

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



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Ежеквартальный
научно-технический журнал

АСТАНА

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ

«Қазгидромет» РМК

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И HYDROMETEOROLOGY

ЭКОЛОГИЯ

AND ECOLOGY

РГП «Қазгидромет»

RSE «Kazhydromet»

2026

№2 (122) шығарылым

Выпуск №2 (122)

Issue №2 (122)

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

Қалиев Ә.С., Бас директордың бірінші орынбасары

РЕДАКЦИЯ

Дюсенова Ж.А., т.ғ.к., жетекші ғылыми қызметкер

Жаксыбаева А.Е., жетекші ғылыми қызметкер

Нурхан М.Қ., жетекші ғылыми қызметкер

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ

Абдрахимов Р.Г. (Алматы, Қазақстан)

Волчек А.А. (Брест, Беларусь)

Гафуров А. (Потсдам, Германия)

Елтай А.Ф. (Астана, Қазақстан)

Муртазин Е.Ж. (Алматы, Қазақстан)

Мустафаев Ж.С. (Алматы, Қазақстан)

Опп К. (Марбург, Германия)

Островская Е.В. (Астрахань, Ресей)

Полякова С.Е. (Алматы, Қазақстан)

Саилов С.Б. (Тараз, 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

Калиев А.С., Первый заместитель генерального директора

РЕДАКЦИЯ

Дюсенова Ж.А., к.т.н., ведущий научный сотрудник

Жаксыбаева А.Е., ведущий научный сотрудник

Нұрхан М.Қ., ведущий научный сотрудник

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абдрахимов Р.Г. (Алматы, Казахстан)

Волчек А.А. (Брест, Беларусь)

Гафуров А. (Потсдам, Германия)

Елтай А.Ф. (Астана, Казахстан)

Муртазин Е.Ж. (Алматы, Казахстан)

Мустафаев Ж.С. (Алматы, Казахстан)

Опп К. (Марбург, ФРГ)

Островская Е.В. (Астрахань, Россия)

Полякова С.Е. (Алматы, Казахстан)

Саиров С.Б. (Тараз, Казахстан)

Сальников В.Г. (Алматы, Казахстан)

Степанов Б.С. (Алматы, Казахстан)

Терехов А.Г. (Алматы, Казахстан)

Тілләкәрім Т.А. (Астана, Казахстан)

Чередниченко А.В. (Алматы, Казахстан)

Яфязова Р.К. (Алматы, Казахстан)

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

E-mail: hydromet.journal@gmail.com

Сайт: <https://journal.kazhydromet.kz>

Собственник: РГП «Казгидромет»

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

CHIEF EDITOR

Alimbayeva D., General Director

DEPUTY CHIEF EDITOR

Kaliev A., First Deputy General Director

EDITORIAL STAFF

Dyussenova Zh., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher

Zhaksybayeva A., Leading Researcher

Nurkhan M., Leading Researcher

EDITORIAL BOARD

Abdrakhimov R. (Almaty, Kazakhstan)

Volchek A. (Брест, Беларусь)

Gafurov A. (Potsdam, Germany)

Yeltay A. (Astana, Kazakhstan)

Murtazin E. (Almaty, Kazakhstan)

Mustafayev Zh. (Almaty, Kazakhstan)

Opp C. (Marburg, Germany)

Ostrovskaya E. (Astrakhan, Russia)

Polyakova S. (Almaty, Kazakhstan)

