. – 135 с.
15 Ragimov H.Sh., Taghiyeva U.R., Ahmadova J.N. Assessment of the impact of expected climate changes on the population of Azerbaijan and possible adaptation to them // İnternational Conference Adapt to Climate. 27-28 march 2014, Nicosia. http://adapttoclimate.uest.gr/full_paper/Ragimov_et_al.pdf
16 Imanov F.A., Rajabov R.F., Nuriyev A.A. A method to determine ecological flows: A Case Study for mountainous Ganjachay River in Azerbaijan // 31st session EFC/FAO Working Party on the Management of Mountain Watersheds. Management. Prague, 2017, September 4-6, pp.15-25.
17 UNESCO and UNESCO i—WSSM. Water Security and the Sustainable Development Goals (Series 1). Global Water Security Issues (GWSI) Series, UNESCO Publishing, Paris, 2019, p. 210
18 Mammadov A., Calalova V. Manifestations of global warming in Azerbaijan // Sciences of Europe, 2022, pp. 1-9
19 Mehdiyev K., Ibrahimova L. Climate Change-Induced Natural Disasters in Azerbaijan: Risk Assessment and Management, 2022, pp. 1-10
20 Eastern European nations pave way for Baku to host COP29, Financial Times. [Electronic resources] URL: https://www.ft.com/content/95965689-d79b-4924-992a-8b4a9d7a8fe6, date of access: 08.12.2024.
21 Humbatov F. Climate change policies of the Republic of the Azerbaijan and regional environmental security challenges // Proceedings of the 6th İnternational Scientific Conference «Modern scientific technology», Stockholm, Sweden, 2024, p.233-249. DOI 10.5281/zenodo.10938858
22 UNFCCC [Электронный ресурс] URL: https://cop29.az/en/home, дата обращения: 08.12.2024.
23 COP 29 [Электронный ресурс] URL: https://unfccc.int/, дата обращения: 10.02.2024.
24 Национальная гидрометеорологическая служба при Министерстве Экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики [Электронный ресурс] URL: https://www.eco.gov.az/, дата обращения: 10.02.2024.

REFERENCES

1 Klige R. (2014). Global'noe izmenenija rezhima gidrosfery [Global changes in the regime of the hydrosphere]. Materialy VII-go Vserossijskogo gidrologicheskogo sezda, Rosgidromet, Sankt- Peterburg, 101 p. [in Russian]
2 Mahmudov R. (2015). Klimaticheskie izmenenija i opasnye gidrometeorologicheskie javlenija Azerbajdzhana. Problemy gidrometeorologicheskogo obespechenija hozjajstvennoj dejatel'nosti v uslovijah izmenjajushhegosja klimata [Climatic changes and dangerous hydrometeorological phenomena of Azerbaijan. Problems of hydrometeorological support of economic activity in the changing climate]. Sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Izdatel'skij centr BGU, Minsk, pp..127-128 [in Russian]
3 Mahmudov R. (2016). Regional'nye klimaticheskie izmenenie v Azerbajdzhane i ego vlijanie na rechnoj stok [Regional climatic changes in Azerbaijan and its impact on river runoff]. Gidrologija i meteorologija, – №9 [in Russian] Moscow 2016
4 Neugschwandtner R.W., Liebhard P., Kaul H.P., Wagentrist H. (2014). Soil chemical properties as affected by tillage and crop rotation in a long-term field experiments. Plant and Soil Environment, Vol. 60(2), pp. 57– 62.
5 The GA Handbook (2017). A practical guide to the United Nations General Assembly (PDF) (2 ed.). New York: Permanent Mission of Switzerland to the United Nations, p. 124. ISBN 978-0-615-49660-3.
6 Mahmudov R., Aliyev V., Teymurov M., Gafarov E. (2024). Regional climate changes in Azerbaijan and assessment of their impact on water resources with a new method. Reliability: Theory and Applications, 2024, pp. 830-837
7 Mahmudov R.N. (2014). Opasnye gidrometeorologicheskie javlenija v Azerbajdzhane [Dangerous hydrometeorological phenomena in Azerbaijan]. – Baku, 2014. – 130 p. [in Russian]
8 Mahmudov R.N. (2016). Sovremennye izmenenija klimata i opasnye gidrometeorologicheskie javlenija [Modern climate change and dangerous hydrometeorological phenomena], Baku, 158 p. [in Russian]
9 Mahmudov R.N. (2021). Regional'nye izmenenija klimata i opasnye gidrometeorologicheskie javlenija v Azerbajdzhane [Regional climate change and dangerous hydrometeorological phenomena in Azerbaijan], Baku, 169 p. [in Russian]
10 Karamouz M., Ahmadi A., Akhbari M. (2011). Groundwater hydrology: Engineering, Planning, and Management. CRC Press, 634 p.
11 Komeil Rokni, Anuar Ahmad, Ali Selamat, Sharifeh Hazini. (2014). Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery. Journal of Remote Sensing,Vol. 6, pp. 41.

12 Imanov F.A., Rajabov R.F., Nuriyev A.A. (2017). A method to determine ecological flows: A Case Study for mountainous Ganjachay River in Azerbaijan. 31st session EFC/FAO Working Party on the Management of Mountain Watersheds. Management. Prague, September 4-6, pp.15-25.
13 Mahmudov, R. N. (2018). Modern climate changes and dangerous hydrometeorological phenomena,Baku: National Aviation Academy, Vol. 232
14 Humbatov F. (2024). Green Energy Cooperation towards Environmental and Political Security of the Broader South Caucasus Region. Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Jenergetika XXI veka: jekonomika, politika, jekologija»: sbornik dokladov / pod red. D-ra jekon. nauk, professora I.A. Maksimceva, kand. jekon. nauk D.V. Vasilenko. – SPb.: Izd-vo SPbGJeU, 135 p.
15 Ragimov H.Sh., Taghiyeva U.R., Ahmadova J.N. (2014). Assessment of the impact of expected climate changes on the population of Azerbaijan and possible adaptation to them. İnternational Conference Adapt to Climate. 27-28 march 2014, Nicosia. http://adapttoclimate.uest.gr/full_paper/Ragimov_et_al.pdf
16 Imanov F.A., Rajabov R.F., Nuriyev A.A. (2017). A method to determine ecological flows: A Case Study for mountainous Ganjachay River in Azerbaijan. 31st session EFC/FAO Working Party on the Management of Mountain Watersheds. Management. Prague, September 4-6, pp.15-25.
17 UNESCO and UNESCO i—WSSM (2019). Water Security and the Sustainable Development Goals (Series 1). Global Water Security Issues (GWSI) Series, UNESCO Publishing, Paris, p. 210
18 Mammadov A., Calalova V. (2022). Manifestations of global warming in Azerbaijan. Sciences of Europe, pp. 1-9
19 Mehdiyev K., Ibrahimova L. (2022). Climate Change-Induced Natural Disasters in Azerbaijan: Risk Assessment and Management, pp. 1-10
20 Eastern European nations pave way for Baku to host COP29, Financial Times. [Electronic resources] URL: https://www.ft.com/content/95965689-d79b-4924-992a-8b4a9d7a8fe6, date of access: 08.12.2024.
21 Humbatov F. (2024). Climate change policies of the Republic of the Azerbaijan and regional environmental security challenges // Proceedings of the 6th İnternational Scientific Conference «Modern scientific technology», Stockholm, Sweden, p.233-249. DOI 10.5281/zenodo.10938858
22 UNFCCC [Electronic resources] URL: https://cop29.az/en/home, date of access: 08.12.2024.
23 COP 29 [Electronic resources] URL: https://unfccc.int/, date of access: 10.02.2024.
24 Nacional'naja gidrometeorologicheskaja sluzhba pri Ministerstve Jekologii i prirodnyh resursov Azerbajdzhanskoj Respubliki [Electronic resources] URL: https://www.eco.gov.az/, date of access: 10.02.2024.

ӘЗІРБАЙЖАННЫҢ ТЕРМАЛДЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫНА КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІНІҢ ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ ӘСЕРІ (2002-2022 жж.)

Фаргана С. Дадашова*, Вафа И.Мамедова, Мехрибан А. Аббасова

Азербайжан Республикасы Экология және Табиғи Ресурстар Министрлігі, Баку, Әзірбайжан; hidromet-institut@mail.ru, vafa__mamedova@mail.ru, mehribanabbasova8@gmail.com
Автор корреспондент: Фаргана С. Дадашова, e-mail: hidromet-institut@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

климаттың өзгеруі
орташа жылдық ауа температурасы
тәулік максимум
көпжылдық кезең

Мақала жайында:
Жіберілді: 06.03.2025
Қайта қаралды: 24.06.2025
Қабылданды: 25.06.2025
Жарияланды: 30.06.2025

АБСТРАКТ

Жаһандық климаттық жүйедегі өзгерістер Азербайжанның климаттық жағдайларына әсер етіп, көпжылдық бақылауларды талдау тәулік максимумы, орташа айлық және орташа жылдық температуралардың өскенін, тәулік минимумы температураларының төмендегенін және маусымдық ығысулардың болғанын көрсетті. Республика бойынша орташа жылдық ауа температурасы 2010 жылдан кейін (1,3 ºС-тан 2,3 ºС-қа дейін) айтарлықтай өсе бастады, ал 2022...2022 жылдары ол нормадан тиісінше 2 ºС және 2,2 ºС жоғары болды. Жалпы алғанда, республика бойынша көпжылдық кезеңде орташа көпжылдық ауа температурасы нормадан 1,3 ºС жоғары болды. Барлық маусымдарда ауа температурасы нормадан жоғары тіркелді. Республика аумағында қыс мезгілінде ауа температурасы көпжылдық нормадан 1,1 ºС, көктемде 1,2 ºС, жазда 1,5 ºС, күзде 0,9 ºС жоғары болды. 2002...2022 жылдар аралығындағы көпжылдық кезеңде орташа айлық температураның ең үлкен өсуі қыста, әсіресе қаңтар және ақпан айларында байқалды. Қаңтарда температура нормадан 1,3 ºС, ақпанда 1,2 ºС жоғары болды. Сонымен қатар республика бойынша орташа жылдық ауа температурасы барлық биіктіктерде өсті, бірақ ең көп өсу 0...201 м биіктікте және 1000 м-ден жоғары биіктікте (әрқайсысында 1,4 ºС) байқалды.

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE THERMAL CONDITIONS OF AZERBAIJAN OVER A LONG-TERM PERIOD (2002-2022)

Fargana Dadashova*, Vafa Mammadova, Mehriban Abbasova

Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan; hidromet-institut@mail.ru, vafa__mamedova@mail.ru, mehribanabbasova8@gmail.com
Corresponding author: Fargana Dadashova, e-mail: hidromet-institut@mail.ru.

KEY WORDS

climate change
average annual air temperature
daily maximum
long-term period

About article:
Received: 6.03.2025
Revised: 24.06.2025
Accepted: 25.06.2025
Published: 30.06.2025

ABSTRACT

Changes observed in the global climate system have impacted the climatic conditions of Azerbaijan. Analysis of long-term observations has shown an increase in daily maximum, average monthly, and annual temperatures, a decrease in daily minimum temperatures, as well as seasonal shifts. The average annual air temperature across the republic began to rise more sharply after 2010 (from 1,3 ºC to 2,3 ºC), and in 2022...2022 it was 2 ºC and 2,2 ºC above the norm, respectively. Overall, during the long-term period, the average multi-year air temperature across the republic was 1,3 ºC above the norm. Air temperatures exceeded the norm in all seasons. In the territory of the republic, winter temperatures exceeded the multi-year norm by 1,1 ºC, spring by 1,2 ºC, summer by 1,5 ºC, and autumn by 0,9 ºC. During the long-term period of 2002...2022, the greatest increase in average monthly temperature in winter was observed in January and February. In January, the temperature was 1,3 ºC above the norm, and in February 1,2 ºC above the norm. Meanwhile, the average annual air temperature throughout the republic increased at all altitudes, with the most significant increases recorded at elevations of 0...201 m (1,4 ºC) and above 1000 m (1,4 ºC).

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

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ЖАЙЫК НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Нариман А. Амиргалиев[1] академик КазНАЕН, д.г.н., профессор, Азамат С. Мадибеков[1] PhD, ассоциированный профессор, Диана М. Бурлибаева[1,2*] PhD, Айнұр Мұсақұлқызы[1] к.т.н.

[1] Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан; namirgaliev@mail.ru (НАА), madibekov@mail.ru (АСМ), diana.burlibayeva@yandex.kz (ДМБ), musakulkyzy@ingeo.kz (АМ)
[2] Исполнительная Дирекция Международного фонда спасения Арала в Республике Казахстан, Алматы, Казахстан; diana.burlibayeva@yandex.kz (ДМБ)
Автор корреспондент: Диана М. Бурлибаева, diana.burlibayeva@yandex.kz

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

минерализация
ионный состав воды
концентрация
распределение
трансформация

АБСТРАКТ

В работе приводятся результаты исследований, посвященных оценке многолетней динамики объема трансграничного стока на территорию Казахстана минеральных солей по р. Жайык. На основе многолетнего материала Государственного мониторинга РГП «Казгидромет» рассмотрены особенности трансформации стока минерализации воды по течению с учетом влияния природных и антропогенных факторов. Приведены сведения о важности исследований минерализации воды в формировании качества поверхностных вод, а также их стока в санитарном режиме конечных водоемов.

Проведенные исследования показали большую изменчивость стока минеральных солей в межгодовом аспекте в зависимости от колебания водного стока и влияния ряда антропогенных факторов. Показана роль трансграничного стока р. Жайык как основного фактора формирования режима минерализации воды на территории Казахстана, также приведены основные факторы, определяющие трансформацию минерализации воды по течению водотока.

По статье:
Получено: 29.11.2024
Пересмотрено:29.05.2025
Принято: 03.06.2025
Опубликовано: 30.06.2025

Для цитирования:
Амиргалиев Н., Мадибеков А., Бурлибаева Д., Мұсақұлқызы А. Многолетняя динамика минерализации воды трансграничной реки Жайык на территории Казахстана // Гидрометеорология и экология, 117 (2), 2025, 29-37.

1. ВВЕДЕНИЕ

Река Жайык – третья по длине река в Европе (общая протяженность 2430 км, из них 1084 км – на территории Казахстана), с площадью бассейна 237 тыс км^2 [1…2]. Верховья реки находятся на территории Российской Федерации (РФ), а нижнее течение находится в Западно-Казахстанской и Атырауской областях Казахстана. Среднее многолетнее значение годового стока р. Жайык по данным [3] составляет 12,0 км^3 (380 м^3/с).

Река играет ключевую роль в обеспечении водой населения и различных отраслей экономики Западного Казахстана. Водные ресурсы ее широко используются в бассейне для хозяйственных целей.

Известно, что в водном балансе Каспийского моря сток р. Волга занимает порядка 80 %, а р. Жайык – около 3 % [4]. Вместе с тем приток маломинерализованных вод р. Жайык имеет заметную роль в опреснении мелководной северо-восточной акватории Казахстанского сектора Каспийского моря, что создает благоприятные условия для воспроизводства запасов ценных промысловых рыб, в том числе осетровых видов. В качестве примера можно привести некоторые результаты, полученные в период комплексных исследований, проведенных авторами в 2008…2010 гг. по всей акватории Казахстанского сектора моря [5]. Так, соленость воды в северо-восточной акватории Северного Каспия, включая северную часть Уральской бороздины, весной 2009 г. была в пределах от 4,78 ‰ до 7,39 ‰, в среднем – 6,10 ‰, в августе этого года в среднем 6,5 ‰, а к югу от этой зоны соленость морской воды постепенно возрастала до 8,3 ‰ и 9,3 ‰. Весной

2010 г. средняя соленость воды в указанной акватории составила 7,7 ‰, а южнее этой зоны она возрастала до 8,3 ‰ и 10,0 ‰.

Из многочисленных химических компонентов, содержащихся в природных водах, наиболее важным параметром является минерализация воды (МВ), т.е. группа минеральных солей. Она имеет первостепенное значение в формировании качества вод. Пригодность вод для хозяйственно-питьевых, других целей зависит, в первую очередь, от величины минерализации и содержания составляющих ее главных ионов [6].

Минерализация, особенно в речных водах, очень изменчива в пространственно-временном аспекте в зависимости от колебания водного стока и под влиянием ряда других природных и антропогенных факторов. В трансграничных реках виды антропогенных воздействий, очевидно, более разнообразны. Для р. Жайык к числу главных факторов, влияющих на химический состав воды, в т.ч. на ее минерализацию, на территории Казахстана, можно указать на непрерывное сокращение объема воды, притекающей из РФ. Так, величина годового стока р. Жайык по сравнению со средним многолетним, равным 12 км^3 [3], уменьшилась: к 1995 г. в среднем до 10 км^3 или на 16,7 %, к 2006 г. – в среднем до 7,56 км^3 или на 37,4 %, а к 2016 г. – в среднем до 7,47 км^3 или на 37,8 % [7…8].

Учитывая вышеизложенное выше, а также важность сохранения нормативного уровня минерализации речной воды, основной целью проводимых исследований определены вопросы: количественная оценка многолетней динамики минеральных солей в трансграничном стоке, а также установление характера трансформации минерализации воды по течению реки на территории Республики, с учетом обуславливающих ее факторов.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу данной работы положены материалы РГП «Казгидромет» за 2001...2021 гг., опубликованные в Ежегодных данных о качестве поверхностных вод, в которых содержатся подробные сведения по концентрациям минерализации воды р. Жайык от трансграничного створа до Каспийского моря. Для изучения особенности трансформации минеральных солей по течению реки использованы данные, полученные на семи гидрохимических створах, расположенных на территории Казахстана: с. Январцево – приграничный створ с РФ, г. Уральск, с. Кушум, с. Тайпак, с. Махамбет, г. Атырау и п. Малая дамба – замыкающий створ в устье реки (рисунок 1). При выявлении факторов, оказывающих влияние на минерализацию трансграничного стока и характера ее трансформации по течению р. Жайык, использовался универсальный метод сопоставительного анализа, временного анализа, а также метод корреляционного анализа. Метод сопоставительного анализа применяется в гидрохимии с целью оценки качества поверхностных вод, а также отслеживания его изменения во времени, что позволяет выявить закономерности и взаимосвязи между химическим составом воды и внешними факторами. Основным приемом метода является вычисление средних величин (в данном исследовании – среднегодовых) концентраций минерализации речной воды и сравнительный анализ между полученными характеристиками и нормативными значениями для исследуемого параметра. Далее был произведен временной (многолетний) анализ данных за длительный промежуток времени – с 2005 по 2021 гг., что является ключевым аспектом исследования, т.к. в настоящее время имеется недостаток данных в направлении долгосрочного исследования качества поверхностных вод.

Нормативный уровень ПДК для МВ, приводимый на иллюстративных материалах взят в соответствии с Единой системой классификации качества воды для первого класса качества [9], который составляет 1000 мг/дм^3.

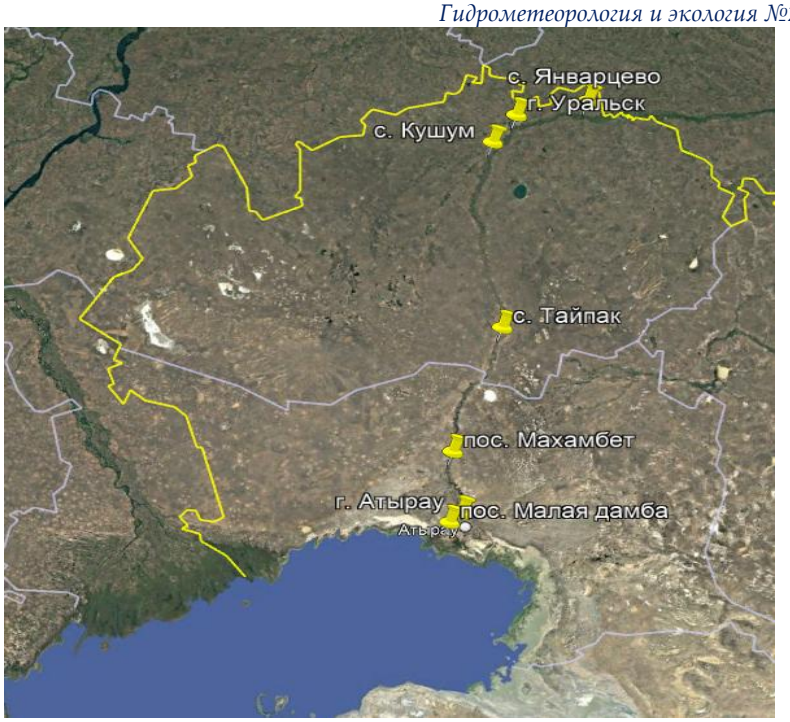


Рисунок 1. *Гидрохимические створы на р. Жайык на территории Казахстана*

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным, представленным в «Ежегодниках» РГП «Казгидромет» [10], минерализация трансграничного стока, притекающего с территории РФ за многолетний период, варьировала в значительных пределах, особенно в 2005…2016 гг. (рисунок 2), средние годовые концентрации минеральных солей составили 400…1121 мг/дм^3, максимальные ее значения зафиксированы в 2008 г. на уровне 2359 мг/дм^3, а в 2015 г. – до 1525 мг/дм^3. В период с 2017 г. по 2020 г. при колебании среднегодового водного стока в пределах 3,5…9,8 км^3 (рисунок 3) МВ практически не меняется, оставаясь почти постоянной и в отдельные сезоны этих лет. По данным, приведенным на рисунке 2, необходимо отметить и о том, что за многолетний период средняя минерализация трансграничного стока реки была ниже нормативного уровня ПДК – 1000 мг/дм^3 [9].

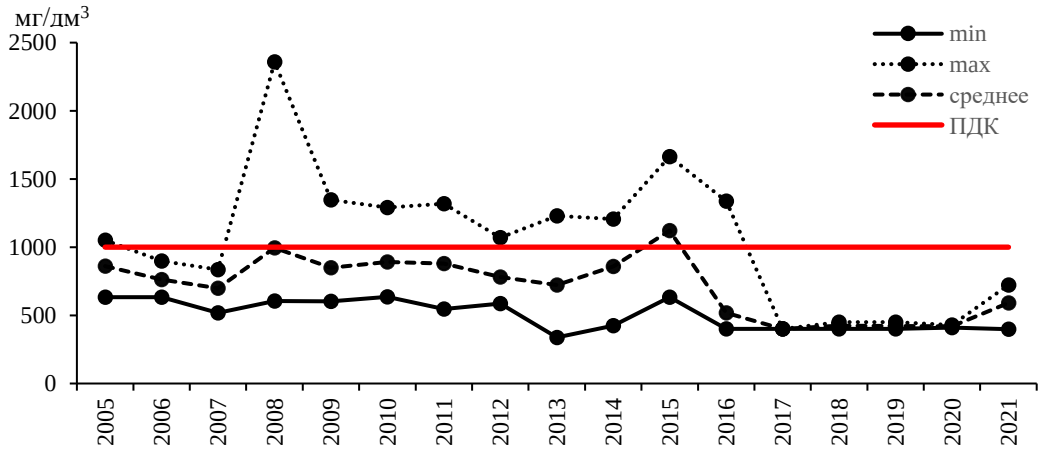


Рисунок 2. *Минерализация воды в трансграничном створе реки у с. Январцево*

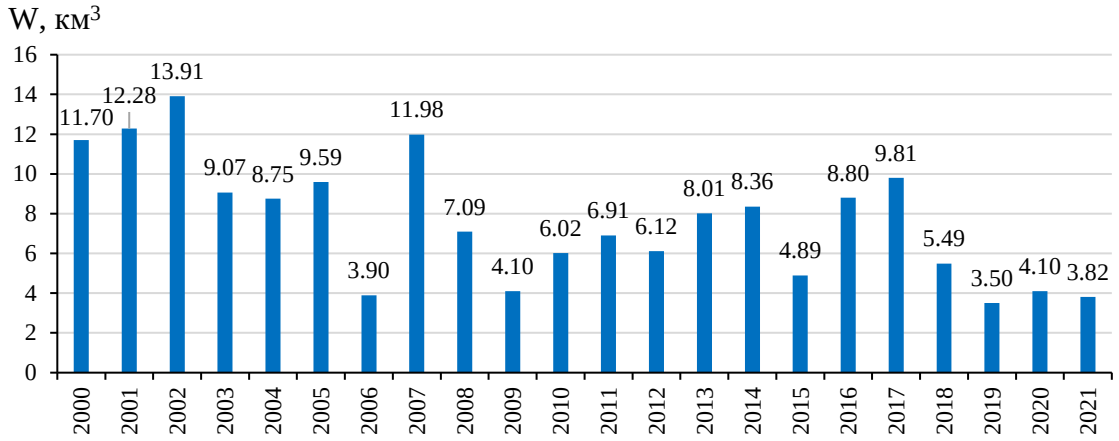


Рисунок 3. *Объем трансграничного стока воды у с. Январцево*

На основе анализа приведенного иллюстрационного материала (рисунки 2…3) следует отметить об отсутствии тесной зависимости между минерализацией и объемом трансграничного водного стока, что является показателем существенного влияния различных по происхождению антропогенных факторов на химический состав и качество речных вод на территории РФ. Факт отсутствия взаимосвязи между среднегодовыми характеристиками расхода воды и минерализации подтверждается графиком связи, представленным на рисунке 4.

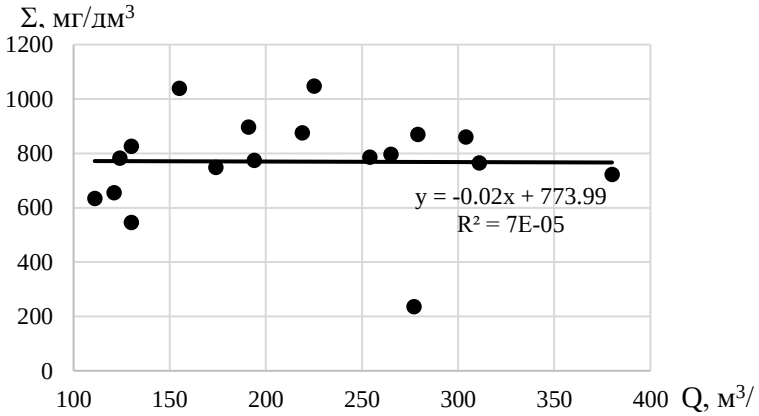


Рисунок 4. *График связи между среднегодовыми расходами воды и минерализацией у с. Январцево*

Многолетняя динамика МВ в низовьях реки (у г. Атырау) характеризуется также значительными колебаниями во времени с тенденцией снижения, примерно, с начала XXI века (таблица 1). За рассматриваемый период заметные изменения характерны для соотношения главных ионов. В 1961 г. и 1962 г. состав воды в данном районе соответствовал индексу в половодье CCaII, в межень – ClNaII [11], а в последнее двадцатилетие во все сезоны года соответствует индексу CNaII. Согласно данным [12], в марте 2019 г. МВ в р. Жайык зарегистрирована на уровне 685 мг/дм^3 у г. Атырау, у п. Малая Дамба – 810 мг/дм^3. По собственным наблюдениям [13], в 1999…2001 гг. МВ в низовьях реки составляла весной от 342 мг/дм^3 до 404 мг/дм^3, а в начале зимы 581…586 мг/дм^3. По более ранним исследованиям [14], как отмечено выше, значения этого показателя изменялись в интервале 259…845 мг/дм^3.

Таблица 1

Многолетнее изменение МВ р. Жайык у г. Атырау, мг/дм^3

Минерализация	Год						
	1961	1962	1999	2001	2010	2015	2021
Максимальная	982	953	581	586	369	510	649
Минимальная	400	308	342	404	278	235	272
Средняя	601	636	462	495	306	373	449

При изучении особенностей изменения МВ по течению реки на территории Казахстана для наглядной иллюстрации динамики изучаемого показателя проанализированы данные за 2001, 2010, 2015 и 2021 гг., по которым имеются более полные сведения.

По данным, приведенным на рисунке 5, можно отметить об аналогичном режиме МВ по течению реки за 2001 и 2021 гг. В 2001 г. (рисунок 5а) средняя минерализация речной воды от значений 1421 мг/дм^3 у с. Январцево плавно снижается до 912 мг/дм^3 у г. Атырау и до 845 мг/дм^3 перед впадением реки в море. В 2021 г. (рисунок 5г) по всему течению реки МВ меняется крайне незначительно, в среднем от 590 до 550 мг/дм^3. Аналогичный ход динамики был характерен в эти годы и для максимальных и минимальных значений минерализации.

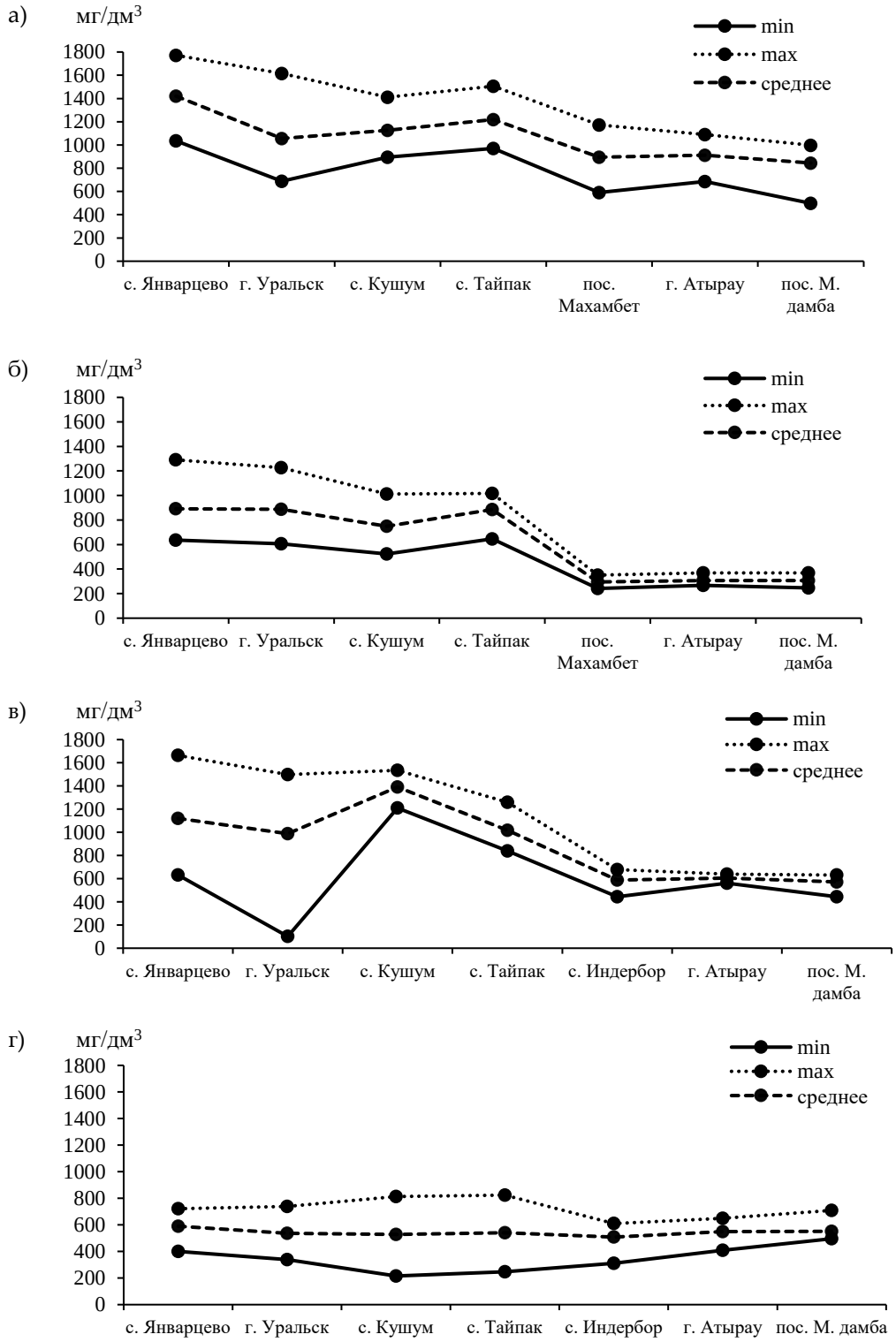


Рисунок 5. *Изменение МВ р. Жайык по течению на территории Казахстана по годам: а) 2001; б) 2010; в) 2015; г) 2021*

Иная картина наблюдается при анализе данных за 2010 и 2015 гг. (рисунки 5б и 5в). В 2010 г. значения МВ от с. Январцево до с. Тайпак заметно не менялись и наблюдались в среднем в интервале 892…900 мг/дм^3, однако у гидропоста пос. Махамбет величина показателя резко снижается, оставаясь на уровне в среднем 295…306 мг/дм^3 до пос. Малая Дамба. В целом, аналогичная динамика МВ по течению реки зарегистрирована и в 2015 г. В этом году резкое снижение ее значений отмечалось у с. Кушум до с. Индербор в среднем с 1121 до 589 мг/дм^3, оставаясь далее без заметных изменений до самого моря.

Чем обусловлено такое резкое опреснение речной воды именно на границе двух областей, объяснить трудно. Известно, что такое снижение солености вод может вызвать поступление в речную систему большого количества маломинерализованных вод, что одновременно приводит к увеличению водного стока в реке ниже этого участка. Однако, как видно из рисунка 6, ниже с. Тайпак ни в 2001 и 2021 гг., ни в 2010 и 2015 гг. объем водного стока в реке не увеличился, а наоборот, наблюдается некоторое его снижение.

Достаточно подробные сведения по изменению МВ по течению р. Жайык за 2013 и 2016 гг. приводятся в ряде работ [15…18]. Согласно этим данным, весной 2016 г. МВ в створах с. Январцево, п. Кушум и п. Тайпак составила соответственно 282, 325 и 326 мг/дм^3, а в створах п. Индер, п. Махамбет, г. Атырау и п. Малая Дамба – 386, 696, 707 и 532 мг/дм^3, соответственно.

Приведенные выше материалы свидетельствуют об изменении МВ по течению реки под влиянием ряда природных и антропогенных факторов без резких ее колебаний на отдельных участках.

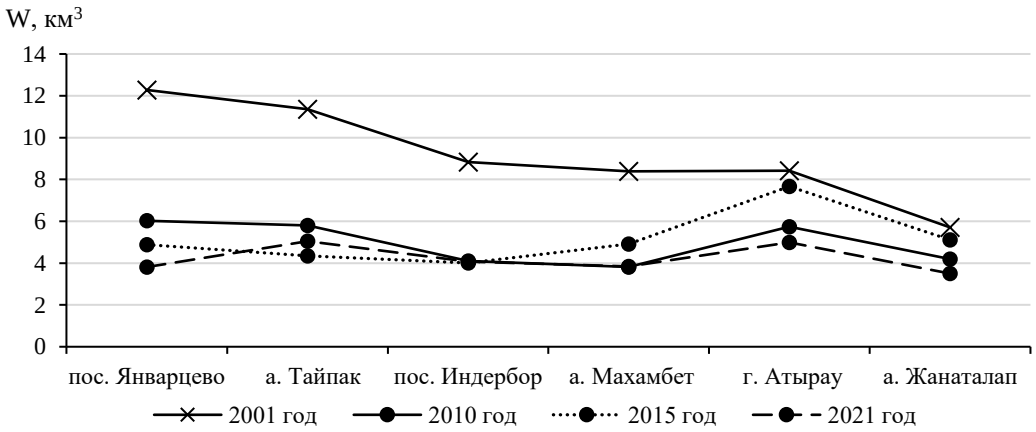


Рисунок 6. *Объем водного стока р. Жайык на территории Казахстана в 2001, 2010, 2015 и 2021 гг.*

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа многолетнего материала можно отметить, что режим минерализации трансграничного стока р. Жайык очень динамичен и среднегодовые его значения колебались в интервале от 500 до 1525 и 2359 мг/дм^3. В трансграничном створе реки выявлено отсутствие тесной зависимости между минерализацией и объемом трансграничного водного стока, что является показателем существенного влияния антропогенных факторов на химический состав и качество речных вод на территории Российской Федерации.

Многолетняя динамика МВ в низовьях реки (у г. Атырау) характеризуется такими значительными колебаниями в межгодовом аспекте с заметной тенденцией снижения, примерно с начала XXI века. Такая закономерность выявляется и при сравнении приводимых современных данных по МВ с опубликованными материалами ряда научных учреждений и ранее проведенных собственных исследований.

Многообразие природных и антропогенных факторов обуславливает глубокие изменения в ионном составе речной воды и придает определенную направленность его метаморфизации. Качество воды р. Жайык по степени минерализации соответствует

нормативным требованиям, и она вполне пригодна для использования в хозяйственно-питьевых и других целях.

Полученные научные результаты могут быть использованы местными и государственными органами по охране природы при разработке водоохранных мероприятий, а также специалистами в области исследования качества природных вод и вопросах развития научных исследований трансграничных проблем.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании, получены авторами из трех источников: Бюро национальной статистики, Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан; РГП «Казгидромет» МЭПР РК.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – НАА; управление данными – АМ; формальный анализ – ДМБ; методология – АСМ; руководство – НАА; визуализация – ДМБ; написание исходного текста – НАА; написание и редактирование окончательного текста – НАА, ДМБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никонова Р.Е. Многолетняя изменчивость составляющих водного баланса Каспийского моря и ее роль в колебаниях уровня // Материалы Всесоюзного совещания по проблеме Каспийского моря, 3-5 июня, 1991. – Гурьев, 1991.
2. Ивкина Н.И., Галаева А.В. Изменения основных составляющих водного баланса Каспийского моря под влиянием климата // Гидрометеорология и экология. – 2020. - № 4. – С. 16-28.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Вып.1. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 411 с.
4. Бруевич С.В., Аничкова Н.И. Химия речного стока в Каспийское море // Труды Комиссии по комплексному изучению Каспийского моря. М.-Л.: АН СССР. – 1941. - Вып. XIV. – С.9.
5. Амиргалиев Н.А., Кожахметов П.Ж., Исмуханова Л.Т., Бектурсунов К.Е. Северный Каспий. Гидрографические и гидрохимические показатели. Атлас Атырауской области, Алматы, 2014. – С. 78.
6. Алекин О.А. К изучению количественных зависимостей между минерализацией, ионным составом и водным режимом рек СССР // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1950. – Вып. 25 (79). – С. 25-35.
7. Медеу А.Р., Амиргалиев Н.А., Давлеткалиев С.К., Сергалиев Н.Х., Ахмеденов К.М. Оценка состояния водных ресурсов трансграничных рек Урало-Каспийского бассейна // Материалы международной научно-практической конференции и школы-семинара молодых ученых-степеведов 1-5 октября 2017 г. – Оренбург, 2017. – Том 1. – С. 32-45.
8. Amirgaliev N.A., Askarova M., Opp C., Medeu A.A., Kulbekova R., Medeu A.R. 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), 2022, Vol. 12 (4), pp. 2059. https://doi.org/10.3390/app12042059
9. Единая система классификации качества воды в водных объектах, утвержденная Приказом Председателя Комитета водного хозяйства Министерства водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан от 20.03.2024 г. № 70. [Электронный ресурс] URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1600014513, дата обращения: 11.11.2024
10. Ежегодные данные о качестве (ЕДК) поверхностных вод суши. Жайык-Каспийский бассейн. – Астана: РГП «Казгидромет», 2001…2021 гг.
11. Амиргалиев Н.А. Ионный сток р. Урал в солевом балансе Каспийского моря // Известия АН КазССР. Серия химическая. – Алма-Ата: Изд-во АН КазССР. – 1966. – Вып. 3. – С. 35-40.
12. Кадинов Е.Л. Оценка гидролого-гидрохимического состояния р. Жайык в современный период // Состояние водных биологических ресурсов и аквакультуры Казахстана и сопредельных стран. НИИ рыбного хозяйства – 90 лет. – Алматы, 2019. – С.257-271.
13. Амиргалиев Н.А. Эколого-токсикологическая оценка речного притока в Северо-Восточный Каспий // Экология и гидрофауна водоемов трансграничных бассейнов Казахстана. – Алматы: Бастау, 2008. – С. 6-18.
14. Амиргалиев Н.А. Гидрохимия дельты и низовьев р. Урал: Автореф. дис. … канд. хим. наук. – Балхаш, 1967. – 19 с.
15. Сергалиев Н.Х., Ахмеденов К.М., Абишева С.Х., Гаврилина И.И. Анализ данных по гидрохимическим и токсикологическим показателям реки Жайык Западно-Казахстанской и Атырауской областей // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование. Материалы международной конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни», Алматы 22-24 сентября 2016 г. – Алматы, 2016. – Книга 1. – С. 418-423.
16. Ахмеденов К.М., Гаврилина И.И., Абишева С.Х. Анализ проблем трансграничного переноса загрязняющих веществ в бассейне реки Жайык // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование. Материалы международной конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни», Алматы 22-24 сентября 2016 г. – Алматы, 2016. – Книга 1. – С. 240-246.
17. Shalgimbaeva G.M., Mugue N.S., Isbekov K.B., Volkov A.A., Mikodina E.V. Ural (Zhayik) River Spawning Grounds of the Sturgeon (Acipenseridae) in the Republic of Kazakhstan: Modern Situation. Journal of Ichthyoljgy, 2022, Vol. 62, pp. 1439–1453. https://doi.org/10.1134/S0032945222060273

REFERENCES

1. Nikonova R.E. (1991). Mnogoletnjaja izmenchivost' sostavljajushhih vodnogo balansa Kaspijskogo morja i ee rolv kolebanijah urovnja [Multiyear variability of the Caspian Sea water balance components and its role in level fluctuations]. Materialy Vsesojuznogo soveshhanija po probleme Kaspijskogo morja, 3-5 ijunja, 1991. Gu'ev [in Russian].
2. Ivkina N.I., Galaeva A.V. (2020). Izmenenija osnovnyh sostavljajushhih vodnogo balansa Kaspijskogo morja pod vlijaniem klimata [Changes in the main components of the Caspian Sea water balance under the influence of climate]. Gidrometeorologija i jekologija, 2020, Vol. 4, pp. 16-28 [in Russian].
3. Resursy poverhnostnyh vod SSSR (1971). T. 12. Nizhnee Povolzh'e i Zapadnyj Kazahstan [Surface Water Resources of the USSR. T. 12. Lower Volga Region and Western Kazakhstan]. Vyp.1, L.: Gidrometeoizdat, 411 p [in Russian].

4. Bruevich S.V., Anichkova N.I. (1941). Himija rechnogo stoka v Kaspijskoe more [Chemistry of River Runoff into the Caspian Sea]. Trudy Komissii po kompleksnomu izucheniju Kaspijskogo morja, M.-L.: AN SSSR, Vol. XIV, 9 p [in Russian].
5. Amirgaliev N.A., Kozhahmetov P.Zh., Ismuhanova L.T., Bektursunov K.E. (2014). Severnyj Kaspij. Gidrograficheskie i gidrohimicheskie pokazateli. Atlas Atyrauskoj oblasti [Northern Caspian. Hydrographic and hydrochemical indicators. Atlas of Atyrau region], Almaty, 2014, 78 p [in Russian].
6. Alekin O.A. (1950). K izucheniju kolichestvennyh zavisimostej mezhdu mineralizaciej, ionnym sostavom i vodnym rezhimom rek SSSR [To the study of quantitative relationships between mineralisation, ionic composition and water regime of the USSR rivers]. Trudy GGI, L.: Gidrometeoizdat, Vol. 25 (79), pp. 25-35 [in Russian].
7. Medeu A.R., Amirgaliev N.A., Davletkaliev S.K., Sergaliev N.H., Ahmedenov K.M. (2017). Ocenka sostojanija vodnyh resursov transgranichnyh rek Uralo-Kaspijskogo bassejna [Assessment of the state of water resources of transboundary rivers of the Ural-Caspian basin]. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii i shkoly-seminara molodyh uchenyh-stepevedov 1-5 oktjabrja 2017 g., Orenburg, Issue. 1, pp. 32-45 [in Russian].
8. 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
9. Unified system of water quality classification in water bodies, approved by the Order of the Chairman of the Committee of Water Management of the Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan from 20.03.2024 № 70 [Electronic resource]. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1600014513, date of access: 11.11.2024
10. Ezhegodnye dannye o kachestve (EDK) poverhnostnyh vod sushi. Zhajyk-Kaspijskij bassejn, Astana: RSE «Kazhydromet», 2001…2021 gg. [in Russian].
11. Amirgaliev N.A. (1966). Ionnyi stok r. Ural v solevom balanse Kaspiiskogo moray [Ion runoff of the Ural River in the salt balance of the Caspian Sea]. Izvestiya AN KazSSR. Seriya khimicheskaya, Alma-Ata: Izd-vo AN KazSSR, Vol. 3, pp. 35-40 [in Russian].
12. Kadinov E.L. (2019). Otsenka gidrologo-gidrokhimicheskogo sostoyaniya r. Zhaiyk v sovremennyi period [Assessment of hydrological and hydrochemical condition of the river Zhaiyk in the modern period]. Sostoyanie vodnykh biologicheskikh resursov i akvakul'tury Kazakhstana i sopredel'nykh stran. NII rybnogo khozyaistva – 90 let, Almaty, pp.257-271 [in Russian].
13. Amirgaliev N.A. (2008). Ekologo-toksikologicheskaya otsenka rechnogo pritoka v Severo-Vostochnyi Kaspii [Ecological and toxicological assessment of river inflow to the North-East Caspian]. Ekologiya i gidrofauna vodoemov transgranichnykh basseinov Kazakhstana, Almaty: Bastau, 2008, pp. 6-18 [in Russian].
14. Amirgaliev N.A. (1967). Gidrokhimiya del'ty i nizov'ev r. Ural [Hydrochemistry of the delta and lower reaches of the Ural River]: Avtoref. dis. … kand. khim. Nauk, Balkhash, 19 p. [in Russian].
15. Sergaliev N.Kh., Akhmedenov K.M., Abisheva S.Kh., Gavrilina I.I. (2016). Analiz dannykh po gidrokhimicheskim i toksikologicheskim pokazatelyam reki ZhAiyk Zapadno-Kazakhstanskoi i Atyrauskoi oblastei [Analysis of data on hydrochemical and toxicological indicators of the river Zhaiyk in West Kazakhstan and Atyrau oblasts]. Vodnye resursy Tsentral'noi Azii i ikh ispol'zovanie. Materialy mezhdunarodnoi konferentsii, posvyashchennoi podvedeniyu itogov obyavlennogo OON desyatiletiya «Voda dlya zhizni», Almaty 22-24 sentyabrya 2016 g, Kniga 1, Almaty, pp. 418-423 [in Russian].
16. Akhmedenov K.M., Gavrilina I.I., Abisheva S.Kh. (2016). Analiz problem transgranichnogo perenosa zagryaznyayushchikh veshchestv v basseine reki Zhaiyk [Analysis of problems of transboundary transport of pollutants in the basin of the Zhaiyk River]. Vodnye resursy Tsentral'noi Azii i ikh ispol'zovanie. Materialy mezhdunarodnoi konferentsii, posvyashchennoi podvedeniyu itogov ob"yavlennogo OON desyatiletiya «Voda dlya zhizni», Almaty 22-24 sentyabrya 2016 g., Kniga 1, Almaty, pp. 240-246. [in Russian].
17. Shalgimbaeva G.M., Mugue N.S., Isbekov K.B., Volkov A.A., Mikodina E.V. (2022). Ural (Zhayik) River Spawning Grounds of the Sturgeon (Acipenseridae) in the Republic of Kazakhstan: Modern Situation. Journal of Ichthyoljgy, Vol. 62, pp. 1439–1453. https://doi.org/10.1134/S0032945222060273

ЖАЙЫҚ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ ӨЗЕНІНІҢ ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДАҒЫ СУЫНЫҢ МИНЕРАЛДАНУЫНЫҢ ҰЗАҚ ЖЫЛДЫҚ ДИНАМИКАСЫ

Нариман А. Амиргалиев[1] ҚазҰЖҒА академигі, г.ғ.д., профессор, Азамат С. Мадибеков[1] PhD, қауымдастырылған профессор, Диана М. Бурлибаева[1,2*] PhD, Айнұр Мұсақұлқызы[1] т.ғ.к.

[1] География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан; namirgaliev@mail.ru, madibekov@mail.ru, diana.burlibayeva@yandex.kz, musakulkyzy@ingeo.kz
[2] Қазақстан Республикасындағы Халықаралық Аралды құтқару қорының Атқарушы дирекциясы, Алматы, Қазақстан; diana.burlibayeva@yandex.kz
Автор корреспондент: Диана М. Бурлибаева, diana.burlibayeva@yandex.kz

ТҮЙІН СӨЗДЕР

минералдану
судың иондық құрамы
концентрациясы
таралуы
трансформациясы

Мақала жайында:
Жіберілді: 29.11.2024
Қайта қаралды: 29.05.2025
Қабылданды: 03.06.2025
Жарияланды: 30.06.2025

АБСТРАКТ

Жұмыста Жайық өзені бойымен Қазақстан аумағына минералды тұздардың трансшекаралық ағынының көпжылдық динамикасын бағалауға арналған зерттеу нәтижелері келтірілген. «Қазгидромет» РМК мемлекеттік мониторингінің көпжылдық материалы негізінде табиғи және антропогендік факторлардың әсерін ескере отырып, ағын бойынша судың минералдануы ағынының трансформациясының ерекшеліктері қаралды. Жер үсті суларының сапасын қалыптастыруда судың минералдануының, сондай-ақ олардың соңғы су айдындарының санитарлық режимінде ағуын зерттеудің маңыздылығы туралы мәліметтер келтірілген.

Жүргізілген зерттеулер су ағынының ауытқуына және бірқатар антропогендік факторлардың әсеріне байланысты жыл және жыл ішілік аралықта минералды

тұздар ағынының үлкен өзгергіштігін көрсетті. Қазақстан аумағында судың минералдану режимін қалыптастырудың негізгі факторы ретінде Жайық өзенінің трансшекаралық ағынының рөлі көрсетіліп, су ағыны бойындағы судың минералдануының өзгеруін анықтайтын негізгі факторлар да келтірілген.

MULTIYEAR DYNAMICS OF WATER MINERALIZATION IN THE TRANSBOUNDARY ZHAIYK RIVER ON THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN

Nariman Amirgaliyev[1] Academician of KazNANS, doctor of geographical sciences, professor, Azamat Madibekov[1] PhD, associate professor, Diana Burlibayeva[1,2*] PhD, Ainur Mussakulkyzy[1] candidate of technical sciences

[1] Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; namirgaliev@mail.ru, madibekov@mail.ru, diana.burlibayeva@yandex.kz, musakulkyzy@ingeo.kz
[2] Executive Board of the International Fund for Saving the Aral Sea in the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan; diana.burlibayeva@yandex.kz
Corresponding author: Diana Burlibayeva, diana.burlibayeva@yandex.kz

KEY WORDS

mineralization
ionic composition of water
concentration
distribution
transformation

About article:
Received: 29.11.2024
Revised: 29.05.2025
Accepted: 03.06.2025
Published: 30.06.2025

ABSTRACT

The paper presents the results of studies devoted to the assessment of long-term dynamics of the volume of transboundary runoff to the territory of Kazakhstan of mineral salts of the Zhaiyk River. On the basis of long-term material of the State monitoring of RSE «Kazhydromet», the features of transformation of water mineralization flow along the river are considered, also taking into account the influence of natural and anthropogenic factors. There is an information about the importance of water mineralization studies in the formation of surface water quality, as well as their runoff in the sanitary regime of inlet water bodies.

The studies have shown great variability of mineral salt runoff in inter-annual and intra-annual periods depending on the fluctuation of water flow and the influence of a number of anthropogenic factors. The role of transboundary flow of the Zhaiyk river as the main factor of formation of water mineralization regime on the territory of Kazakhstan is shown, main factors determining the transformation of water mineralization along the watercourse are also given.

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

Гидрометеорология и экология

Scientific article

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE SOIL COVER OF THE INDUSTRIAL AREA CONTAMINATED WITH HEAVY METALS (IN THE EXAMPLE OF THE KARAGANDY METALLURGICAL COMBINE)

Aizhan Rakhisheva*, Zhanar Rakhymzhan PhD, associate professor, Raikhan Beisenova Candidate of Biological Sciences, professor, Rumiya Tazitdinova PhD, associate professor

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; Aizhan_enu@mail.ru (AR), raihan_b_r@mail.ru (RB), r.zhanar80@mail.ru (ZhR), irm85@mail.ru (RT)
Corresponding author: Aizhan Rakhisheva, Aizhan_enu@mail.ru

KEY WORDS

pollution
heavy metals
soil cover
ferrous and non-ferrous metallurgy
X-ray fluorescence spectroscopy
atomic-adsorption method
ecosystem

ABSTRACT

Contamination of the soil of the industrial area with heavy metals is a serious environmental problem. In research soil samples were taken from the territory of the steel and mining company, which owns the largest metallurgical plant in Kazakhstan, "Karagandy Metallurgical Plant", located in the city of Temirtau, Karaganda region, Qarmet JSC, a metallurgical enterprise of Central Kazakhstan, and the content of heavy metals was determined using atomic absorption spectrophotometer (AAS) and X-ray fluorescence spectroscopy. Was determined. Eleven heavy metals were detected in the soil samples and the following heavy metals were found in the dissolved state: TiO_2, MnO, and Fe_2O_3. It is known that the concentration of heavy metals Sr, Zn, Cr, and Cu in the soil samples is much higher. According to the research results, it was determined that the concentration of heavy metals increases in the order of Sr>Zn>Cr>Cu>V>Ni>Pb>As>Co>Cd>Hg. As a result of the comparison of the three samples №1, №2, №5 with the highest contamination level, the highest concentration of Strontium in the first sample is 287,1±0,05 mg/kg ($p<0,05$), the highest concentration of Zinc in the second sample is 132,2±0,05 mg/kg ($p<0,05$), high concentration of Chromium in the first sample is 137,2±0,05 mg/kg ($p<0,05$), Copper concentration was highest at the second point, amounting to 87,6±0,05 mg/kg ($p<0,05$). According to the results of the soil samples, it was found that the soil near the metallurgical plant is contaminated with strontium, zinc, chromium and copper.

1. INTRODUCTION

Chromium (Cr) is one of the pollutant heavy metal elements that threaten human health, and animal and plant growth. Human consumption of hexavalent chromium [Cr(VI)] can cause symptoms such as asthma, cardiovascular disease, and organ failure, and is known to pose a risk to plants and animals [1]. In addition, Cr(VI), known as an extremely toxic highly mobile oxyanion species, poses a major carcinogenic risk to ecosystems and human health [2…3]. Therefore, it is essential to remediate Cr(VI)-contaminated soils to reduce their ecological risk and subsequent environmental impact. Scientific assessment of the environmental risk of soil chromium (Cr) and the formulation of ecological standards for it may be of great importance in controlling its toxicity, as Cr is listed as one of the 20 most dangerous substances by the Agency for Toxic Substances and Disease Registry [4].

Strontium (Sr), an alkaline earth metal, is a common element in nature [5]. Elevated concentrations of persistent and radioactive strontium in soil and water are considered a major public health and environmental concern. Strontium is absorbed by the human body in the same way as calcium, because these two elements are chemically very similar and accumulate mainly in human bones and teeth, and also impairs bone growth in children [6]. When strontium enters our bodies, it can displace calcium from bones or inhibit the production of vitamins and cause leukemia, rickets, and kidney disease [7].

About article:
Received: 31.01.2025
Revised: 9.04.2025
Accepted: 28.05.2025
Published: 30.06.2025

For citation :
Rakhisheva A., Rakhymzhan Zh., Beisenova R., Tazitdinova R. Assessment of the ecological condition of the soil cover of the industrial area contaminated with heavy metals (in the example of the Karagandy metallurgical combine) // Гидрометеорология и экология, №2 (117), 2025, 38-48.

Soil contamination with zinc leads to significant environmental problems, including reduced soil fertility and potential toxicity to plants and microorganisms. Effective recovery strategies are

needed to reduce its adverse effects [8]. High levels of Zn disrupt nutrient cycling and alter soil microbial communities, affecting ecosystem stability [9]. This pollution can have a significant impact on the environment, disrupting nutrient cycling, altering microbial communities, and affecting the overall balance and stability of ecosystems. The effects of zinc on soil microbial processes and the sensitivity of earthworms to zinc further highlight the potential ecological consequences of zinc pollution [10]. Zn to soil is mainly from metallurgy (mining, smelting), agriculture (fertilizers, pesticides, manure), energy use (electricity generation, gasoline), sewage sludge, surface runoff, etc. enters through [11].

Vanadium is a strategic metal element widely used in modern industries such as metallurgy, manufacturing and oil refining [12]. Vanadium is widely used in a variety of industries, including steelmaking, aerospace and renewable energy technologies [13]. Vanadium is highly toxic to living organisms when exposed to excess, causing damage to the respiratory system and metabolic disturbances [14]. The United Nations Environment Program (UNEP) recommends placing vanadium on the priority list of environmental threats [15].

Soil is a constantly developing natural organism important for life on earth. It is the main medium for plant growth and habitat creation. Soil is a limited resource that provides a variety of microorganisms for micro- and macro-organisms, and is fundamentally involved in carbon accumulation and the hydrological cycle (storage, replenishment of aquifers) [16]. The land is an important resource for human production and livelihood, and with the development of agricultural and industrial technology, soil contamination with heavy metals is becoming an increasingly important problem [17]. Excessive and unstable industrialization, intensive agricultural activities, improper mining, production and use of synthetic products (pesticides, paints, batteries), combustion products of coal, oil spills and precipitation, metal waste, and fuel residues have made the restoration of soil ecosystems contaminated with heavy metals and metalloids, damaged by high sediment levels of toxic metals, an important issue for humanity [18].

Today, environmental pollution with heavy metals is the most serious problem on a global scale, causing damage to plants, animals and humans through chronic or acute exposure [19].

Heavy metals are the inorganic pollutants of greatest concern due to their toxicity and persistence in the environment [20]. Heavy metals are non-biodegradable by nature, some of them combine with other components to form stable but toxic compounds [21]. Heavy metals are not biodegradable due to their chemical complexity and stable nature [22]. Heavy metals are known to be very toxic even in small amounts [23], are particularly dangerous pollutants of the natural environment, and even at low concentrations can cause various pathologies in the development of living organisms. The increase in heavy metals leads to many physical, chemical and biological changes in the environment. The nature and extent of such changes depend on the composition and form of heavy metals in natural objects [24]. The group of heavy metals mainly includes 19 chemical elements: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Mo, Cd, Sn, Sb, Te, W, Hg, Tl, Pb, Bi. The most typical heavy metal contaminants are: Pb, Cd, Hg, Zn, Mo, Ni, Co, Sn, Cu, V, Sb, As [25].

Regarding their role in biological systems, heavy metals are classified as essential and non-essential. Essential heavy metals are those that living organisms need in small amounts for vital physiological and biochemical functions. Important heavy metals include Fe, Mn, Cu, Zn, and Ni [26]. Nonessential heavy metals are those that living organisms do not need for physiological or biochemical functions. Non-essential heavy metals: Cd, Pb, As, Hg and Cr [27].

A serious global environmental problem is environmental pollution with heavy metals, namely cadmium, lead, arsenic, mercury and nickel [28]. Metals play an important role in our society, and the metallurgical industry includes activities as diverse as mineral exploration, mining, screening, smelting and rolling. Ferrous and non-ferrous metallurgy is primarily responsible for the production and refining of metals [29].

Anthropogenic sources of environmental pollution with heavy metals include metal production, smelting, production of fertilizers and pesticides, metal leaching from landfills, and industrial wastewater [30...31]. With the rapid development of the metallurgical industry, a large

amount of metallurgical sludge was produced. The composition of industrial sludge consists of various sources, mainly heavy metals, organic pollutants, viruses and microorganisms [32]. Owing to backward production and processing technologies, a huge amount of mining wastes (metallurgical slags, tailings, tailings, etc.) are generated during mining, smelting, etc. The smelting of metal ores caused severe environmental pollution and damage to the environment [33].

Unprocessed waste takes up land resources, and very high concentrations of metals and metalloids are transferred to the atmosphere, water, soil and groundwater, which pose a threat to human health through food intake [34].

All heavy metals emitted by different types of industrial activities are toxic above a certain concentration level, and As, Cd, Hg and Pb are the most toxic elements even at low concentration levels [35]. The increased level of toxic metals in the environment poses a potential threat to human and environmental health, so it has attracted the attention of scientists around the world [36]. They are typically found in submicron-size fractions (<1 μm) with different physical and chemical properties related to their appearance, size, solubility, and toxicity [37]. Heavy metals such as Cd, Cu, Pb, and Zn, known for their higher toxicity, are also recognized as potentially toxic elements, and are associated with the metallurgy industry, mining, waste incineration, road infrastructure, smelting plants, and the burning of fossil fuels [38]. Their concentration is significantly higher in urban/transport and industrial areas [39].

Humans are harmed by inhaling, swallowing and skin contact with toxic fine dust particles of heavy metals. This effect leads to serious human health problems such as depression and anxiety, immune, endocrine, respiratory and other diseases [40].

Arsenic (As) is a common constituent of many ores and appears as a major, minor, or trace element in sulfides associated with mine tailings. It is a redox element, usually found in soil in two oxidation states +3 and +5. Arsenate (As(V)) is generally considered to be less toxic than arsenite (As(III)) [41]. Cadmium (Cd) is highly toxic because it is easily absorbed by plant roots and transported to above-ground parts. Itai-Itai disease caused by Cd residue deposition is a well-documented phenomenon [42]. Lead (Pb), the most toxic heavy metal pollutant found in many fertilizers, is readily absorbed and eventually accumulates in the edible parts of medicinal plants [43].

Heavy metals adversely affect the circulatory system, endocrine system, and central nervous system, leading to stunted growth, kidney disease, and various types of cancer [44].

The use of pesticides and fertilizers, as well as the growth of industrial production in the surrounding area, has led to the accumulation of heavy metals in the soil in recent years. A national soil contamination study conducted in 2021 [45] found that the concentration of heavy metal elements exceeded the threshold by more than 20 % in agricultural lands. The toxicity of these metals represents a complex environmental issue that bioaccumulates and is non-biodegradable in the environment [46]. Toxicity and the predicted persistence of environmental contamination with heavy metals are of concern [47]. Heavy metals have carcinogenic, teratogenic and mutagenic properties that can adversely affect human health [48].

Industrial areas are generally exposed to high levels of air pollution due to the predominance of local industrial emissions [49].

Crops rich in these heavy metals can enter the human body in various ways, such as hand-to-mouth contact, which can have harmful effects on human health [50]. As a result of all these activities, heavy metals accumulate in the soil and become polluted. Contaminated soil poses a significant threat to ecosystems and humans [51]. Removing these heavy metals from the polluted environment through natural and human intervention and converting them into useful niches for life is a priority [52]. The purpose of the work is to evaluate the characteristics of the distribution of heavy metals in the soil cover in the territory of metallurgical enterprises.

2. MATERIALS AND METHODS

The soil was chosen as the main object of study due to the long-term impact of anthropogenic sources of pollution, as soils are integral components of technogenic landscapes and are directly influenced by human activities. Soil absorbs toxicants from the air and water environment and acts

as a filter. In this regard, the amount of toxic elements in soil and plants can be considered as a diagnostic sign that determines the impact of transport and industrial enterprises [53].

Study area The soil cover in the territory of Qarmet Joint Stock Company Complex «Karagandy Metallurgical Plant» located in the city of Temirtau, Karaganda Region, Central Kazakhstan, Republic of Kazakhstan is shown in Figure 1. The presented maps were created using ArcGIS 10.6.

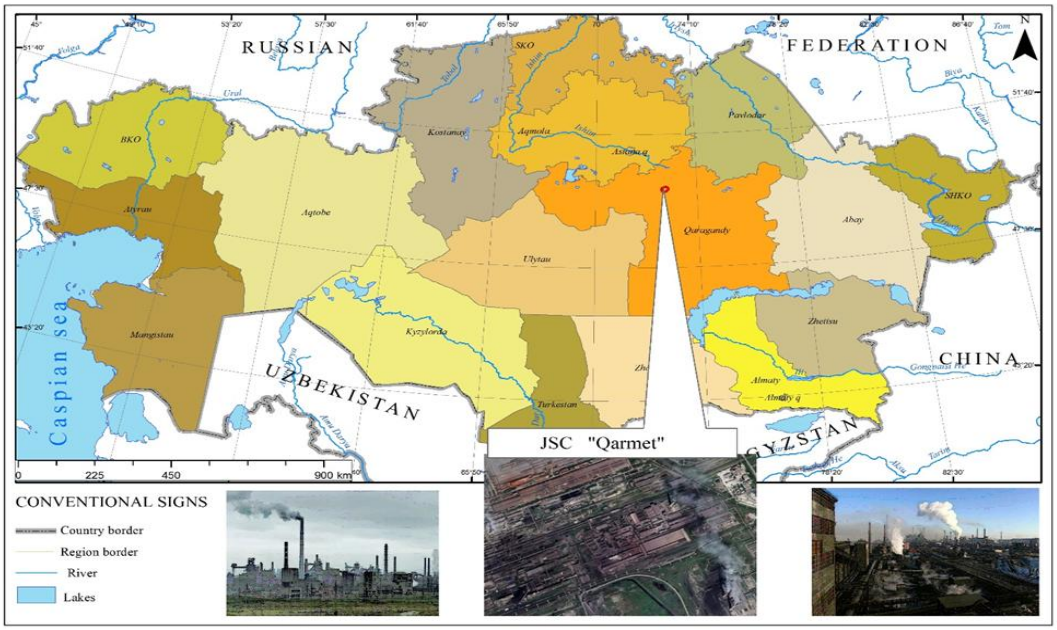


Figure 1. *Map of the territory of Qarmet JSC.*

Note: created based on the author

The geolocation of soil sampling points is shown in Figure 2. The coordinates of the soil sampling points are: 50.04'47"09N and 73.04'13"95E. At the end of September 2023, soil samples were taken from the production areas of Central Kazakhstan at a depth of 25...30 cm of the root layer using the "envelope method". The soil sampling process was carried out according to GOST 17.4.4.02-2017 [54].

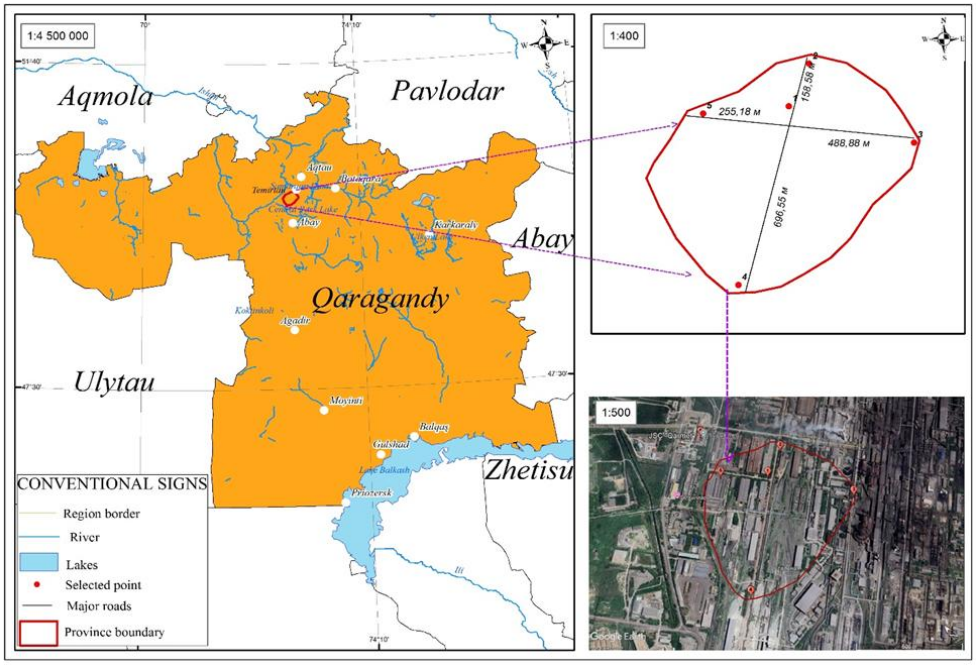


Figure 2. *Location map of the study area with sampling points.*

Note: created based on the author

Soil samples were taken from five points on the territory of the Qarmet Joint Stock Company complex «Karagandy Metallurgical Plant» from different distances. Four points were marked in the corners of the test areas and one in the middle. From the point in the middle of the first sample and this first point, the second point sample is ±158,58m, the third point sample is ±488,88m, the fourth point sample is ±696,55m, the fifth point sample is ±255,18m (total five samples). The sixth soil sample was taken from the clean area for control purposes. Samples were collected in clean plastic bags weighing approximately 1 kg. The collected samples were sequentially numbered and delivered to the laboratory. Laboratory analysis of soil samples was carried out to determine heavy metals. Atomic absorption and X-ray fluorescence spectroscopy methods were used in the work.

3. RESULTS AND DISCUSSION

As a result of experimental studies, the concentrations of heavy metals in soil samples taken near this production area are presented in Figures 3…8. The distribution of the concentration of heavy metals in soil samples is described in the histogram. The vertical axis shows heavy metals, and the horizontal axis shows the concentration of metals in mg/kg. The blue columns represent the soil samples taken from five points on the territory of the Qarmet Joint Stock Company complex «Karagandy Metallurgical Plant», the orange is the soil sample taken for control purposes from the clean area.

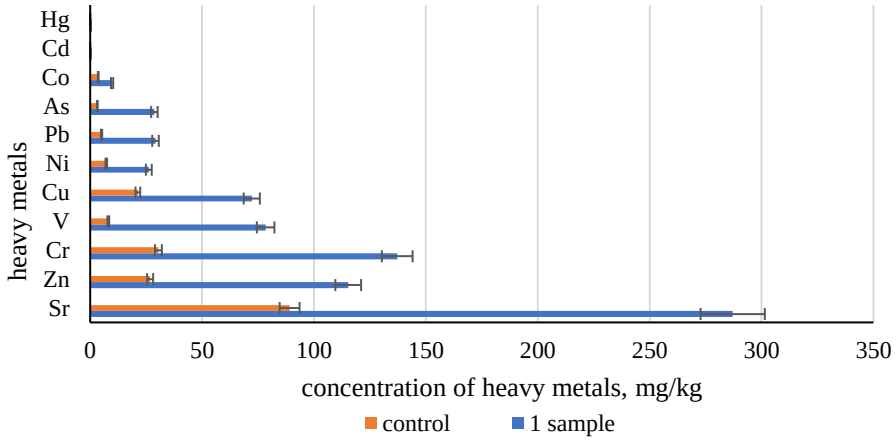


Figure 3. *Amount of heavy metals (mg/kg) in the soil taken from the first point*

The soil sample taken from the first point (sample) in Figure 3 showed the highest values of Sr, Cr, Zn and V. They are, respectively, Sr – 287,1±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is about three times more than the amount of strontium in the soil sample taken from the clean area (control). Cr is 137,2±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is about five times higher than the amount of chromium in the sample taken from the clean area. Zn is 115,3±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is four times higher than the amount of zinc in the soil sample taken from the control area. V – 78,4±0,05 mg/kg ($p<0,05$), about ten times more than the amount of vanadium in the soil from the control area.

As shown in Figure 4, the maximum accumulation of heavy metals Sr, Zn, Cr, and Cu (mg/kg) was observed in the soil sample taken from the second point (sample). Strontium is 281,6±0,05 mg/kg ($p<0,05$), about three times more than strontium in the soil sample from the clean area. Zinc is 132,2±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is about five times more than the amount of zinc in the sample from the clean area compared to the soil in the control sample. Chromium is 98,5±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is three times higher than the amount of chromium in the soil sample taken from the control area. Copper is 87,6±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is about four times more than the amount of copper in soil from the control area.

Figure 5 shows that at the third point (sample), the highest index of heavy metals increased in the order Sr>Zn>Cr>V. Strontium is 490,1±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is about 5,5 times higher than the amount of strontium in soil from the control area. Zinc is 91,4±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is three times higher than the zinc concentration in the soil sample from the clean area. Chromium is 84,5±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is three times higher than chromium in soil from the control area. Vanadium is 76,5±0,05 mg/kg ($p<0,05$), the amount of vanadium in the soil is about ten times higher than in the control area.

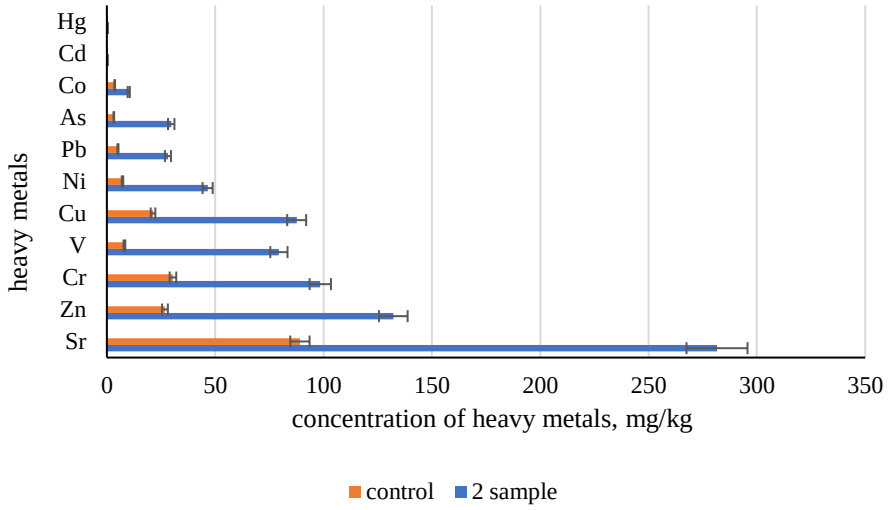


Figure 4. *Amount of heavy metals (mg/kg) in the soil taken from the second point*

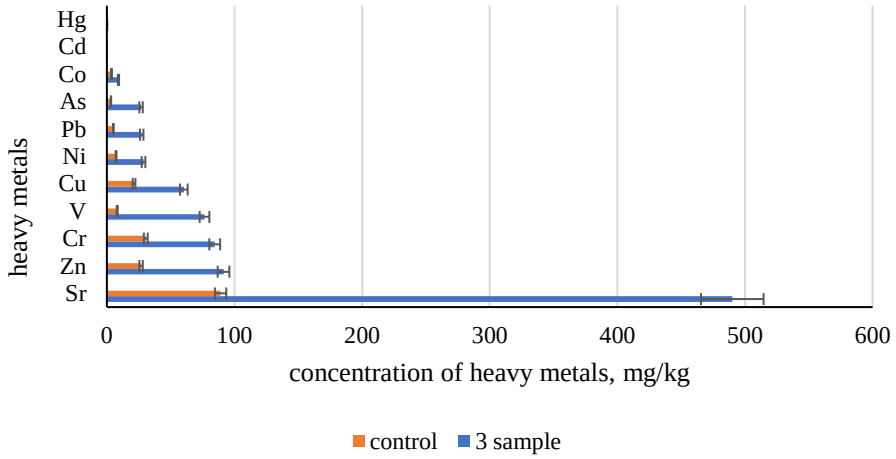


Figure 5. *Amount of heavy metals (mg/kg) in the soil taken from the third point*

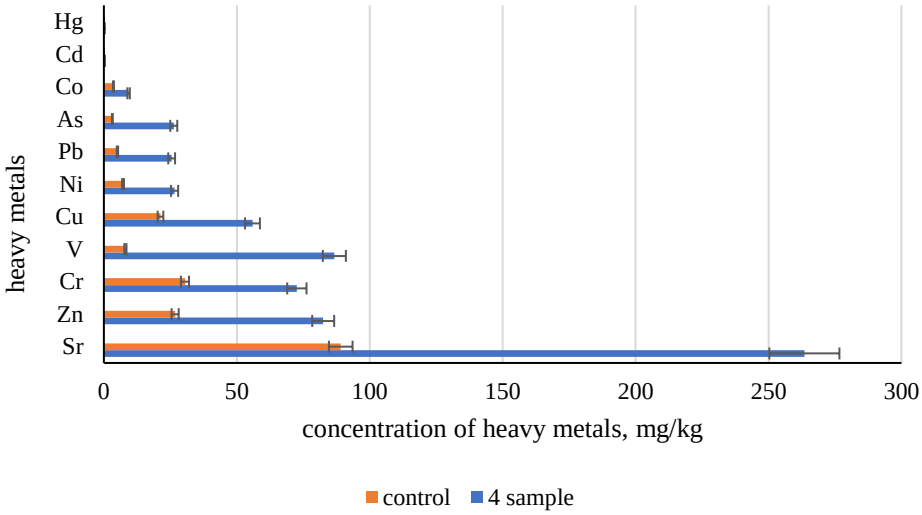


Figure 6. *Amount of heavy metals (mg/kg) in the soil from the fourth point*

Figure 6 shows that in the soil sample taken from the fourth point, heavy metals are increasing in the order Sr>V>Zn>Cr. Strontium is 263,5±0.,5 mg/kg ($p<0,05$), which is about three times higher than the amount of strontium in soil from the control area. Vanadium is 86,7±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is about ten times higher than the concentration of vanadium in a soil sample taken from a clean area. Zinc is 82,5±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is about three times higher than soil

zinc from the control area. Chromium is 72,6±0,05 mg/kg (p<0,05), which is about twice as high as chromium in the soil from the control area.

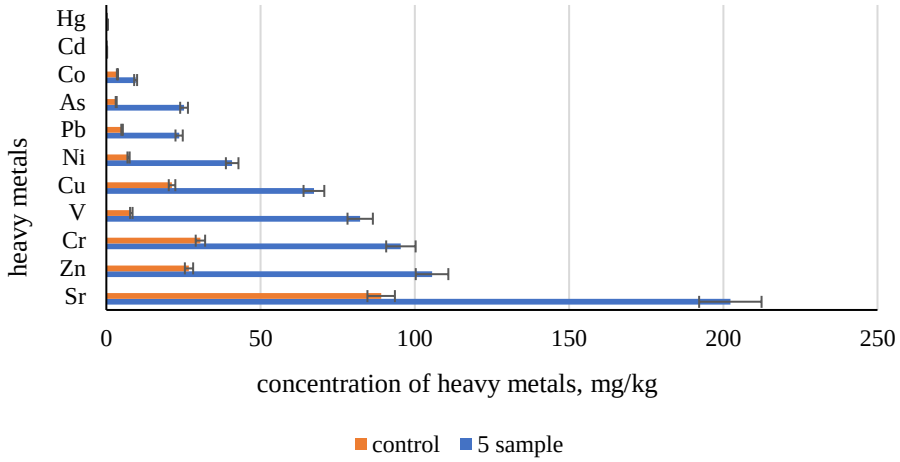


Figure 7. *Amount of heavy metals (mg/kg) in the soil from the fifth point*

Figure 7 shows that heavy metals increased in the order Sr>Zn>Cr>V in the soil sample taken from the fifth point. Strontium is 202,3±0,05 mg/kg (p<0,05), which is about 2,2 times higher than the strontium level in the soil sample from the control area. Zinc is 105,6±0,05 mg/kg (p<0,05), which is about four times higher than the zinc level in the soil sample from the control area. Chromium was 95,5±0,05 mg/kg (p<0,05), about three times higher than chromium in the soil sample from the control area. Vanadium is 82,3±0,05 mg/kg (p<0,05), which is about four times higher than the zinc level in the soil sample from the control area.