Sairov S. (Taraz, 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

Арай Е. Темиржанова, Медет Р. Актаев, Жанат А. Байгазинов, Нурлан Ж. Мухамедияров, Айнур Ж. Смагулова, Нариман А. Баубек, Ляйля Х. Акбаева, Javier Rodrigo-Parri (Хавьер Родриго-Иларий), Касым К. Дускаев ШАҒАН ӨЗЕНІНІҢ ТРИТИЙМЕН ЛАСТАНУ АЙМАҚТАРЫНДА ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ РЕЖИМ МЕН СУ ШЫҒЫНЫН ЗЕРТТЕУ	8
Марат М. Молдахметов ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЖАЗЫҚ ӨЗЕНДЕРІНІҢ СІРЕК ҚАЙТАЛАНАТЫН ЕҢ ЖОҒАРЫ АҒЫНДЫСЫН СТАТИСТИКАЛЫҚ БЕЛГІСІЗДІК ЖАҒДАЙЫНДА БАҒАЛАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕРІ	23
Тұрсын А.Тілләкәрім, Серик Б. Саиров, Назира Алимжанова, Мариям Қ. Нұрхан АРАЛ-СЫРДАРΙΑ АЛАБЫ ӨЗЕНДЕРІНІҢ АҒЫСЫН МОДЕЛЬДЕУГЕ АРНАЛҒАН НВУ МОДЕЛІН ҚОЛДАНУ НӘТИЖЕЛЕРІ	46
Жанат З. Төлеубекова, Забида Н. Курманғалиева, Айнур Д. Каранеева, Толқын К. Қуанышбек ТАҚЫРЫПТЫҚ ҚАБАТТАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП АУМАҚТЫҢ ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ГЕОАҚПАРАТТЫҚ ТАЛДАУЫ	60
Виталий В. Жданов, Мәулен М. Тоғыс, Виктор П. Благовещенский, Сандугаш У. Ранова, Айдана Н. Камалбекова, Еркебулан Е. Халыков, Ұлжан Р. Алдаберген ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ТАУЛАРЫНДАҒЫ СЕЛ ПАЙДА БОЛУЫНЫҢ МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫНЫҢ КЕҢІСТІКТІК УАҚЫТТЫҚ ТАРАЛУЫ	75
Фарғана С. Дадашова 2002-2022 ЖЫЛДАР КЕЗЕҢІНДЕ ӨЗІРБАЙЖАН АУМАҒЫНДА ТҮСКЕН ЖАУЫН-ШАШЫН МӨЛШЕРІН ТАЛДАУ	90
Айкерім Ж. Керімқұл, Айман С. Нысанбаева, Азамат С. Мадібеков АЛМАТЫ МЕН ҚАПШАҒАЙДЫҢ ТУРИСТІК КЛИМАТТЫҚ ИНДЕКСІН БАҒАЛАУ	101
Аяжан Ұ. Шыныбек, Канат Б. Самарханов, Гульбаршын Е. Азимбаева ҚАЗАЛЫ АУДАНЫНЫҢ 2000-2025 ЖЖ. АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫН ГЕОКЕҢІСТІКТІК ТАЛДАУ	114
Гульбаршын Е. Азимбаева, Канат Б. Самарханов, Аяжан Ұ. Шыныбек, Марина К. Булатова ЕРТІС МАҢЫ ОРМАНДАРЫНЫҢ 2000 – 2025 ЖЖ. АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ДИНАМИКАСЫН ГЕОКЕҢІСТІКТІК ТАЛДАУ	125
Жанар О. Озгелдинова КОСТАНАЙ ОБЛЫСЫ ОРМАНДАРЫНЫҢ ӨРТ ҚАУІПТІЛІГІНІҢ ТАБИҒИ ФАКТОРЛАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ БАҒАЛАУ	137
Раушан А. Джайсамбекова, Сымбат С. Ақболатова, Айжан Н. Шералы, Гулзина С. Алимбаева ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ӨңІРІНІҢ ТОПЫРАҚ-МЕЛИОРАТИВТІК ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫН БАҒАЛАУ	155
Айқын А. Нұрахмет, Аманбек Зандыбай, Гульнур С. Нурахметова АҚМОЛА ОБЛЫСЫ АУМАҒЫНДАҒЫ РЕКУЛЬТИВАЦИЯЛАНҒАН УРАН КЕН ОРЫНДАРЫНА ЖАҚЫН ОРНАЛАСҚАН БЕТКЕЙ СУ НЫСАНДАРЫН РЕКОГНОСЦИРОВКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ	170
Дильназ К. Елеусинова, Ольга А. Зубова, Гульдана М. Минжанова ҚАЗАҚСТАН ХАЛҚЫНЫҢ КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІ ЖӘНЕ ОҒАН БЕЙІМДЕЛУ ТӘСІЛДЕРІ ТУРАЛЫ ХАБАРЛЫҚ ДЕҢГЕЙІН ТАЛДАУ	187
Талшын Р. Оразбаева, Азамат С. Мадібеков, Садулла Л. Кузу ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫС БӨЛІГІНДЕГІ ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНУЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛІН БАҒАЛАУ	199
Нурлан А. Ахметов, Давлат Х. Юлдашбек, Ёкубжан С. Сатанов, Жұлдыз А. Дюсенова, Бекжан Д. Қосалбаев, Нуралы Ш. Акимбеков ВЕРМИКОМПОСТТЫҢ ХИМИЯЛЫҚ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТОПЫРАҚТЫҢ АГРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН ЖЫЛЫЖАЙ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІНЕ ӘСЕРІ	214
ШОЛУ	
Константин М. Дрютов, Жанслу И. Инкарова ҚАЗАҚСТАНАДАҒЫ ӨСІМДІКТЕР МЕН ЖАНУАРЛАРДЫҢ ИНВАЗИЯЛЫҚ ТҮРЛЕРІНІҢ БИОӘРТҮРЛІЛІККЕ ӘСЕРІ	231

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Арай Е. Темиржанова, Медет Р. Актаев, Жанат А. Байгазинов, Нурлан Ж. Мухамедияров, Айнур. Ж. Смагулова, Нариман. А. Баубек, Ляйля Х. Акбаева, Javier Rodrigo-Parri (Хавьер Родриго-Иларий), Касым К. Дускаев	8
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И РАСХОДА ВОДЫ Р. ШАГАН НА УЧАСТКАХ ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ	
Марат М. Молдахметов	23
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕДКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ РАВНИННЫХ РЕК КАЗАХСТАНА В УСЛОВИЯХ СТАТИСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	
Тұрсын А. Тіллэкәрім, Серик Б. Саиров, Назира С. Алимжанова, Мариям Қ. Нұрхан	46
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ НВУ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК АРАЛО-СЫРДАРЬИНСКОГО БАССЕЙНА	
Жанат З. Төлеубекова, Забида Н. Курмангалиева, Айнур Д. Каранеева, Толқын К. Қуанышбек	60
ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕМАТИЧЕСКИХ СЛОЕВ	
Виталий В. Жданов, Мәулен М. Тоғыс, Виктор П. Благовещенский, Сандугаш У. Ранова, Айдана Н. Камалбекова, Еркебулан Е. Халыков, Ұлжан Р. Алдабергел	75
ПРОСТРАНСТВЕННО ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СЕЛЕФОРМИРОВАНИЯ В ГОРАХ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА	
Фаргана Салам кызы Дадашова	90
АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ, ВЫПАВШИХ НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2002-2022 гг.	
Айкерим Ж. Керимкул, Айман С. Нысанбаева, Азамат С. Мадибеков	101
ОЦЕНКА ТУРИСТИЧЕСКОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА АЛМАТЫ И КАПЧАГАЯ	
Аяжан Ұ. Шыныбек, Канат Б. Самарханов, Гульбаршын Е. Азимбаева	114
ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА КАЗАЛИНСКОГО РАЙОНА ЗА ПЕРИОД 2000-2025 ГГ.	
Гульбаршын Е. Азимбаева, Канат Б. Самарханов, Аяжан Ұ. Шыныбек, Марина К. Булатова	125
ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЛЕСОВ ПРИИРТЫШЬЯ В ПЕРИОД 2000–2025 ГГ.	
Жанар О. Озгелдинова	137
ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛЕСОВ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ОЦЕНКА	
Раушан А. Джайсамбекова, Сымбат С. Акболатова, Айжан Н. Шералы, Гулзина С. Алимбаева	155
ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ И ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА	
Айқын А. Нұрахмет, Аманбек Зандыбай, Гульнур С. Нурахметова	170
РЕКОГНОСЦИРОВОЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ	
Дильназ К. Елеусинова, Ольга А. Зубова, Гульдана М. Минжанова	187
АНАЛИЗ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ КАЗАХСТАНА ОБ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА И СПОСОБАХ АДАПТАЦИИ К НЕМУ	
Талшын Р. Оразбаева, Азамат С. Мадибеков, Кузу Л. Садулла	199
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАЗАХСТАНА	
Нурлан А. Ахметов, Давлат Х. Юлдашбек, Ёқубжан С. Сатанов, Жұлдыз А. Дюсенова, Бекжан Д. Косалбаев, Нуралы Ш. Акимбеков	214
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРМИКОМПОСТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ТЕПЛИЧНЫХ КУЛЬТУР	
ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ	
Константин М. Дрютов, Жанслу И. Инкарова	231
ВЛИЯНИЕ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ НА БИОРАЗНООБРАЗИЕ В КАЗАХСТАНЕ	

CONTENT






SCIENTIFIC ARTICLE

Aray Temirzhanova, Medet Aktayev, Janat Baigazinov, Nurlan Mukhamediyarov, Ainur Smagulova, Nariman Baubek, Lyayla Akbaeva, Javier Rodrigo-Illarri, Kassym Duskayev STUDY OF THE TEMPERATURE REGIME AND WATER DISCHARGE OF THE SHAGAN RIVER IN AREAS OF TRITIUM CONTAMINATION	8
Marat Moldakhmetov METHODODOLOGICAL APPROACHES FOR ESTIMATING RARE MAXIMUM STREAMFLOW IN LOWLAND RIVERS OF KAZAKHSTAN UNDER STATISTICAL UNCERTAINTY	23
Tursyn Tillakarim, Serik Sairov, Nazira Alimzhanova, Mariyam Nurkhan RESULTS OF APPLYING THE HBV MODEL FOR STREAMFLOW MODELING OF RIVERS IN THE ARAL-SYRDARYA BASIN	46
Zhanat Toleubekova, Zabida Kurmangaliyeva, Ainur Karaneeva, Tolkyn Kuanyshebek INTEGRATED GIS-BASED TERRITORIAL ANALYSIS USING THEMATIC SPATIAL LAYERS	60
Vitaliy Zhdanov, Maulen Togys, Victor Blagoveshchensky, Sandugash Ranova, Aidana Kamalbekova, Erkebulan Khalykov, Ulzhan Aldabergen SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF METEOROLOGICAL CONDITIONS OF DEBRIS FLOW FORMATION IN THE MOUNTAINS OF SOUTHERN KAZAKHSTAN	75
Fargana Dadashova ANALYSIS OF THE AMOUNT OF PRECIPITATION RECORDED IN THE TERRITORY OF AZERBAIJAN OVER THE MULTI-YEAR PERIOD 2002–2022	90
Aikerim Kerimkul, Aiman Nyssanbayeva, Azamat Madibekov ASSESSMENT OF THE TOURISM CLIMATE INDEX OF ALMATY AND KAPCHAGAY	101
Ayazhan Shynybek, Kanat Samarkhanov, Gulbarshyn Azimbayeva GEOSPATIAL ANALYSIS OF VEGETATION COVER DYNAMICS IN THE KAZALY DISTRICT FOR THE PERIOD 2000–2025	114
Gulbarshyn Azimbayeva, Kanat Samarkhanov, Ayazhan Shynybek, Marina Bulatova GEOSPATIAL ANALYSIS OF FOREST DYNAMICS IN THE IRTYSH REGION FOR THE PERIOD 2000–2025	125
Zhanar Ozgeldinova NATURAL FACTORS OF FOREST FIRE HAZARD IN THE KOSTANAY REGION AND THEIR ASSESSMENT	137
Raushan Dzhaisambekova, Aizhan Sheraly, Symbat Akbolatova, Gulzina Alimbaeva SOIL RECLAMATION STATUS AND ASSESSMENT OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF WATER RESOURCES IN THE SOUTH KAZAKHSTAN REGION	155
Aikyn Nurakhmet, Amanbek Zandybay, Gulnur Nurakhmetova RECONNAISSANCE SURVEY OF SURFACE WATER BODIES LOCATED NEAR RECULTIVATED URANIUM DEPOSITS IN THE AKMOLA REGION	170
Dilnaz Yeleussinova, Olga Zubova, Guldana Minzhanova ANALYSIS OF THE KAZAKHSTAN POPULATION'S AWARENESS OF CLIMATE CHANGE AND WAYS OF ADAPTING TO IT	187
Talshyn Orazbayeva, Azamat Madibekov, Kuzu Sadullah Levent ASSESSMENT OF ECOLOGICAL RISK OF SNOW COVER CONTAMINATION BY HEAVY METALS IN SOUTH-EASTERN KAZAKHSTAN	199
Nurlan Akhmetov, Davlat Yuldashbek, Yokubzhan Satanov, Zhuldyz Dyussenova, Bekzhan Kossalbayev, Nuraly Akimbekov CHEMICAL-TECHNOLOGICAL CHARACTERISATION OF VERMICOMPOST AND ITS EFFECT ON THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOIL AND YIELD OF GREENHOUSE CROPS	214
REVIEW ARTICLE	
Konstantin Dryutov, Zhansulu Inkarova IMPACT OF INVASIVE PLANT AND ANIMAL SPECIES ON BIODIVERSITY IN KAZAKHSTAN	231



Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И РАСХОДА ВОДЫ Р. ШАГАН НА УЧАСТКАХ ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Арай Е. Темиржанова¹ , Медет Р. Актаев^{2,3*} , Жанат А. Байгазинов² , Нурлан Ж. Мухамедияров^{2,4} , Айнур Ж. Смагулова⁵, Нариман А. Баубек³, Ляйля Х. Акбаева⁶, Javier Rodrigo-Illari (Хавьер Родриго-Иларий)⁷, Касым К. Дускаев¹ 

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; temirzhanova.aray@mail.ru (АЕТ), kduskaev@gmail.com (ККД)

²АО «Парк ядерных технологий», Курчатов, Казахстан; medet_aktaev@mail.ru (МРА), zh.baigazinov@gmail.com (ЖАБ), nurlan.eventumlab@gmail.com (НЖМ)

³ТОО «Baiterek Engineering», Астана, Казахстан; medet_aktaev@mail.ru (МРА), narimanbaubek1982@gmail.com (НАБ)

⁴НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан; nurlan.eventumlab@gmail.com (НЖМ)

⁵Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, Астана, Казахстан; ainura.sed@gmail.com (АЖС)

⁶Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; akbaeva659@mail.ru (ЛХА)

⁷Universitat Politècnica de València (Политехнический университет Валенсии), Валенсия, Испания; jrodrigoilari@gmail.com (ХР-И)

*Автор корреспонденции: Медет Р. Актаев, medet_aktaev@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

взаимодействие
подземных и
поверхностных вод,
гидрогеология,
радиоэкология,
зоны разгрузки
подземных вод

АБСТРАКТ

Актуальность исследований состояния водных экосистем в зонах ядерных испытаний определяется длительным сохранением последствий радиоактивного загрязнения в природных средах. В районах, подвергавшихся воздействию ядерных взрывов, проблема радиоактивного загрязнения поверхностных и подземных вод остается одной из ключевых экологических задач. Одним из таких объектов является река Шаган, расположенная на территории Семипалатинского испытательного полигона. Особое внимание уделяется участкам русла реки, где наблюдается разгрузка загрязненных подземных и трещинных вод в поверхностный водоток, что способствует дальнейшему распространению радионуклидов в водной системе.

В работе представлено комплексное исследование температурного режима и расхода воды реки Шаган в пределах зоны влияния испытательной площадки «Балапан» с целью выявления участков разгрузки подземных вод, содержащих тритий (ЗН), и анализа их пространственно-временной изменчивости. В отличие от предыдущих радиоэкологических исследований реки Шаган, ориентированных преимущественно на оценку загрязнения, в данном исследовании основной акцент сделан на взаимодействии подземных и поверхностных вод и его роли в формировании гидрологического режима и переносе радиоактивных компонентов.

Термометрические измерения, выполненные с шагом 50 м вдоль русла на протяжении 5,4 км, позволили выявить зоны аномально низких температур (8,5...10 °С), соответствующие участкам разгрузки загрязненных подземных вод. Гидрометрические измерения показали, что расход воды изменяется от 0,01 до 0,21 м³/с, с выраженными потерями стока на фильтрацию. Максимальная удельная активность ЗН фиксируется у дна водотока вблизи участков 2650...2800 м и 4950...5350 м от озера «Атомное» вниз по течению, что подтверждает связь между температурными аномалиями и поступлением подземных вод.

1. ВВЕДЕНИЕ

Река Шаган (левобережный приток р. Ертис) относится к категории поверхностных водотоков с выраженной сезонной изменчивостью. В горной части бассейна река характеризуется бурным течением и устойчивым поверхностным стоком. На равнинных участках русло частично пересыхает, распадаясь на отдельные плесы, гидравлически связанные между собой подрусловым потоком. Из-за сравнительно небольших размеров бассейна и периодического пересыхания русла на отдельных участках регулярные гидрометрические измерения в последние десятилетия не проводятся и водоток исключен из перечня гидрологических постов, охватываемых сетью наблюдений РГП «Казгидромет». Это создает определенный пробел в системе гидрологического мониторинга бассейна трансграничной реки Ертис, поскольку отсутствие наблюдений на данном участке не позволяет в полной мере оценивать особенности водного режима и динамику стока одной из ключевых малых рек региона. Однако малые реки, подобные Шагану, играют значительную роль в формировании суммарного стока, в поддержании локальных экосистем и в общем водном обмене региона, что делает их системное изучение особенно актуальным [1, 5].