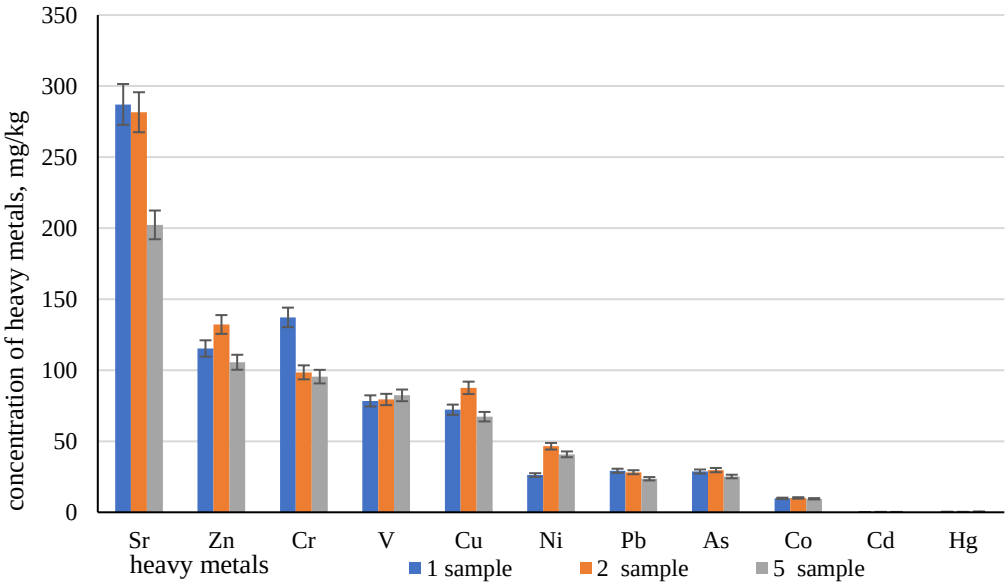


Figure 8. *Amount of heavy metals (mg/kg) in the soil obtained from points №1, №2, and №5*

The results of the comparison of the three points (samples) with the highest contamination levels are shown below. The highest concentrations of strontium are observed at the first point: 287,1±0,05 mg/kg (p<0,05), at the second point: 281,6±0,05 mg/kg (p<0,05), and at the fifth point: 202,3±0,05 mg/kg (p<0,05). The highest concentrations of zinc are observed at the second point: 132,2±0,05 mg/kg (p<0,05), at the first point: 115,3±0,05 mg/kg (p<0,05), and at the fifth point: 105,6±0,05 mg/kg (p<0,05). High concentrations of chromium were observed at the first point: 137,2±0,05 mg/kg (p<0,05), at the second point: 98,5±0,05 mg/kg (p<0,05), and at the fifth point: 95,5±0,05 mg/kg (p<0,05), while high concentrations of copper were observed at the second point: 87,6±0,05 mg/kg (p<0,05), at the first point: 72,2±0,05 mg/kg (p<0,05), and at the fifth point: 67,3±0,05 mg/kg (p<0,05). The following order of increasing elements in the soil was determined: Sr>Zn>Cr>Cu

4. CONCLUSION

The results of the study showed that, according to the Environmental Code of the Republic of Kazakhstan [55], the level of heavy metals in the soil in industrial areas, regardless of distance, exceeded the maximum permissible concentration (MPC). A mosaic pattern of heavy metal content was observed, depending on the sources of emissions. It was found that soil samples taken from industrial areas contained higher levels of Sr, Zn, Cr, and Cu compared to samples taken from clean areas. Mercury (Hg) and cobalt (Co) were found to be uniformly distributed at very low concentrations in all soil samples.

The highest level of contamination was detected: the maximum concentration of strontium was found at the first point, amounting to 287,1±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is approximately three times the MPC value. The highest level of zinc was found at the second point, amounting to 132,2±0,05 mg/kg ($p<0,05$), exceeding the MPC by approximately six times. The maximum concentration of chromium at the first point was 137,2±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which is about twenty-three times higher than the MPC value. Copper concentration was highest at the second point, amounting to 87,6±0,05 mg/kg ($p<0,05$), which exceeds the MPC by approximately twenty-nine times.

According to the study's conclusions, the territory near the metallurgical enterprise «Karaganda Metallurgical Plant» of Qarmet Joint Stock Company in Central Kazakhstan showed the highest levels of contamination with heavy metals such as Sr, Zn, Cr, and Cu. A comparative analysis of the indicators of the four most contaminated points revealed the following results: for Sr, №1>№2>№5, for Zn, №2>№1>№5, for Cr, №1>№2>№5, and for Cu, №1>№2>№5. Based on these results, it was determined that the soil in areas closest to the «Karaganda Metallurgical Plant» of Qarmet JSC is heavily contaminated with heavy metals, posing significant ecological risks.

This issue impacts not only local ecosystems but also the overall environmental condition of the region. To reduce contamination, it is necessary to conduct periodic monitoring of heavy metal accumulation, apply cleaning technologies in accordance with the requirements of the Environmental Code, and implement soil remediation methods. These recommendations include effective measures to improve soil quality and ensure the sustainability of local ecosystems.

DATA AVAILABILITY

The data used in this study were obtained as a result of laboratory analysis of soil samples.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Conceptualization – RB, ZhR, AR; resources - AR; formal analysis – AR, ZhR; methodology - AR, ZhR; software - AR; supervision -RR, ZhR; visualization –AR; writing—original draft preparation – AR; writing—review and editing - ZhR, RT.

REFERENCES

1. Ao M., Chen X., Deng T., Sun S., Tang Y., Morel J. L., Wang S. (2022). Chromium biogeochemical behaviour in soil-plant systems and remediation strategies: A critical review. Journal of hazardous materials, Vol. 424, pp. 127233. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127233
2. Sun Z., Zhao M., Chen L., Gong Z., Hu J., M, D. (2023). Electrokinetic remediation for the removal of heavy metals in soil: Limitations, solutions and prospection. Science of the Total Environment, Vol. 903, pp. 165970. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165970
3. Qu Z., Huang L., Guo M., Sun T., Xu X., Gao Z. (2023). Application of novel polypyrrole/melamine foam auxiliary electrode in promoting electrokinetic remediation of Cr (VI)-contaminated soil. Science of the Total Environment, Vol. 876, pp. 162840. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162840
4. Oh Y. J., Song H., Shin W. S., Choi S. J., Kim Y. H. (2007). Effect of amorphous silica and silica sand on removal of chromium (VI) by zero-valent iron. Chemosphere, Vol. 66(5), pp. 858-865. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.06.034
5. Burger A., Lichtscheidl I. (2019). Strontium in the environment: Review about reactions of plants towards stable and radioactive strontium isotopes. Science of the Total Environment, Vol. 653, pp. 1458-1512. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.312
6. Cohen-Solal M. (2002). Strontium overload and toxicity: impact on renal osteodystrophy. Nephrology Dialysis Transplantation, Vol. 17(suppl_2), pp. 30-34. https://doi.org/10.1093/ndt/17.suppl_2.30
7. Novotny E. H., Maia C. M. B. D. F., Carvalho M. T. D. M., Madari B. E. (2015). Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use-a critical review. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Vol. 39(2), pp. 321-344. https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140818
8. Kong J., Huang F., Wei R., Zhang X., Zhu G., Guo Q. (2024). Study on the variation mechanism of Zn isotope in polluted farmland soil. Journal of Hazardous Materials, Vol. 479, pp. 135561. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135561
9. Kalousek P., Holátko J., Schreiber P., Pluháček T., Širůčková Lónová K., Radziemska M., Brtnický M. (2024). The effect of chelating agents on the Zn-phytoextraction potential of hemp and soil microbial activity. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, Vol. 11(1), pp. 23. https://doi.org/10.1186/s40538-024-00544-6

10. Tidemann-Andersen I., Acham H., Maage A., Malde M. K. (2011). Iron and zinc content of selected foods in the diet of schoolchildren in Kumi district, east of Uganda: a cross-sectional study. Nutrition Journal, Vol. 10, pp. 1-12. https://doi.org/10.1186/1475-2891-10-81
11. John S. G., Park J. G., Zhang Z., Boyle E. A. (2007). The isotopic composition of some common forms of anthropogenic zinc. Chemical Geology, Vol. 245(1-2), pp. 61-69. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.07.024
12. Hao L., Zhang B., Tian C., Liu Y., Shi C., Cheng M., Feng C. (2015). Enhanced microbial reduction of vanadium (V) in groundwater with bioelectricity from microbial fuel cells. Journal of Power Sources, Vol. 287, pp. 43-49. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.04.045
13. Moskalyk R. R., Alfantazi A. M. (2003). Processing of vanadium: a review. Minerals engineering, Vol. 16(9), pp. 793-805. https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00213-9
14. Naeem A., Westerhoff P., Mustafa S. (2007). Vanadium removal by metal (hydr) oxide adsorbents. Water research, Vol. 41(7), pp. 1596-1602. https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.002
15. Navarro R., Guzman J., Saucedo I., Revilla J., Guibal E. (2007). Vanadium recovery from oil fly ash by leaching, precipitation and solvent extraction processes. Waste Management, Vol. 27(3), pp. 425-438. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.02.002
16. Ortiz I., Sanz J., Dorado M., Villar S. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Informe de Vigilancia Tecnológica. Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación. España. [in Spanish]
17. Hu B., Shao S., Ni H., Fu Z., Hu L., Zhou Y., Shi Z. (2020). Current status, spatial features, health risks, and potential driving factors of soil heavy metal pollution in China at province level. Environmental Pollution, Vol. 266, pp. 114961. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114961
18. Kumar S., Prasad S., Yadav K. K., Shrivastava M., Gupta N., Nagar S., Malav L. C. (2019). Hazardous heavy metals contamination of vegetables and food chain: Role of sustainable remediation approaches-A review. Environmental research, Vol. 179, pp. 108792. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108792
19. Saman R. U., Shahbaz M., Maqsood M. F., Lili N., Zulfiqar U., Haider F. U., Shahzad B. (2022). Foliar application of ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) improves the growth and yield of brown mustard (Brassica juncea) by modulating photosynthetic pigments, antioxidant defense, and osmolyte production under lead (Pb) stress. Plants, Vol. 12(1), pp. 115. https://doi.org/10.3390/plants12010115
20. Renu Agarwal M., Singh K. (2017). Methodologies for removal of heavy metal ions from wastewater: an overview. Interdisciplinary Environmental Review, Vol. 18(2), pp. 124-142. https://doi.org/10.1504/IER.2017.087915
21. Priyadarshanee M., Das S. (2021). Biosorption and removal of toxic heavy metals by metal tolerating bacteria for bioremediation of metal contamination: A comprehensive review. Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol. 9(1), pp. 104686. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104686
22. Arora N. K., Chauhan R. (2021). Heavy metal toxicity and sustainable interventions for their decontamination. Environmental Sustainability, Vol. 4(1), pp. 1-3. https://doi.org/10.1007/s42398-021-00164-y
23. Deligodina Y. N., Zacharova O. L., Saveleva I. N., Schanina E. V. (2017). Features of heavy metal deposition in soils affected by thermal power enterprises. Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya, Vol. (7), pp. 71–75. [in Russian]
24. Zaksas N. P. (2019). Solid sampling in analysis of various plants using two-jet plasma atomic emission spectrometry. Applied Spectroscopy, Vol. 73(8), pp. 870-878. https://doi.org/10.1177/0003702819845935
25. Vodyanitskii Yu. N. (2012). Geochemical fractionation of lanthanides in soils and rocks: A review of publications. Pochvovedenie, Vol. 3, pp. 368–375. https://doi.org/10.1134/S1064229312010164
26. Cempel M., Nikel G. J. P. J. S. (2006). Nickel: a review of its sources and environmental toxicology. Polish journal of environmental studies, Vol. 15 (3).
27. Dabonne S., Koffi B., Kouadio E., Koffi A., Due E., Kouame L. (2010). Traditional utensils: potential sources of poisoning by heavy metals. British Journal of Pharmacology and Toxicology, Vol. 1(2), pp. 90-92.
28. Okereafor U., Makhatha M., Mekuto L., Uche-Okereafor N., Sebola T., Mavumengwana V. (2020). Toxic metal implications on agricultural soils, plants, animals, aquatic life and human health. International journal of environmental research and public health, Vol. 17(7), pp. 2204. https://doi.org/10.3390/ijerph17072204
29. Wu P., Jiang L. Y., He Z., Song Y. (2017). Treatment of metallurgical industry wastewater for organic contaminant removal in China: status, challenges, and perspectives. Environmental Science: Water Research & Technology, Vol. 3(6), pp. 1015-1031. https://doi.org/10.1039/C7EW00097A
30. Timothy N. A., Williams E. T. (2019). Environmental pollution by heavy metal: an overview. International Journal of Environmental Chemistry, Vol. 3(2), pp. 72-82. https://doi.org/10.11648/j.ijec.20190302.14
31. Chandran S. K. (2021). Nanomaterial sensors for environmental pollutants. Journal of Advanced Scientific Research, Vol. 12(03), pp. 42-49. https://doi.org/10.55218/JASR.202112306
32. Lu Y., Zheng G., Zhou W., Wang J., Zhou L. (2019). Bioleaching conditioning increased the bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons to promote their removal during co-composting of industrial and municipal sewage sludges. Science of the Total Environment, Vol. 665, pp. 1073-1082. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.174
33. Piatak N. M. (2018). Environmental characteristics and utilization potential of metallurgical slag. In Environmental Geochemistry Elsevier, pp. 487-519. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63763-5.00020-3
34. Chai L., Li H., Yang Z., Min X., Liao Q., Liu Y., Xu J. (2017). Heavy metals and metalloids in the surface sediments of the Xiangjiang River, Hunan, China: distribution, contamination, and ecological risk assessment. Environmental Science and Pollution Research, Vol. 24, pp. 874-885. https://doi.org/10.1007/s11356-016-7872-x
35. Kang S. W., Lee S., Kwoun J., Lee T. J., Jo Y. M. (2023). Analysis of harmful heavy metals and carbonaceous components in urban school PM2. 5. Aerosol and Air Quality Research, Vol. 23(2), pp. 220335. https://doi.org/10.4209/aaqr.220335
36. Urošević M. A., Lazo P., Stafilov T., Nečemer M., Andonovska K. B., Balabanova B., Vogel-Mikuš K. (2023). Active biomonitoring of potentially toxic elements in urban air by two distinct moss species and two analytical techniques: a pan-Southeastern European study. Air Quality, Atmosphere & Health, Vol. 16(3), pp. 595-612. https://doi.org/10.1007/s11869-022-01291-z

37. Huang M., Wang X., Wang B., Jia S., Ye L., Li Z., Hang J. (2019). Projections of long-term human multimedia exposure to metal (loid) s and the health risks derived from atmospheric deposition: A case study in the Pearl River Delta region, South China. Environment International, Vol. 132, pp. 105051. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105051
38. Ma S., Qiu H., Yang D., Wang J., Zhu Y., Tang B., Cao M. (2023). Surface multi-hazard effect of underground coal mining. Landslides, Vol. 20(1), pp. 39-52. https://doi.org/10.1007/s10346-022-01961-0
39. Grivas G., Cheristanidis S., Chaloulakou A., Koutrakis P., Mihalopoulos N. (2018). Elemental composition and source apportionment of fine and coarse particles at traffic and urban background locations in Athens, Greece. Aerosol and Air Quality Research, Vol. 18(7), pp. 1642-1659. https://doi.org/10.55218/JASR.202112306
40. Hu B., Jia X., Hu J., Xu D., Xia F., Li Y. (2017). Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze River Delta, China. International journal of environmental research and public health, Vol. 14(9), pp. 1042. https://doi.org/10.3390/ijerph14091042
41. Finnegan P. M., Chen W. (2012). Arsenic toxicity: the effects on plant metabolism. Frontiers in physiology, Vol. 3, pp. 182. https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00182
42. Cai Y., Zhang S., Cai K., Huang F., Pan B., Wang W. (2020). Cd accumulation, biomass and yield of rice are varied with silicon application at different growth phases under high concentration cadmium-contaminated soil. Chemosphere, Vol. 242, pp. 125128. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125128
43. Zhou M., Zhi Y., Dai Y., Lv J., Li Y., Wu Z. (2020). The detoxification mechanisms of low-accumulating and non-low-accumulating medicinal plants under Cd and Pb stress. RSC advances, Vol. 10(71), pp. 43882-43893. https://doi.org/10.1039/D0RA08254F
44. Kolakkandi V., Sharma B., Rana A., Dey S., Rawat P., Sarkar, S. (2020). Spatially resolved distribution, sources and health risks of heavy metals in size-fractionated road dust from 57 sites across megacity Kolkata, India. Science of the Total Environment, Vol. 705, pp. 135805. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135805
45. Li X. G., Fang L., Zhong L. (2021). Evaluation of soil environmental quality in typical yellow tobacco producing areas in Yunnan Province. Western Resources, Vol. 02, pp. 190–192.
46. Yijing C., Jue, W. (2019). The Dilemma and solution of Water pollution Control from the Perspective of Environmental Regulation. In E3S Web of Conferences, EDP Sciences, Vol. 136, pp. 06007. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913606007
47. Tijani M. N., Onodera S. (2004). Quality assessment of stream water and bed sediments: a case study of urbanization impacts in a developing country. In Self-Sustaining Solutions for Streams, Wetlands, and Watersheds, 12-15, September 2004. American Society of Agricultural and Biological Engineers, pp. 20.https://doi.org/10.13031/201317380.
48. Alsohaimi I. H. (2023). Quantitative determination of trace elements in frozen and chilled chicken using ICP OES and related health risk assessment. Journal of Taibah University for Science, Vol. 17(1), pp. 2196235. https://doi.org/10.1080/16583655.2023.2196235
49. Chen Y., Zhu Z., Cheng S. (2022). Industrial agglomeration and haze pollution: Evidence from China. Science of the Total Environment, Vol. 845, pp. 157392. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157392
50. Tang Y. R., Wei J. W., Ding P., Zhang M. (2016). Heavy Metal Contents and Evaluation of Wheat Straw and Soil in Ankang Municipality Mountains City. Journal of Changchun Normal University, Vol. 35(02), pp. 54–57.
51. Gujre N., Mitra S., Soni A., Agnihotri R., Rangan L., Rene E. R., Sharma M. P. (2021). Speciation, contamination, ecological and human health risks assessment of heavy metals in soils dumped with municipal solid wastes. Chemosphere, Vol. 262, pp. 128013. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128013
52. Vardhan K. H., Kumar P. S., Panda R. C. (2019). A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. Journal of Molecular Liquids, Vol. 290, pp. 111197.
53. Boikova T. E., Belozerova T. I. (2016). Research of the city of Severodvinsk on the content of heavy metals. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regionalnoe prilozhenie-Modern high technologies. Regional application, Vol. 4 (48), pp. 98-104. [in Russian]
54. GOST 17.4.4.02–2017. International standard. Environmental protection. Soil [Electronic resource] URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33190761, date of access: 15.01.2025
55. Environmental Code of the Republic of Kazakhstan: Law No. 400-VI ZRK of January 2, 2021 [Electronic resource] URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2100000400, date of access: 15.01.2025

АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНҒАН ӨНДІРІС АУМАҒЫНЫҢ ТОПЫРАҚ ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫН БАҒАЛАУ (ҚАРАҒАНДЫ МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ КОМБИНАТЫ МЫСАЛЫНДА)

Айжан Д. Рахишева*, Жанар Рахымжан PhD, доцент, Райхан Р. Бейсенова б.ғ.к., профессор,
Румия М. Тазитдинова PhD, доцент

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; Aizhan_enu@mail.ru, raihan_b_r@mail.ru, r.zhanar80@mail.ru, irm85@mail.ru
Автор корреспондент: Айжан Д. Рахишева, Aizhan_enu@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

АБСТРАКТ

ластану
ауыр металдар
топырақ жамылғысы
қара және түсті металлургия
рентгендік флуоресцентті спектроскопия
атомдық-адсорбциялық әдіс
экожүйе

Өндірістік аумақтың топырағының ауыр металдармен ластануы күрделі экологиялық проблема болып табылады. Зерттеуде Орталық Қазақстанның металлургиялық кәсіпорыны Qarmet АҚ — Қарағанды облысы Теміртау қаласында орналасқан Қазақстандағы ең ірі металлургиялық зауыт "Қарағанды металлургиялық зауытына" иелік ететін болат және тау-кен өндіруші компания аумағынан топырақ үлгілері алынды және ауыр металдардың құрамы атомдық абсорбциялық спектрофотометр (AAS) және рентгендік флуоресцентті спектроскопия көмегімен анықталды. Алынған топырақ сынамаларында он бір ауыр металдар анықталды және еріген күйінде мына ауыр металдар кездесті TiO_2, MnO, Fe_2O_3. Топырақ сынамаларындағы Sr, Zn, Cr және Cu ауыр металдардың концентрациясының анағұрлым жоғары екендігі белгілі болды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей ауыр металдардың концентрациясының өсуі Sr>Zn>Cr>Cu>V>Ni>Pb>As>Co>Cd>Hg ретпен болатындығы айқындалды. Ластану деңгейі ең жоғары болған үш үлгіні №1, №2, №5 өзара салыстыру нәтижесінде Стронций ең жоғары концентрациясы бірінші үлгіде 287,1±0,05 мг/кг ($p<0,05$), Мырыштың ең жоғары концентрациясы екінші үлгіде 132,2±0,05 мг/кг ($p<0,05$), Хромның жоғары концентрациясы бірінші үлгіде 137,2±0,05 мг/кг ($p<0,05$), Мыстың жоғары концентрациясы екінші үлгіде 87,6±0,05 мг/кг ($p<0,05$) болғандығы анықталды. Алынған топырақ сынамаларының көрсеткішіне сай металлургиялық комбинат маңындағы топырақ жамылғысының стронций, мырыш, хром және мыспен ластанғаны анықталды.

Мақала жайында:
Жіберілді: 31.01.2025
Қайта қаралды: 9.04.2025
Қабылданды: 28.05.2025
Жарияланды: 30.06.2025

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРОМЗОНЫ, ЗАГРЯЗНЕННОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (НА ПРИМЕРЕ КАРАГАНДИНСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА)

Айжан Д. Рахишева*, Жанар Рахымжан PhD, доцент, Райхан Р. Бейсенова к.б.н., профессор,
Румия М. Тазитдинова PhD, доцент

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; Aizhan_enu@mail.ru, r.zhanar80@mail.ru, raihan_b_r@mail.ru, , irm85@mail.ru
Автор корреспондент: Айжан Д. Рахишева, Aizhan_enu@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

загрязнение
тяжелые металлы
почвенный покров
черная и цветная металлургия
рентгенофлуоресцентная спектроскопия
атомно-адсорбционный метод
экосистема

АБСТРАКТ

Загрязнение почвы в производственной зоне тяжёлыми металлами является сложной экологической проблемой. В исследовании были взяты образцы почвы с территории металлургического предприятия Центрального Казахстана Qarmet AO — крупнейшего металлургического завода Казахстана «Карагандинский металлургический завод», расположенного в городе Темиртау, Карагандинская область, и состав тяжёлых металлов был определён с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра (AAS) и рентгеновской флуоресцентной спектроскопии. В пробах почвы обнаружено 11 тяжелых металлов, а в растворенном состоянии обнаружены следующие тяжелые металлы: TiO_2, MnO, Fe_2O_3. Известно, что концентрация тяжелых металлов Sr, Zn, Cr и Cu в пробах почвы значительно выше. По результатам исследований установлено, что концентрация тяжелых металлов возрастает в ряду Sr>Zn>Cr>Cu>V>Ni>Pb>As>Co>Cd>Hg. В результате сравнения трех проб №1, №2, №5 с наибольшим уровнем загрязнения наиболее высокая концентрация стронция в первой пробе составляет 287,1±0,05 мг/кг ($p<0,05$), наибольшая концентрация цинк во второй пробе составляет 132,2±0,05 мг/кг ($p<0,05$), высокая концентрация хрома в первой пробе 137,2±0,05 мг/кг ($p<0,05$), установлено, что наибольшая концентрация меди составила 87,6±0,05 мг/кг ($p<0,05$) в втором образце. По результатам анализа проб почвы установлено, что почва возле металлургического завода загрязнена стронцием, цинком, хромом и медью.

По статье:
Получено: 31.01.2025
Пересмотрено: 9.04.2025
Принято: 28.05.2025
Опубликовано: 30.06.2025

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

Гидрометеорология и экология

Научная статья

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ БПЛА В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ АЛМАТЫ

Людмила А. Городецкая[1], Равиль И. Мухамедиев[1,2] д.инж.н., Надия Р. Юничева[2]* к.т.н., Елизавета С. Витулёва[1] PhD

[1] Satbayev University, Алматы, Казахстан; ludmila260601@gmail.com (ЛАГ), ravil.muhamedyev@gmail.com (РИМ), lizavita@list.ru (ЕСВ)
[2] Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан; naduni@mail.ru (НРЮ)
Автор корреспондент: Надия Р. Юничева, naduni@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

мониторинг
твердые отходы
данные с БПЛА
нейронные сети
YOLOv8

АБСТРАКТ

Ускоренный рост городских агломераций Казахстана вызывает острые экологические проблемы, связанные с загрязнением воздушной, водной и наземной среды городов и пригородов. Растет число стихийных свалок мусора и бытовых отходов. Увеличение образования твердых бытовых отходов (ТБО) представляет собой серьезную экологическую проблему, особенно в урбанизированных и промышленных регионах. Традиционные методы мониторинга отходов являются трудоемкими и ограничены по масштабам. В этом исследовании предлагается система для автоматического детектирования ТБО, основанная на использовании снимков, полученных с борта БПЛА и модели глубокого обучения YOLOv8. В результате тестирования системы была достигнута высокая точность обнаружения ТБО: Precision 84,8 %, Recall 81,5 % и mAP@0.5 (85,1 %), при IoU 0,5. Визуальный анализ подтвердил способность модели эффективно обнаруживать отходы в различных условиях с минимальными ошибками. Результаты исследования могут быть интегрированы в системы экологического мониторинга для оперативного выявления несанкционированных свалок и оптимизации мероприятий по их ликвидации.

По статье:
Получено: 11.02.2025
Пересмотрено: 29.04.2025
Принято: 15.05.2025
Опубликовано: 30.06.2025

Для цитирования:
Городецкая Л., Мухамедиев Р., Юничева Н., Витулёва Е. Детектирование твердых бытовых отходов с помощью БПЛА в пределах городской агломерации Алматы // Гидрометеорология и экология, №2 (117), 2025, 49-60.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых экологических проблем современности является увеличение объемов ТБО [1…3], особенно в условиях роста урбанизации и промышленного производства. ТБО включают в себя материалы, такие как пластик, металлы, бумага и органические отходы, которые требуют надлежащей утилизации или переработки. Неэффективное управление отходами может привести к незаконному сбросу, загрязнению почвы и воды, а также к потере биоразнообразия и ухудшению общественного здоровья, что подчеркивает необходимость в современных системах мониторинга [4…5].

Мегаполисы генерируют значительные объемы ТБО (до 373 кг/чел. в год), причем их состав включает высокую долю трудноразлагаемых материалов (пластик, стекло). Рост отходов на 14…25 % за 5 лет в Санкт-Петербурге, Стокгольме и Хельсинки подтверждает, что урбанизация усугубляет проблему, требуя комплексных решений по переработке и сокращению потребления [6].

В Алматинской агломерации эта проблема приобретает особую остроту: на полигоне захоронения ТБО в селе Айтей Карасайского района, функционирующем с 1990 года, уже накоплено свыше 12 миллионов тонн отходов. При этом ежегодно мусоросортировочный комплекс Green Recycle принимает около 550 тысяч тонн ТБО, из

которых лишь часть (пластик, макулатура, стекло, металлы) направляется на переработку, а неутильные фракции продолжают пополнять объемы захороненных отходов [7].

Традиционные методы обнаружения незаконных мест захоронения отходов часто включают ручные исследования, которые являются трудоемкими и ограниченными в охвате. Решение экологических задач, связанных с отходами, становится всё более сложной задачей. В этом контексте использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и технологий искусственного интеллекта (ИИ) предоставляет уникальные возможности для автоматизации процессов мониторинга и анализа отходов.

Применение алгоритмов глубокого обучения позволяет повысить точность и скорость обнаружения отходов на обширных территориях, включая труднодоступные и опасные для человека зоны [8…9].

Одной из наиболее успешных моделей глубокого обучения для задач детекции является семейство алгоритмов YOLO (You Only Look Once) [10…12]. Благодаря своей скорости, точности и возможности детекции объектов различных масштабов в реальном масштабе времени, YOLO находит широкое применение в экологических исследованиях и задачах мониторинга. Например, в работе Han и др. [13] демонстрирует использование YOLO для детекции плавающих пластиковых отходов, где достигнута высокая точность в классификации трёх типов мусора: пластиковых пакетов (95 %), пенопласта (90 %) и пластиковых бутылок (87 %). Практическая реализация подобной системы экологического мониторинга предложена в работе Liao Y.-H и др [14]. Её авторы разработали систему мониторинга морского мусора в режиме реального времени с использованием БПЛА и технологий интернета вещей (IoT). Их подход позволяет анализировать данные и передавать информацию о мусоре на удалённые станции в виде тепловых карт. Предложенная система доказала свою эффективность в обнаружении мусора в прибрежных зонах, демонстрируя высокий потенциал для применения в различных экологических программах.

Другая практическая реализация предложена в работе Казаков С. И др. [15], в которой разработали систему учета мусора на основе БПЛА и модели YOLOv5. Их работа продемонстрировала потенциал использования веб-приложений для визуализации обнаруженных отходов на картах, что облегчает управление твердыми коммунальными отходами. Тем не менее, применение этих методов для обнаружения ТБО остается ограниченным.

Настоящее исследование посвящено разработке системы автоматического обнаружения ТБО с использованием изображений, полученных с помощью БПЛА, и модели YOLOv8 [16]. Методика исследования включает сбор данных, их предварительную обработку с аннотированием и аугментацией, а также обучение модели с использованием предварительно обученных весов и оптимизацию гиперпараметров.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Основная идея подхода

Разработанный метод распознавания ТБО включает четыре этапа:

Этап 1: Сбор данных в формате видеозаписей, полученных с борта БПЛА, выполненных на территориях, содержащих свалки ТБО, в пределах Алматинской городской агломерации.

Этап 2: Преобразование видеозаписей в изображения в формате .jpg, их разметка и аугментация.

Этап 3: Обучение нейронной сети для задачи обнаружения объектов на основе полученных изображений.

Этап 4: Оптимизация гиперпараметров модели и анализ результатов.

На первом этапе осуществляется сбор данных для последующего обучения, валидации и тестирования модели. Разнообразие собранных данных играет ключевую роль в повышении способности модели к генерализации, так как оно позволяет учитывать различные сценарии и условия, при которых могут встречаться целевые объекты.

В рамках исследования предлагается использовать изображения санкционированных свалок строительного мусора на урбанизированных территориях города, так как их сбор является наиболее доступным, экономически целесообразным и удобным. Для увеличения объёма и разнообразия данных также необходимо включить изображения несанкционированных свалок, расположенных в природных зонах Алматинской области.

Данные, собранные на этом этапе, обладают высокой долговременной ценностью, поскольку могут использоваться повторно на протяжении нескольких лет. Ключевым фактором при сборе данных является время проведения съёмки: необходимо учитывать сезонные изменения, чтобы гарантировать надёжную работу модели при различных погодных условиях.

На втором этапе производится подготовка данных, полученных с дронов. Этот процесс включает ручную разметку изображений с использованием специализированных инструментов, таких как сервис Roboflow. Кроме того, применяются методы аугментации данных, что позволяет искусственно увеличить объём тренировочного набора и улучшить способность нейронной сети к обобщению.

Третий этап включает обучение модели YOLOv8 с использованием метода переноса обучения (transfer learning). Этот подход был выбран как оптимальный из-за ограниченного объёма доступных данных, полученных с БПЛА.

Использование предварительно обученных весов позволяет модели задействовать знания, полученные в процессе предварительного обучения на большом наборе данных COCO (Common Objects in Context) [17], тем самым ускоряя процесс адаптации к новой задаче и снижая вероятность переобучения.

Предобученные веса содержат обобщённые представления о структурных и текстурных признаках объектов, что значительно повышает точность работы модели на узкоспециализированной задаче распознавания ТБО.

На четвёртом этапе осуществляется подбор оптимальных гиперпараметров, таких как количество эпох и размер батча. Завершается процесс анализом производительности модели, включая визуализацию результатов детекции и оценку её эффективности с использованием стандартных метрик, таких как точность, полнота и mAP.

Такой подход обеспечивает высокую степень адаптации модели к задаче распознавания ТБО, одновременно снижая затраты на сбор данных и обучение модели.

2.2 Обработка данных, полученных с БПЛА

Для подготовки входных данных, необходимых для обучения нейронной сети, каждое видео, полученное БПЛА, было разрезано на кадры разрешением 1920×1080 пикселей. Кадры, не содержащие ТБО, были исключены из набора, чтобы сосредоточиться исключительно на целевых объектах.

В результате был сформирован набор данных, включающий 990 изображений.

Все данные были разделены на три подвыборки:

Обучающая выборка (70 %) — использовалась для оптимизации параметров модели;

Валидационная выборка (20 %) — предназначалась для контроля точности модели в процессе обучения;

Тестовая выборка (10 %) — применялась для итоговой оценки качества работы модели.

Ручная разметка данных для обучающей и валидационной выборок проводилась с использованием специализированного инструмента Roboflow [18].

На каждом изображении целевые объекты (свалки ТБО) выделялись ограничивающими рамками (bounding boxes), что позволило определить точные координаты объектов для последующего обучения модели.

Пример процесса маркировки данных представлен на рисунке 1.

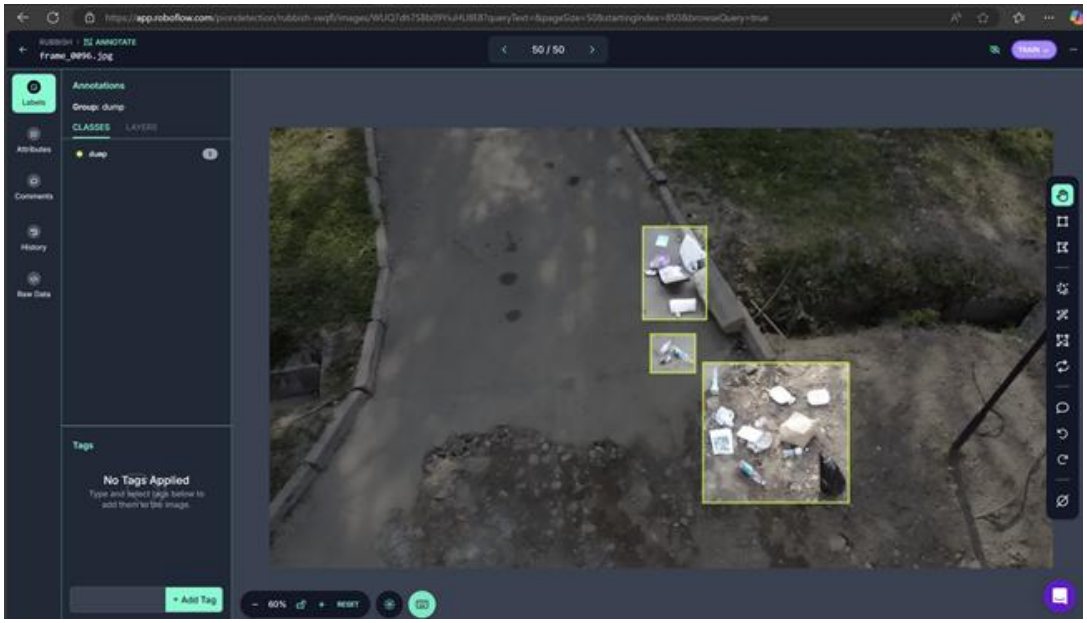


Рисунок 1. *Разметка данных с помощью инструмента Roboflow*

Для повышения эффективности модели и её способности к обобщению был применён ряд техник аугментации данных. Аугментация позволяет искусственно увеличить объём тренировочного набора, изменяя исходные изображения различными способами. В рамках данного исследования использовались следующие параметры:

Outputs per training example: 3

Flip: Horizontal, Vertical

Crop: 0 % Minimum Zoom, 25 % Maximum Zoom

Saturation: Between -20 % and +20 %

Brightness: Between -20 % and +20 %

Применение данных методов позволило расширить исходный обучающий набор до 2019 изображений. Это значительно повысило способность модели обрабатывать ранее невидимые данные и улучшило её устойчивость к различным условиям съёмки. Таким образом, процесс аугментации данных стал ключевым этапом подготовки к обучению, обеспечив более высокую производительность нейронной сети.

2.3 Обучение модели и подбор гиперпараметров

Архитектура модели

Для решения задачи детекции ТБО была применена модель YOLOv8, представляющая одну из наиболее передовых архитектур для обнаружения объектов. YOLOv8 обладает высокой производительностью, что выражается в эффективной обработке изображений высокого разрешения при сбалансированном соотношении скорости и точности. Архитектура модели основана на свёрточных нейронных сетях (CNN) и включает механизмы для многомасштабного анализа, что позволяет учитывать, как крупные, так и мелкие объекты на изображениях.

Количество обучаемых параметров в данном фреймворке YOLO довольно большое (70…80 миллионов). Однако использование предварительно обученных весов значительно сократило время дообучения модели и способствовало повышению её

точности. Это особенно важно в условиях ограниченного объёма данных, так как предварительное обучение обеспечивает эффективный перенос знаний из крупных наборов данных на специализированную задачу.

Настройка гиперпараметров

Процесс обучения модели был оптимизирован с использованием следующих ключевых гиперпараметров:

Количество эпох: 60

Значение этого гиперпараметра было выбрано на основе экспериментального анализа. Графики потерь (loss) для обучающей и валидационной выборок показали стабилизацию к концу обучения, указывая на достижение моделью состояния, близкого к оптимальному. Метрики точности (precision) и полноты (recall) также продемонстрировали близость к насыщению. Увеличение числа эпох сверх 60, вероятно, не приведёт к существенным улучшениям, а может повысить риск переобучения.

Размер батча: 8 изображений

Данный размер батча был выбран с учётом ограничений по видеопамяти (VRAM) графического процессора. Меньший размер батча позволил стабильно обучать модель на оборудовании с ограниченными ресурсами, хотя и увеличил общее время обучения.

Функция потерь модели

Обучение YOLOv8 оптимизируется с помощью суммарной функции потерь, включающей три компонента:

box_loss — отвечает за точность предсказания координат ограничивающих рамок (bounding boxes);

cls_loss — определяет ошибки в предсказании классов объектов;

dfl_loss (Distribution Focal Loss) — улучшает прогнозирование границ объектов за счёт более точного распределения вероятностей

Результаты процесса обучения

На рисунке 2 представлены ключевые метрики обучения такие как точность (precision), полнота (recall) и средняя точность (mAP). Анализ графиков подтверждает эффективность выбранных гиперпараметров: метрики точности и полноты достигают достаточно высоких значений при увеличении числа эпох, демонстрируя сбалансированное качество детекции.

Графики mAP50 и mAP50-95 демонстрируют среднюю точность предсказаний при разных порогах IoU (Intersection over Union). Метрика mAP50 вычисляется при фиксированном IoU = 0,5, тогда как mAP50-95 усреднена по диапазону IoU от 0,5 до 0,95 с шагом 0,05, что даёт более строгую оценку качества детекции.

Метрики качества на валидационном наборе

Результаты оценки качества модели на валидационном наборе данных представлены ниже:

Precision (P): 0,848 (84,8 %) — доля обнаруженных объектов, которые действительно принадлежат к правильным классам.

Recall (R): 0,815 (81,5 %) — доля объектов из валидационного набора, которые были успешно обнаружены.

mAP@0.5: 0,851 (85,1 %) — средняя точность при пороговом значении IoU, равном 0,5.

mAP@0.5:0,95: 0,563 (56,3 %) — средняя точность по диапазону порогов IoU от 0,5 до 0,95.

Высокие значения precision и recall свидетельствуют о хорошей способности модели идентифицировать объекты и минимизировать ложные срабатывания. Метрика mAP@0.5:0,95, равная 56,3 %, отражает удовлетворительную обобщающую способность модели. Однако данное значение указывает на возможность дальнейшего улучшения качества детекции при более строгих порогах IoU.

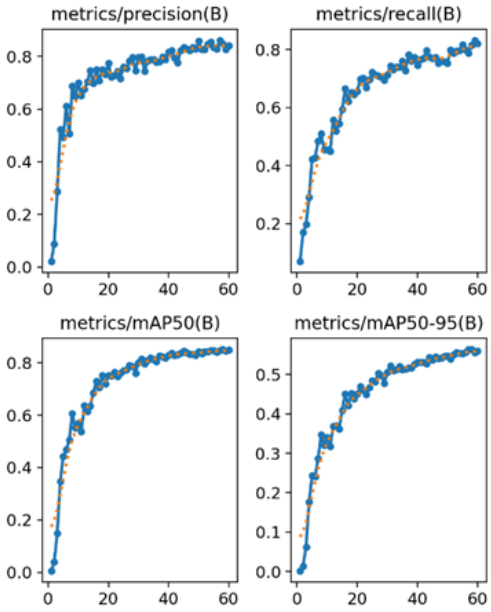


Рисунок 2. *Ключевые метрики обучения и валидации: точность (precision), полнота (recall), средняя точность (mAP)*

Визуальная и количественная оценка результатов

Для подтверждения качества работы модели была проведена визуальная оценка её предсказаний. На рисунках 3 и 4 представлены сравнительные результаты разметки данных: исходная разметка, созданная вручную (рисунок 3, val_batch_labels), и результаты предсказаний модели (рисунок 4, val_batch_pred).