В советский период и в первые годы независимости Республики Казахстан с 1951 по 1993 годы на реке Шаган проводились регулярные суточные и сезонные гидрологические наблюдения. Гидрологический пост, расположенный в селе Бестамак, относился к постам I разряда. Согласно архивным данным, площадь водосборного бассейна реки Шаган в разные годы варьировала от 1890 до 2900 км². В большинстве случаев отсутствуют сведения о расчетах по среднему годовому стоку, поскольку на равнинных участках в зимний и летний периоды наблюдалось частичное замерзание и пересыхание русла, что, в свою очередь, затрудняло проведение статистической обработки гидрологических данных [6, 11].

Особый научный интерес к бассейну реки Шаган в последние годы связан с проблемой радиоактивного загрязнения, обусловленного техногенным воздействием и историческим влиянием Семипалатинского испытательного полигона. Водный бассейн реки Шаган представляет собой один из ключевых элементов гидрогеологической системы испытательной площадки «Балапан» бывшего Семипалатинского испытательного полигона [12]. В пределах бассейна р. Шаган отмечается устойчивое присутствие ЗН, что придает особую радиоэкологическую значимость данному водному объекту [13, 14]. Наиболее высокие концентрации ЗН зафиксированы на участке примерно в 5 км ниже по течению от «Атомного» озера, тогда как минимальные значения наблюдаются в устьевой зоне, в районе впадения реки в Ертис [15, 16]. Основным источником поступления ЗН в р. Шаган являются подземные воды, разгружающиеся из зоны подземных ядерных взрывов испытательной площадки «Балапан» и из озера «Атомное» [17, 18]. Водные потоки мигрируют по проницаемым песчано-гравийным отложениям и формируют локальные аномалии в составе и температуре вод р. Шаган [19].

Ранее проведенные исследования подтвердили широкое распространение трития в подрусловых и поверхностных водах реки. Концентрация трития изменялась от $4 \cdot 10^3$ до $3,5 \cdot 10^5$ Бк/кг [20], однако пространственная структура загрязнения оказалась крайне неравномерной. При этом четкой корреляции между содержанием ЗН в поверхностных и подрусловых водах выявлено не было, что указывает на сложный характер разгрузки подземных вод и локальность фильтрационных зон [21].

Несмотря на значительное число исследований, посвященных радиоэкологическому состоянию реки Шаган, гидрогеологические механизмы формирования и распространения радиоактивного загрязнения остаются изученными недостаточно, особенно в пределах левобережного притока. Для данного водотока отсутствуют актуальные данные по основным гидрологическим параметрам, включая расход воды и температурный режим, а систематический гидрологический мониторинг не осуществляется в настоящее время. Эти пробелы существенно ограничивают

По статье:
Получено: 15.12.2025
Пересмотрено: 30.03.2026
Принято: 06.04.2026
Опубликовано: 01.07.2026

Для цитирования:

Темиржанова А.,
Актаев М., Байгазинов Ж.,
Мухамедияров Н.,
Смагулова А., Баубек Н.,
Акбаева Л., Хавьер
Родриго-Иларий, Дускаев
К. Исследование
температурного режима и
расхода воды р. Шаган на
участках тритиевого
загрязнения//
Гидрометеорология и
экология, 122 (2), 2026, 8-
22.

возможность количественной оценки вклада подземных вод в формирование стока и переноса ЗН по русловой сети.

В условиях ограниченности прямых гидрологических наблюдений применение тепловых методов рассматривается как обоснованный и информативный подход к изучению взаимодействия подземных и поверхностных вод. Температурное профилирование потока позволяет использовать температурные аномалии в русле в качестве прокси-показателя разгрузки подземных вод, поскольку подземные воды характеризуются относительно стабильным температурным режимом по сравнению с поверхностными водами [22, 24]. Таким образом, выявление пространственно-временной изменчивости температурных характеристик создает основу для идентификации зон поступления подземных вод, потенциально являющихся источниками ЗН.

В связи с этим целью данного исследования является определение расхода воды и температурных характеристик потока исследуемых зон, позволяющих идентифицировать участки разгрузки подземных вод и оценить их влияние на распределение ЗН в пределах русловой сети вниз по течению. Задачи исследования включали: полевые наблюдения, в том числе измерение расхода воды и температурных характеристик потока на ключевых участках русла реки; определение зон разгрузки подземных вод на основании анализа пространственного распределения температурных аномалий и показателей расхода воды; оценка влияния разгрузки подземных вод на формирование и распространение тритиевого загрязнения вниз по течению водотока; разработать рекомендаций по восстановлению наблюдательной сети и совершенствованию системы гидрологического мониторинга с учетом изотопных и дистанционных методов. Полученные результаты формируют основу для последующего восстановления и развития систематического гидрологического мониторинга левобережного притока, что является необходимым условием для более точной оценки масштабов и механизмов распространения радиоактивного загрязнения.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб.

Измерения проводились на участках от выхода реки из озера «Атомное» до впадения в р. Ертис, а также в зоне слияния с рекой Ащису – основным притоком р. Шаган, формирующим внешний водоем.