Рисунок 3. *Исходная разметка, созданная вручную*



Рисунок 4. *Результаты предсказаний модели*

Количественное сравнение предсказаний модели с вручную размеченными данными показало, что из 38 объектов, присутствующих на изображениях, модель корректно идентифицировала 34, пропустив 4 объекта и допустив 9 ложных срабатываний. Доля правильно обнаруженных объектов составила 89,5 %, что свидетельствует о высокой полноте модели.

Для оценки точности (precision) воспользуемся стандартной формулой (1):

$$Precision=TP/(TP+FP) \quad (1)$$

где: TP (true positives) — количество объектов, корректно обнаруженных моделью, FP (false positives) — число ложных срабатываний.

Подставляя полученные значения (TP=34, FP=9), вычисляем точность модели:

$$Precision=34/(34+9)=0,79$$

Таким образом, точность модели в данном примере составляет 79 %, что демонстрирует её способность корректно идентифицировать целевые объекты при допустимом уровне ложных срабатываний.

Сравнение этих изображений демонстрирует, что модель уверенно детектирует объекты, корректно идентифицируя их границы. Совпадение большинства предсказанных рамок с размеченными вручную свидетельствует о высоком качестве работы модели не только в количественных метриках, но и с точки зрения визуального анализа. Это подтверждает, что модель способна справляться с реальными данными, содержащими разнообразные сцены и объекты различного масштаба. Такие результаты доказывают, что выбранная архитектура модели и параметры обучения обеспечивают высокую точность и надёжность детекции.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ ложных срабатываний модели и их причины.

Несмотря на высокие количественные показатели эффективности модели, визуальная оценка выявила ряд случаев ошибочной детекции. Анализ ложных срабатываний позволяет выявить уязвимости алгоритма и определить направления для дальнейшего улучшения системы.

На изображении 5 зафиксировано ложное срабатывание модели: область крыши здания была ошибочно классифицирована как скопление отходов с уровнем уверенности 0,75. Данная ошибка обусловлена схожестью визуальных признаков объекта фона и целевого класса, такими как беспорядочная текстура, наличие контрастных элементов и цветовые особенности покрытия крыши, напоминающие распределённые мусорные кучи.



Рисунок 5. *Ложное срабатывание модели: детекция фрагмента крыши как скопления ТБО*

Дополнительно выявлены случаи некорректной работы модели на изображениях, представленных на рисунках 6…7. На первом из них модель ошибочно детектировала участки снега вблизи деревьев как объекты класса «dump». Вероятно, причиной стало сходство текстуры и цвета между фрагментами природных объектов и реальными мусорными скоплениями, представленными в обучающем наборе данных.

На следующем рисунке аналогичная ошибка возникла на участке снега, частично загрязнённого почвой. Модель зафиксировала область, содержащую пятна грязи и следы от обуви, как мусор. Это указывает на недостаточную дифференциацию модели между мусором и естественными загрязнёнными участками почвы или снегового покрова.

Основной причиной этих ошибок является недостаточная репрезентативность обучающей выборки. Поскольку сбор данных проводился преимущественно в бесснежный период, модель не имела достаточного количества примеров для корректного различения снега, грязи и истинных скоплений отходов.

Эти примеры подтверждают необходимость увеличения разнообразия тренировочного датасета за счёт включения изображений с похожими на мусор элементами природной среды (грязь, снег, камни, обнажённая почва). Это позволит

улучшить способность модели различать мусорные скопления и естественные объекты, минимизируя количество ложных срабатываний.



Рисунок 6. *Ошибочная классификация скопления снега как мусора*



Рисунок 7. *Ложноположительная детекция загрязнённого снежного покрова*

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного исследования была разработана и протестирована система распознавания ТБО на основе архитектуры YOLOv8, предназначенная для работы с изображениями, полученными с БПЛА. Разработанный метод включает последовательные этапы сбора данных, их подготовки, обучения модели и оптимизации гиперпараметров.

Анализ количественных метрик, таких как precision (84,8 %), recall (81,5 %), и mAP@0.5 (85,1 %), подтверждает достаточную для практики эффективность предложенного метода детекции ТБО. Дополнительно, визуальная оценка предсказаний модели демонстрирует её способность успешно идентифицировать целевые объекты с минимальным количеством ошибок. Это доказывает, что модель обладает высокой обобщающей способностью и устойчивостью к различным условиям съёмки.

Однако, несмотря на достигнутые результаты, остаются области для дальнейшего совершенствования. Например, метрика mAP@0.5:0,95 (56,3 %) указывает на возможность повышения точности модели при более строгих порогах IoU. В будущем

планируется увеличить объём данных за счёт добавления изображений различных типов отходов и условий съёмки, а также провести дополнительные эксперименты с альтернативными архитектурами моделей.

Разработанный подход обладает потенциалом для использования в реальных задачах экологического мониторинга, включая автоматизацию процессов идентификации и контроля свалок ТБО, что может способствовать повышению эффективности управления отходами и снижению их негативного воздействия на окружающую среду.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – РИМ; Управление данными – НРЮ; Формальный анализ – ЕСВ; Методология – РИМ; Программное обеспечение – ЛАГ; Отслеживание – НРЮ; Визуализация – ЛАГ; Написание исходного проекта – РИМ, ЛАГ; Написание и редактирование – НРЮ, ЕСВ.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21881908 «Комплекс экологического сопровождения городской агломерации (CUES)»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекежанов Д. Проблемы и перспективы утилизации твердых бытовых отходов в Республике Казахстан // Вестник КазНУ. – 2017. – № 1(81). – С. 227- 233.
2. Булекова А.А., Габдуллина С. Проблема утилизации ТБО // Вестник ЗКУ. – 2021. – № 1(81). – С. 448-454
3. Калиева С.С., Төлепов Ә.Е., Хойч А., Шаяхметова Л.М. Экономическая оценка политики по сокращению ТБО в Республике Казахстан с использованием метода условной оценки (CV) // Вестник университета «Туран». – 2024. – № 3. – С. 23-34. https://doi.org/10.46914/1562-2959-2024-1-3-23-34.
4. Hoornweg D., Bhada-Tata P. What a waste: A global review of solid waste management. World Bank, 2012.
5. Скрипка Г.И., Сапрыгин В.В., Ивлиева О.В., Беспалова Л.А., Глинка В.В. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов для выявления мест размещения отходов в водоохранных зонах // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2023. – № 3(219). – С. 131-139. doi: 10.18522/1026-2237-2023-3-131-139.
6. Холявко Т.И. Динамика количества твердых бытовых отходов и их морфологический состав на примере Санкт-Петербурга, Стокгольма, Токио и Хельсинки Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2014. – № 10. – С. 16-21.
7. Сатбаева А. Около 80 миллиардов iPhone. Сколько мусора накопилось в Алматы и Астане//Tengrinews.kz [Электронный ресурс] URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/okolo-80-milliardov-iphone-skolko-musora-nakopilos-almatyi-493313/, дата обращения: 28.04.2025
8. Русаков К.Д. Использование глубокого обучения и беспилотных летательных аппаратов для обнаружения мусора на водной поверхности // Всероссийское совещание управления. – 2024. – С. 1157–1161.
9. Мониторинг мусорных полигонов с применением дронов // Aeromotus [Электронный ресурс]. – URL: https://aeromotus.ru/monitoring-of-landfills-from-uavs/, дата обращения: 11.01.2025
10. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, NV, USA, 27–30 June 2016, pp. 779–788.
11. Casas E., Ramos L., Romero C., Rivas-Echeverría F. A review of computer vision applications for asset inspection in the oil and gas Industry. Journal of Pipeline Science and Engineering, 2024, pp. 100246. https://doi.org/10.1016/j.jpse.2024.100246.
12. Gheorghe C., Duguleana M., Boboc R.G., Postelnicu C.C. Analyzing Real-Time Object Detection with YOLO Algorithm in Automotive Applications: A Review. CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences, 2024, Vol. 141, Issue 3., pp. 1939-1981. https://doi.org/10.32604/cmes.2024.054735.
13. Han W., Luo W., Jin Y., Zho M. A Deep Learning Model for Automatic Plastic Waste Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data. ESS Open Archive, 2021. https://doi.org/1010.1002/essoar.10507932.1.
14. Liao Y.-H., Juang J.-G. Real-Time UAV Trash Monitoring System. Applied Science, 2022, Vol. 12, pp. 1838. https://doi.org/10.3390/app12041838
15. Казаков С., Азаренко Н. Интеллектуальная система обнаружения и учета мусора на территории муниципалитета // Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к Году науки и технологий в России «Вызовы цифровой экономики: тренды развития в условиях последствий пандемии COVID-19». – Брянск, 2021. – С. 10–12.
16. Explanation of all of YOLO series Part 11. [Электронный ресурс]. URL: https://zenn.dev/yuto_mo/articles/14a87a0db17dfa, дата обращения: 11.01.2025
17. Набор данных COCO. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.ultralytics.com/ru/datasets/detect/coco/, дата обращения: 11.01.2025
18. Roboflow. [Электронный ресурс]. URL: https://app.roboflow.com (дата обращения: 11.02.2025).

REFERENCES

1. Bekezhanov D. (2017). Problemy i perspektivy utilizatsii tverdykh bytovykh otkhodov v Respublike Kazakhstan [Problems and prospects of solid domestic waste utilisation in the Republic of Kazakhstan]. Vestnik KazNU, Vol. 1(81), pp. 227- 233 [in Russian].
2. Bulekova A. A., Gabdullina S. (2021). Problema utilizatsii TBO [The problem of utilisation of MSW]. Vestnik ZKU, Vol. 1(81), pp. 448-454 [in Russian].

3. Kalieva S. S., Tөlepov Ә. E., Khoich A., Shayakhmetova L. M. (2024). Ekonomicheskaya otsenka politiki po sokrashcheniyu TBO v Respublike Kazakhstan s ispol'zovaniem metoda uslovnoi otsenki (CV) [Economic evaluation of the policy to reduce MSW in the Republic of Kazakhstan using the method of contingent valuation (CV)]. Vestnik universiteta «Turan», Vol. 3, pp. 23-34. https://doi.org/10.46914/1562-2959-2024-1-3-23-34 [in Russian].
4. Hoornweg D., Bhada Tata P. (2012). What a waste: A global review of solid waste management. World Bank, 2012.
5. Skripka G. I., Saprygin V. V., Ivlieva O. V., Bespalova L. A., Glinka V. V. (2023). Opyt ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya vyyavleniya mest razmeshcheniya otkhodov v vodookhrannykh zonakh. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region [Experience in the use of unmanned aerial vehicles to identify waste disposal sites in water protection zones]. Estestvennye nauki, Vol. 3(219), pp. 131-139. https://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-3-131-139 [in Russian].
6. Kholyavko T.I. Dynamics of the amount of municipal solid waste and its morphological composition on the example of St. Petersburg, Stockholm, Tokyo and Helsinki. Priority scientific directions: from theory to practice [Dynamics of the amount of solid domestic waste and its morphological composition on the example of St. Petersburg, Stockholm, Tokyo and Helsinki Priority scientific directions: from theory to practice], Vol. 10, 2014, pp. 16-21 [in Russian].
7. Satbaeva A. About 80 billion iPhones. How much garbage has accumulated in Almaty and Astana [How much rubbish has accumulated in Almaty and Astana], Tengrinews.kz [Electronic resource] URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/okolo-80-milliardov-iphone-skolko-musora-nakopilos-almatyi-493313/, date of access: 28.04.2025
8. Rusakov K. D. (2024). Ispol'zovanie glubokogo obucheniya i bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya obnaruzheniya musora na vodnoi poverkhnosti [Use of deep learning and unmanned aerial vehicles for the detection of debris on the water surface]. Vserossiiskoe soveshchanie upravleniya, pp. 1157–1161 [in Russian].
9. Aeromotus. (2025). Monitoring musornykh poligonov s primeneniem dronov. [Electronic resource] URL: https://aeromotus.ru/monitoring-of-landfills-from-uavs/, date of access: 11.01.2025 [in Russian].
10. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, NV, USA, 27–30 June 2016, pp. 779–788.
11. Casas E., Ramos L., Romero C., Rivas-Echeverría F. (2024). A review of computer vision applications for asset inspection in the oil and gas Industry. Journal of Pipeline Science and Engineering, pp.100246. https://doi.org/10.1016/j.jpse.2024.100246.
12. Gheorghe C., Duguleana M., Boboc R. G., Postelnicu C. C. (2024). Analyzing Real-Time Object Detection with YOLO Algorithm in Automotive Applications: A Review. CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences, Vol. 141(3), pp. 1939-1981. https://doi.org/10.32604/cmes.2024.054735.
13. Han W., Luo W., Jin Y., Zho M. (2021). A Deep Learning Model for Automatic Plastic Waste Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data. ESS Open Archive, https://doi.org/1010.1002/essoar.10507932.1.
14. Liao Y.-H., Juang J.-G. (2022) Real-Time UAV Trash Monitoring System. Applied. Science, Vol. 12, pp. 1838. https://doi.org/10.3390/app12041838
15. Kazakov S., Azarenko N. (2021). Intellektual'naya sistema obnaruzheniya i ucheta musora na territorii munitsipaliteta [Intelligent system of detection and accounting of rubbish on the territory of the municipality]. In Sbornik statei IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, priurochennoi k Godu nauki i tekhnologii v Rossii «Vyzovy tsifrovoi ekonomiki: trendy razvitiya v usloviyakh posledstvii pandemii COVID-19», Bryansk, pp. 10–12 [in Russian].
16. Explanation of all of YOLO series Part 11. [Electronic resource] URL: https://zenn.dev/yuto_mo/articles/14a87a0db17dfa , date of access: 28.04.2025
17. Ultralytics. (Nabor dannykh COCO [Electronic resource] URL: https://docs.ultralytics.com/ru/datasets/detect/coco/, date of access: 28.04.2025
18. Roboflow. Roboflow [Electronic resource] URL: https://app.roboflow.com, date of accessed: 11 February 2025.

АЛМАТЫ ҚАЛАЛЫҚ АГЛОМЕРАЦИЯСЫ ШЕГІНДЕ ҰШҚЫШСЫЗ ӘУЕ КӨЛІГІНІҢ КӨМЕГІМЕН ҚАТТЫ ТҰРМЫСТЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ АНЫҚТАУ

Людмила А. Городецкая[1], Равиль И. Мухамедиев[1,2] инж. ғылым. докторы,
Надия Р. Юничева[2]* т.ғ.к., Елизавета С. Витулёва[1] PhD

[1] Satbayev University; Алматы, Қазақстан; ludmila260601@gmail.com, ravil.muhamedyev@gmail.com, lizavita@list.ru
[2] ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан; naduni@mail.ru
Автор корреспондент: Надия Р. Юничева, naduni@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

бақылау
қатты қалдықтар
UAV деректері
нейрондық желілер
YOLOv8

Мақала жайында:
Жіберілді: 11.02.2025
Қайта қаралды: 29.04.2025
Қабылданды: 15.05.2025

АБСТРАКТ

Қазақстанның қалалық агломерацияларының жедел өсуі қалалар мен қала маңындағы ауа, су және жер үсті ортасының ластануымен байланысты өткір экологиялық проблемаларды тудырады. Қоқыс пен тұрмыстық қалдықтардың стихиялық полигондарының саны артып келеді. Қатты тұрмыстық қалдықтардың (ҚТҚ) көбеюі, әсіресе урбанизацияланған және өнеркәсіптік аймақтарда күрделі экологиялық проблема болып табылады. Қалдықтарды бақылаудың дәстүрлі әдістері көп уақытты қажет етеді және ауқымы шектеулі. Бұл зерттеу ұшқышсыз әуе көлігінен (ҰӘК) алынған суреттерді және YOLOv8 терең оқыту моделін пайдалануға негізделген ҚТҚ-ны автоматты түрде анықтау жүйесін ұсынады. Жүйені тестілеу нәтижесінде қатты тұрмыстық қалдықтарды

Жарияланды: 30.06.2025

анықтаудың жоғары дәлдігіне қол жеткізілді: дәлдік 84,8 %, қалпына келтіру 81,5 % және mAP@0.5 (85,1 %), IOU 0,5 кезінде. Көрнекі талдау модельдің әртүрлі жағдайларда қалдықтарды минималды қателіктермен тиімді анықтау қабілетін растады. Зерттеу нәтижелері рұқсат етілмеген үйінділерді жедел анықтау және оларды жою шараларын оңтайландыру үшін экологиялық мониторинг жүйелеріне біріктірілуі мүмкін.

DETECTION OF SOLID DOMESTIC WASTE USING UAVS WITHIN THE URBAN AGGLOMERATION OF ALMATY

Liudmila Gorodetskaya[1], Ravil Mukhamediev[1,2] Doctor of Science (Engineering), Nadiya Yunicheva[2]* Candidate of Technical Science, Yelizaveta Vitulyova[1] PhD

[1] Satbayev University; Almaty, Kazakhstan; ludmila260601@gmail.com, ravil.muhamedyev@gmail.com, lizavita@list.ru
[2] Institute of Information and Computing Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan; naduni@mail.ru
Corresponding author: Nadiya Yunicheva, naduni@mail.ru

KEY WORDS

monitoring
solid waste
UAV data
neural networks
YOLOv8

About article:
Received: 11.02.2025
Revised: 29.04.2025
Accepted: 15.05.2025
Published: 30.06.2025

ABSTRACT

Accelerated growth of urban agglomerations in Kazakhstan causes acute environmental problems associated with pollution of air, water and land environment of cities and suburbs. The number of unauthorized garbage and household waste dumps is growing. Increased generation of municipal solid waste (MSW) is a serious environmental problem, especially in urbanized and industrial regions. Traditional waste monitoring methods are labor intensive and limited in scope. This study proposes a system for automatic MSW detection based on the use of UAV-derived imagery and YOLOv8 deep learning model. The system was tested and achieved high MSW detection accuracy of Precision 84,8 %, Recall 81,5 % and mAP@0.5 (85,1 %), with an IoU of 0,5. Visual analysis confirmed the model's ability to effectively detect waste under different conditions with minimal errors. The research findings can be integrated into environmental monitoring systems for rapid detection of unauthorized waste dumps and optimization of remediation measures.

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

Гидрометеорология и экология

Scientific article

ANALYSIS OF THE WASTE MANAGEMENT AND RECYCLING SYSTEM IN UST-KAMENOGORSK

Shyngis Sabit*, Ekaterina Kuznetsova, Guldana Minzhanova candidate of chemical sciences, Korlan Khamitova candidate of technical science

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; sabitshingys@gmail.com (ShS), katrinka-2000@mail.ru (EK), guldana.mg@gmail.com (GM), khamitovakorlan@gmail.com (KK)
Corresponding author: Shyngis Sabit, sabitshingys@gmail.com

KEYWORDS

waste recycling
waste management
waste separation

ABSTRACT

This article analyzes the current state of waste management and recycling systems in Ust-Kamenogorsk, highlighting key problems and potential solutions. The study examines the condition of waste collection, sorting, and recycling infrastructure, along with statistical data and legal frameworks. The low level of waste recycling, insufficient development of separate collection systems, and the dominance of landfill disposal exacerbate environmental issues. Although a waste sorting line has been launched, a fully functional recycling system in Ust-Kamenogorsk is still in its formative stage. As a result, comprehensive measures to improve waste management efficiency are proposed, demonstrating their contribution to enhancing the city's environmental situation.

About article:
Received: 20.02.2025
Revised: 16.06.2025
Accepted: 27.06.2025
Published: 30.06.2025

For citation :
Sabit Sh., Kuznetsova E., Minzhanova G., Khamitova K. Analysis of the waste management and recycling system in Ust-kamenogorsk // Гидрометеорология и экология, №2 (117), 2025, 61-67.

1. INTRODUCTION

In Ust-Kamenogorsk, a city in East Kazakhstan and the administrative center of the region, rapid industrial growth has fueled a steady population increase, currently around 372,477 residents. With an annual population growth rate estimated between 1…2 %, the city faces significant challenges in managing its waste, a critical issue for urban development.

According to Kazakhstan's Ministry of Ecology, Geology, and Natural Resources, Ust-Kamenogorsk generates approximately 66…67 thousand tons of waste annually, contributing to a national total of 4,5…5 million tons. However, the city's current recycling rate remains dismally low, hovering at just 1…2 %. The primary sources of waste include residential areas (77 %), industrial sectors (18 %), and public institutions and businesses (5 %) [1]

This study aims to assess the current state of Ust-Kamenogorsk's waste management system, identify key challenges, and propose strategies to improve recycling efficiency. By analyzing regulatory frameworks, statistical data, and the existing infrastructure for waste collection and processing, the research seeks to enhance sustainability practices and mitigate environmental impact.

2. MATERIALS AND METHODS

The share of waste recycling and disposal in the East Kazakhstan region over the last three years shows different data: if in 2020 the share of recycling in the total volume of education was 3,2 %, in 2021 it was 17,9 %, and in 2022 it decreased again to 11,3 %.

The dynamics of waste generation and recycling in Ust-Kamenogorsk is shown in figure 1.

Information on waste recycling in Ust-Kamenogorsk is 12 % in 2020, and 1,1…1,2 % in 2021…2022. According to the National Bureau of Statistics, recycling includes separately collected and sorted waste, which is then transferred to third parties for processing.

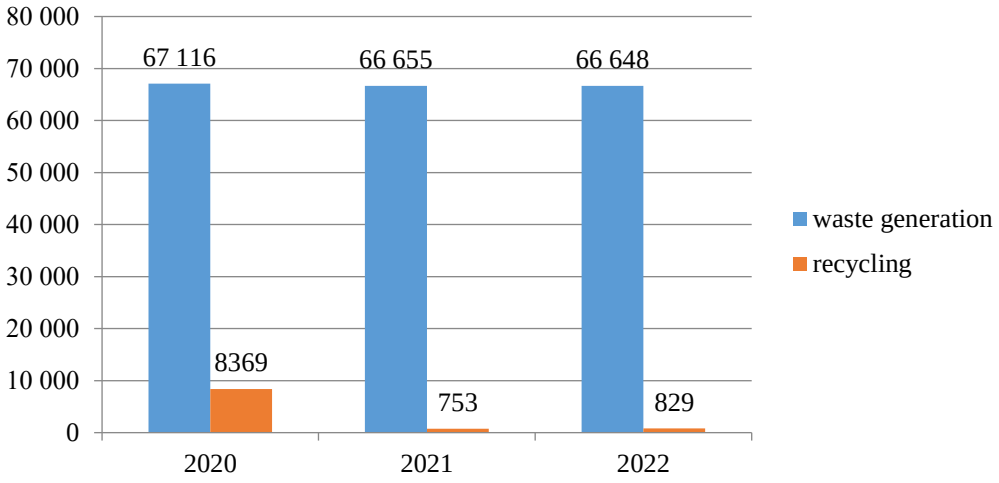


Figure. 1. *Dynamics of waste generation and recycling*

According to the National Bureau of Statistics, 98 percent of waste generated in the last two years was sent to landfill, while only 1…2 percent was sent to third-party organizations for recycling [2].

Table 1

Waste collection (generation), recycling and disposal in 2020...2022 in the Republic of Kazakhstan, East Kazakhstan region and Ust-Kamenogorsk city [3]

№	Name	Unit of measure	Years		
			2020	2021	2022
1	**Collection (knowledge)**				
1.1	Republic of Kazakhstan	thousand tons	3,674.0	3 441,6	4 006,5
1.2	East Kazakhstan region	thousand tons	192,5	186,7	190,4
1.3	Ust-Kamenogorsk	ton	67 116	66,655	66,648
2		**Recycling**			
2.1	Republic of Kazakhstan	%	14,9	18,6	21,1
2.2	East Kazakhstan region	%	3,2	17,9	11,3
2.3	Ust-Kamenogorsk, including	ton	8369	753	829
2.7	cardboard and paper waste	ton	2363	730	605
2.8	plastic	ton	232	23	224
2.9	Secondary raw materials were sorted at the landfill	ton	5704	-	-
3		**Funeral**			
3.1	Ust-Kamenogorsk	ton	58,747	65,902	65,819

Morphological composition of waste

The methodology, the following classifications are included: food waste (vegetables, fruits, etc.); paper and cardboard; polymers (plastic, plastics); glass; ferrous metals; non-ferrous metals; textiles; wood; hazardous waste (batteries, dry and electrolytic accumulators, containers for solvents, paints, mercury lamps, television picture tubes, etc.); bones, leather, rubber; the remaining part of the waste after removing the components (small construction waste, stones, street garbage, etc.), etc.

According to the study, the average morphological composition of waste in the republic is as follows: food waste (37,2 %), plastic (16,2 %), waste paper (11,1 %) (Figure 2). At the same time, a significant part (11 %) belongs to the remaining part of the waste after removing the components (small construction waste, stones, street sweepings, etc.) [4].

According to this study, biodegradable (food) waste constitutes the largest proportion of waste in many cities.

In recent years, no studies have been conducted on the morphological composition of waste in Ust-Kamenogorsk. According to the Department of Housing and Communal Services, the last time the morphological composition of waste was conducted was in 2013. It is necessary to study the morphological composition of waste in Ust-Kamenogorsk.

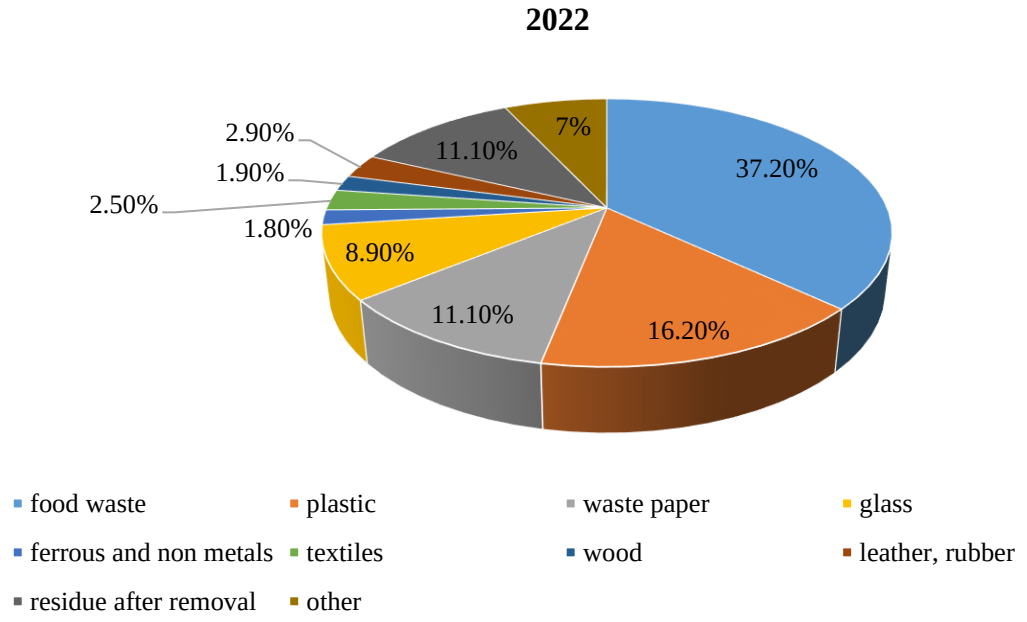


Figure. 2. *Morphological composition of waste in the Republic of Kazakhstan (2022)*

Norms and tariffs for waste generation and accumulation

By decision № 19/6-VII of the Maslikhat of Ust-Kamenogorsk city of the East Kazakhstan region dated March 10, 2022, standards for the generation and accumulation of waste in Ust-Kamenogorsk were adopted.

According to this document, the average annual water supply per capita for comfortable households is 2,68 m^3, and for uncomfortable households it is 2,54 m^3.

Table 2

Tariffs for waste collection, transportation and disposal in Ust-Kamenogorsk [5]

Name	Unit of account	Monthly cost (tenge)
for individuals, comfortable households	1 resident	431
for individuals in poorly equipped households	1 resident	409
Annual tariff per unit (volume)	1 m^3	1930,11

This tariff was approved by the Ust-Kamenogorsk city maslikhat № 27/3-VII dated September 2, 2022. Tariffs (Table 2) will come into effect from October 1, 2022.

In general, the tariff in Kazakhstan varies from 84 tenge to 550 tenge. The highest tariffs are in the cities of Almaty (553 tenge) and Kokshetau (500 tenge). The lowest rates are in the cities of Taraz (84 tenge), Turkestan (105 tenge), Zhezkazgan (110 tenge), Shymkent (171 tenge) and Aktobe (180 tenge).

The tariff adopted for the city of Ust-Kamenogorsk is considered average for the Republic of Kazakhstan.

Assessment of the existing waste treatment and disposal system

Collection, accumulation and separate collection

Waste collection and storage in Ust-Kamenogorsk is carried out in two ways:

- in containers located in container yards

- containerless (heap) method - walking around the area and collecting waste in bags/sacks placed in designated places according to a schedule.

According to the Statistics Committee, 3,225 enterprises are serviced by business entities engaged in waste collection and disposal. According to statistics, a total of 10,980 enterprises are registered in Ust-Kamenogorsk. More than 7,500 enterprises are not covered by waste collection and disposal services or do not meet legal requirements, do not submit reports, that is, use the services of fake companies. Low collection and disposal coverage leads to unauthorized dumping

of waste in the city. It is necessary to strengthen work not only with the population, but also with legal entities.

Table 3

Information about container yards and containers [6]

Name	Container platforms (CP), parts	Containers, parts	Note
All in Ust-Kamenogorsk. Among them:	490	1983	
OskemenSpetsKommunTrans LLP	265	1200	40 % needs updating
Oskemen - Tazalyk LLP	225	783	35 % needs updating

Waste sorting line

As part of the «Roadmap for the Implementation of the Project for Separate Collection and Sorting of Solid Household Waste», approved in 2021, the city was transferred to the waste sorting network of the Greek company SABO. According to the sorting complex, the housing and communal services department of Ust-Kamenogorsk is located at «Ust-Kamenogorsk, Polzunov Street, 116/9» [7].

The sorting line was transferred to the EPR operator, and the city administration financed the costs of other hangar construction and infrastructure. The sorting line was opened in October 2023. The sorting line is almost completely automated. The production line has ballistic and optical sorting. Biodegradable waste, metals, plastic and paper are sorted separately. The production capacity of the sorting line is 25 tons/h, 40,000 tons/year, including: glass - 6.5 thousand tons/year, plastics - 5 thousand tons/year, metals – 3,8 thousand tons/year, paper – 24,7 thousand tons/year.

Current in time in containers waste current to the landfill is transported, then waste by hand sorted. Trustworthy The landfill is managed by OskemenSpetsKommunTrans LLP.

The recyclable materials collected during separate collection, as well as those that enter the sorting line, are further sorted by hand, pressed into bundles, and stored for sale.

In Ust-Kamenogorsk, the VTS Ust-Kamenogorsk waste collection company collects paper and cardboard waste, Poligrand LLP - plastic and plastic products, Turarova LLP - PET containers, Shyg LLP operates. In Maikoben - waste paper, Vostok-MetalTrans LLP recycles tires, etc. [8]

In processing plants, the plastic is washed, crushed to the required fraction, and the binders are removed.

Funeral

There are 335 units of landfills and landfills in the East Kazakhstan region, of which 30 units (8,96 %) comply with environmental and sanitary requirements and standards.

Today, waste disposal is carried out at the only landfill in the city. The landfill is the property of the city akimat and, by decision of the akimat of Ust-Kamenogorsk № 1103 dated 05.08.1997, was transferred to the trust management of OskemenSpetsKommunTrans LLP for a period of 50 years [9...10].

The environmental permit is valid until the end of 2023. Currently, according to information, documentation is being prepared to obtain a new permit until 2025, before the new engineering site is put into operation.

According to the Statistics Committee, as of January 1, 2023, 7,436,626 tons were buried at the landfill, while the design capacity is 7,574,193 tons [11].

The landfill is overflowing with waste that does not meet sanitary and environmental standards and requirements, and is buried without sorting, which makes the landfill a source of intensive environmental pollution and a carrier of various infections.

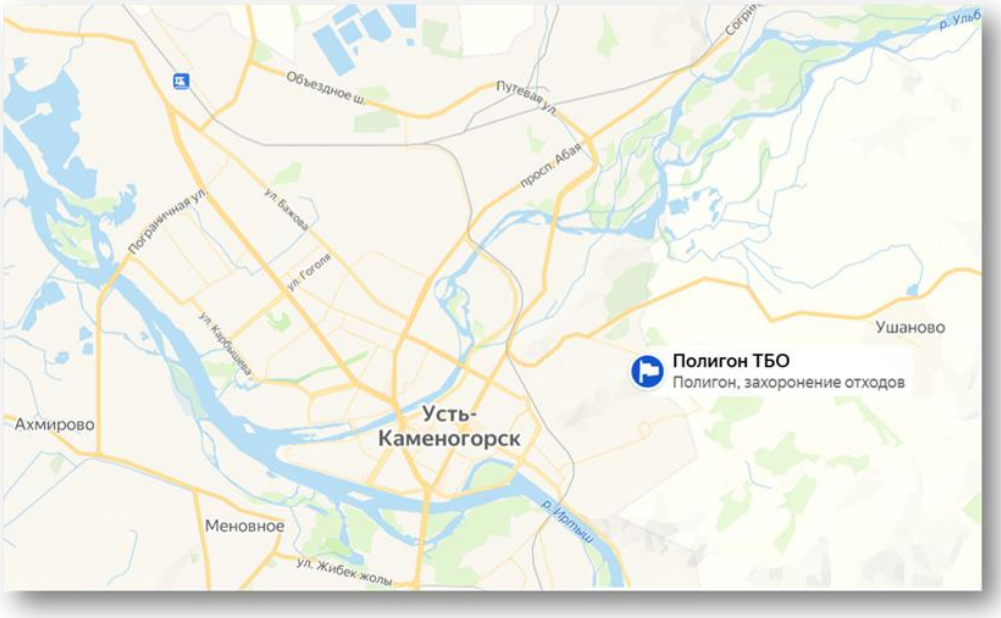


Figure. 3. *Ust-Kamenogorsk city landfill [12]*

3. RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of strengths, weaknesses, opportunities and threats in the waste treatment and recycling sector

To objectively analyze a waste treatment and disposal system, it is necessary to clearly identify its strengths and weaknesses, as well as existing opportunities and threats.

Table 4

Analysis of strengths and weaknesses, opportunities and threats

Main points	Weaknesses
- Construction and commissioning of the KSC - Planning and working on the construction of a new technological platform.	- Low coverage of waste collection and disposal. - Lack of a system for collecting hazardous waste from residents - Low waste recycling rate - Public debt on tariffs - Public awareness is low
Features	**Danger**
- Business interest in developing a waste collection and recycling system - Availability of modern technologies, a wide range of facilities for composting food waste, processing construction waste, etc. - There is great potential for developing businesses in the area of introducing separate collection and processing food and construction waste. - The city's location on the border with neighboring countries, a large potential for demand for secondary raw materials	- Public dissatisfaction and dissatisfaction with the condition of container sites, waste collection and transportation services. - Overcrowding of the landfill. - Emissions into the atmosphere from landfill waste that contribute to climate change.

Measures to introduce separate waste collection

To implement a personal collection system, the following measures should be taken:

Ensure the installation of containers for separate collection of dry waste fractions at container sites and the separate removal of secondary raw materials.

Organization of a system for collecting and recovering waste components.

4. CONCLUSION

Ust-Kamenogorsk in the city waste main weapon and re processing system analysis as shown, the current when again processing level down as sit down, this is city to the ecology negative the effect Waste collection and processing not enough level, separate to collect system absence and again processing of power inferiority main problems as was determined. So along with waste funeral level very high, this of the city environmental situation from it further worsens [13...20].

Comparative analysis Ust-Kamenogorsk city waste again processing system improvement for a number of opportunities and measures to offer opportunity gives. Modern technologies and new

infrastructure projects input, waste separately to collect system development, people environmental to literacy education, as well as waste again processing and disposal to create the process improvement for special economic incentives necessary.

Upcoming in the years in the city waste separately collection and recycling processing effective done implementation for planned purposeful indicators and measures This is marked. measures Ust-Kamenogorsk city environmental the situation to improve and waste again processing system efficiency to increase opportunity gives.

The remains management and reconstruction processing current level and system according to of the results comparative analysis urban ecology and waste management system improvement for a number of important conclusions and recommendations to do opportunity gives. This of research practical importance waste management system in development new methods and technologies to introduce, environmental requirements provide to do, as well as city of the inhabitant's environmental culture to increase based on.

DATA AVAILABILITY

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

AUTHORS' CONTRIBUTION

Conceptualization – KK; resources – ShS, EK; formal analysis – ShS, GM; methodology - GM; software - ShS; supervision – GM, KK; visualization –ShS; writing—original draft preparation – ShS; writing—review and editing – ShS, EK.

REFERENCES

1. Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource] URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo?lang=ru, date of access: 15.01.2025
2. Department of National Statistics of the East Kazakhstan region [Electronic resource] URL: – https://stat.gov.kz/ru/region/vko/, date of access: 15.01.2025
3. National Bureau of Statistics of the Republic of Kazakhstan. «Waste management. Indicators of solid household waste recycling» [Electronic resource] URL: https://stat.gov.kz/, date of access: 15.01.2025
4. «Methodology for determining the morphological composition of municipal solid waste». Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource] URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31081399&show_di=1/, date of access: 15.01.2025
5. On approval of tariffs for the population for the collection, transportation, sorting and disposal of solid household waste in the city of Ust-Kamenogorsk [Electronic resource] URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V22VA029519, date of access: 15.01.2025
6. Information from the Housing and Communal Services of Ust-Kamenogorsk [Electronic resource] URL: https://ba.prg.kz/631010000-ust-kamenogorsk/051240002371-too-oskemenspetskommuntrans, date of access: 15.01.2025
7. The address of the housing and communal services department of Ust-Kamenogorsk [Electronic resource] URL: https://yk.kz/news/gorod/u-gorozhan-vozniklo-mnogo-voprosov-o-sortirovochnoj-linii-275205.html?utm_source=chatgpt.com, date of access: 15.01.2025
8. Information on the activities of LLP "OskemenSpetsKommunTrans" and other companies mentioned in the text. [Electronic resource] URL: https://yk-news.kz/taxonomy/term/559, date of access: 15.01.2025
9. Committee for Environmental Regulation and Control of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. Report on the state and protection of the environment of the Republic of Kazakhstan for 2022 [Electronic resource] URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents, date of access: 10.01.2025
10. Akimat of Ust-Kamenogorsk. Resolution № 1103 dated 05.08.1997 «On the transfer of the landfill to the trust management of OskemenSpetsKommunTrans LLP» [Electronic resource] URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/vko-oskemen, date of access: 10.01.2025
11. Data from the Committee on Statistics on the volume of waste disposal at the municipal solid waste landfill and its current condition [Electronic resource] URL: https://stat.gov.kz/en/ecologic-indicators/28470/final_waste_disposal/, date of access: 10.01.2025
12. Ust-Kamenogorsk city landfill [Electronic resource] URL: https://2gis.kz/ustkam, date of access: 10.01.2025
13. Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. National report on waste management in the Republic of Kazakhstan for 2022. – Astana, 2023. – 98 p.
14. Report on municipal waste management in the Republic of Kazakhstan [Electronic resource] URL: https://stat.gov.kz/industries/environment/stat-eco/, date of access: 10.01.2025
15. «General Plan of Ust-Kamenogorsk City until 2025». Akimat of the East Kazakhstan Region. Ust-Kamenogorsk: 2020. [Electronic resource] URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/vko-oskemen/documents, date of access: 10.01.2025
16. Order of the Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan dated September 14, 2021 № 377 «On approval of the methodology for calculating tariffs for the population for the collection, transportation, sorting and disposal of solid household waste». Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on September 16, 2021 under № 24382.
17. Order of the Acting Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated December 25, 2020 № RK/MH-31 "On approval of the sanitary rules "Sanitary and epidemiological requirements for the collection, use, utilization, disinfection, transportation, storage and burial of production and consumption waste". Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on December 28, 2020 under № 21934.
18. Resolution of the Acting Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan dated July 19, 2016 № 332 «On approval of the criteria for classifying consumer waste as secondary raw materials». Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on August 18, 2016 under № 14120 [Electronic resource] URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1600000332, date of access: 10.01.2025
19. Order of the Acting Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan dated August 6, 2021 № 314 «On approval of the waste classifier». Registered with the Ministry of the Republic of Kazakhstan on August 9, 2021 under № 23903.

20. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated October 25, 2021 № 763 «On approval of the rules for implementing extended obligations of producers (importers)» [Electronic resource] URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2100000763, date of access: 10.01.2025

ӨСКЕМЕН ҚАЛАСЫНДАҒЫ ҚАЛДЫҚТАРДЫ БАСҚАРУ ЖӘНЕ ҚАЙТА ӨҢДЕУ ЖҮЙЕСІН ТАЛДАУ

Шыңғыс С. Сәбит*, Екатерина А. Кузнецова, Гульдана М. Минжанова х.ғ.к., Корлан К. Хамитова т.ғ.к.

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; sabitshingys@gmail.com, katrinka-2000@mail.ru, guldana.mg@gmail.com, khamitovakorlan@gmail.com
Автор корреспондент: Шыңғыс С. Сәбит, sabitshingys@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

қалдықтарды қайта өңдеу
қалдықтарды басқару
қалдықтарды сұрыптау

Мақала жайында:
Жіберілді: 20.02.2025
Қайта қаралды: 16.06.2025
Қабылданды: 27.06.2025
Жарияланды: 30.06.2025

АБСТРАКТ

Бұл мақалада Өскемен қаласындағы қалдықтарды басқару және қайта өңдеу жүйесінің қазіргі жағдайы талданып, негізгі проблемалар мен оларды шешу жолдары қарастырылады. Зерттеу барысында қалдықтарды жинау, сұрыптау және өңдеу инфрақұрылымының жағдайы, статистикалық мәліметтер мен заңнамалық негіздер сарапталды. Қалдықтарды өңдеу деңгейінің төмендігі, бөлек жинау жүйесінің жеткіліксіз дамуы және қалдықтарды көмудің басымдылығы экологиялық мәселелерді күрделендіреді. Өскеменде қалдықтарды сұрыптау желісі іске қосылғанымен, толыққанды қайта өңдеу жүйесі әлі де қалыптасу сатысында. Нәтижесінде Өскемен қаласында қалдықтарды басқарудың тиімділігін арттыруға бағытталған кешенді шаралар ұсынылып, олардың қала экологиясын жақсартуға қосатын үлесі көрсетіледі.

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В ГОРОДЕ УСТЬ-КАМЕНОГОРСКЕ

Шыңғыс С. Сәбит*, Екатерина А. Кузнецова, Гульдана М. Минжанова к.х.н., Корлан К. Хамитова к.т.н.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; sabitshingys@gmail.com, katrinka-2000@mail.ru, guldana.mg@gmail.com, khamitovakorlan@gmail.com
Автор корреспондент: Шыңғыс С. Сәбит, sabitshingys@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

переработка отходов
управление отходами
сортировка отходов

По статье:
Получено: 20.02.2025
Пересмотрено:16.06.2025
Принято: 27.06.2025
Опубликовано: 30.06.2025

АБСТРАКТ

В данной статье анализируется текущее состояние системы управления отходами и их переработки в городе Усть-Каменогорск, рассматриваются основные проблемы и пути их решения. В ходе исследования были изучены состояние инфраструктуры сбора, сортировки и переработки отходов, статистические данные и нормативно-правовая база. Низкий уровень переработки отходов, недостаточное развитие системы раздельного сбора и преобладание захоронения отходов усложняют экологическую ситуацию. Несмотря на запуск линии сортировки отходов, полноценная система переработки в Усть-Каменогорске еще находится на этапе становления. В результате предложены комплексные меры по повышению эффективности управления отходами, а также показан их вклад в улучшение экологической обстановки города.

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

Гидрометеорология и экология

Scientific article

DECARBONIZATION PATHWAYS OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN AND THE ENVIRONMENTAL SECURITY CHALLENGES

Fuad Humbatov[1, 2] PhD, Associate Professor

[1] National Hydrometeorological Service within the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan; fuad.humbatov@eco.gov.az (FH)
[2] State Academy of Public Administration under the President of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan; fuad.humbatov@eco.gov.az
Corresponding author: Fuad Humbatov, fuad.humbatov@eco.gov.az

KEY WORDS

mitigation measures
greenhouse gases (GHG)
environmental security
sustainable development
climate change
renewable energy
inventory of GHG
mitigation policies

ABSTRACT

The paper studies national context of climate change combat, environmental security, low greenhouse gas emission (GHG) development scenarios for the Republic of Azerbaijan in the XXI century, analyzes the optimal pathways of transition to the green economy in the country. Since the paragraph 19 of the Article 4 of the Paris Agreement defines a task for each country - Party of the Agreement, to formulate and communicate long-term low greenhouse gas emission development strategies (LT-LEDS), preparation of such strategy is of high priority for each Party of the Agreement. In this regard, the paper focusses particularly on the energy and environmental characteristics of the decarbonization scenario in Azerbaijan.

About article:
Received: 5.03.2025
Revised: 16.05.2025
Accepted: 23.06.2025
Published: 30.06.2025

For citation:
Humbatov F. Decarbonization pathways of the Republic of Azerbaijan and the environmental security challenges // Гидрометеорология и экология, №2 (117), 2025, 68-80.

1. INTRODUCTION

XXI century witnesses unprecedented global change in search of affordable and scalable solutions to reduce the dependency on fossil fuels bearing the serious consequences for the environment and climate. The World Meteorological Organization (WMO) has confirmed that 2024 is the warmest year on record [1]. Since the global average surface temperature was 1,55 °C (with a margin of uncertainty of ± 0,13 °C) above the 1850…1900 average, according to WMO's consolidated analysis of the six datasets. According to the reliable climate models, without significant climate action, the world is headed for 2,5 °C to 2,9 °C temperature rise above pre-industrial levels this century, which is well above the safety limits established by scientists [2]. In the last 50 years, the number of recorded climate disasters has increased fivefold, and economic losses have increased sevenfold. Like the availability of land, minerals, water, etc., carbon emission capacity is one of the scarcest elements of natural resources. Research evidence shows that if effective policies and actions are not taken immediately, there will be irreversible global ecological catastrophe and massive economic losses, with the total cost of inaction exceeding $1,266 trillion from 2025 to 2100.

The urgency of implementation of the comprehensive effective climate actions is especially needed for developing countries, which have been already feeling the negative impacts of climate change due to a combination of factors, including their geographical and climatic conditions, their high dependence on natural resources, and their limited capacity to adapt to a changing climate.

Regarding the term of «environmental security, in 1987, UN sub-organization – The World Commission on Environment and Development (WCED, also known as the Brundtland Commission) published the report «Our Common Future» that launched broadly the concept of sustainable development and for the first time introduced globally the term of "environmental security» [3…4].

Nowadays, environmental security concept is a pivotal component of international environmental policy, once the most countries joined the new development pathway to comprehend and effectively implement their environmental policies including climate change resilience. A series

of dedicated conferences followed on the eve of new millennium: International Conference on Environmental Security and Sustainable Development in Moscow in 1997 and in Paris in 2002, aiming to draw attention of the international community to preserving biodiversity and providing environmental safety as key priorities of environmental policy.

Actually, the main global environmental problems are air and water pollution, water quality, biodiversity and climate change. In order to effectively respond to the various global and regional environmental security challenges, almost all countries, international organizations, leading scientific centers of the world call for concentrated global cooperation between countries, international organizations, stress out the importance of collaboration between all stakeholders in all levels, broader involvement of private sector, non-governmental organizations etc. All these activities strengthen once more the role environmental diplomacy in the modern international relations.

Among the global environmental problems, the climate change issues are going to be the most challenging phenomena and necessitate very rapid and effective global actions. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), which has proved itself as a serious scientific platform responsible for promoting the UN science base in the relevant field, already predicted that this process would lead to a global disaster if global warming would exceed 1,5 °C compared with pre-industrial levels.

It is known that the consistent rise of average temperature is mainly due to anthropogenic factors. Thus, these factors are based on gases that create the greenhouse effect (GHG). These gases are water vapor, carbon dioxide (CO_2), methane gas (CH_4), nitrogen oxide (N_2O), fluorinated gases (HFCs, PFCs, NF_3, SF_6). As a result of anthropogenic activity, the volume of carbon dioxide, methane gas, nitrogen oxide and fluorinated gases with high heat generation potential has been increasing since industrial times, and their carbon gas equivalent is used as a unit of measurement to calculate the volume of all these gases [5]. It should be noted that the mechanism of creating the thermal effect of these gases was first described in 1827 by the famous physicist-mathematician Joseph Fourier, as a result of relevant research with appropriate methods of calculations.

Observations of the recent decades have shown that as a result of global climatic changes in various regions of the globe, both the scale and intensity storms, mudflows, blizzards, floods, as well as warm winds, hurricanes, and precipitation are increasing. This is evidenced only by large-scale forest fires in 2021…2024 in EU, Turkey, Russia, USA, EU and other countries, as well as heavy rains and floods in EU, Pakistan, eastern Turkey during last years. It is no coincidence that the 6th Assessment Report (AR6) by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) emphasized that in XXI century, the average annual temperature in the world could rise by at least 3 °C, if states do not take concerted action to reduce emissions. It's evident that this report that if the international community does not take serious and effective measures to reduce greenhouse gas emissions, humanity will move from a temperature rise of 4 °C to 5 °C, which could result in an apocalypse [6]. Here are some parts of this report, describing the Possible Climate Perspectives:

- The global surface temperature will continue to rise, at least until the middle of the century, taking into account all emission scenarios. In the absence of significant reductions in carbon dioxide (CO_2) and other greenhouse gas emissions in the coming decades, global warming in the 21st century will exceed 1,5 °C and 2 °C;

- Many changes in the climate system are now intensifying in direct connection with the increase in global warming. These changes include an increase in the frequency and intensity of extremely hot days, sea heat and heavy rainfall, agricultural and environmental droughts in some areas, and an increase in strong tropical cyclones, a decrease in Arctic Sea ice, snow cover and permafrost.

- Ongoing global warming is expected to further strengthen global water circulation, including the intensity of global monsoon rains, floods and droughts.

The mentioned report showed that the emission of greenhouse gases as a result of burning fossil fuels, deforestation and other human activities can disrupt the environmental security of our civilization. Carbon dioxide levels in the air are currently at their highest level for at least the last 2 million years.

Moreover, the report predicted the most significant drastic and irreversible changes in the Earth's system, which could have very serious consequences and are of greater concern to scientists. In terms of physical research, the report recommends reducing CO_2 emissions and other greenhouse gas emissions to zero in the near future as an effective way of reduction of global warming caused by anthropogenic impacts. Actually, scientists' calculations show that since 1850, as a result of anthropogenic activities, 2.400 billion tons of CO_2 equivalent greenhouse gases have been emitted in the world, and they have been stored in the atmosphere for hundreds of years, creating a cumulative warming effect. In such situation, scientists have calculated that if only an additional 400 billion tons of CO_2 equivalent greenhouse gases are released into the atmosphere, the probability of keeping the average annual temperature rise at 1,5 °C will be only 66 % [7]. If we consider that about 50 billion tons of CO_2 equivalent heating gases are released globally into the atmosphere every year, then it is important to find out how severe this problem is and to urgently consolidate it in order to combat global warming [7]. It should be noted that the level of annual emissions in 1990 was about 35 billion tons of CO_2 equivalent, but has continued to rise steadily. To keep global warming at 1,5 °C, the IPCC considers it necessary to halve global GHG emissions by 2030 and achieve net-zero emission target by 2050 [8].

In light of the global climate change efforts, UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) [9], as an effective international mechanism, as well as other climate change related treaties - the Kyoto Protocol and Paris Agreement embedded international norms aiming to stabilize GHG concentrations in the atmosphere at a level that will prevent dangerous human interference with the climate system, in a time frame which allows ecosystems to adapt naturally and enables sustainable development. It's namely the Paris Agreement that set out a global framework to avoid dangerous climate change by limiting global warming to well below 2 °C and pursuing efforts to limit it to 1,5 °C. It also aims to strengthen countries' ability to deal with the impacts of climate change and support them in their efforts. Regarding these efforts, Nationally Determined Contribution (NDC) is the pivotal document for each country- Party of the Paris Agreement [10], where the country has to declare a target of reduction of its national emissions and adapt to the impacts of climate change. According to the Article 4, paragraph 2, each Party is required to prepare, communicate and maintain successive Nationally Determined Contributions (NDCs) documents that it intends to achieve. Parties shall pursue domestic mitigation measures, with the aim of achieving the objectives of such contributions.

Moreover, according to the paragraph 19 of the Article 4 of the Paris Agreement, Parties should strive to formulate and communicate long-term low greenhouse gas emission development strategies (LT-LEDS). Taking into consideration this norm, Parties are invited to communicate these strategies to the Secretariat of UNFCCC by 2020, according to the clause 35 of the decision 1/CP 21 of UNFCCC [10]. Actually, long-term low emissions development strategies (LT-LEDS) are a crucial policy tool that can help to place short-term actions in the context of the long-term structural changes required to transition to a low-carbon, climate change resilient economy by 2050. Besides that, they can help to explore the consequences of policy choices in terms of integrated socio-economic objectives [11]. LT-LEDS should be mainstreamed to the national policy process, and represent a useful way of structuring national policy debates in a transparent, productive and ambitious way.

Another important article of the Paris Agreement is Article 13 establishing an Enhanced Transparency Framework (ETF) designed to build trust and confidence that all countries are contributing their share to the global efforts. In fact, the Katowice Conference of Parties of UNFCCC (COP24) that was held in 2018, outlined a new framework for all countries by adopting a detailed set of modalities, procedures and guidelines (MPGs) that make it operational. Through the detailed guidance on the reporting/review/consideration processes for the information to be submitted and by making these reports publicly available, the ETF will make it possible to track the progress made by each country – Party of PA. In this way, it will be possible to compare a country's actions against its plans and ambitions as described in its NDCs. On adopting ETF format, the Parties agreed at CMA.3 (Conference of Parties during the COP26 in Glasgow) [12] to provide common reporting tables for national GHG inventories; common tabular formats (CTF) for tracking progress towards NDCs and climate finance, technology transfer and capacity building; outlines of

the Biennial Transparency Report (BTR), national inventory document and technical expert review report; and a training programme for the technical review experts.

Actually, all developed countries and not only they have been consolidated to accelerate the twin green and digital transitions and associated transformation of their economy, industry and society with a view to achieving climate neutrality by 2050. This encompasses the transition to greenhouse gas neutrality of the energy and mobility sectors by 2050 at the latest, while boosting their competitiveness, resilience, and utility for citizens and society. For example, the European Climate Law [13] requires the EU economy and society to become climate-neutral by 2050 in a socially fair and cost-efficient manner and, as an intermediate target, to reduce net greenhouse gas emissions by at least 55 % by 2030 (compared to 1990 levels). İn this regard, despite the active turbulences in energy market of EU because of the sanctions against Russia waging war in Ukraine, EU countries and some other developed countries have been at the forefront of climate science and they committed to keep delivering the knowledge for enabling efficient long-term decarbonization pathways and just transitions to the climate neutrality. The right and efficient transition to the climate neutrality comprises various sectoral decarbonization pathways, including rural and particularly urban resilience scenarios etc. It's no coincidence that among COP27 Presidency (7…18 November 2022, Sharm el-Sheikh, Egypt) initiatives, one of the remarkable, in terms of GHG reduction and climate change adaptation, SDGs implementation initiatives was the Sustainable Urban Resilience for the next Generation (SURGE). Thus, contributing to building sustainable, inclusive and resilient urban systems, the work of the SURGe Initiative is guided by the following overarching ten principles:

1. Low-carbon: reducing emissions and benefiting from cost savings from decreased energy use and improved energy and resource efficiency;

2. Resilient: strengthening the capacity of city systems and their inhabitants to maintain continuity through shocks and stresses and recover faster, while positively adapting and transforming towards urban sustainability, taking into account the management of internal and international migration into cities;

3. Nature-positive: Harnessing the potential of Nature-Based Solutions (NBS) to improve cities' socio-ecological resilience and wellbeing;

4. Fair, equitable, and inclusive: needs to reach the most vulnerable communities to climate change impacts by establishing social dialogue and participatory processes for co-design and prioritized implementation;

5. Multi-level climate governance and climate planning: recognizing the importance of collaboration between local, regional, and national governments and harnessing the cross-scale and cross-discipline relationships necessary for climate action to raise the ambitions of the NDCS;

6. Integrated: Leveraging co-benefits of investment in adaptation and mitigation measures while building on existing support, initiatives, and partnerships to leverage their impact and lessons learned;

7. Locally-led and culture-positive: Customize approaches depending on local contexts of new, rapidly developing cities, while recognizing that culture and heritage represent both an asset to be protected from climate impacts and a resource to strengthen the ability of communities to pursue transformative change;

8. Circular: promoting a circular value chain in buildings and constructions, but also in supply and disposal infrastructure systems, that aims at reducing both emissions and waste drastically while promoting innovation, affordability, ensuring food security, energy efficiency, and local development;

9. Financing-enabling: centered on capacity building, technology transfer, enabling frameworks and delivering solutions to support and enhance existing and innovating finance channels and mobilizing finance at scale while accelerating access for local and regional governments;

10. Health-promoting: recognizing the importance of health and wellbeing as an input to resilience, the power of health arguments to motivate change, and the significant economic and social co-benefits available from health-aware climate action.

Passing to the regional context of the environmental security in terms climate change impacts, one of the most vulnerable regions in the world in this regard is the South Caucasus region, that is related to the physical and geographical position of the regions. Serious negative impacts of climatic changes in the region are increasing aridity, Caspian Sea level-fluctuations, more frequent extreme weather events (e.g., severe droughts, floods, and hailstorms), making almost all economic sectors climate-sensitive. Nowadays, most countries in the region are already experiencing rising temperature, increasing water scarcity, rising frequency of droughts and forest fires, as well as growing rates of desertification. Particularly climate-sensitive economic sector for the countries of the region is agriculture and this problem necessitates global and regional cooperation towards implementation of effective mitigation and adaptation measures, because of the regional food security and the fact that the majority of the population of the region extensively depends on agriculture sector for their livelihoods.

In this region, Azerbaijan is particularly vulnerable to climate change impacts. According to weekly drought monitoring data received from NASA from GRACE satellites, the country has been exposed to a sharp drought both in terms of underground water and terrestrial humidity. Moreover, according to the report of UNDP containing climate change impacts projection, as a result of the drought caused by the climate change for the period 2021...2050, water supply of the country will decrease by 23 % [14] In April, 2022, «Azercosmos» OJSC has prepared and submitted to the government an assessment report "Impact of global climate change on the Republic of Azerbaijan", where it's proved a satellite assessment of the impacts of climate change on the base of satellite technology. The report evaluates effectiveness of measures against climate change on the base monitoring of effects of mitigation, adaptation measures, using satellite images provided by the high-frequency satellite «Azersky». The main results of the satellite monitoring confirm the scale of the predicted processes associated with climate change. These results could be summarized as follows:

1. In the winter season of the years 2017...2021, up to 30 % of field reductions were recorded in snow drifts;

2. According to the results of monitoring the mirror surface of water bodies over the past 5 years, there has been a decrease by 4,3 %, and throughout the country by 2 %., but there is an increase in area by 7...10 % compared to 2021.

3. As a result of analysis of changes in the water level of the Kura River based on satellite schemes, a decrease in the area of the mirror surface of the water was observed, and over the past 2 years it was found out that the width of the river in some places decreases up to 40...60 meters. Due to the decrease in the water level in the river, it was recorded that in 2021 the inflow of sea water was mixed into Kura River up the place near the village of Arabgardashbeyli of the Salyan district, situated even in the 45 km distance from the seaside.

4. Compared to the last 20 years, dry areas have been increased, and by 2021 the territories being subjected to a very severe drought the country has grown by 15 %.

5. Based on data processing over the past 20 years, 6 % more areas with a high risk of drought have been identified in the country [14]

Actually, all these climate change impacts could seriously undermine progress that has been made in the socio-economic and environmental activities of Azerbaijan during last 30 years, if the country will not timely implement effective climate change mitigation and adaptation measures, elaborate and proceed low emission and climate resilient development pathway including transition to the green economy, as it requires contemporary global environmental security standards.

Acknowledging global climate change challenges, Azerbaijan has already outlined the clean environment and green growth development priority among five national priorities within the «Azerbaijan 2030: National Priorities for Socio-Economic Development» document approved by the relevant Order of the President of the Republic of Azerbaijan issued on February 2, 2021. This strategic document was adopted in order to meet the national commitments to the United Nations' 2030 Agenda for Sustainable Development, as well as the Paris Climate Agreement and consists of the following priorities: (i) sustainably growing competitive economy; (ii) society based on dynamic, inclusive and social justice; (iii) competitive human capital and modern innovations space; (iv) great return to territories liberated from occupation; and (v) clean environment and «green

growth» country [15] . Realization of the last priority necessitates clear understanding and analysis of all effective strategies, policies, measures, scenarios of climate resilience, decarbonization prospective and the mentioned monograph of the author – «Low emission development outlook and its role in the environmental security system of the Republic of Azerbaijan» is an attempt towards detailed analysis of the long-term low GHG emission development scenarios, their classification in terms of GHG reduction potential and effectiveness in terms of SDG implementation, as well as their role in the environmental security of the country.

By the way, «Azerbaijan 2030: National Priorities for Socio-Economic Development» outlined new target to double Azerbaijan's GDP by 2030 under a new 10-year development plan which requires an average annual growth rate of 7 % of GDP [16].

It's remarkable that from the very beginning of the implementation of the Sustainable Development Goals they became of high importance for Azerbaijan [17]. Actually, the country is among few countries around the globe and the first in the South Caucasus region that has submitted its third Voluntary National Report (VNR) about implementation of the 2030 Agenda in the country [18]. Scoring 72,4 out of 100 points possible on the SDG achievement index, Azerbaijan ranks 55th out of 165 countries in the 2021 Sustainable Development Report with the best result in the region. These reports highlight Azerbaijan's progress in areas such as poverty reduction, healthcare, nutrition, women's labor force participation, clean water and sanitation, access to energy, internet usage, threatened species survival, as well as improving population welfare and sustainable development of cities and communities. Azerbaijan, along with crude oil and natural gas, recently became an exporter of electric energy. Today, the country exports electric energy to 4 neighboring countries. Meantime, actually domestic electricity consumption level tends to rise due to population growth and economic development.

Let's recall in chronical order the main steps of the country the field of climate change cooperation. After joining the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in 1995, in 1997 the late president Heydar Aliyev, taking into account the urgency of the problem related to climate change, issued Decree No. 560 dated April 30, 1997 «On measures to ensure the implementation of the commitments made by the Republic of Azerbaijan in accordance with the United Nations Framework Convention on Climate Change, approved by the Republic of Azerbaijan on January 10, 1995» establishing the State Commission on Climate Change in the country. On 11.03.2020, with the Decree [19] of the President of the Republic of Azerbaijan Ilham Aliyev, a new composition of the State Commission was determined. The establishment of this State Commission under the chairmanship of the Deputy Prime Minister of the Republic of Azerbaijan led to the strengthening of consistent institutional and legislative activities in the field of combating climate change in Azerbaijan. Thus, a special Working Group consisting of specialists and experts of state bodies was formed to organize the facilitate the work of the commission. Thus, along with the Ministry of Environment and Natural Resources, relevant specialists from the Ministry of Economy, the Ministry of Energy, the Ministry of Agriculture, the State Statistics Committee of the Republic of Azerbaijan and other state bodies were involved to the Working Group. On July 23, 2020, the first meeting of the State Commission was held, during which a number of important decisions were made, the Ministry of Ecology and Natural Resources (MENR) of the Republic of Azerbaijan was assigned as a responsible and coordinating body for regularly informing the Commission on the relevant activities implemented in this direction. Over the past period, the Republic of Azerbaijan has prepared and submitted its First National Communication (NC) (2000), Second National Communication (2010) and Third National Communication (2015), as well as its First Biennial Updated Report (BUR) (2014), Second Biennial Updated Report (2018) to the Convention Secretariat. The last, the Fourth National Communication was officially submitted to the secretariat on 23.06.21 [20]. The country submitted its INDC (Intended Nationally Determined Contributions) document on 19.01.2017, where it officially declared a target of 35 % reduction of its GHG emissions by 2030 compared with the base year (1990) level, taking into account national circumstances, national priorities of development, national interests of the country. The NDC2 Azerbaijan's revised commits to a 40 % reduction in emissions by 2050, compared to 1990 levels, conditional on international support [21]. The sectors identified for mitigation measures include

energy, industrial processes and product use, agriculture, land use, land use change and forestry, and waste.

2. MATERIALS AND METHODS

As it mentioned above, the actual paper contains some results of the monograph «Low emission development outlook and its role in the environmental security system of the Republic of Azerbaijan» studying the greenhouse gas (GHG) emission development pathways, i.e. scenarios (projections) in Azerbaijan for the next decades, taking into account the current NDC goals, on the base qualitative analyses, using of the special LEAP (Low Emissions Analysis Platform) modelling technique [22] for evaluation of the emission reduction effects of the relevant mitigation policies and measures. Each scenario is based on corresponding to mitigation policies, measures, as well as assumptions in the relevant sectors (corresponding to the 2006 IPCC Guidelines [23], AR4 emission factors) of reaching net-zero emission target. Moreover, there will be analyzed the mentioned scenarios in terms of their role in the environmental security of the country.

In order to conduct comparative analysis of all these GHG emissions development options there will be presented three GHG emission development scenarios, namely - Business as Usual (BAU) Scenario, Realistic Low Emission Development Scenario (RLEDS) and Best Low Emission Development Scenario (BLEDS). Let's bring some definitions of these development scenarios:

Business as Usual (BAU) Scenario is a projection of the level of GHG emissions that would result if future development trends follow those of the past and no change in climate change mitigation policies and measures take place. The scenario assumes that there are no climate change strategies, policies and measures being or to be implemented since 2021 [24], no relevant green transition changes in technology, economics etc. Business as Usual (BAU) Scenario is used later on as benchmark for other scenarios here below and separate mitigation policies and measures for qualitative assessment of their GHG reduction potential and effects. Here below in the paper, in order to evaluate the GHG emissions reduction of mitigation actions or their overall total effects within the Realistic Low Emission Development Scenario (RLEDS) or within the Best Low Emission Development Scenario (RLEDS) we'll provide a comparative analysis of each mitigation action vis-à-vis the BAU Scenario on the base of LEAP calculations. Hence the BAU Scenario plays a benchmark in our modelling analysis and it's elaborated on the base of the official statistical and other available data for the past years till the first scenario year - 2021. That's why for the years following the first scenario years, BAU Scenario corresponds to the development under the existing conditions, but without implementing any mitigation policies and measures.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the LEAP projection of the BAU Scenario, taking into account long-term assumptions on the national economy development.

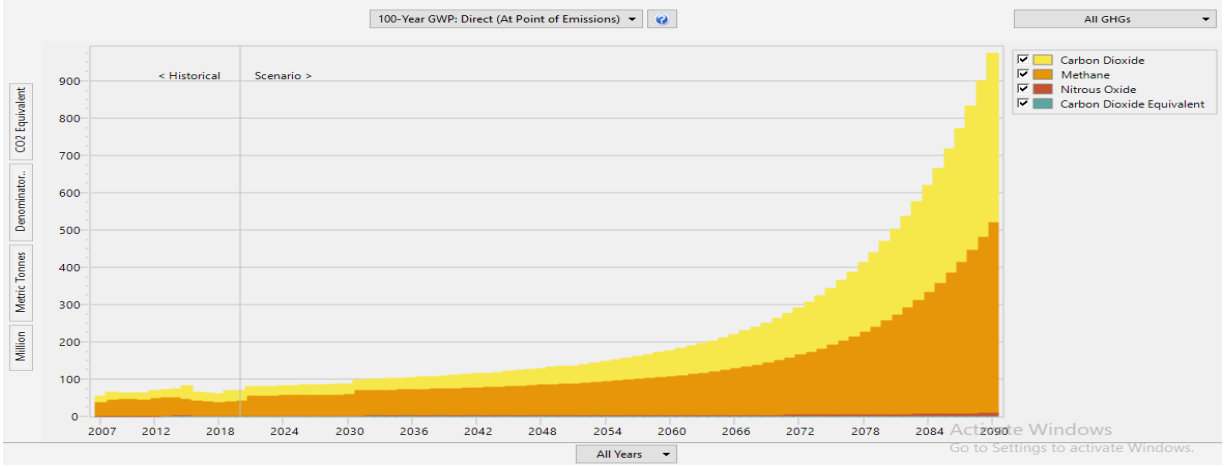


Figure 1. *GHG emissions projection in the BAU Scenario, LEAP*

As it can be seen from Figure 1, within the BAU scenario the volumes of GHG emissions will reach 87,9, 134,9 and 974,1 million tons of CO_2 equivalent (including removals), respectively by the years: 2030, 2050, 2095. The scenario assumes that there are neither any abatement policies, nor major changes in technology, green transition of economics, climate change policies, so that normal circumstances can be expected to continue unchanged.

Realistic Low Emission Development Scenario (RLEDS) is a projection of the level of GHG emissions in some separate sector or totally for all sectors (depending on assumptions in place), taking into account all mitigation policies and measures (sectoral or total) that have been formally (i.e. legally) adopted (with finance allocation) and still having mitigation effect or being implemented (it's WM scenario in terms of definitions given in many sources related to the *2006 IPCC* Guidelines [25]) by 2021 (as a first scenario year), as well as those which have not yet been formally adopted (without finance allocation) but have been agreed to be implemented in order to comply with the country reduction commitments (it's WAM scenario in terms of definitions given in many sources related to the *2006 IPCC* Guidelines). As it's seen from the definition, RLEDS in some sectors or in all sectors comprises both «with measures» (WM) and «with additional measure» (WAM) scenarios corresponding the relevant policies and measures. Here's the LEAP projection of this scenario taking into account national circumstances and implemented mitigation actions which are described in detail in the above-mentioned monograph [24].

According to the Figure 2, describing the RLED Scenario, the volumes of GHG emissions reach 42, 54,2 and 201,2 million tons of CO_2 equivalent (including removals) by 2030, 2050, 2090 respectively, which are much less than the relevant indicators of the BAU Scenario in the mentioned years.

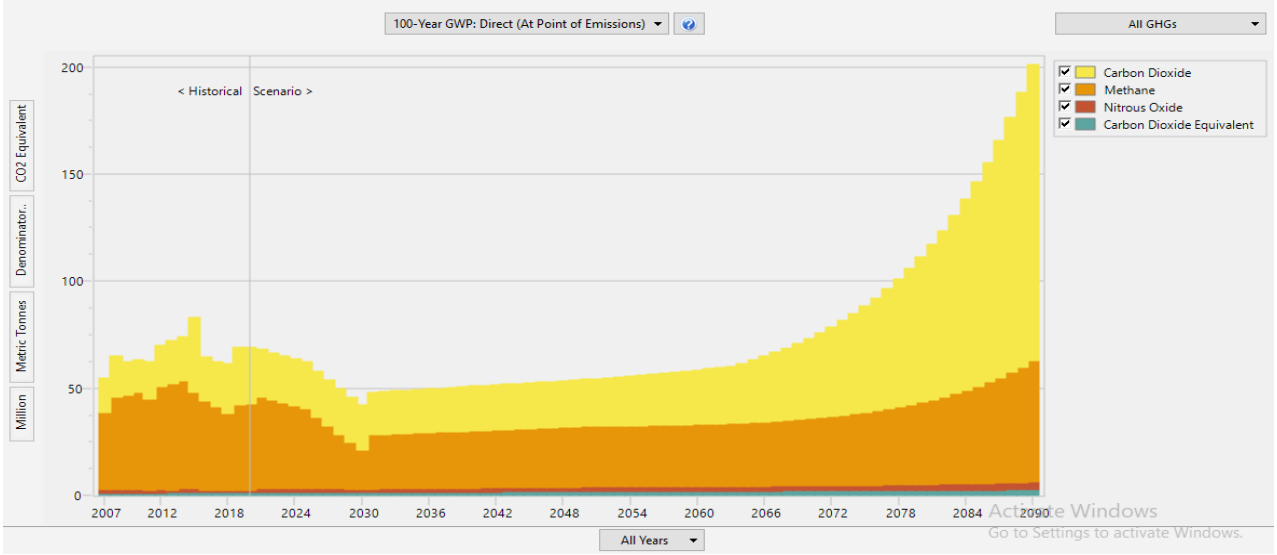


Figure 2. *GHG coverage projection within the BAU Scenario (LEAP model)*

Best Low Emission Development Scenario (RLEDS) is a projection of the level of GHG emissions in some separate sector or totally in all sectors that takes into consideration all mitigation policies and measures of the RLEDS by 2021 (as a first scenario year), that is added with additional assumptions in order to reach net-zero emission level by some year in the future. In fact, the scenario is based on the necessary conditions and assumptions of reaching net-zero emission level in the future. This scenario in some sectors or totally for all sectors (depending on assumptions in place) should be considered the most needed and important pathway for each country in light of the Paris Agreement and above-mentioned Conference of Parties decisions.

By the way, the term «low-emission development» and abbreviation «LEDS» (i.e. low-emission development strategy) were first appeared in some documents of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in 2008 [26]. Despite the fact, the term «low-emission development» has no still agreed formal definition, actually it's broadly used by the specialists, describing forward-looking national economic development plans or strategies that

encompass low-emission and/or climate-resilient economic growth. Such strategies can provide value-added to existing climate change and development related roadmaps, strategic documents etc.

Here below, in order to be laconic and able to focus more on the scenario of decarbonization of the country, i.e. BLED Scenario, we'll provide more detailed description of the LEAP calculations only for the Best Low Emission Development (BLED) Scenario.

Best Low Emission Development (BLED) Scenario

In this section, for the purpose of brevity we'll consider only mitigation strategies, policies, actions related mainly to the Energy sector, all other mitigation actions are given in the above-mentioned monograph [24].

Best Low Emission Development (BLED) Scenario includes all the mitigation policies and measures of the Realistic Low Emissions Development Scenario (RLEDS), in the Energy sector they are following:

1) Reduction of Associated Petroleum Gas (APG) emissions in the oil production (mitigation action, being implemented by SOCAR);
2) Reduction of leakage in gas distribution system via modernization of whole system (mitigation action, being implemented by «Azerigas» Production Association of SOCAR)
3) Oil and natural gas production;
4) Flaring gas volume reduction within Azeri-Chirag-Guneshli (ACG) project (mitigation action, being implemented by - BP (Azerbaijan));
5) BP 10-year sustainable emissions reduction Plan;
6) BP South Caucasus Pipeline expansion (SCPX) offset project;
7) Oil and natural gas production;
8) Drilling process - Application of new technologies (Implemented by – SOCAR);
9) Oil refining production process optimization action at Heydar Aliyev Oil Refinery (Implemented by – Heydar Aliyev Oil Refinery (SOCAR));
10) Electric power industry.

Mitigation measure to improve energy efficiency in electricity generation (being implemented by Azenerji LLC). All actual mitigation measures in this field of electric power industry period could be grouped as follows:

1) Rehabilitation of obsolete power plants;
2) Construction of new stations with high energy efficiency;
3) Reconstruction of transmission and distribution networks;
4) Improve energy efficiency in the demand sector;
5) Construction of power plants based on renewable energy sources;
6) Improve tariff policy.

Besides the mentioned mitigation measures, let's additionally propose the following GHG reduction assumptions in the Energy sector within the Best Low Emission Development (BLED) Scenario:

1) Annual oil production reduction by 1 % beginning from 2021 within the global trend on reduction of oil production;
2) Annual wood consumptions decrease by 3 % in the Commercial and Public sectors of the country beginning from 2021;
3) Natural gas production reduction by 1 % beginning from 2021
4) Natural gas leakages reduction up to 1 % by 2050;
5) Annual gas consumption decreases by 1 % in the Household since 2021;
6) Annual decrease of motor gasoline consumption by 1% in the Household, Agriculture (forestry, fishing) since 2021;
7) Annual decrease by 5 % of the thermal energy production and its gradually substitution by renewable energy production according to the relevant state programs;

As well as the following assumptions in the Transport sector:

1) Annual decrease by 5 % of the diesel consumption in transport sector since 2021;
2) Annual decrease by 2 % of motor gasoline consumption in transport sector since 2021;
3) Annual decrease by 1 % of the LPG consumption in transport sector since 2021;
4) Annual decrease by 2 % of the CNG consumption in transport sector since 2030;

5) Completion of the electrification of the National Railroad System by 2030.

All these assumptions are quite feasible due to the overarching policies and measures of greening of economy (expanding use of renewable energy sources, green hydrogen production, energy effectiveness measures, climate smart technologies etc) incorporated to the mentioned five national priorities of the «Azerbaijan 2030: National Priorities for Socio-Economic Development» document approved by the relevant Order of the President of the Republic of Azerbaijan issued on February 2, 2021.

In order to measure the overall total effect of mitigation policies and measures within **Best Low Emission Development Scenario (RLEDS)** in the Energy sector we'll provide comparative analysis of the GHG emissions reduction generated during **the BLEDS** and **the BAU Scenario** via LEAP modelling. For this purpose, all the above-mentioned assumptions and measures have been analyzed and modelled in LEAP and included to BLED Scenario.

Upon modeling all the mitigation measures and assumptions in all sectors we'll get the following graph 3 and table 1 reflecting GHG-coverage of the GHG emissions within the BLED Scenario.

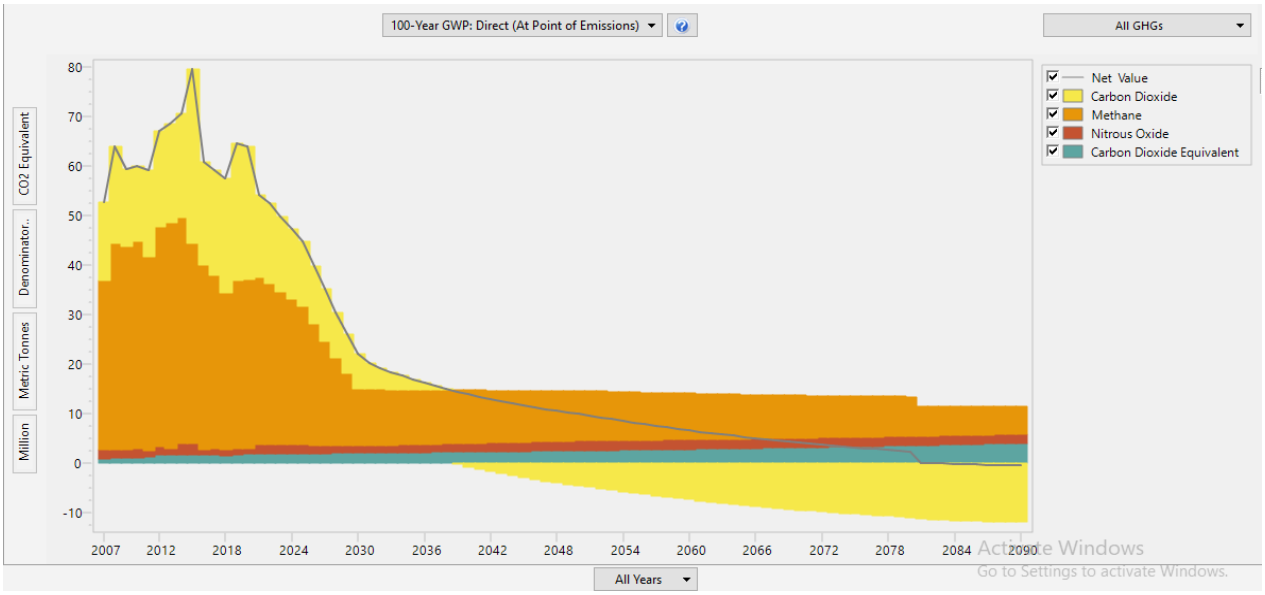


Figure 3 *GHG coverage projection within the BLED Scenario (LEAP model)*

As it's seen from the last table corresponding to the Figure 3, i.e. the projection of the BLEDS, within this scenario GHG emissions reaches net zero emission level in 2081, i.e. all emissions by sources and removals by sinks become equal.

4. CONCLUSION

For each country it's extremely important to have a GHG pathway bringing the country to the carbon neutrality. By the way, according to the relevant methodology of calculation of total effects of above-mentioned mitigation policies, measures, as well as assumptions within this pathway, the year of net zero emissions could be earlier or later than 2081, depending on the relevant assumptions that could be strengthened or weakened dictated by the national circumstances of the socio-economic development.

Moreover, within the BLEDS pathway Azerbaijan could successfully reduce its emissions even up to 86 % level by 2050 compared to the 1990 emissions, that is much more under the 2050s goal of 40 % reduction of emissions. «40 % reduction» target by 2050 has been included to the NDC2 of the country and a new updated version of NDC document is going to be officially submitted to the Secretariat of UNFCCC before COP30 in Belem (Brazil) on November, 10...21, 2025. As it was in the RLEDS, within the BLEDS we could notice that an essential part of mitigation potential relates namely to the mitigation policies, actions and assumptions in the Energy sector.

Table 1

GHG-coverage of the GHG emissions within the BLED Scenario, million tons of CO_2 equivalent

GHG	CO2	CH_4	N_2O	CO_2 eq	TOTAL
2021	16,7	33,8	2,0	1,8	54,3
2022	16,3	32,5	2,0	1,8	52,5
2023	15,2	31,0	1,9	1,8	49,9
2024	14,1	29,5	1,8	1,8	47,3
2025	13,1	28,1	1,8	1,9	44,7
2026	11,8	24,5	1,7	1,9	39,8
2027	10,5	21,0	1,6	1,9	35,1
2028	9,3	17,7	1,6	1,9	30,5
2029	8,1	14,6	1,5	2,0	26,1
2030	7,0	11,7	1,4	2,0	22,0
2031	5,2	11,5	1,4	2,0	20,1
2032	4,3	11,4	1,5	2,0	19,2
2033	3,5	11,3	1,5	2,0	18,3
2034	2,8	11,2	1,5	2,1	17,6
2035	2,1	11,1	1,6	2,1	16,9
2036	1,5	11,1	1,6	2,1	16,2
2037	0,9	11,0	1,6	2,1	15,6
2038	0,3	10,9	1,6	2,2	15,0
2039	-0,3	10,8	1,7	2,2	14,4
2040	-0,8	10,8	1,7	2,2	13,9
2041	-1,3	10,7	1,7	2,2	13,3
2042	-1,8	10,6	1,8	2,2	12,8
2043	-2,2	10,6	1,8	2,3	12,4
2044	-2,6	10,5	1,8	2,3	12,0
2045	-3,0	10,4	1,9	2,3	11,6
2046	-3,4	10,4	1,9	2,3	11,2
2047	-3,8	10,3	1,9	2,4	10,8
2048	-4,1	10,2	1,9	2,4	10,5
2049	-4,4	10,2	2,0	2,4	10,2
2050	-4,6	10,1	2,0	2,4	9,9
2051	-5,0	10,0	2,0	2,5	9,6
2052	-5,3	10,0	2,0	2,5	9,2
2053	-5,6	9,9	2,0	2,5	8,8
2054	-5,9	9,8	2,0	2,6	8,5
2055	-6,1	9,7	2,0	2,6	8,1
2056	-6,1	9,6	2,0	2,6	7,8
2057	-6,7	9,6	2,0	2,6	7,5
2058	-7,0	9,5	2,0	2,7	7,2
2059	-7,2	9,4	2,0	2,7	6,9
2060	-7,5	9,3	2,0	2,7	6,6
2061	-7,7	9,3	1,9	2,8	6,3
2062	-7,9	9,2	1,9	2,8	6,0
2063	-8,2	9,1	1,9	2,8	5,7
2064	-8,4	9,0	1,9	2,9	5,5
2065	-8,6	9,0	1,9	2,9	5,2
2066	-8,8	8,9	1,9	2,9	5,0
2067	-9,0	8,8	1,9	3,0	4,7
2068	-9,2	8,8	1,9	3,0	4,5
2069	-9,4	8,7	1,9	3,0	4,3
2070	-9,6	8,6	1,9	3,1	4,1
2071	-9,8	8,6	1,9	3,1	3,8
2072	-9,9	8,5	1,9	3,2	3,6
2073	-10,1	8,4	1,9	3,2	3,5
2074	-10,2	8,4	1,9	3,2	3,3
2075	-10,4	8,3	1,9	3,3	3,1
2076	-10,5	8,3	1,9	3,3	2,9
2077	-10,7	8,2	1,9	3,4	2,8
2078	-10,8	8,1	1,9	3,4	2,6
2079	-10,9	8,1	1,9	3,4	2,5
2080	-11,1	8,0	1,9	3,5	2,3
2081	-11,4	6,0	1,9	3,5	0,0

In order to strengthen legal and institutional framework for decarbonization and climate resilience, first of all it's necessary to establish MRV (Measurement, Reporting, Verification) system related in the previous paragraphs, as well as establish ETF (Enhanced Transparency Framework) for effective implementation of goals of NDC documents and enlarge participation of

the country in the global climate change efforts. For this purpose, actually the government of the Republic of Azerbaijan undertakes necessary measures on the base of best international experiences.

REFERENCES

1. WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55°C above pre-industrial level [Electronic resource] URL: https://wmo.int/media/news/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level, date of access: 15.02.2025
2. United Nations Environment Programme (2023). Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again). Nairobi, 2023, 100 p. DOI: https://doi.org/10.59117/20.500.11822/4392
3. Dell'Anna F. (2021). Green jobs and energy efficiency as strategies for economic growth and the reduction of environmental impacts. Energy Policy, Vol. 149, pp. 112031
4. Kumar R. (2020). The United Nations and global environmental governance. Strategic Analysis, Vol. 44(5), pp. 479-489.
5. IPCC Updates Methodology for Greenhouse Gas Inventories [Electronic resource] URL: https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement, date of access: 15.02.2025
6. Climate Change 2021: The Physical Science Basis [Electronic resource] URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1, date of access: 15.02.2025
7. Hannah Ritchie, Pablo Rosado, and Max Roser (2020) Greenhouse gas emissions (scientific article, IPCC) [Electronic resource] URL: https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm, date of access: 15.01.2025
8. Special Report: Global Warming of 1.5 ºC. Summary for Policymakers. [Electronic resource] URL: https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/, date of access: 15.01.2025
9. What is the United Nations Framework Convention on Climate Change? [Electronic resource] URL: https://unfccc.int/process-and-meetings/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change, date of access: 15.01.2025
10. Paris Agreement (2015). FCCC/CP/2015/10/Add.1 [Electronic resource] URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english.pdf, date of access: 10.12.2025
11. Colombier M., Spencer T., Waisman H. (2016) Long-term low emissions development strategies and the Paris Agreement – Why, what and how?. IDDR, 4 p. [Electronic resource] URL: https://www.iddri.org/sites/default/files/import/publications/pb0616_ts-et-al_lt-leds.pdf, date of access: 10.12.2025
12. Overview of the enhanced transparency framework under the Paris Agreement. UNFCCC. [Electronic resource] URL: https://transparency-partnership.net/system/files/document/20190424_Intro%20to%20MRV_Jigme.pdf, date of access: 10.12.2025
13. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) [Electronic resource] URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj/eng, date of access: 10.12.2025
14. Assessment report on «Impact of global climate change on the Republic of Azerbaijan» by the «Azercosmos» OJSC, April 2022.
15. Vision 2030: National priorities for robust socio-economic development in Azerbaijan [Electronic resource] URL: https://azertag.az/en/xeber/Vision_2030_National_priorities_for_robust_socio_economic_development_in_Azerbaijan-1846113, date of access: 10.01.2025
16. Mikayil Jabbarov: «Target to double Azerbaijan's GDP by 2030 will be challenging» [Electronic resource] URL: https://apa.az/en/xeber/finance-news/Mikayil-Jabbarov-Target-to-double-Azerbaijans-GDP-by-2030-will-be-challenging-3407236, date of access: 10.01.2025
17. MAIN MESSAGES FOR THE 3rd VNR OF AZERBAIJAN [Electronic resource] URL: https://sustainabledevelopment.un.org/memberstates/azerbaijan, date of access: 10.01.2025
18. Speech of President of Azerbaijan Ilham Aliyev in video format was presented at the annual General Debate of the 76th session of the UN General Assembly [Electronic resource] URL: https://president.az/en/articles/view/53197, date of access: 10.01.2025
19. Decree of the President of the Republic of Azerbaijan on amending Decree No. 560 of the President of the Republic of Azerbaijan dated April 30, 1997 «On measures to ensure the implementation of the commitments accepted by the Republic of Azerbaijan in accordance with the United Nations Framework Convention on Climate Change, ratified by the Republic of Azerbaijan on January 10, 1995» [Electronic resource] URL: https://president.az/az/articles/view/36144, date of access: 10.01.2025
20. Fourth national communication to the united nations framework convention on climate change (2021). Ministry of Ecology and Natural Resources Republic of Azerbaijan, Baku, 328 p.
21. «The Republic of Azerbaijan. Updated document on Nationally Determined Contributions (NDC)» [Electronic resource] URL: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-10/Second%20NDC_Azerbaijan_ENG_Final%20%281%29.pdf, date of access: 10.01.2025
22. LEAP-GPT: A new AI assistant for LEAP [Electronic resource] URL: https://leap.sei.org/, date of access: 10.01.2025
23. IPCC 2006 (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
24. Humbatov F. Low emission development outlook and its role in the environmental security system of the Republic of Azerbaijan, monograph, Baku, 2021, 256 p.
25. Anderl M., Gössl M., Haider S., Heinfellner H., Krutzler T., Lampert C., Pazdernik K., Purzner M., Poupa S., Perl D., Schieder W., Schmid C., Stranner G., Schodl B., Storch A., Wiesenberger H., Weiss P., Zechmeister A. (2021) GHG PROJECTIONS AND ASSESSMENT OF POLICIES AND MEASURES IN AUSTRIA. Umweltbundesamt GmbH, Vienna, p. 184.
26. Environment. [Electronic resource] URL: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/low-emission-development-strategies-leds 5k451mzrnt37-en, date of access: 10.01.2025

ӘЗІРБАЙЖАН РЕСПУБЛИКАСЫН ДЕКАРБОНИЗАЦИЯЛАУ ЖОЛДАРЫ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІК МӘСЕЛЕЛЕРІ

Фуад Гумбатов[1, 2] PhD, қауымдастырылған профессор

[1] Әзірбайжан Республикасының Экология және табиғи ресурстар Министрлігі жанындағы Ұлттық гидрометеорологиялық қызмет, Баку, Әзірбайжан; fuad.humbatov@eco.gov.az
[2] Әзірбайжан Республикасы Президентінің жанындағы Мемлекеттік басқару Мемлекеттік Академиясы, Баку, Әзірбайжан; fuad.humbatov@eco.gov.az
Автор корреспондент: Фуад Гумбатов, fuad.humbatov@eco.gov.az

ТҮЙІН СӨЗДЕР

салдарды азайту шаралары
парниктік газдар (ПГ)
экологиялық қауіпсіздік
климаттың өзгеруінің тұрақты даму
жаңартылатын энергия көздері
ПГ түгендеу
жеңілдету саясаты

Мақала жайында:
Жіберілді: 5.03.2025
Қайта қаралды: 16.05.2025
Қабылданды: 23.06.2025
Жарияланды: 30.06.2025

АБСТРАКТ

Мақалада XXI ғасырдағы Әзірбайжан Республикасы үшін климаттың өзгеруіне қарсы күрестің ұлттық контексті, экологиялық қауіпсіздік, парниктік газдар шығарындыларының (ПГ) төмен даму сценарийлері зерттеледі, елдегі жасыл экономикаға көшудің оңтайлы жолдары талданады. Париж келісімінің 4 - бабының 19-тармағында Келісімге қатысушы әрбір елдің парниктік газдар шығарындылары төмен ұзақ мерзімді даму стратегияларын (LT-LEDS) тұжырымдау және жұртшылықтың назарына жеткізу міндеті айқындалғандықтан, мұндай стратегияны дайындау Келісімнің әрбір қатысушысы үшін басым болып табылады. Осыған байланысты мақалада Әзірбайжандағы декарбонизация сценарийінің энергетикалық және экологиялық сипаттамаларына ерекше назар аударылады.

ПУТИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ РЕСПУБЛИКИ АЗЕРБАЙДЖАН И ВЫЗОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Фуад Гумбатов[1, 2] PhD, ассоциированный профессор

[1] Национальная гидрометеорологическая служба при Министерстве экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан; fuad.humbatov@eco.gov.az
[2] Государственная академия государственного управления при Президенте Азербайджанской Республики. Баку, Азербайджан; fuad.humbatov@eco.gov.az
Автор корреспондент: Фуад Гумбатов, fuad.humbatov@eco.gov.az

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

меры по смягчению последствий
парниковые газы (ПГ)
экологическая безопасность
устойчивое развитие изменение климата
возобновляемые источники энергии
инвентаризация ПГ
политика смягчения последствий

По статье:
Получено: 5.03.2025
Пересмотрено: 16.05.2025
Принято: 23.06.2025
Опубликовано: 30.06.2025

АБСТРАКТ

В статье исследуется национальный контекст борьбы с изменением климата, экологическая безопасность, сценарии развития с низким уровнем выбросов парниковых газов (ПГ) для Азербайджанской Республики в XXI веке, анализируются оптимальные пути перехода к зеленой экономике в стране. Поскольку в пункте 19 статьи 4 Парижского соглашения определена задача каждой страны - участницы Соглашения сформулировать и довести до сведения общественности долгосрочные стратегии развития с низким уровнем выбросов парниковых газов (LT-LEDS), подготовка такой стратегии является приоритетной для каждой участницы Соглашения. В связи с этим в статье особое внимание уделяется энергетическим и экологическим характеристикам сценария декарбонизации в Азербайджане.

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

Гидрометеорология и экология

Ғылыми мақала

ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНЫҢ ОРМАН ЛАНДШАФТТАРЫНДАҒЫ ӨРТТЕРДІҢ КЕҢІСТІКТІК ТАРАЛУЫ

Мурабек К. Омаров*, Алтын А. Жангужина PhD, қауымдастырылған профессоры

Л. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан; murabekomarov@mail.ru (МКО), altyn8828@mail.ru.(ААЖ)
Автор корреспондент: Мурабек К. Омаров, murabekomarov@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

орман өрттері
өрттердің кеңістіктік таралуы
ЖҚЗ
dNBR
Павлодар облысы

АБСТРАКТ

Еліміздегі сонымен қатар Павлодар облысының аумағындағы орман ландшафтарындағы өрттердің пайда болуы мен таралуы, табиғатты қорғап сақтау бағытындағы басты мәселелердің бірі болып отыр. Бұл зерттеуде облыс аумағындағы 2020...2024 жылдар аралығындағы орман өрттерінің кеңістіктік таралуы қарастырылған. Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) деректеріне негізделген, бұл өрттердің негізгі ошақтарын анықтауға, сондай-ақ әртүрлі жылдардағы өрттердің қарқындылығы мен жиілігінің тенденцияларын анықтауға мүмкіндік берді. Орман ландшафттарындағы өрт шалған аймақтың жағдайын дәлірек бағалау үшін өрттен зардап шеккен бақылау учаскесі үшін есептелген Өртеңнің қалыпты айырмасының индексі (dNBR) пайдаланылды. Аймақтың әртүрлі ландшафттық аймақтарындағы өрт әсерінің динамикасы мен құрылымын визуализациялауды қамтамасыз ететін осындай геоақпараттық жүйелерге негізделген картографиялық талдау (ГАЖ) өрттің пайда болған жерлерін жылдам анықтауға мүмкіндік беретіні зерделенді. Орман өрттерінің таралуын бақылау оларды болашақта алдын алу, болжау және өртті тоқтату бойынша жедел шараларды қолдануға әкеледі. Зерттеу нәтижелерін өрттің салдарын барынша азайтуға және орман экожүйелерінің тұрақты дамуын қамтамасыз етуге бағытталған орман алқаптарын қалпына келтіру жұмыстарын жоспарлауда, басқару стратегияларын әзірлеу үшін пайдалануға болады.

1. КІРІСПЕ

Қазақстан Республикасы Президентінің 2021...2025 жылдарға арналған «Жасыл Қазақстан» ұлттық бағдарламасы аясында халықтың өмір сүру сапасын және елдің экологиялық жағдайын жақсартуға бағытталған іс-шаралардың кешенді жүйесі жүзеге асырылуда. Бұл бағдарламаның негізгі аспектісі орман экожүйелерін қорғау және олардың аумағын 5 %-ға дейін ұлғайту жөніндегі шараларды жүзеге асыру болып табылады. Осы стратегиялық мақсатқа жету үшін орман алқаптарын сақтауға және қалпына келтіруге бағытталған көптеген арготехникалық іс-шаралар қолданылуды [1]. Сонымен бірге орман алқаптарының жай-күйін бақылауға ерекше көңіл бөлінуде, бұл олардың қауіпсіздігіне төнетін қатерлерді уақтылы анықтауға және жоюға мүмкіндік береді. Ормандарды өрттен қорғау да бағдарламаның басым бағыттарының бірі болып табылады. Антропогендік, сондай-ақ табиғи факторлардың әсерінен пайда болатын орман өрттері экожүйелерге елеулі қатер төндіреді. Орман өрттерінің таралуын зерттеу мен алдын алу жөніндегі іс-шаралар кешенін әзірлеу және жүзеге асыру заманауи технологиялар мен әдістерді қолдануды талап ететін өзекті міндет болып табылады.

Қазіргі уақытта орман алқаптарының өрттен қорғалуын қамтамасыз ету үшін инновациялық технологиялар мен жабдықтар қолданылуда. Жерсеріктік мониторингті қолдану орман экожүйелерінің жай-күйін жедел бақылауға, сондай-ақ өрт ошақтары сияқты ықтимал қауіптерді анықтауға мүмкіндік береді. Орман өрттерінің алдын алу және сөндірудің мамандандырылған құралдарын енгізу ормандарды қорғау және өрттен болатын залалды азайту шараларының тиімділігін арттырады.

Мақала жайында:
Жіберілді: 13.05.2025
Қайта қаралды: 15.05.2025
Қабылданды: 4.06.2025
Жарияланды: 30.06.2025

Дәйексөз үшін:
Омаров М., Жангужина А. Павлодар облысының орман ландшафттарындағы өрттердің кеңістік таралуы // Гидрометеорология и экология, №2 (117), 2025, 81-90.

Өрттер биоәртүрлілікке, климаттық процестерге және жергілікті халықтың әлеуметтік-экономикалық әл-ауқатына айтарлықтай әсер ететін маңызды экологиялық және экономикалық мәселе болып табылады. Павлодар облысының орман алқаптарындағы өрттердің жиілігінің жоғары екендігі байқалады, бұл олардың динамикасы мен кеңістікте таралуына егжей-тегжейлі талдауды қажет етеді.

Павлодар облысының орман ландшафттары аймақтың және оның табиғи байлықтарының экологиялық тұрақтылығының негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. «Ландшафт» ұғымы ғылымда кеңінен зерттелгенімен, «орман ландшафттары» ұғымы тереңірек зерттеуді қажет етеді. Көбінесе бұл ұғым біртұтас ормандар түзетін орманды алқаптармен байланысты айтылады. Орманды ландшафт - бұл жер бедерінің қандай да бір пішінін алып жатқан, біртекті экологиялық жағдайларға ие және шағын немесе біршама кең жер кеңістігінде оны құрайтын биогендік компоненттердің бірдей жиынтығымен сипатталатын географиялық ландшафттың құрамдас бөлігі. Негізінен, орманды ландшафттар белгілі бір аумақты қоршап тұрған орман өсімдіктерінің кешенімен анықталатын белгілі бір кеңістікті білдіреді [2…3].

Орманды ландшафттар биоәртүрліліктің жоғары деңгейімен және ағаш түрлерінің әртүрлілігімен сипатталады, бұл экожүйелердің тұрақтылығына ықпал етеді. Олар су режимін реттеуде, топырақ эрозиясының алдын алуда және атмосфералық ауаның сапасын жақсартуда маңызды рөл атқарады [4].

Жұмыста 2020...2024 жылдар аралығында Павлодар облысы аумағында болған өрттердің санымен көлемі және таралу кескіндері зерделенді. Негізгі мақсат - өрттердің кеңістіктік таралуына талдау жасап мен өрт шарпыған аумақтарды анықтау жолдарын қарастыру.

Орман ландшафттарының экожүйелік рөлін терең түсінуге және мониторинг пен қорғаудың заманауи әдістерін қолдануға негізделген кешенді басқару тәсілі аймақтың тұрақты дамуын және оның табиғи байлығын сақтауды қамтамасыз етудің негізгі факторы болып табылады.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Павлодар облыстағы жалпы мемлекеттік орман қорының – 57,5 % (275,5 мың га) ормандармен көмкерілген. Ал жалпы ауданы – 478,7 мың га. Бұл экожүйелер құрғақ климаттың құрғақтылығы мен төмен ылғалдылық және антропогендік факторларға байланысты өрт қауіптілігі жоғары болып саналады.

Павлодар облысы Қазақстанның солтүстік-шығысында Батыс Сібір тақтасымен Сарыарқаның түйіскен аумағында орналасқандықтан, оның жалпы табиғи ландшафттары алуан түрлі болады. Облыс аумағындағы орманды аймақтарды келесідей бөлуге болады [5…6]:

1. Павлодар облысының солтүстігіндегі шоқ ормандар.
2. Ертіс маңының таспалы ормандары.
3. Қазақтың ұсақ шоқыларындағы (Сарыарқа) ормандар.
4. Ертіс өзенінің жайылмалы ормандары.

Облыстың солтүстігіндегі шалғынды-қара, сортаң топырақтары бар оңтүстік қалыпты қара топырақты әртүрлі шөпті-қызыл селеулі, әртүрлі шөпті және дәнді аралас шалғынды өсімдіктері бар, сұр орманды, кәдімгі қара топырақтарымен шалғынды-қара топырақты, сондай-ақ шалғынды-қара топырақты аллювиалды, сортаң жерлерде өсетін әртүрлі шөпті қызыл селеулі көлдік-аллювиальді жалды, тегіс әлсіз тілімденген жазықты ландшафттарында қайыңды көктеректі орман шоқтары өседі. Негізгі орман түзуші ағаштары: қайың және ілеспе көктерек.

Павлодар облысының шығысында көлдік-аллювиалды және эолды жазықтардағы құмды ландшафттарда таспалы қарағайлы ормандарымен көктерек-қайыңды ормандары бар қарағайлы ормандар таралған. Негізгі түзуші ағаштары: кәдімгі қарағай, құлындылық экотипі.

Ертіс өзенінің жайылмасындағы аллювиалды-шалғынды топырақтарда әртүрлі шөпті-дәнді шалғынды, құмдармен саздақтардан құралған ландшафттарда талды тоғайлары бар ормандар өседі. Негізінен талды, ақ теректі бұталар.

Облыстың оңтүстігін қамтитын Баянауыл тауларында таудың қара топырақты қыналы және шөптесінді, күрт тілімденген аласа таулы ландшафттарында қарағайлы, қарағайлы-қайыңды ормандар кездеседі. Негізгі ағаштары қарағай, ілеспе қайың, көктерек.

Қайыңды көктеректі орман шоқтарынан құралған аумақтағы орман ландшафтылары Павлодар облысының «Үрлітүп ормандар мен жануарлар дүниесін қорғау жөніндегі мекемесіне аумағында шоғырланған, ауданы **– 46 453 га,** оның ішінде **орманмен жабылған – 37 222 га.**

Ертіс маңының қарағайлы ормандарындағы ландшафттар «Ертіс орманы» мемлекеттік табиғи орман резерватында (МТОР) қорғалады, ауданы – 277961 га, оның ішінде – 160538 га орманмен жабылған.

Ертіс өзенінің жайылмасындағы орман ландшафттары үш мекеме аумағын қамтиды олар: Павлодар, Үрлітүп және Максимо-Горький ормандар мен жануарлар дүниесін қорғау жөніндегі мекемелері. Павлодар мемлекеттік мекемесінде (ММ **- де) орман қоры – 53 449 га, оның ішінде ормандары – 30 410 га, Максимо-Горький ММ-де – 27 616 га, оның ішінде – 22 183 га орманды.** Үрлітүп ММ аумағындағы Ертіс өзенінің жайылмасына - 7291 га тиесілі.

Қазақтың ұсақ шоқыларындағы орманды ландшафттар Баянауыл мемлекеттік ұлттық табиғи паркінде (БМҰТП) шоғырланған, жалпы ауданы - 68452,8 га, оның ішінде - 19070 га орманмен жабылған [7].

Өңірдің климаты шұғыл континенталды, қысы суық, жазы ыстық және құрғақ. Бұл факторлар орманды алқаптардың таралуына және олардың ерекшеліктеріне тікелей әсер етеді.

Орман ландшафттарындағы өрттердің кеңістіктік таралуын талдауда заманауи геоақпараттық жүйелерді қолдану олардың болшақта алдын алу мен оның салдарларын жою бағытындағы жұмыстарын жеңілдетені айқын [8…12]. Осындай жүйеге Аэронавтика және ғарыш кеңістігін зерттеу агенттігі (NASA) әзірленген NASA Firms (Fire Information for Resource Management System) сайтын жатқызуға болады [13]. Олар MODIS және VIIRS жерсеріктері арқылы алынған өрт туралы жедел деректерді ұсынады. Бұл деректерді карта интерфейсі арқылы жүктеуге және көруге болады. Ол үшін тиісті уақыт диапазоны мен қызығушылық аймағын таңдау керек. Бұл өрт белсенділігі жоғары кезеңдерді анықтауға және ең көп зардап шеккен аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Қазіргі кезеңде қашықтан басқару құралдары Павлодар облысындағы өрттер туралы мәліметтерді жинаудың маңызды құралы болып табылады. Өрттерді зерттеудің және олардың салдарын бағалаудың заманауи технологиялары жерсеріктік деректерді пайдалану мен жалпылауға негізделген. Бұл әсіресе жерсеріктік бағалаулар жердегі бір реттік эксперименттердің нәтижелерін толықтыратын және экстраполяциялауға мүмкіндік беретін өсімдік жамылғысына өрттің әсерін талдау үшін өте маңызды. Мысалы, NBR/dNBR (Differenced Normalized Burn Ratio) көрсеткішінің және оның өртке дейінгі және одан кейінгі модификацияларының өзгеруіне сәйкес өсімдіктердің бұзылуының төрт класын жоғары сенімділікпен ажыратуға болады [14…15].

Математикалық тұрғыдан индекс ғарыштық суреттің жақын инфрақызыл және орта инфрақызыл арналарының айырмашылығының олардың қосындысына қатынасын пайдаланады (1):

$$NBR = (BNIR - BSWIR) / (BNIR + BSWIR) \quad (1)$$

Сараланған қалыпқа келтірілген жану коэффициенті (dNBR) - NBR-дің сараланған кескіні немесе өрттен кейінгі NBR-ді NBR-ден өртке дейін шегеру арқылы жасалған

өзгерістердің бейнесін береді. dNBR өртенген және өртке ұшарамаған жерлерді ажырату және өсімдіктердің күйіп қалу дәрежесінің кластарын анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін. dNBR келесідей есептеледі (2):

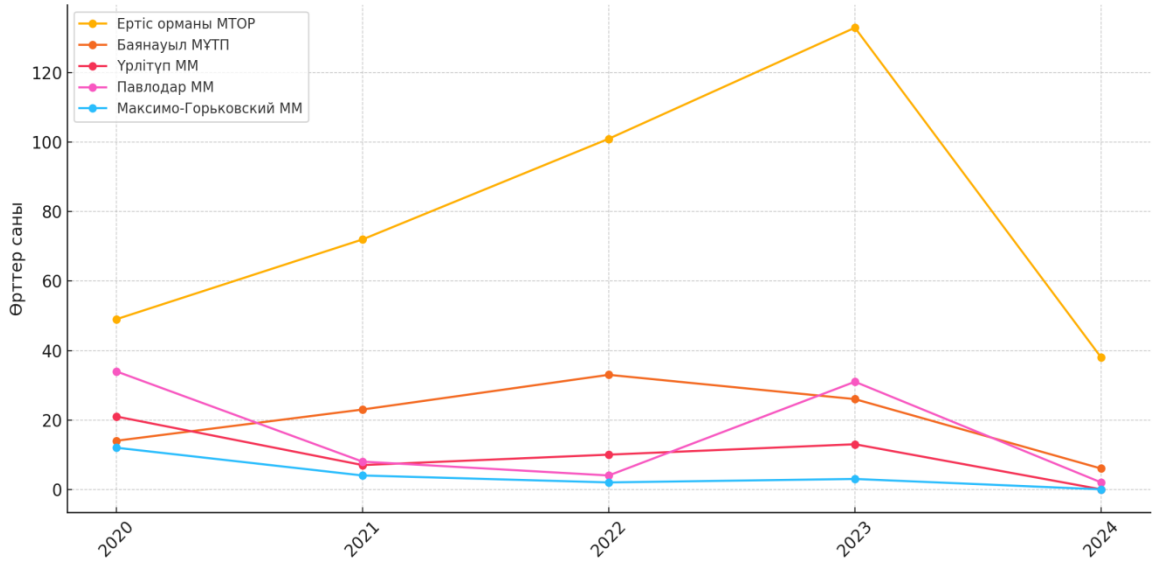
$$dNBR = NBR \text{ өртке дейін} - NBR \text{ өрттен кейін} \quad (2)$$

Өсімдіктердің инфрақызыл арнада шағылысуы өрттің салдарынан күрт өзгеріске ұшырайды. Осыған байланысты анықтау алгоритмінің әрекеттері арасындағы қатынастар арқылы өзгерістердің деректерін бекітуге негізделген өрт алдындағы күнге жақын және одан кейінгі күнге барынша жақын инфрақызыл сәулелену (NIR) және қысқа толқынды инфрақызыл сәулелену (SWIR) принциптеріне сүйенеді. Бірінші сурет 06.06.2023 күні жасалған болса, өрттен кейінгі сурет 09.09.2023 күнгі түсірілген. Жұмыста ашық каталогтардан алынған Landsat-8/OLI/TIRS жерсеріктік суреттері пайдаланылды [16].

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

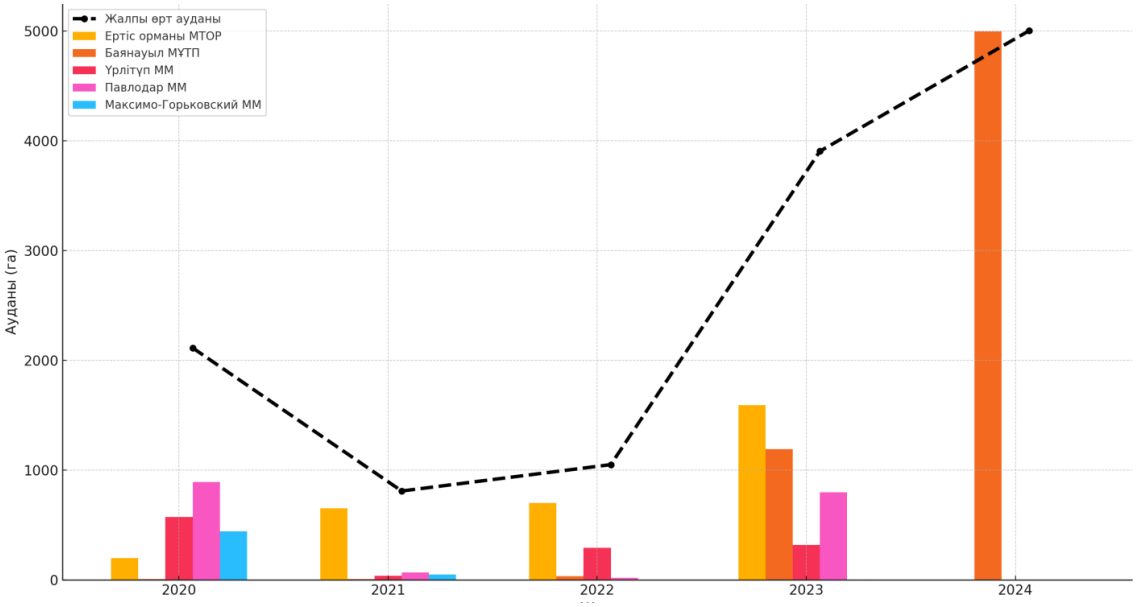
2020...2024 жылдар аралығындағы облыс аумағындағы өрттер орман қорлары көп республикалық ерекше қорғалатын табиғи аумақтарда көп болатыны байқалады, оның ішінде Ертіс орманы мемлекеттік табиғи орман резерватында көрсеткіштері жоғары екені айқындалып тұр [17]. Орманды алқабы ең көп және тығыз болып келетін бұл учаскеде табиғи факторлар әсерінен болатын өрттер саны басым. Басты себебі ретінде - найзағай жарқылы анықталып отыр. 2024 жылы барлық мекемелер бойынша өрттердің күрт төмендеуі өрттен қорғаудың тиімді шараларының артуына байланысты болуы мүмкін (сурет 1).

Аймақтардағы өрт динамикасы олардың пайда болу факторларымен себептерін толық зерттеуді қажет етеді.



Сурет 1. *Павлодар облысы аумағындағы болған өрттер саны (2020...2024 жж)*

Осы жылдардағы өрттер шарпыған аумақ аудандары бойынша ең көп зардап шегетен аумақтар Ертіс орманы МТОР және Баянауыл МТҰП екені байқалып тұр. Бұлда орман қоры көп, шоғырлану тығыздығы жоғары аумақтар болғандықтан өртті оқшаулау қиындықтарына байланысты болуы мүмкін. Ал 2024 жылы, **Баянауыл МҰТП-де** өрттің айтарлықтай үлкен аумақты қамтуы (5000 га шамасында), өрттің парк аумағындағы далалық (ормансыз) жерлерде болуымен байланысты (сурет 2).



Сурет 2. *Павлодар облысы бойынша өрт шалған аумақ ауданы (2020...2024 жж.)*

Орманды алқаптардың айналасында қалыптасатын далалық өрттер де ормандардың өртке ұшырауына тікелей әсер ететіні белгілі. Орман толығымен өртке дейінгі қалпына келуі үшін ағаштардың түрлеріне байланысты 50 жылдан астам уақыт кетуі мүмкін.

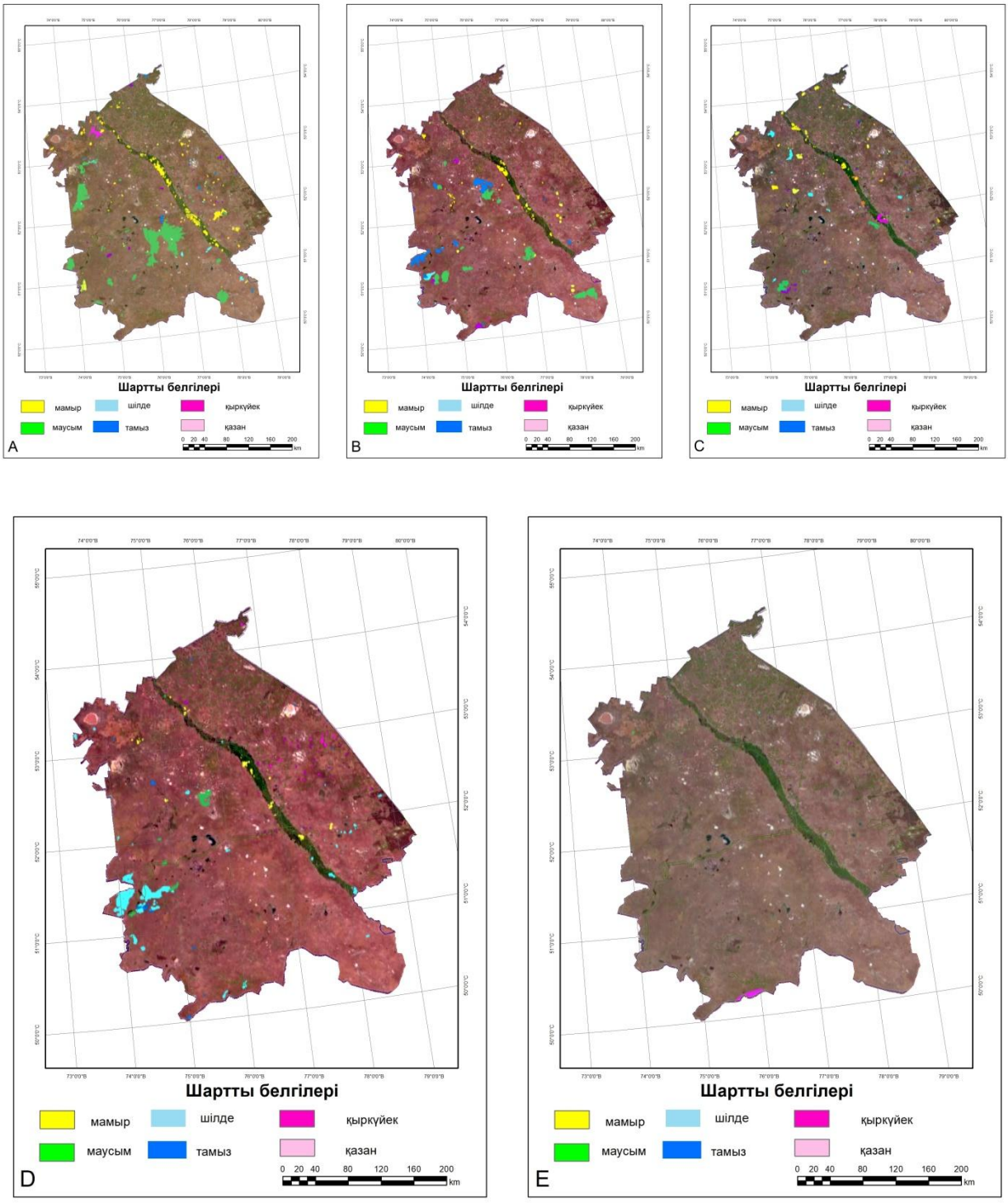
NASA Firms мәліметтеріне сүйене отырып 2020...2024 жылдары (A – 2020, B – 2021, C – 2022, D – 2023, E – 2024 жыл) болған өрттердің кеңістік-уақыттық таралуын зерттейтін болсақ (сурет 3), өрттердің таралуы облыстың түгелдей аймақтарын қамтығанын көреміз, оның ішінде өрттедің жекелеген ошақтары барлық ландшафттарда байқалады. Ертіс өзені жайылмасында өрттер жыл сайын қайталанатыны және ауданы жағынан көлемді өрттер Ертіс өзенінің сол жағалауында аймақтарды жиі болатындығы анықталды. Негізгі өрттер далалық аймақтарда болғанымен метеорологиялық факторларға байланысты орманды ландшафттарға жалғасуына әкеліп соқтырады. Ертіс өзені жайылмасындағы өрттер санымен көлемінің статистикалық мәлеметтерде айқын байқалмауы, жайылма аумағының жекелеген үш дербес мекеме ауданына енетіндіктен мәліметтерде жеке дара берілген. Негізгі себебі ауылшаруашылық мақсаттағы арнайы өртеулердің бақылаусыз қалып орман өршіп орман өрттеріне ұласуға әкелуінен болады.

Ал уақыттық таралуында да әркелкілік байқалғанымен облыстың солтүстігі мен орталығында көктемнің соңы мен жаз айларының басындағы өрттердің басым болғандығы айқындалып тұр. Облыстың оңтүстік бөлігінде өрттер негізінен жаз айларың ортасынан бастап күзгі айларды қамтығандығы көрініп тұр.