Расход воды определялся методом прямого сечения по двум створам (верхнему и нижнему). Площадь живого сечения вычислялась по данным промеров глубин, скорость прибором Flowatch, который был предварительно откалиброван в лабораторных условиях с использованием стандартного струйного канала. Погрешность измерений скорости потока составила $\pm 5\%$. Для характеристики гидродинамических условий по всему руслу измерения скорости течения и расхода воды выполнены на 17 гидрометрических створах от 0,5 до 110 км от выхода из озера «Атомное» (рисунок 1), при этом - детальные термометрические измерения проводились на участке до 5,4 км, где ранее были зафиксированы повышенные концентрации исследуемого радиоактивного элемента и предполагалось влияние разгрузки подземных вод. Ниже по течению повышенные концентрации данного элемента не выявлялись, в связи с чем детальные температурные измерения на этих участках не проводились.

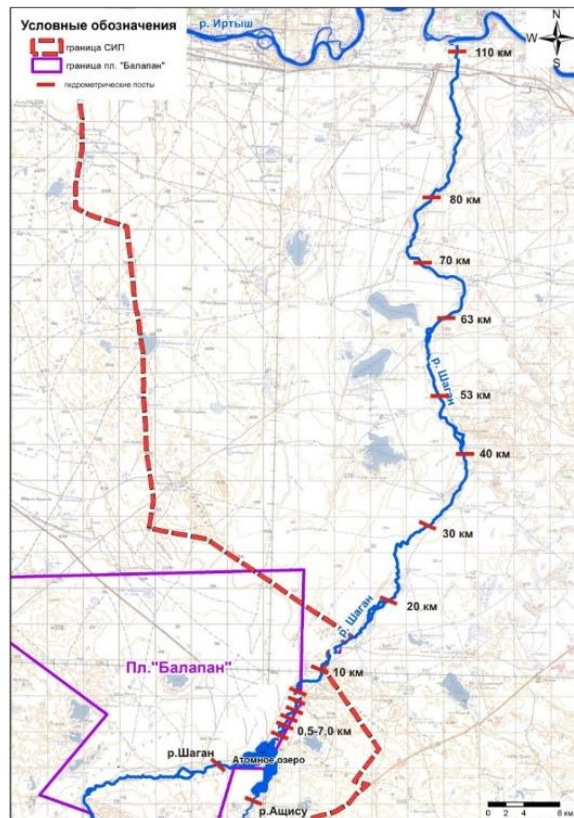


Рисунок 1. Расположение гидрометрических створов р. Шаган вниз по течению
Примечание – составлено авторами

Термометрические наблюдения проводились летом 2025 г. на участке 0,5...5,4 км (точка выхода из «Атомного» озера и внешнего водохранилища) вниз по течению с шагом 50 м вдоль русла р. Шаган с целью определения пространственного распределения температуры воды и выявления зон разгрузки подземных вод, содержащих ЗН. Летняя обезвоженность аллювиальных и аллювиально-пролювиальных отложений изучаемого региона приводит к снижению активных потоков в толще пород, что ослабляет локальные тепловые изменения [25]. В результате температура подземных вод в летний период становится относительно однородной вдоль профиля, за исключением локальных зон разгрузки, где подпитка активными потоками сохраняется. Для выявления таких зон при разведочных измерениях температурный шаг 50 м обеспечивает достаточное пространственное разрешение для крупных аномалий. Температура измерялась на уровне донных отложений с помощью прибора Flowatch (погрешность ± 0,1 °С).

На ряде контрольных точек на участках «2-й км» и «5-й км» м были проведены вертикальные профили измерений температуры в водной толще, включая донные отложения. Измерения выполнялись на глубинах 0...10...20...30...40...50 и 60 см. Общее количество взятых проб составило 35.

Расчет площади живого сечения (F). Ширина русла разбивалась на отрезки a_i , в концах которых измерялись интервалы глубины h_i . Площадь живого сечения вычислялась как сумма площадей граничных треугольников и набора ширины трапеций [26]:

$$S_1 = a_1 \cdot h_1/2; S_2 = (h_1 + h_2)/2 \cdot a_2; \dots; S_n = h_n \cdot a_n/2 \quad (1)$$

Итоговая площадь $F = \sum S_i$. Расчетная площадь F_r принималась как среднее значение площадей верхнего и нижнего створов:

$$F_r = (F_{\text{верхн}} + F_{\text{нижн}})/2 \quad (2)$$

Расчет вертикального температурного градиента проводился по формуле [27, 28]:

$$G = \frac{\Delta T}{\Delta H}, \quad (3)$$

где:

G - вертикальный температурный градиент, °C/см (или °C/м),

ΔT - изменение температуры между двумя точками, °C,

ΔH - разность глубин между этими точками, см или м.

Для контроля скорости проводились параллельные измерения прибором Flowatch с вертушечной насадкой с погрешностью ±1%.

Расчет расхода воды (Q) осуществлялся по формуле [26]:

$$Q = F_r \cdot V, \quad (4)$$

где F_r - расчетная площадь сечения, V- средняя скорость потока.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение температуры вод р. Шаган. Результаты термометрических измерений вдоль русла до 5,4-километрового участка р. Шаган позволили выявить закономерности температурного поля, отражающие особенности взаимодействия поверхностных и подземных вод. Температура вод реки изменялась в диапазоне от 8,5 до 29,7 °C, демонстрируя выраженную пространственную неравномерность. Все термометрические и гидрометрические измерения проводились в летний период, что следует учитывать при интерпретации данных. Точки измерения температур и результаты температурных измерений представлены на рисунке (рисунок 2).