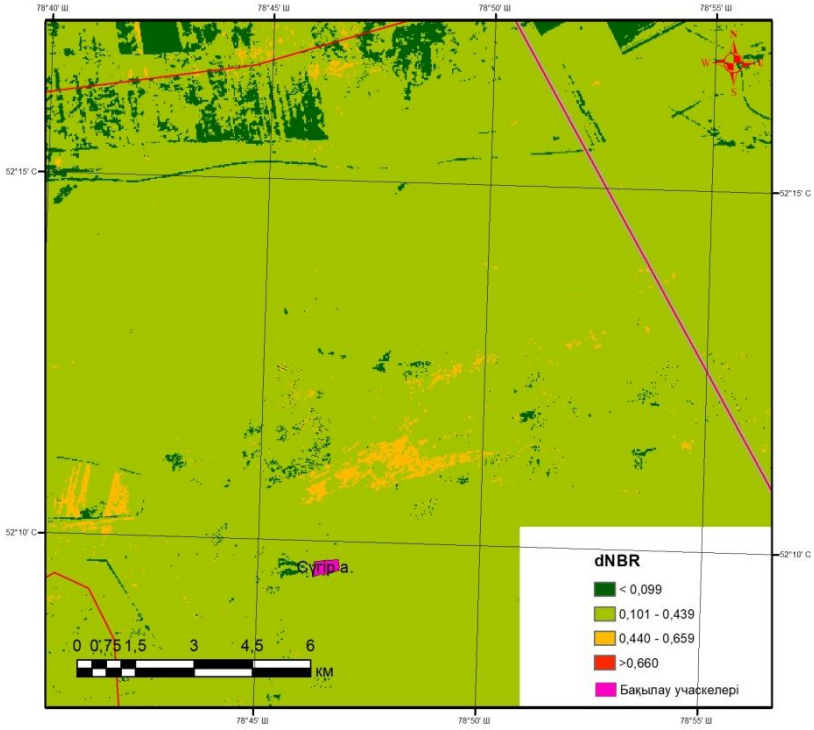
Болған өрттердің өсімдік жамылғысына өрт әсер ету деңгейі NBR / dNBR спектрлік көрсеткіші арқылы бағаланды (Landsat-8/OLI/TIRS жерсеріктік суреттері). Зерттелетін аумақ ретінде орман өрттері жиі болатын және жалпы орман қоры жоғары Ертіс орманы резерваты аумағы түсірілген 2023 жылғы ғарыштық суреттер негізінде dNBR индексі бойынша резерваттың солтүстігі бөлігінде өрт әсерінің орташа деңгейі бар учаскелер анықталды (сурет 4).

dNBR мәндерінің шекті диапазондарына негізделген өсімдіктерге өрт әсерінің 4 санаты бөлінді: 1 - жанбаған/елеулі зақымданбаған (dNBR < 0,099); 2 – төмен деңгейі (0,101…0,439); өрт әсерінің орташа деңгей (0,440...0,659); жоғары деңгей (>0,660) [18].

Біз қарастырған бақылау учаскесі ретінде Ертіс орман резерваты аумағында орналасқан Сүгір ауылы маңы алынды. Осы аймақтағы Сүгір ауылынан солтүстікке қарай анықталған dNBR индексінің мәндері орташа деңгейді көрсететін (0,440…0,659) учаскелер анықталды.



Сурет 3. *NASA Firms (Fire Information for Resource Management System) сайтынан алынған 2020...2024 жылдары болған өрт аумақтары*



Сурет 4. *Бақылау учаскесі маңында жеріксеріктік мәліметтерді өңдеу негізінде алынған dNBR индексі*

Анықталған учаскелерді толық зерттеп тексеру барысында Павлодар облысы Төтенше жағдайлар департаментінің мәліметтерімен расталды [19]. Бұл мәліметтерге сүйенсек орман резеваты аумағындағы Степной және Бауртал орманшылықтарында 2023 жылдың 15…16 шілдесі болған өрттің ауданы 659,59 гектарды құрады, оның 442,3 гектары орманмен жабылған. Залал 88 млн. теңгеден астам сомаға бағаланған. Өрттің таралуына ықпал ету екпіні 22 м/с-тан асатын қатты желмен шөптің құрғауынан, ал өрт қауіптілігі жоғары (5-класс) деңгейде анықталған.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Қорытындылай келе өрт ошақтарының географиялық таралуы мен уақыт динамикасы анықталды. Павлодар облысындағы орман ландшафттарындағы өрттер облыстың барлық аумағында байқалғанымен, негізгі орман қорлары шоғырланған Ертіс маңының қарағайлы орман ландшафттарымен Ұсақ шоқылы орман ландшафттарында жиі байқалып, өртенген жерлер ауқымы да біршама жоғары екендігі белгілі болды. Сонымен бірге Ертіс өзені жайылмасында да өрттері саны жиі екендігі анықталды.

Өрттердің таралу уақыты бойынша да белігілі бір сәйкестіктер байқалатыны белгілі болды. Көбінесе өрттердің пайда болуы беліглі бір жыл мезгілдерінде көрініс табатыны айқындалып тұр. Солтүстік өңірлерде көктем уақытында, оңтүстікке қарай жазбен күз айларына қарай артады.

Сонымен бірге Жерді қашықтықтан зерттеу әдістері арқылы өрттердің таралуымен зардаптарын нақтылауда ғарыштық мәліметтердерді пайдаланып жер бетімен өсімдіктердің шағылыстыру қабілетін есептеу арқылы анықталған индекстерді қолданатын көптеген шамаларда аймақтағы өрт қауіпсіздігін болашақта бағалауда тиімді құралдар болатыны дәлелденді.

Осындай құнды ресурстарды қорғау мен олардағы төтенше жағдайлардың алдын алу үшін бұл ландшафттардың осал тұстарын зерттеп өрттердің пайда болуына әсер ететін табиғи және антропогендік факторларды тыңғылдықты анықтаған жөн. ол үшін

Жерді қашықтықтан зерттеумен геоақпараттық жүйелерді толық пайдаланып, залалды азайту үшін мониторинг жүйесін жетілдіру және алдын алу шараларын дамыту қажет.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде Google Earth геопорталынан алынған ақпараттар, суреттерді өңдеу әдістері, ГАЖ-ды пайдалану арқылы картографиялық материалдарды талдау деректері пайдаланылды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау - МКО; деректерді басқару - ААЖ; Ресми талдау - МКО; Әдістеме - МКО; Бағдарламалық қамтамасыз ету - ААЖ; Қадағалау - ААЖ; Визуализация - МКО; Бастапқы жобаны жазу - МКО; Шолу жазу және редакциялау - МКО.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. «Жасыл Қазақстан» ұлттық жобасын 2021–2025 жылдарға бекіту туралы: Қазақстан Республикасы Үкіметінің қаулысы [Электрондық ресурс] URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/165259?lang=ru, жүгінген күні: 01.03.2025.
2. Юшкевич М. В. Ландшафтное лесоводство. Практикум: учеб.-метод. пособие. – Минск: БГТУ, 2014. – 187 с.
3. Киреев Д. М. Лесное ландшафтоведение. – СПб.: ЛТА, 2002. – 239 с.
4. Кабдулова Г. А., Сулейменов Н. К., Камкин В. А., Вальдшмит Л. И., Кабжанова Г., Бондарев А. Реализация концепции лесов высокой природоохранной ценности в Казахстане // Научные основы устойчивого управления лесами: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, 25–29 апр. 2022 г., Москва, Россия. – М.: ЦЭПЛ РАН, 2022. – С. 123–130.
5. Камкин В. А., Каденова А. Б., Камкина Е. В. Дендрофлора Павлодарской области. – Павлодар: Кереку, 2011. – 151 с.
6. Zhumadina S., Chlachula J., Zhaglovskaya-Faurat A., Czerniawska J., Satybaldieva G., Nurbayeva N., Mapitov N., Myrzagaliyeva A., Boribay E. Environmental Dynamics of the Ribbon-Like Pine Forests in the Parklands of North Kazakhstan. Forests, 2022, Vol. 13, No. 1, pp. 2. DOI: 10.3390/f13010002.
7. Омаров М. К., Латыпова З. Б. Особо охраняемые природные территории Павлодарской области Республики Казахстан // Экология и природопользование: прикладные аспекты: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 01–04 апр. 2019 г. – Уфа: Аэтерна, 2019. – Т. 2. – С. 45–48.
8. Kabdulova G., Kabzhanova G., Baktybekov K., Aimbetov A., Aligazhiyeva L. Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan. Proc. SPIE 11174, Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019), 2019, pp. 1117406. DOI: 10.1117/12.2533563.
9. Ozgeldinova Z., Zhanguzhina A., Mukaev Z., Ulykpanova M., Berdenov Z. Determining the species composition of forest vegetation in the Kostanay region using remote sensing data. Hydrometeorology and Ecology, 2024, Vol. 112, pp. 133–143. DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-133-143.
10. Мерекеев А. А., Нуракынов С. М., Чепашев Д. В., Сыдык Н. К., Зулпыхаров К. Б. Оценка природной пожарной опасности на территории Казахстана с использованием данных ДЗЗ // Хабаршы. География сериясы. – 2022. – № 2(65). DOI: 10.26577/JGEM.2022.v65.i2.03.
11. Babu K. V. S., Kabdulova G., Kabzhanova G. Developing the forest fire danger index for the country Kazakhstan by using geo-spatial techniques. Journal of Environmental Information Letter, 2019, Vol. 1, pp. 48–59.
12. Kabdulova G., Kabzhanova G., Baktybekov K., Aimbetov A., Aligazhiyeva L. Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan. Proc. SPIE 11174, Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019), 2019, pp.1117406. DOI: 10.1117/12.2533563.
13. NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System) [Электрондық ресурс]. URL: https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov, жүгінген күні: 10.03.2025.
14. Delcourt C.; Combee A.; Izbicki B.; Mack M.; Maximov T.; Petrov R.; Rogers B.; Scholten R.; Shestakova T.; van Wees D.; Veraverbeke S. Evaluating the Differenced Normalized Burn Ratio for Assessing Fire Severity Using Sentinel-2 Imagery in Northeast Siberian Larch Forests. Remote Sensing, 2021, Vol. 13, Iss. 12, Article 2311. DOI: 10.3390/rs13122311.
15. Ponomarev E., Zabrodin A., Ponomareva T. Classification of Fire Damage to Boreal Forests of Siberia in 2021 Based on the dNBR Index. Fire, 2022, Vol. 5, Article 19. DOI: 10.3390/fire5010019.
16. EarthExplorer // U.S. Geological Survey [Электрондық ресурс]. URL: https://earthexplorer.usgs.gov, жүгінген күні: 11.03.2025.
17. Комитет лесного хозяйства и животного мира по Павлодарской области. Отчёты по пожарам за 2020–2024 гг. – Павлодар, 2025.
18. dos Santos S. M. B., Bento-Gonçalves A., Franca-Rocha W., Baptista G. Assessment of Burned Forest Area Severity and Postfire Regrowth in Chapada Diamantina National Park (Bahia, Brazil) Using dNBR and RdNBR Spectral Indices. Geosciences, 2020, Vol. 10, No. 106. DOI: 10.3390/geosciences10030106.
19. Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігі, Павлодар облысы Төтенше жағдайлар департаменті баспасөз қызметі [Электрондық ресурс] URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/588971?lang=ru, жүгінген күні: 12.02.2025.

REFERENCES

1. «Zhasyl Kazakstan» ulttyk zhobasyn 2021–2025 zhyldarga bekitu turaly: Kazakstan Respublikasy Ykimetinin қaulysy [Electronic resources] URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/165259?lang=ru, date of access: 01.03.2025.
2. Yushkevich M. V. (2014). Landshaftnoe lesovodstvo. Praktikum: uchebno-metodicheskoe posobie [Landscape forestry. Workshop: Educational-methodical manual]. Minsk: BGTU, 187 p. [in Russian].
3. Kireev D. M. (2002). Lesnoe landshaftovedenie [Forest landscape science]. St. Petersburg: LTA, 239 p. [in Russian].
4. Kabdulova G. A., Suleymenov N. K., Kamkin V. A., Val'dshmit L. I., Kabzhanova G., Bondarev A. (2022). Realizatsiya kontseptsii lesov vysokoy prirodookhrannoy tsennosti v Kazakhstane [Implementation of the concept of high conservation value

forests in Kazakhstan]. In Nauchnye osnovy ustoychivogo upravleniya lesami: Materialy Vseross. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem, 25–29 aprelya 2022 g., Moskva, Rossiyapp. Moscow: TsEPL RAN, 123-130 p.
5. Kamkin V. A., Kadenova A. B., Kamkina E. V. (2011). Dendroflora Pavlodarskoy oblasti [Dendroflora of the Pavlodar Region]. Pavlodar: Kereku, 151 p. [in Russian].
6. Zhumadina S., Chlachula J., Zhaglovskaya-Faurat A., Czerniawska J., Satybaldieva G., Nurbayeva N., Mapitov N., Myrzagaliyeva A., Boribay E. (2022). Environmental Dynamics of the Ribbon-Like Pine Forests in the Parklands of North Kazakhstan. Forests, Vol. 13, No. 1, pp. 2. DOI: 10.3390/f13010002.
7. Omarov M. K., Latypova Z. B. (2019). Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Pavlodarskoy oblasti Respubliki Kazakhstan [Protected natural areas of the Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan]. In Ekologiya i prirodopol'zovanie: prikladnye aspekty: Materialy IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Ufa, 01–04 aprelya 2019 g. Ufa: Aeterna, Vol. 2, pp. 45–48 [in Russian].
8. Kabdulova G., Kabzhanova G., Baktybekov K., Aimbetov A., Aligazhiyeva L. (2019). Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan. Proc. SPIE 11174, Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019), pp. 1117406. DOI: 10.1117/12.2533563
9. Ozgeldinova Z., Zhanguzhina A., Mukaev Z., Ulykpanova M., Berdenov Z. (2024). Determining the species composition of forest vegetation in the Kostanay region using remote sensing data. Hydrometeorology and Ecology, Vol. 112, pp. 133–143. DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-133-143.
10. Merekeev A. A., Nurakynov S. M., Chepashev D. V., Sydyk N. K., Zulpikharov K. B. (2022). Otsenka prirodnoy pozharnoy opasnosti na territorii Kazakhstana s ispol'zovaniem dannykh DZZ [Assessment of natural fire danger in Kazakhstan using remote sensing data]. Khabarshy. Geografiya seriyasy, Vol. (2)65. https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v65.i2.03 [in Russian].
11. Babu K. V. S., Kabdulova G., Kabzhanova G. (2019). Developing the forest fire danger index for the country Kazakhstan by using geo-spatial techniques. Journal of Environmental Information Letter, Vol. 1, pp. 48–59.
12. Kabdulova G., Kabzhanova G., Baktybekov K., Aimbetov A., Aligazhiyeva L. (2019). Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan. Proc. SPIE 11174, Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019), pp.1117406. DOI: 10.1117/12.2533563.
13. NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System) [Electronic resources] URL: https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov, date of access: 10.03.2025.
14. Delcourt C.; Combee A.; Izbicki B.; Mack M.; Maximov T.; Petrov R.; Rogers B.; Scholten R.; Shestakova T.; van Wees D.; Veraverbeke S. (2021). Evaluating the Differenced Normalized Burn Ratio for Assessing Fire Severity Using Sentinel-2 Imagery in Northeast Siberian Larch Forests. Remote Sensing, Vol. 13, Iss. 12, Article 2311. DOI: 10.3390/rs13122311.
15. Ponomarev E., Zabrodin A., Ponomareva T. (2022). Classification of Fire Damage to Boreal Forests of Siberia in 2021 Based on the dNBR Index. Fire, Vol. 5, Article 19. DOI: 10.3390/fire5010019.
16. Earth Explorer // U.S. Geological Survey [Electronic resources]. URL: https://earthexplorer.usgs.gov, date of access: 1.04.2025.
17. Komitet lesnogo khozyaystva i zhivotnogo mira po Pavlodarskoy oblasti. Otchëty po pozharam za 2020–2024 gg. [Reports on fires for 2020–2024]. Pavlodar. [in Russian].
18. dos Santos S. M. B., Bento-Gonçalves A., Franca-Rocha W., Baptista G. (2020). Assessment of Burned Forest Area Severity and Postfire Regrowth in Chapada Diamantina National Park (Bahia, Brazil) Using dNBR and RdNBR Spectral Indices. Geosciences, Vol. 10, No. 106. DOI: 10.3390/geosciences10030106.
19. Qazaqstan Respublikasy Tötenshe zhağdailar ministrligi, Pavlodar oblysy Tötenshe zhağdailar departamenti baspasöz qyzmeti. [Electronic resources] URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/588971?lang=ru, date of access: 12.02.2025 [in Kazakh].

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРОВ В ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТАХ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Мурабек К. Омаров*, Алтын А. Жангужина PhD, ассоциированный профессор

ЕНУ имени Л. Гумилева, Астана, Казахстан; murabekomarov@mail.ru, altyn8828@mail.ru
*Автор корреспондент: Мурабек К. Омаров, murabekomarov@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

лесные пожары
пространственное распределение пожаров
ДЗЗ
dNBR
Павлодарская область.

По статье:
Получено: 13.05.2025
Пересмотрено: 15.05.2025
Принято: 4.06.2025
Опубликовано: 30.06.2025

АБСТРАКТ

Возникновение и распространение пожаров в лесных ландшафтах нашей страны, в том числе и Павлодарской области, является одной из основных проблем в области охраны природы. В данном исследовании изучается пространственное распределение лесных пожаров в регионе в период с 2020 по 2024 год. На основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), что позволило выявить основные очаги пожаров, а также выявить тенденции интенсивности и частоты пожаров в разные годы. Для более точной оценки состояния пожароопасной зоны в лесных ландшафтах использовался разностный нормализованный индекс гари (dNBR), рассчитанный для ключевого участка, пострадавшего от пожара. Определено, что картографический анализ, основанный на таких геоинформационных системах (ГИС), обеспечивающий визуализацию динамики и структуры воздействия пожаров в различных лесных ландшафтнах региона, позволяет быстро определить места возникновения пожаров. Наблюдение за распространением лесных пожаров приводит к принятию оперативных мер по их предупреждению, прогнозированию и прекращению пожаров в будущем.

Результаты исследования могут быть использованы при планировании работ по восстановлению лесных массивов, направленных на минимизацию последствий пожаров.

SPATIAL DISTRIBUTION OF FIRES IN THE FOREST LANDSCAPES OF PAVLODAR REGION

Murabek Omarov*, Altyn Zhanguzhina PhD, Associate Professor

L. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; murabekomarov@mail.ru, altyn8828@mail.ru .
Corresponding author: Murabek Omarov, murabekomarov@mail.ru

KEY WORDS

forest fires
spatial distribution of fires
remote sensing
dNBR
Pavlodar region

About article:
Received: 13.05.2025
Revised: 15.05.2025
Accepted: 4.06.2025
Published: 30.06.2025

ABSTRACT

The occurrence and spread of fires in the forest landscapes of our country, including the Pavlodar region, is one of the main problems in the field of nature protection. This study examines the spatial distribution of forest fires in the region between 2020 and 2024. Based on data from remote sensing of the Earth (remote sensing), which made it possible to identify the main fire hotspots, as well as identify trends in the intensity and frequency of fires in different years. For a more accurate assessment of the state of the fire danger zone in forest landscapes, the Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) was used, calculated for a key area affected by fire. It is determined that cartographic analysis based on such geographic informational systems (GIS), which provides visualization of the dynamics and structure of the impact of fires in various forest landscapes of the region, allows you to quickly identify the places of fires. Monitoring the spread of forest fires leads to the adoption of operational measures to prevent, predict and stop fires in the future. The results of the study can be used in planning forest restoration activities aimed at minimizing the effects of fires and ensuring the sustainable development of forest ecosystems, to develop management strategies.

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

Гидрометеорология и экология

Обзорная статья

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАЗАХСТАНЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ ГРАВИМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Канат Б. Самарханов[1,2] PhD, Гузялия А.Мусина[1*], Марал Х. Шкиева[1], Аян Б. Жумаканов[1], Эльмира О. Орынбасарова[3]

[1] ТОО «GEOID», Астана, Казахстан; kanat.baurzhanuly@gmail.com (КБС), snezhinka200184@gmail.com (ГАМ), maral.shkiyeva@gmail.com (МХШ), A.Zhumakanov@geo-id.kz (АБЖ)
[2] Международный научный комплекс «Астана», Астана, Казахстан; kanat.baurzhanuly@gmail.com (КБС)
[3] НАО «КазНИТУ им. К.Сатпаева», Алматы, Казахстан; Elmiraorynbassarova@gmail.com (ЭОО)
Автор корреспондент: Гузялия А. Мусина, snezhinka200184@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

гравиметрия
Казахстан
гравиметры
геодинамика
геоид
гравиметрические сети
квазигеоид
геодезия
геология
цифровая модель рельефа

АБСТРАКТ

В статье рассматривается современное состояние и применение гравиметрических съемок в Казахстане, с особым акцентом на использование спутниковой гравиметрии, в частности данных миссий GRACE и GRACE-FO, для мониторинга водных объектов и экологических изменений. Исследование подчеркивает значительную роль гравиметрических методов в изучении глубокого тектонического строения рудных регионов и создании модели геоида Казахстана.

Современный уровень развития науки дает широкие возможности применения алгоритмов искусственного интеллекта, включая машинное и глубокое обучение, а также проведения исследований с применением спутниковых данных. В данном научном исследовании представлены результаты анализа информации об изучении динамики водных ресурсов и ледниковых систем в Казахстане, где применен алгоритм машинного обучения с улучшением пространственного разрешения результатов мониторинга GRACE. Результаты исследований подтверждают, что применение спутниковых данных GRACE позволяют проводить мониторинговые исследования на больших территориях и могут быть использованы для получения данных о состоянии и динамике водных ресурсов и ледниковых систем.

В статье подчеркивается трансформирующее влияние миссии GRACE на науки о Земле, что способствует лучшим стратегиям смягчения последствий климатических изменений и эффективному управлению окружающей средой, что крайне важно для устойчивого развития Казахстана.

По статье:
Получено: 31.05.2024
Пересмотрено:30.04.2025
Принято: 04.06.2025
Опубликовано: 30.06.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

Гравиметрический метод традиционно занимает одно из ключевых мест в изучении фигуры Земли, её внутренних структур и динамических процессов. Данные, полученные в ходе гравиметрических исследований, широко применяются на различных этапах геологоразведочных работ и играют существенную роль в анализе геологического строения глубинных рудоконтролирующих структур.

Метод гравиметрии основан на изучении вариаций плотности горных пород, отражающих состав и состояние геологических комплексов. Плотностные характеристики глубинных пород представляют собой один из основных факторов, влияющих на интенсивность гравитационного поля Земли. Для решения локальных задач, таких как поиск и разведка месторождений полезных ископаемых, требуется высокая точность измерений на ограниченных территориях.

В геодезии гравиметрические данные необходимы для всей поверхности Земли. Они должны соответствовать метрологическим стандартам и обеспечивать единство измерений.

Для цитирования:
Самарханов К., Мусина Г., Шкиева М., Жумаканов А., Орынбасарова Э. Современное состояние гравиметрических исследований в Казахстане и возможности применения спутниковой гравиметрии для мониторинга водных объектов // Гидрометеорология и экология, 117 (2), 2025, 91-104.

Наземные гравиметрические измерения, в частности, используются для уточнения высот геоида.

Последние десятилетия характеризуются заметным снижением объёмов гравиметрических съёмок из-за отсутствия государственных заказов и прекращением развития опорных гравиметрических сетей, что также демонстрирует дефицит материалов на данный период. Это, в свою очередь, привело к дефициту актуальных данных. Однако в последнее время возобновляется интерес к гравиметрическим исследованиям, в особенности в связи с активным развитием нефтедобывающей отрасли. Это способствует не только проведению геологоразведочных работ, но и созданию геодинамических полигонов для мониторинга движения земной поверхности.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Современные гравиметрические съёмки на территории Республики Казахстан

Начало 2000 г. можно считать современным этапом развития гравиметрических работ. Гравиметрическая съёмка остаётся одним из основных методов для исследования недр Республики Казахстан.

В работе [1] представлены результаты исследований Жезказганского рудного района с целью выявления медного оруденения. Поиск месторождений меди осуществлялся с использованием разнообразных геофизических методов, в том числе и гравиметрического. Результаты интерпретации данных геофизических методов сопоставляются с информацией площадной сейсморазведки. Основная методологическая стратегия заключается в обнаружении дополнительных критериев для локализации месторождений меди на основе глубинной структуры, такой как структурно-тектонические, стратиграфические и литологические особенности геологических формаций.

В Жезказганском рудном районе проведено обширное гравиметрическое исследование, в ходе которого были получены данные о глубинном строении региона на различных уровнях, включая средне- и нижнепалеозойские горизонты. Территория района полностью охвачена гравиметрическими съемками различного масштаба, с более детальными данными для рудных районов. Гравиметрические карты, полученные в результате исследования, отличаются высоким качеством и включают в себя информацию о региональных и локальных аномалиях гравитационного поля.

Области рудных месторождений изучены более подробно с помощью съемок в масштабе 1:50 000 и выше. Построенные гравиметрические карты имеют высокое качество и дополняются картами трансформаций гравитационного поля, включая региональные и локальные составляющие, а также вертикальные и горизонтальные производные аномалии. Сечения изоаномал проведены с интервалом в 1 и 0,5 мГал.

Активно продолжается изучение Прикаспийской впадины. Например, в исследовании [2] описывается применение гравиметрических карт различного масштаба для изучения глубинного тектонического строения Прикаспийского региона Республики Казахстан. В результате цифрового преобразования растровых карт поля силы тяжести были получены карты трансформации гравитационного поля Прикаспийской впадины.

Данные гравиметрических исследований Прикаспийской впадины, полученные из карт силы тяжести масштаба 1:1500000, были преобразованы для изучения структуры земной коры. С использованием низкочастотной фильтрации были исключены локальные аномалии, что позволило выделить региональное гравитационное поле. Это поле, представленное на карте в виде изоаномалей, дало обширное представление о геологическом строении Прикаспийского региона Республики Казахстан на различных уровнях глубины.

Интеграция гравиметрических данных с геодинамической моделью впадины и её окружающих структур позволила установить их взаимную согласованность. Такой подход способствовал углублённому пониманию геологической и геодинамической эволюции региона, а также особенностей его современного строения.

Для детального выявления неоднородностей в строении литосферы на различных глубинных уровнях гравиметрические данные требуют дополнительной верификации. В

качестве независимых методов подтверждения могут быть использованы магнитотеллурическое зондирование, сейсмические и сейсмотомографические исследования, а также комплекс геологических методов.

Комплексный анализ гравиметрических, сейсмических и магнитотеллурических данных позволяет дифференцировать различные глубокозалегающие геологические структуры, включая магматические очаги, гранулиты основного состава, зоны приращения базальтовых слоёв, вершины мантийных плюмов и другие тектонические элементы.

Современные достижения гравиметрических съёмок также хорошо описаны в докладе [3], в котором обсуждается состояние геофизической изученности территории Республики Казахстан.

За период 1998…2011 годов проведены гравиразведочные работы на суше и акватории Казахстанского сектора Каспийского моря, изучены площади Федоровский блок, Лиман, Жанаталап Южный, Алибек Восточный, с. Нуржанов, Прорва Западная и прилегающие территории с применением гравиметров CG–3, CG–5. Плотность съёмки составила от 2…4 до 20 точек на 1 км^2, точность определения аномалий Буге 0,03…0,07 мГал, созданы гравиметрические карты сечением 0,25 мГал.

Реализованы гравиметрические работы с точностью 0,09 мГал и выше в транзитной и других труднодоступных зонах (сор Кайдак, транзитная зона Каспия, пойма р. Урал и другие), тем самым получены сплошные массивы гравитационного поля.

В период 2003…2004 годы на площади структур Кашаган, Курмангазы, Жамбыл выполнены морские гравиметрические работы набортным гравиметром LaCoste & Romberg модели S. Погрешность измерения составила 0,2…0,29 мГал, по итогам работ построены карты аномалий силы тяжести с сечением 0,5…1 мГал, масштаба 1:100000.

В 2006…2009 годах на акватории перспективных участков Курмангазы, Жамбыл осуществлены гравии-магниторазведочные работы. В 2010…2011 годах проведена морская гравимагнитная съемка в масштабе 1:100000 на севере и 1:200000 на юге Казахстанского сектора Каспийского моря, по данным которых создана единая гравиметрическая основа по всей акватории казахстанского сектора Каспийского моря.

В 2010…2011 годах компания «Геокен» выполнила морские съёмки в южной части казахского сектора Каспийского моря на борту судна «Аксиома» с использованием гравиметров LaCoste & Romberg, Чекан АМ и GT-2M [4].

В 2013 году гравиметрические исследования выполнялись на участке Захатсор. По материалам работ была сформирована матрица гравиметрического поля, создана инновационная цифровая карта пространственного распределения аномального гравитационного поля, проведены комплексные работы: электроразведка магниторазведка, гравиразведка на участке месторождений Бенкала и Южная Бенкала.

По результатам обзора и исследований, авторы рекомендуют объединение различных геолого-геофизических методов и использовании их в зависимости от эффективности и адаптированности к определенным поверхностным и глубинным геологическим условиям.

Начиная с 1998 года, большая часть гравиразведочных работ на суше, акватории Казахстанского сектора Каспийского моря, Аральского моря, Бухтарминского водохранилища выполнялись на отдельных участках по госзаказу или заказам недропользователей силами компании компанией ТОО «Геокен» (рисунок 1).

Помимо новых гравиметрических съёмок, развиваются также и методы обработки данных. Например, в работе [5], представлен метод трехмерной инверсии гравиметрических данных с использованием нетривиальной референтной модели по месторождению Восточный Жайрем. Данное исследование проведено по гравиметрическим и магнитометрическим съемкам, выполненным в 2016 году компанией ТОО «Геокен». Всего было отработано 56 погонных км гравиметрической съемки (1223 станции) в масштабе 1:10000 (межпрофильное расстояние 100 м). По участку Восточный Жайрем была построена трехмерная литологическая модель с привлечением ретроспективных данных о плотностных свойствах вмещающих пород и руд. На основе этих данных была построена трехмерная плотностная модель, которая в будущем использовалась для высокоточной фокусированной трехмерной инверсии гравиметрических данных.

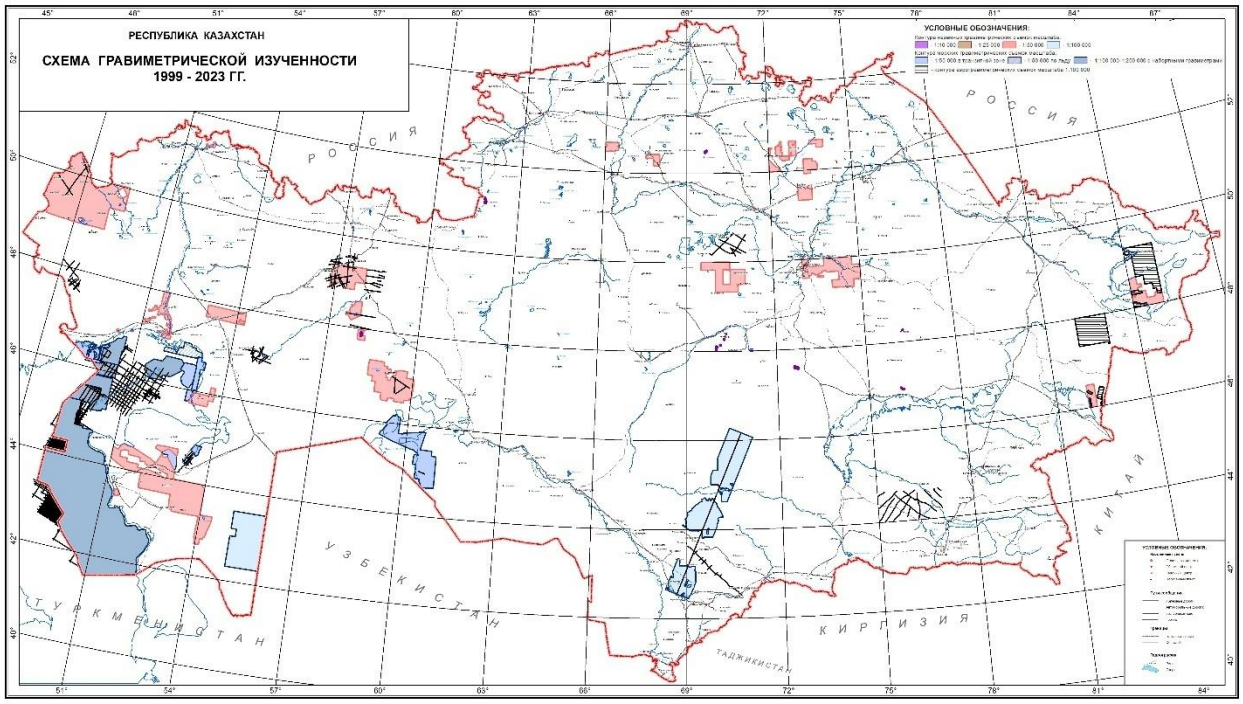


Рисунок 1. *Схема гравиметрической изученности за период с 1999 по 2023 г.*

В публикации [6] представлены результаты обработки данных гравитационного мониторинга одного из нефтегазоносных коллекторов Каспийской провинции на северо-западе Казахстана в разработанной ГИС-оболочке GravGIS. Данная система содержит ряд процедур таких как статистическая обработка и фильтрация измеренных данных, идентификация аномальных зон и создание атласа аномалий, который дополняется решением прямых гравиметрических задач. Для областей, признанных перспективными, инверсия вычисляется с применением одного из методов стохастической оптимизации - метода имитационного отжига. Для этого был разработан специальный вычислительный модуль GeoM.

Авторы отмечают, что система дает возможность объединить в одной оболочке данные первичного мониторинга силы тяжести в сочетании с данными нивелирования вертикальных перемещений земной коры в зоне наблюдения за нефтегазоносным пластом, а также данные тепловизионных, геохимических исследований и исследований скважин, а решения прямых задач гравиметрии сопоставимы по решениями, полученными с использованием других известных методов обработки гравитационных данных. Программный код системы защищен патентом Республики Казахстан.

Говоря о современном этапе развития гравиметрических исследований, нельзя не отметить важность спутниковой гравиметрии, особенно данных спутниковых миссий GRACE и GRACE-FO.

Спутниковая гравиметрия с временным разрешением, ярким примером которой является инновационная миссия Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), открыла новую эру в понимании процессов массопереноса внутри земной системы. Программа GRACE, начатая в 2002 году в сотрудничестве НАСА и Немецкого аэрокосмического центра (DLR), стала ключевым инструментом для изучения динамики распределения массы на нашей планете.

Трансформирующее влияние миссии GRACE на науку о Земле было подчеркнуто всесторонним обзором, проведенным Байроном Тэпли и его командой в 2019 году [7…8]. Их анализ, основанный на изучении 2000 рецензируемых исследований, подчеркивает, что миссия GRACE является незаменимым инструментом для мониторинга различных аспектов системы Земли. Эти аспекты включают круговорот земных вод, баланс массы ледниковых щитов и ледников, колебания уровня моря и изменения давления на дне океана. Более того, миссия GRACE выявила сложные взаимодействия и переходы, которые характеризуют процессы изменения климата [9].

Миссия GRACE-FO, запущенная 22 мая 2018 года, является совместным проектом НАСА и Немецкого исследовательского центра геонаук (GFZ) и продолжает работу миссии GRACE (2002…2017). Спутники-близнецы GRACE-FO, следуя друг за другом на расстоянии 220 км, отслеживают движение воды на Земле, мониторят изменения в запасах подземных вод, крупных озер и рек, влажности почвы, ледниковых щитов и уровня моря (рисунок 2). Эти данные помогают создать уникальную картину климата Земли и оказывают значительное влияние на общество. GRACE-FO также тестирует новую технологию для повышения точности измерений.

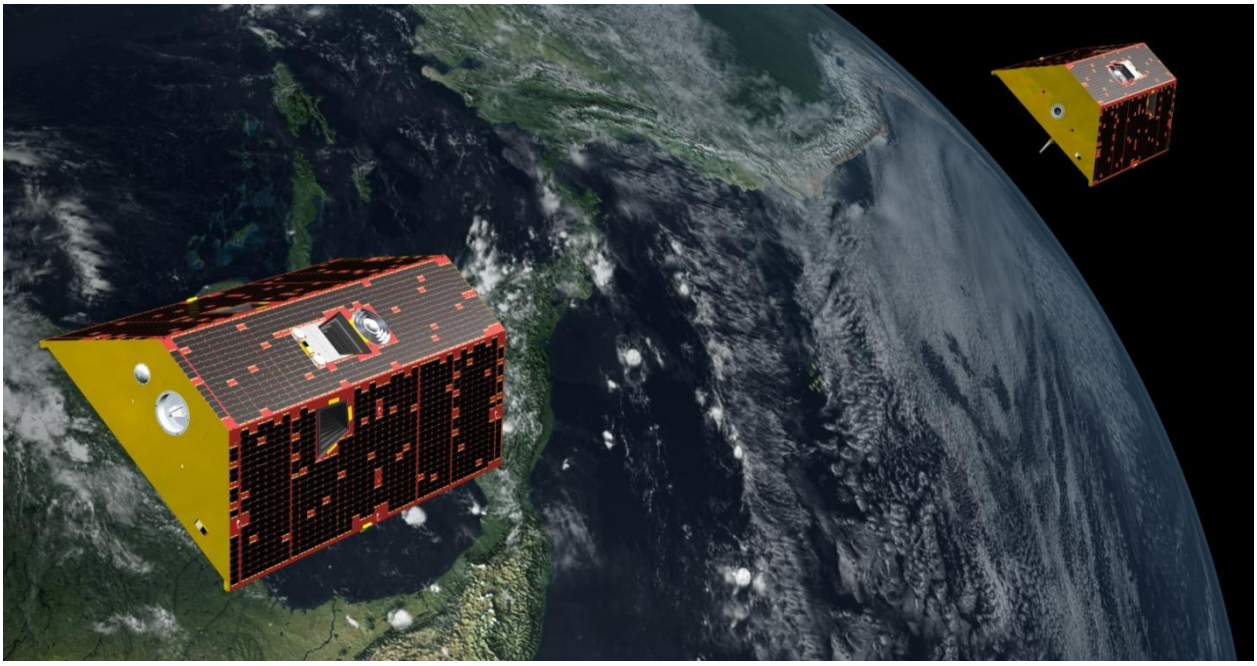


Рисунок 2. *Иллюстрация GRACE-FO на орбите*

Необработанные данные, полученные в рамках миссии GRACE-FO, представляют собой измерения вариаций расстояния между двумя спутниками-близнецами, движущимися по орбите вокруг Земли на расстоянии приблизительно 220 км (137 миль) друг от друга. В процессе движения спутники постоянно обмениваются микроволновыми сигналами, что позволяет высокоточно фиксировать изменения межспутникового расстояния. Области с повышенной гравитационной аномалией оказывают первичное воздействие на ведущий спутник, изменяя его траекторию, после чего аналогичное воздействие испытывает ведомый спутник при прохождении над той же аномальной областью. Эти изменения регистрируются системой высокоточного микроволнового зондирования. Дополнительно, акселерометры на борту спутников измеряют негравитационные ускорения, а GPS-приёмники определяют их точное положение. На основе этих данных формируются ежемесячные карты среднего гравитационного поля Земли, отражающие перераспределение массы, преимущественно связанное с динамикой водных ресурсов [10].

Важным аспектом исследований, проводимых в рамках миссии GRACE, является анализ взаимосвязи между запасами наземных вод и изменениями уровня мирового океана. Колебания запасов наземных вод оказывают значительное влияние на уровень моря, а данные GRACE способствуют расшифровке этой сложной взаимозависимости. Глубокое понимание данной динамики является критически важным для точной интерпретации глобальных тенденций изменения уровня моря, поскольку перераспределение наземных водных масс может как маскировать, так и усиливать долгосрочные тренды повышения уровня мирового океана [11].

Одним из наиболее выдающихся достижений миссии GRACE является её способность выявлять изменения в балансе массы ледников. Миссия обнаружила усиление подводного таяния и уменьшение поддержки фронтов ледников, что привело к увеличению темпов динамической разгрузки льда и истощению массы ледниковых регионов. Примечательно,

что временной ряд данных GRACE по Гренландии подтверждает независимые оценки, показывая, что 60 % общей потери массы связано с усилением таяния в ответ на тенденции потепления в Арктике, а оставшиеся 40 % - с усиленным динамическим оттоком льда [12].