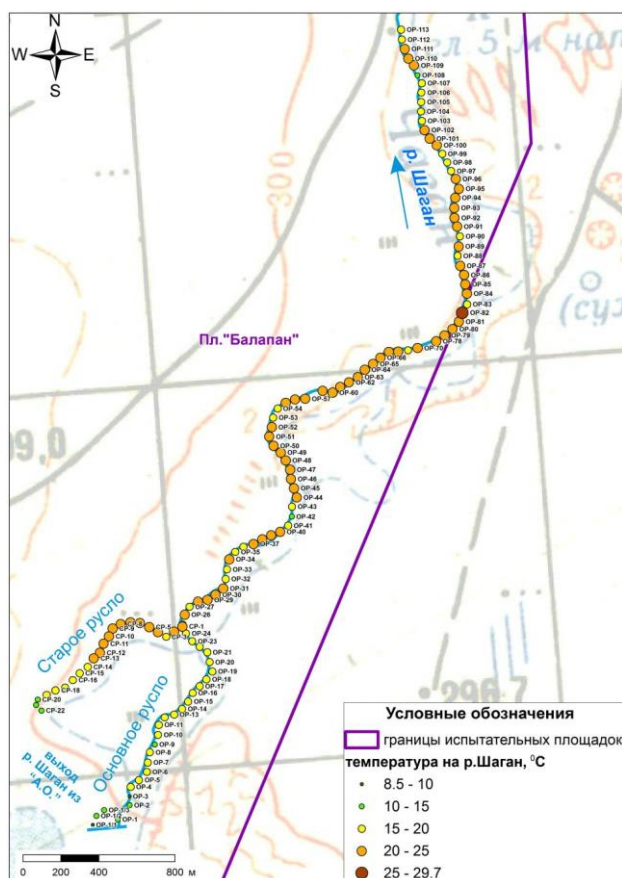


Рисунок 2. Результаты температурных измерений всего р. Шаган вниз по течению

Примечание – составлено авторами

Минимальные значения температуры (< 10 °C) отмечены на участках 50 м и 300 м вдоль старого русла, а также на створах 2650...2800 м и 4950...5350 м вдоль основного

русла. Эти зоны характеризуются устойчивыми отрицательными температурными аномалиями по отношению к средним фоновым значениям и соответствуют участкам разгрузки подземных вод, загрязненных тритием.

Температурный контраст между поверхностным потоком и водами, поступающими из подземных горизонтов, наиболее четко проявляется в середине руслового отрезка (2,5...5,5 км), где наблюдаются переходные зоны с чередованием «теплых» и «холодных» интервалов. Это указывает на чередование подпитки и фильтрационных потерь, а также на сложный характер руслового питания реки за счет вод, мигрирующих из зоны подземных ядерных взрывов площадки «Балапан». В связи с этим, данные участки были выбраны как вероятные места поступления подземных вод.

Для уточнения характера разгрузки подземных вод проведены детальные вертикальные термопрофильные измерения на двух участках, где ранее были зафиксированы максимальные значения удельной активности трития – до $3,5 \cdot 10^5$ Бк/кг [15]. Эти участки характеризуются пониженными температурами и выраженной стратификацией теплового поля (рисунок 3).

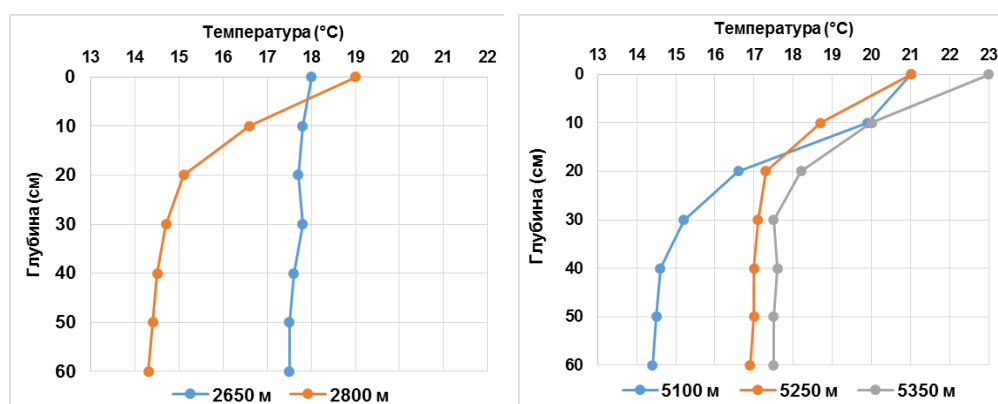


Рисунок 3. Результаты температурных измерений по глубине исследуемых участков «2-й» и «5-й» км р. Шаган вниз по течению.

Примечание – составлено авторами

В пределах данного интервала русла наблюдается отчетливая температурная стратификация водной толщи и донных отложений. Температура у поверхности воды составляла $18,7...23,0$ °C, тогда как на глубине 60 см снижалась до $14,4...14,6$ °C. Средний вертикальный градиент составил $0,08$ °C/см, что соответствует активной разгрузке подземных вод. Вертикальный профиль имеет монотонно нисходящий характер без признаков инверсии, что типично для точечных выходов подземных вод. Визуально на температурной карте участок 2650...2800 м выделяется как зона локального понижения температуры дна, вытянутая вдоль правобережной части русла на 40...50 м. Такая картина подтверждает присутствие подземного потока, поступающего из северо-восточного направления со стороны «Атомного» озера, по слоистым песчано-гравийным прослоям, с выносом тритий содержащей воды в зону контакта с русловыми отложениями.