Миссия GRACE внесла значительный вклад в изучение сложной взаимосвязи между запасами наземных вод и уровнем моря, сделав этот аспект одним из ключевых направлений современных исследований. Колебания объемов наземных вод оказывают существенное влияние на динамику уровня мирового океана, и данные GRACE сыграли важную роль в детальном анализе этой зависимости. Глубокое понимание данных процессов имеет критическое значение для точной интерпретации глобальных изменений уровня моря, поскольку перераспределение наземных водных масс может как маскировать, так и усиливать долгосрочные тенденции его повышения.

Изменение уровня моря является одним из важнейших индикаторов глобального климатического изменения и экологических трансформаций, обусловленных как природными процессами, так и антропогенным воздействием. Его социально-экономические последствия, включая влияние на проживание и хозяйственную деятельность населения, имеют фундаментальное значение. С момента запуска гравитационных спутников Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) в 2002 году стало возможным получать высокоточные измерения изменений массы мирового океана. Дополнительно, с 2005 года сеть поплавков Argo предоставляет ценные данные для оценки стерических изменений уровня моря. В своем исследовании [13] авторы проанализировали использование спутниковой альтиметрии, данных GRACE и Argo для изучения динамики глобального среднего уровня моря (GMSL).

Данные Argo собираются Океанографическим институтом Скриппса, IPRC и JAMSTEC, охватывая акваторию от 65° южной широты до 65° северной широты. Они предоставляют информацию о температуре и солёности водных масс от поверхности океана до глубины 2000 метров, что позволяет рассчитывать термостерические компоненты изменения уровня моря.

Анализ данных GRACE, Argo и спутниковой альтиметрии в целом демонстрирует согласованные тренды, однако, как отмечает [13], между отдельными измерениями могут наблюдаться расхождения. Для оценки неопределённостей результатов используются стандартные отклонения внутри ансамбля данных, что позволяет количественно характеризовать степень согласованности различных измерений.

Глобальные данные о среднем уровне моря собираются учреждениями, такими как AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data) и CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). Эти данные корректируются с учетом различных факторов, включая ионосферную задержку, тропосферные эффекты, электромагнитные ошибки, приливы и ледниковую изостатическую корректировку (GIA). Карты аномалий уровня моря (DT-MSLA) предоставляют среднемесячные данные с 1993 по 2012 год [11].

Данные GRACE и GRACE-FO, предоставляемые такими учреждениями, как CSR (Center for Space Research), JPL (Jet Propulsion Laboratory) и GFZ (GeoForschungsZentrum), включают ежемесячные решения уровня 2 версии 06 в коэффициентах сферических гармоник (GSM), корректируемые с учетом GIA.

Подчеркивается важность интеграции спутниковой альтиметрии, наблюдений GRACE и данных Argo для изучения изменений GMSL (Global Mean Sea Level). Постоянный сбор данных и анализ необходимы для точного установления соответствия между системами GRACE и GRACE-FO. Появление спутниковой гравиметрии GRACE произвело революцию в наших возможностях отслеживать и понимать перемещения масс внутри системы Земли, углубив наше понимание климатических процессов и улучшив управление водными ресурсами.

Также в статье «Индикация природных опасностей с использованием изменений гравитационного поля Земли, наблюдаемых системой GRACE», сообщается, что в документе обсуждаются практические применения колебаний гравитационного поля Земли, измеренных спутниковой системой GRACE за 13-летний период. Спутниковые наблюдения

дают возможность контролировать региональные гидрологические режимы и прогнозировать стихийные бедствия. На вариации гравитационного поля влияют астрономические факторы и динамические процессы, отражающие изменения водных масс в атмосфере, океане и литосфере. В исследовании анализируются изменения вариаций гравитационного поля в различных регионах, таких как Аляска и Гренландия, и их последствия для изменения климата и природных явлений. В документе также освещается использование спутниковых данных для изучения изменений окружающей среды, таких как влияние на водные ресурсы в бассейне Верхней Волги и озере Байкал.

Исследование [14], проведенное коллективом авторов представляет всесторонний анализ различных глобальных оценок TWS, полученных с помощью GRACE и моделей GLDAS, включая межгодовую и сезонную изменчивость, распределения вероятности и пространственные особенности по шести континентам. Особое внимание уделено причинам расхождений между оценками GRACE и GLDAS, с целью повышения точности мониторинга глобальных водных изменений. Работа представляет собой первую попытку столь масштабного сравнения данных GRACE, предоставляя практическое руководство для ученых, политиков и специалистов, использующих гидрологическую информацию при анализе изменений водных ресурсов Земли.

Данные дистанционного зондирования, полученные в исследовательской работе [15] доказали свою высокую информативность и эффективность при решении различных глобальных и локальных гидрологических задач, особенно полезны при определении состояния водных объектов, параметризации характеристик речного стока для выявления спектра опасных гидрологических явлений, оценке влияния изменения климата по водным ресурсам и гидрологическим процессам. Дистанционное зондирование в гидрологии МГУ имени М.В. Ломоносова эффективно для оценки расходов воды, определения ее характеристик по характеристикам воды и изучения устьевых процессов. Анализ динамики дельты морского края и трансформации мутности от вершин дельты к устьевому взморью также важен. GRACE позволяет обеспечить баланс гидрологического цикла и невязку водного баланса, доказали свою высокую информативность и эффективность при решении различных глобальных и локальных гидрологических задач, особенно полезны при определении состояния водных объектов, параметризации характеристик речного стока для выявления спектра опасных гидрологических явлений, оценке влияния изменения климата. по водным ресурсам и гидрологическим процессам. Дистанционное зондирование в гидрологии МГУ имени М.В. Ломоносова эффективно для оценки расходов воды, определения ее характеристик по характеристикам воды и изучения устьевых процессов. Анализ динамики дельты морского края и трансформации мутности от вершин дельты к устьевому взморью также важен. GRACE позволяет обеспечить баланс гидрологического цикла и невязку водного баланса.

Статья [16] представляет комплексный анализ изменений подземных вод (GWS) в китайской провинции Шаньдун за период с 2002 по 2021 год, основанный на спутниковых данных GRACE/GRACE-FO. Авторы исследуют пространственные и временные тренды истощения водных ресурсов, выявляя региональные различия в динамике потерь. В работе оценивается точность прогноза изменений GWS с использованием современных алгоритмов искусственного интеллекта — SVM, LSTM и SSA — где наилучшие результаты показала модель машин опорных векторов. Важным вкладом является использование данных глобальной гидрологической модели WaterGAP для валидации полученных результатов. Также отмечен временный рост запасов в 2020…2021 годах, требующий дальнейшего анализа. Работа демонстрирует потенциал спутниковых технологий и ИИ (искусственный интеллект) для мониторинга водных ресурсов в условиях изменения климата.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты применения гравиметрии в мировой практике

Прогнозируемые эксперименты с различными обучающими выборками (228, 204 и 180 месяцев) были проведены для анализа краткосрочного прогнозирования изменения GWS. Результаты показали, что модель SVM превзошла методы LSTM и SSA с точки зрения

коэффициентов корреляции со значениями 0,68, 0,75 и 0,56 для 228, 204 и 180 обучающих выборок соответственно. Результаты были сопоставимы с результатами ARMA [16].



Рисунок 3. *Изменение показателя GWS и его линейный тренд в провинции Шаньдун за последние 20 лет [16]*

Анализ полученного графика показывает, что линейная скорость изменения запасов наземных вод (GWS) в период с 2003 по 2006 год составила 9,84 ± 6,35 мм/год. В последующий временной интервал, с 2007 по 2014 год, наблюдается значительная потеря запасов наземных вод по данным GRACE, характеризующаяся линейной скоростью изменения −5,80 ± 2,28 мм/год. В дальнейшем темпы потерь несколько снизились: в период с 2015 по 2022 год линейная скорость составила −5,39 ± 3,65 мм/год, что, возможно, связано с реализацией проекта по переброске водных ресурсов с юга на север. Однако, несмотря на данные изменения, тенденция снижения уровня запасов наземных вод по данным GRACE продолжалась до 2019 года. В период с 2020 по 2021 год был зафиксирован резкий рост значений GWS, причины которого требуют дальнейшего детального изучения.

Авторы исследования по изучению подземной воды использовали алгоритмы искусственного интеллекта, включая методы машинного и глубокого обучения, для обработки гидрометеорологических данных с целью повышения пространственного разрешения мониторинга GRACE [16]. В дальнейшем они планируют сосредоточиться на уточнении масштабирования данных GRACE для более детализированного анализа изменений запасов наземных вод.

Результаты применения гравиметрии в Казахстане

В научной статье «Selection of a calibration system for relative gravimeters and testing of the processing using the example of the Zhetygen calibration baseline in Kazakhstan» [17] рассмотрены современные методы калибровки относительных гравиметров и их применимость в условиях Казахстана. Авторы систематизируют как лабораторные, так и полевые методы определения калибровочной функции, анализируя преимущества и недостатки каждого подхода с учётом точности, доступности и диапазона измерений. Особое внимание уделяется наиболее применимому в полевых условиях методу — калибровке на гравиметрической базисной линии, а также представлены результаты многолетних измерений с использованием гравиметров Scintrex CG-5 на линии Жетыген. Выявлена необходимость создания вертикальной базисной линии нового типа в горной местности для расширения диапазона измерений и обеспечения соответствия международным стандартам.

Результаты исследования подтверждают, что калибровочная функция гравиметров может со временем изменяться, что требует регулярной проверки и корректировки шкального коэффициента. Анализ шести кампаний измерений за 2019…2023 годы показал не только различия в стабильности показаний отдельных приборов, но и зависимость калибровочных параметров от диапазона гравитационного поля. Авторы подчеркивают, что существующие в Казахстане калибровочные линии недостаточны по своему диапазону, что ограничивает точность при проведении высокоточных гравиметрических съемок в горных районах. Планируется создание новой базисной линии в районе Алматы с гравитационным перепадом более 300 мГал, что позволит существенно повысить качество калибровки современных приборов.

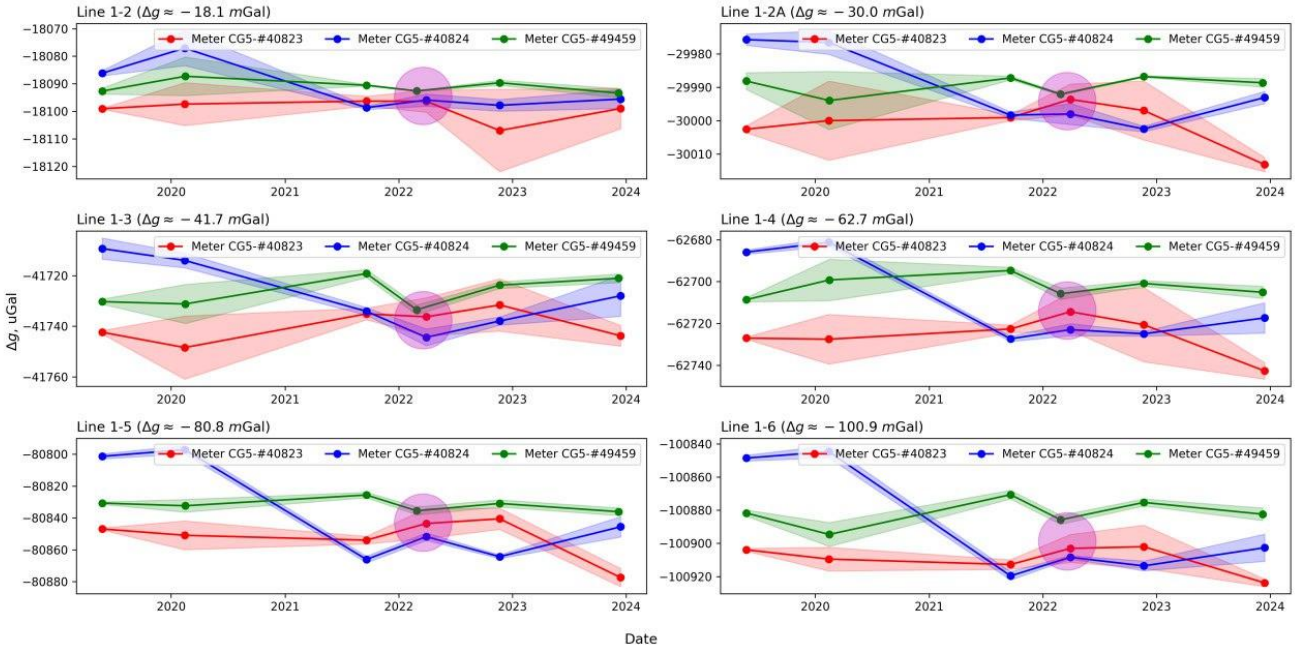


Рисунок 4. *Изменения во времени значений измеренных разностей силы тяжести по каждому относительному гравиметру*

В Прикаспийской впадине использование гравиметрических данных масштаба 1:1 500 000 в сочетании с методами спектральной фильтрации обеспечило построение модели гравитационного поля с выделением региональных аномалий, отражающих структуру земной коры [2]. Аналогичным образом, в Каспийском и Аральском регионах морские и наземные съёмки позволили сформировать гравиметрическую основу с высокой плотностью точек, обеспечившую необходимую точность интерпретации [4].

Отдельное направление — применение спутниковых миссий GRACE и GRACE-FO. Полученные данные позволили впервые в Казахстане осуществить мониторинг подземных вод и изменений в ледниковых системах, в том числе в Зайсанском бассейне и предгорьях Тянь-Шаня. Это имеет важное значение для оценки дефицита водных ресурсов и прогнозирования климатических рисков.

Таблица 1

Основные проекты гравиметрических исследований в Казахстане (1998…2023 гг.)

Регион исследования	Масштаб работ	Методы и оборудование	Основные результаты
Жезказганский рудный район	1:50 000	CG-5, инверсия, сейсмика	Глубинная модель, выявление рудоконтролирующих зон
Восточный Жайрем	1:10 000	3D инверсия, магнитометрия	Трёхмерная литологическая модель
Прикаспийская впадина	1:1 500 000	Цифровая фильтрация, буге-анализ	Региональные аномалии, тектоническое районирование
Каспийское море	1:100 000	LaCoste & Romberg, гравимагниторазведка	Единая гравиметрическая основа
Мониторинг ледников (GRACE)	~300 км	GRACE/GRACE-FO, ИИ-модели	Оценка массы ледников, тренды по подземным водам

Картографические материалы

С 1998 по 2023 гг. в Казахстане было создано значительное количество гравиметрических карт различного масштаба, отражающих как локальные, так и региональные особенности гравитационного поля. Эти карты широко применяются в инженерной геологии, гидрологии, геоэкологии и геодинамике.

Также примером является создание детальных карт по участкам «Бенкала» и «Южная Бенкала» с шагом изоаномал 0,25 мГал, дополненных трансформированными картами вертикальных с шагом изоаномал 0,25 мГал, дополненных трансформированными картами вертикальных производных. Для анализа структуры литосферы используются карты производных второго порядка, а также пространственные изоаномальные сечения, позволяющие визуализировать глубинные неоднородности [5].

В последние годы наблюдаются следующие ключевые тренды в области картографирования и интерпретации гравиметрических данных:

- переход от одномерной интерпретации к трёхмерному инверсному моделированию с использованием исторических плотностных данных;
- внедрение алгоритмов ИИ, включая машины опорных векторов и метод имитационного отжига;
- интеграция гравиметрии с геоинформационными системами, в частности GravGIS, для автоматизации обработки и визуализации;
- усиление фокуса на климатически обусловленные изменения (запасы влаги, динамика снежного покрова и ледников);

Таблица 2

Классификация гравиметрических карт и их прикладное значение

Тип карты	Масштаб	Применение
Карты силы тяжести (аномалий Буге)	1:50 000…1:1 500 000	Геологическое районирование, поиск месторождений
Карты производных аномалий	1:50 000…1:100 000	Анализ глубинных структур
Карты трансформаций	Региональные	Моделирование тектонических блоков
Пространственные сечения	Локальные	Геодинамические и геоэкологические исследования

Таким образом, современная гравиметрия в Казахстане представляет собой комплексный, технологически насыщенный научный и прикладной инструмент, способный эффективно решать задачи геомониторинга, природопользования и ресурсной безопасности страны [5].

Преимущества и недостатки спутниковой гравиметрии.

Спутниковая гравиметрия, реализуемая в рамках миссий GRACE и GRACE-FO, открывает новые перспективы для гидрометеорологических исследований и мониторинга изменений массы земной поверхности на территории Казахстана. Учитывая значительные запасы подземных вод, а также обширные ледниковые массивы данного региона, данные, полученные с помощью спутников GRACE, обладают высокой значимостью для оценки динамики водных ресурсов и процессов, происходящих в ледниковых системах.

Особая актуальность данного направления исследований обусловлена тем, что водные ресурсы Казахстана играют ключевую роль в обеспечении функционирования сельского хозяйства и энергетического сектора. В этой связи использование современных методов обработки данных, в частности алгоритмов искусственного интеллекта, направленных на повышение пространственного разрешения гравиметрических измерений, позволит не только более точно отслеживать локальные изменения водного баланса, но и разрабатывать эффективные стратегии управления природными ресурсами. Это, в свою очередь, будет способствовать достижению устойчивого развития страны, обеспечивая рациональное использование и сохранение водных ресурсов в условиях изменяющегося климата.

Несмотря на значительные достижения в области спутниковой гравиметрии, применение данных миссий GRACE и GRACE-FO сопряжено с рядом ограничений, которые необходимо учитывать при их интерпретации и использовании в научных и прикладных исследованиях.

Низкое пространственное разрешение: гравиметрические данные GRACE имеют ограниченное пространственное разрешение (порядка нескольких сотен километров), что

затрудняет их применение для локального анализа. Это особенно актуально для задач, требующих детального картирования изменений гравитационного поля, например, в геологоразведке или мониторинге небольших водных объектов.

- Погрешности интерпретации данных: восстановление распределения масс на поверхности и в недрах Земли на основе спутниковых измерений является сложной задачей, требующей использования дополнительных моделей и апроксимаций. Это может приводить к ошибкам в интерпретации, особенно при оценке небольших или кратковременных изменений массы.
- Влияние негравитационных факторов: движение спутников подвержено воздействию негравитационных сил, таких как солнечная радиация и атмосферное сопротивление, что может вносить дополнительные неопределенности в измерения. Для минимизации этих эффектов применяются акселерометрические корректировки, однако остаточные ошибки могут сохраняться.
- Необходимость интеграции с другими методами: для повышения точности и детализации данных гравиметрия GRACE требует совместного использования с наземными гравиметрическими измерениями, сейсмическими и гидрометеорологическими наблюдениями. Без такой интеграции возможно искажение интерпретации пространственно-локализованных процессов.
- Ограниченный временной охват и перерывы в данных: Данные GRACE охватывают период с 2002 года, однако перерыв между завершением работы первой миссии (2017) и запуском GRACE-FO (2018) привел к разрыву временного ряда. Подобные пропуски могут усложнять анализ долгосрочных изменений в гравитационном поле Земли.

Спутниковая гравиметрия требует учета указанных ограничений и комплексного подхода, включающего использование дополнительных геофизических и геодезических данных.

Спутниковая гравиметрия обладает рядом значительных преимуществ в научных и прикладных областях. Она обеспечивает глобальный охват, позволяя измерять гравитационное поле Земли, включая труднодоступные регионы. Технология применяется для анализа динамических процессов, таких как изменения массы ледников, уровня океанов и подземных вод, что имеет значение для климатических исследований и управления водными ресурсами. Также она помогает прогнозировать природные катастрофы, включая землетрясения, наводнения и засухи. В геофизике и геодезии спутниковая гравиметрия используется для создания точных моделей гравитационного поля и повышения точности спутниковой навигации. Кроме того, ее применение приносит экономические выгоды, например, в добыче полезных ископаемых и сельском хозяйстве [18].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании представлен обзор современного состояния и применения гравиметрических съемок на территории Республики Казахстан, а также использование гравиметрических данных для определения модели геоида.

Развитие гравиметрических исследований в Казахстане представляет собой важное направление, обусловленное необходимостью детального изучения геодинамических процессов, мониторинга водных ресурсов и совершенствования методов геологоразведки. В связи с этим можно выделить несколько перспективных направлений, которые могут способствовать дальнейшему развитию данной области науки и ее практическому применению: применение спутниковой гравиметрии для мониторинга водных ресурсов; применение гравиметрических исследований в геологоразведке и добывающей промышленности; развитие гравиметрического мониторинга геодинамических процессов; применение алгоритмов машинного и глубокого обучения для повышения точности и пространственного разрешения гравиметрических данных; создание и модернизация гравиметрической сети Казахстана важно для задач геодезии, картографирования и контроля вертикальных движений земной коры.

Таким образом, развитие гравиметрических исследований в Казахстане требует комплексного подхода, включающего использование спутниковых и наземных технологий,

совершенствование методологии измерений, интеграцию с другими геофизическими методами и внедрение современных алгоритмов обработки данных. Реализация данных направлений позволит не только углубить фундаментальные исследования структуры Земли, но и обеспечить практическое применение гравиметрии в стратегически важных отраслях экономики, таких как водное хозяйство, горнодобывающая промышленность и сейсмология.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании, получены авторами из шести источников: Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан**;** ТОО «Геокен» и ТОО «GEOID» данные наземных гравиметрических съемок; Открытые проекты NASA, GFZ и CSR; Отчеты по рудным районам Казахстана; Цифровые модели рельефа и геоиды**;** Программное обеспечение GravGIS; Международные спутниковые и океанографические архивы**.**

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – КБС; управление данными – МХШ; формальный анализ – МХШ; методология – КБС, ГАМ, МХШ, АБЖ; руководство – КБС; визуализация – ГАМ; написание исходного текста – КБС, ГАМ, МХШ, АБЖ, ЭОО; написание и редактирование окончательного текста – КБС, ГАМ.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Коллектив авторов выражает благодарность Сермягину Роману Александровичу за оказание консультаций в процессе написания данного исследования. Мы также благодарны всем неназванным рецензентам за их конструктивные комментарии и предложения, которые помогли значительно улучшить качество данной публикации.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена в рамках грантового финансирования по научным проектам «Разработка модели геоида Республики Казахстан, как основа единой государственной системы координат и высот (BR21882366)»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдарбеков Ж. К., Истекова С. А., Гласс Х. Комплексные геофизические исследования при изучении геологического строения Жезказганского рудного района в Казахстане // Материалы 17-й научно-практической конференции и выставки «Инженерная и рудная геофизика 2021», Геленджик, 26–30 апреля 2021 года. – Геленджик, 2021. – С. 61.
2. Исагалиева А. К., Исаев В. И., Истекова С. А. Методика интерпретации гравиметрических данных при построении геологической модели земной коры Прикаспийского региона // Вестник Казахстанско-Британского Технического Университета. – 2021. –№17(2). – С. 21–29.
3. Истекова С. А., Жылкыбаева Г. А. Состояние геофизических исследований в Казахстане // Вестник Современной Науки. – 2015. – № 9–2. – С. 107–115.
4. Коврижных П.Н., Шагров Б.Б., Юрист С.Ш., Болотин Ю.В., Саурков Ж., Каренов Т. Морские съемки на Каспии гравиметрами GT-2M, Чекан АМ и LR: сравнение точности // Геология и Охрана Недр. – 2013. – №4. – С. 58–62.
5. Каминский В.Ф., Ефимов А.А., Кирмасов А.Б., Коврижных П.Н. Трехмерная инверсия гравиметрических данных с использованием нетривиальной референтной модели на месторождении Восточный Жайрем // Геоинформатика. – 2021. – №1. – С. 17–25.
6. Nazirova A. B., Dubovenko Y. I., Abdoldina F. N., Kuzminets M. P. Optimization of GIS modules for processing data of gravity monitoring of subsoil in the Republic of Kazakhstan. Geoinformatics, 2021, Vol. 1, pp. 1–6.
7. Tapley B. D., Watkins M. M., Flechtner F., Reigber C., Bettadpur S., Rodell M., Sasgen I., Famiglietti J. S., Landerer,F. W., Chambers D. P. Contributions of GRACE to understanding climate change. Nature Climate Change, 2019, Vol. 9(5), pp. 358–369.
8. Tapley B.D., Landerer F. W., Chambers D. P., Reager J. T., Gardner A. S., Save H., Ivins E. R., Swenson S. C., Boening C., Dahle C., Wiese D. N., Dobslaw H., Tamisiea M. E., Velicogna I. Contributions of GRACE to understanding climate change. In Nature Climate Change, 2019, Vol. 9, Issue 5, pp. 358–369. Nature Publishing Group. doi: 10.1038/s41558-019-0456-2
9. Hassan A. A., Jin S. Water cycle and climate signals in Africa observed by satellite gravimetry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2014, Vol. 17(1), pp. 012149.
10. Kornfeld,R., Arnold B., Gross M., Dahya N., Klipstein W. GRACE-FO: The Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-On Mission. Journal of Spacecraft and Rockets, 2019, pp. 56. doi: 10.2514/1.A34326
11. Chang L., Sun W. Consistency analysis of GRACE and GRACE-FO data in the study of global mean sea level change. Geodesy and Geodynamics, 2022, Vol. 13(4), pp. 321–326.
12. Flechtner F., Reigber C., Rumme, R., Balmino G. Satellite gravimetry: a review of its realization. Surveys in Geophysics, 2021, Vol. 42(5), pp. 1029–1074.
13. Chen L., He Q., Liu K., Li J., Jing C. Downscaling of GRACE-derived groundwater storage based on the random forest model. Remote Sensing, 2019, Vol. 11(24), pp. 2979.
14. Yang T., Wang C., Yu Z., Xu F. Characterization of spatio-temporal patterns for various GRACE-and GLDAS-born estimates for changes of global terrestrial water storage. Global and Planetary Change, 2013, Vol. 109, pp. 30–37.
15. Айбулатов Д., Зотов Л., Фролова Н., Чалов С. Современные возможности использования методов дистанционного зондирования для получения информации о водных объектах // Земля из Космоса: Наиболее Эффективные Решения. – 2015. – № S. – С. 34–37.

16. Li W., Bao L., Yao G., Wang F., Guo Q., Zhu J., Zhu J., Wang Z., Bi J., Zhu C. The analysis on groundwater storage variations from GRACE/GRACE-FO in recent 20 years driven by influencing factors and prediction in Shandong Province, China. Scientific Reports, 2024, Vol. 14(1), pp. 5819.
17. Sermiagin R., Kemerbayev N., Kassymkanova K. K., Mussina G., Shkiyeva M., Kosarev N., Samarkhanov K., Batalova A., Rakhimzhanov A., Kalen Y. Selection of a calibration system for relative gravimeters and testing of the processing using the example of the Zhetygen calibration baseline in Kazakhstan. Acta Geodaetica et Geophysica, 2024. doi: 10.1007/s40328-024-00454-x
18. Кащеев Р. А. Современные методы спутниковой гравиметрии. – Казань: Казан. Ун-т, 2015.

REFERENCES

1. Aidarbekov Zh. K., Istekova S. A., Glass Kh. (2021). Kompleksnye geofizicheskie issledovaniya pri izuchenii geologicheskogo stroeniya Zhezkazganskogo rudnogo raiona v Kazakhstane [Integrated geophysical studies in studying the geological structure of the Zhezkazgan ore district in Kazakhstan]. Materialy 17-j nauchno-prakticheskoj konferencii i vystavki «Inzhenernaja i rudnaja geofizika 2021», Gelendzhik, 26–30 aprelja 2021 goda, Gelendzhik, 2021, pp. 61 [in Russian].
2. Isagalieva A. K., Isaev V. I., Istekova S. A. (2021). Metodika interpretacii gravimetricheskih dannyh pri postroenii geologicheskoj modeli zemnoj kory Prikaspijskogo regiona [Methodology of interpretation of gravimetric data in building a geological model of the Earth's crust of the Caspian region]. Vestnik Kazakhstansko-Britanskogo Tekhnicheskogo Universiteta, Vol. 17(2), pp. 21–29 [in Russian].
3. Istekova S. A., Zhylkybaeva G. A. (2015). Sostoyanie geofizicheskikh issledovanii v Kazakhstane [State of geophysical research in Kazakhstan]. Vestnik Sovremennoi Nauki, Vol. 9–2, pp. 107–115 [in Russian].
4. Kovrizhnyh P.N., Shagrov B.B., Jurist S.Sh., Bolotin Ju.V., Saurkov Zh., Karenov T. (2013). Morskie semki na Kaspii gravimetrami GT-2M, Chekan AM i LR: sravnenie tochnosti [Marine surveys in the Caspian Sea by GT-2M, Chekan AM and LR gravimeters: comparison of accuracy]. Geologija i Ohrana Nedr, Vol. 4, pp. 58–62 [in Russian].
5. Kaminskij V.F., Efimov A.A., Kirmasov A.B., Kovrizhnyh P.N. (2021). Trehmernaja inversija gravimetricheskih dannyh s ispol'zovaniem netrivial'noj referentnoj modeli na mestorozhdenii Vostochnyj Zhajrem [Three-dimensional inversion of gravimetric data using non-trivial reference model in the East Zhairem field], Geoinformatika, Vol. 1, pp. 17–25 [in Russian].
6. Nazirova A. B., Dubovenko Y. I., Abdoldina F. N., Kuzminets M. P. (2021). Optimization of GIS modules for processing data of gravity monitoring of subsoil in the Republic of Kazakhstan. Geoinformatics, Vol. 1, pp. 1–6.
7. Taple B. D., Watkins M. M., Flechtner F., Reigber C., Bettadpur S., Rodell M., Sasgen I., Famiglietti J. S., Landerer F. W., Chambers D. P. (2019). Contributions of GRACE to understanding climate change. Nature Climate Change, Vol. 9(5), pp. 358–369.
8. Tapley B.D., Landerer F. W., Chambers D. P., Reager J. T., Gardner A. S., Save H., Ivins E. R., Swenson S. C., Boening C., Dahle C., Wiese D. N., Dobslaw H., Tamisiea M. E., Velicogna I. (2019). Contributions of GRACE to understanding climate change. In Nature Climate Change, Vol. 9, Issue 5, pp. 358–369. Nature Publishing Group. doi: 10.1038/s41558-019-0456-2
9. Hassan A. A., Jin S. (2014). Water cycle and climate signals in Africa observed by satellite gravimetry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 17(1), pp. 012149.
10. Kornfeld R., Arnold B., Gross M., Dahya N., Klipstein W. (2019). GRACE-FO: The Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-On Mission. Journal of Spacecraft and Rockets, pp. 56. doi: 10.2514/1.A34326
11. Chang L., Sun W. (2022). Consistency analysis of GRACE and GRACE-FO data in the study of global mean sea level change. Geodesy and Geodynamics, Vol. 13(4), pp. 321–326.
12. Flechtner F., Reigber C., Rummel R., Balmino G. (2021). Satellite gravimetry: a review of its realization. Surveys in Geophysics, Vol. 42(5), pp. 1029–1074.
13. Chen L., He Q., Liu K., Li J., Jing, C. (2019). Downscaling of GRACE-derived groundwater storage based on the random forest model. Remote Sensing, Vol. 11(24), pp. 2979.
14. Yang T., Wang C., Yu Z., Xu F. (2013). Characterization of spatio-temporal patterns for various GRACE-and GLDAS-born estimates for changes of global terrestrial water storage. Global and Planetary Change, Vol. 109, pp. 30–37.
15. Ajbulatov D., Zotov L., Frolova N., Chalov S. (2015). Sovremennye vozmozhnosti ispol'zovanija metodov distancionnogo zondirovanija dlja poluchenija informacii o vodnyh obektah [Modern possibilities of using remote sensing methods to obtain information about water bodies]. Zemlja iz Kosmosa: Naibolee Jeffektivnye Reshenija, Vol. S, pp. 34–37 [in Russian].
16. Li W., Bao L., Yao G., Wang F., Guo Q., Zhu J., Zhu J., Wang Z., Bi J., Zhu, C. (2024). The analysis on groundwater storage variations from GRACE/GRACE-FO in recent 20 years driven by influencing factors and prediction in Shandong Province, China. Scientific Reports, Vol. 14(1), pp. 5819.
17. Sermiagin R., Kemerbayev N., Kassymkanova K. K., Mussina G., Shkiyeva M., Kosarev N., Samarkhanov K., Batalova A., Rakhimzhanov A., Kalen Y. (2024). Selection of a calibration system for relative gravimeters and testing of the processing using the example of the Zhetygen calibration baseline in Kazakhstan. Acta Geodaetica et Geophysica. doi: 10.1007/s40328-024-00454-x
18. Kashheev R. A. Sovremennye metody sputnikovoj gravimetrii [Modern methods of satellite gravimetry]. – Kazan: Kazan. Un-t, 2015 [in Russian].

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ГРАВИМЕТРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ СУ ОБЪЕКТІЛЕРІН МОНИТОРИНГІЛЕУ ҮШІН СПУТНИКТІК ГРАВИМЕТРИЯНЫ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІКТЕРІ

Канат Б. Самарханов[1,2] PhD, Гузялия А.Мусина[1*], Марал Х. Шкиева[1], Аян Б. Жумаканов[1], Эльмира О. Орынбасарова[3]

[1] ЖШС «GEOID», Астана, Қазақстан; kanat.baurzhanuly@gmail.com, snezhinka200184@gmail.com, maral.shkiyeva@gmail.com, A.Zhumakanov@geo-id.kz
[2] «Астана» халықаралық ғылыми кешені, Астана, Қазақстан; kanat.baurzhanuly@gmail.com
[3] Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан; Elmiraorynbassarova@gmail.com
Автор корреспондент: Гузялия А. Мусина, snezhinka200184@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

гравиметрия
Қазақстан
гравиметрлер
геодинамика
геоид
гравиметриялық желілер
квазигеоид
геодезия
геология
рельефтің цифрлық моделі

Мақала жайында:
Жіберілді: 31.05.2024
Қайта қаралды: 30.04.2025
Қабылданды: 04.06.2025
Жарияланды: 30.06.2025

АБСТРАКТ

Мақалада Қазақстандағы гравиметриялық түсірілімдердің қазіргі жағдайы мен қолданылуы қарастырылады, әсіресе су айдындары мен экологиялық өзгерістерді мониторингтеу үшін GRACE және GRACE-FO миссияларының деректерін пайдалануға ерекше назар аударылады. Зерттеу гравиметриялық әдістердің кен орындары орналасқан аймақтардың терең тектоникалық құрылымын зерттеудегі және Қазақстан геоиды моделін жасаудағы маңызды рөлін атап өтеді.

Қазіргі заманғы ғылым деңгейі жасанды интеллект алгоритмдерін, соның ішінде машиналық және тереңдетілген оқытуды қолдануға, сондай-ақ спутниктік деректерді пайдалана отырып зерттеулер жүргізуге кең мүмкіндіктер береді. Бұл ғылыми зерттеуде Қазақстандағы су ресурстары мен мұздық жүйелерінің динамикасын зерттеу бойынша ақпаратты талдау нәтижелері ұсынылған, онда GRACE мониторингінің нәтижелерінің кеңістіктік ажыратымдылығын жақсартатын машиналық оқыту алгоритмі қолданылды. Зерттеу нәтижелері спутниктік GRACE деректерін кең ауқымды аумақтарда мониторинг жүргізу үшін пайдалануға болатынын және су ресурстары мен мұздық жүйелерінің жағдайы мен динамикасы туралы мәліметтер алуға мүмкіндік беретінін растайды.

Мақалада GRACE миссиясының Жер туралы ғылымдарға трансформациялық әсері атап өтіледі, бұл климаттық өзгерістердің салдарын азайту стратегияларын жақсартуға және қоршаған ортаны тиімді басқаруға ықпал етеді, ал бұл Қазақстанның тұрақты дамуы үшін аса маңызды.

THE CURRENT STATE OF GRAVIMETRIC RESEARCH IN KAZAKHSTAN AND THE POSSIBILITY OF USING SATELLITE GRAVIMETRY FOR MONITORING WATER BODIES

Kanat Samarkhanov[1,2] PhD, Guzyaliya Mussina[1*], Maral Shkieva[1], Ayan Zhumakanov[1], Elmira Orynbassarova[3]

[1] LLP «GEOID», Astana, Kazakhstan; kanat.baurzhanuly@gmail.com, snezhinka200184@gmail.com, maral.shkiyeva@gmail.com, A.Zhumakanov@geo-id.kz
[2] «Astana» International Scientific Complex, Astana, Kazakhstan; kanat.baurzhanuly@gmail.com
[3] Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; Elmiraorynbassarova@gmail.com
Corresponding author: Guzyaliya Mussina, snezhinka200184@gmail.com

KEY WORDS

gravimetry
Kazakhstan
gravimeters
geodynamics
geoid
gravimetric networks
quasi-geoid
geodesy
geology
digital relief model

About article:
Received: 31.05.2024
Revised: 30.04.2025
Accepted: 04.06.2025
Published: 30.06.2025

ABSTRACT

The article examines the current state and application of gravimetric surveys in Kazakhstan, with a particular focus on the use of satellite gravimetry, specifically data from the GRACE and GRACE-FO missions, for monitoring water bodies and environmental changes. The study highlights the significant role of gravimetric methods in investigating the deep tectonic structure of ore-bearing regions and in developing a geoid model of Kazakhstan.

The modern level of scientific development provides broad opportunities for applying artificial intelligence algorithms, including machine learning and deep learning, as well as conducting research using satellite data. This scientific study presents the results of an analysis of information on the dynamics of water resources and glacial systems in Kazakhstan, where a machine learning algorithm was applied to improve the spatial resolution of GRACE monitoring results. The research findings confirm that the use of GRACE satellite data allows for large-scale monitoring studies and can be utilized to obtain data on the state and dynamics of water resources and glacial systems.

The article emphasizes the transformative impact of the GRACE mission on Earth sciences, contributing to improved strategies for mitigating the effects of climate change and effective environmental management, which is crucial for the sustainable development of Kazakhstan.

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

Хроника

ДАВЛЕТГАЛИЕВ САКЕН КАЛАМКАЛИЕВИЧ
(к 90-летию со дня рождения)

Давлетгалиев Сакен Каламкалиевич – доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии и гидрологии факультета географии и природопользования КазНУ им. аль-Фараби – один из ведущих учёных, стоявших у истоков формирования казахстанской школы гидрологии.

Свою жизнь он посвятил важнейшим направлениям науки: статистическому анализу гидрологических данных, оценке водных ресурсов, гидрологическим прогнозам и обеспечения водной безопасности. Благодаря его научному руководству были защищены кандидатские и докторские диссертации, проведены масштабные исследования, оказавшие влияние на развитие отечественной науки.

Профессор С.К. Давлетгалиев принимал активное участие в разработке и реализации крупных научных проектов, направленных на изучение водных ресурсов Казахстана и повышение эффективности управления ими в условиях изменяющегося климата. Его научное наследие — это более 250 публикаций: статьи, монографии, учебники и учебные пособия, многие из которых стали основой для подготовки будущих специалистов в области гидрологии. Участие в международных конференциях, симпозиумах и семинарах позволило представить казахстанскую науку на мировой арене, укрепляя его авторитет.

Научные исследования Сакена Каламкалиевича сыграли ключевую роль в изучении речного стока, управлении водными системами и адаптации водных ресурсов к новым климатическим вызовам.

Уважаемый Сакен Каламкалиевич!

Поздравляем Вас с этой знаменательной датой! Ваш жизненный путь — это путь подвижника науки, пример преданности своему делу, высочайшего профессионализма, мудрости и человеческого достоинства.

Ваш вклад в науку, образование и воспитание молодых кадров невозможно переоценить. Благодаря Вам, профессия учёного наполнена живым смыслом, служением обществу и будущим поколениям. Вы вдохновляли и продолжаете вдохновлять своим упорством, широтой взглядов и личным примером.

Желаем Вам крепкого здоровья, благополучия, вдохновения и бодрости духа. Пусть каждый новый день приносит радость, а рядом всегда будут благодарные ученики, заботливые коллеги и верные друзья. Пусть впереди ждут ещё свершения, признание и тёплое внимание тех, кто ценит и уважает Вас!

С уважением и благодарностью,
коллектив кафедры метеорологии и гидрологии
КазНУ им. аль-Фараби