На участке 5100...5350 м наблюдается аналогичная структура, но с более выраженной стратификацией и низкими значениями температуры. Температура у поверхности составляла $17,0...17,4$ °C, при этом уже на глубине 10 см снижалась до $16,2$ °C, а на глубине 60 см достигала $14,4$ °C. Средний вертикальный градиент - $0,10...0,12$ °C/см.

Оба участка демонстрируют типичные признаки разгрузки плавное понижение температуры с глубиной, устойчивый отрицательный градиент, минимальные значения у дна и локализацию холодных аномалий вдоль берегов. Однако участок 4950...5350 м отличается большей стабильностью температурного профиля и более выраженной

подпиткой снизу, что подтверждает длительное и постоянное поступление подземных вод в русловую часть.

Таким образом, вертикальное распределение температуры служит надежным индикатором фильтрационного притока подземных вод. Совмещение температурных и радиометрических данных подтверждает, что максимальные концентрации трития приурочены к зонам наиболее выраженных отрицательных температурных градиентов. Динамическое равновесие между этими потоками обуславливает характерную многослойность температурного поля, при этом нижняя часть русла остается относительно холодной даже при значительном прогреве поверхностных слоев.

Изменение расхода воды в исследуемых участках «2-й» и «5-й» км р. Шаган вниз по течению. Измерения расхода воды проводились для количественной оценки водообмена в русле р. Шаган и определения гидродинамических условий формирования зон разгрузки подземных вод, содержащих ЗН. Расходные наблюдения являются обязательным компонентом при построении водного баланса, поскольку позволяют установить чередование участков потерь (инфильтрации) и подпитки (эксфильтрации) вдоль течения.

Особое внимание уделялось сопоставлению данных расхода с результатами термометрии. Так, по нашим собственным исследованиям было выявлено, что при разгрузке подземных вод, как правило, наблюдается локальное увеличение расхода и понижение температуры, а при фильтрационных потерях обратная картина. Полученные нами результаты согласуются с наблюдениями других авторов [29...30], показавшими, что подземные воды оказывают регулирующее влияние на термический режим потока, летом они поступают более прохладными в сравнении с температурой воды поверхностного водотока, а зимой - более теплыми. В районах разгрузки подземных вод фиксируется понижение температуры и локальное увеличение расхода, что подтверждает их буферную роль.

Таким образом, целью гидрометрического этапа было не только определение абсолютных значений дебита, но и выявление гидродинамических аномалий, связанных с разгрузкой подземных вод в пределах русла р. Шаган вниз по течению (таблица 1).

Таблица 1

Результаты измерения расхода воды р. Шаган вниз по течению

Расстояние от озера «Атомное», км	Расход, м ³ /сек	Характер участка
0,5...1,0	0,18...0,21	верхний участок, питание за счет «Атомного» озера
2,65...2,80	0,05...0,06	зона потерь, совпадает с участком пониженной температуры
4,95...5,35	0,08...0,10	зона разгрузки подземных вод
10...30	0,01...0,03	потери в песчано-гравийные отложения
50...55	0,07...0,10	подпитка за счет подземного стока
63...70	0,03...0,05	стабилизация расхода, равновесная зона
100...110	0,18...0,21	нижний створ, питание за счет притоков и инфильтрации из поймы

Результаты наблюдений показали, что расход воды по длине русла изменяется неравномерно, от 0,01 до 0,21 м³/с (10...210 л/с). При этом следует отметить, что в зоне впадения притока р. Ащису расход воды составляет от 570 до 1300 л/с [31]. На отдельных створах зафиксированы кратковременные пики расхода, совпадающие с зонами минимальных температур и повышенных активностей трития. Так, в верхнем участке русла (0...0,5 км от выхода из «Атомного» озера) расход составляет 0,18...0,21 м³/с, что соответствует зоне устойчивого поверхностного питания. В пределах 2...3 км происходит резкое снижение расхода до 0,05...0,06 м³/с, что связано с фильтрацией воды через

песчаные и галечниковые отложения, совпадающее с зоной разгрузки подземных вод (по данным термометрии - понижение температуры до 14,4 °С). Далее, между 3,0 и 5,3 км, расход вновь уменьшается до 0,02...0,03 м³/с, что указывает на участки потерь и рассеивания потока. В нижней части русла, на 4,95...5,35 км, зафиксировано вторичное повышение расхода до 0,08...0,10 м³/с, совпадающее с холодной аномалией (Т = 13,8...14,0 °С) и повышенным содержанием трития (до 3,5·10⁵ Бк/кг). В устьевой зоне (ниже 6 км) расход стабилизируется на уровне 0,20...0,21 м³/с за счет подпитки подземных стоков с прилегающей поймы.

Суммарно, на всем протяжении русла наблюдается чередование зон потерь и подпитки, что типично для маловодных рек в аллювиальных долинах с развитым подземным стоком [32, 34]. Эти участки напрямую коррелируют с температурными аномалиями, выявленными при термометрии.

Для поверхностных вод р. Шаган начиная с выхода из «Атомного» озера, до впадения в р. Ерчис построен график изменения расхода реки (рисунок 4).

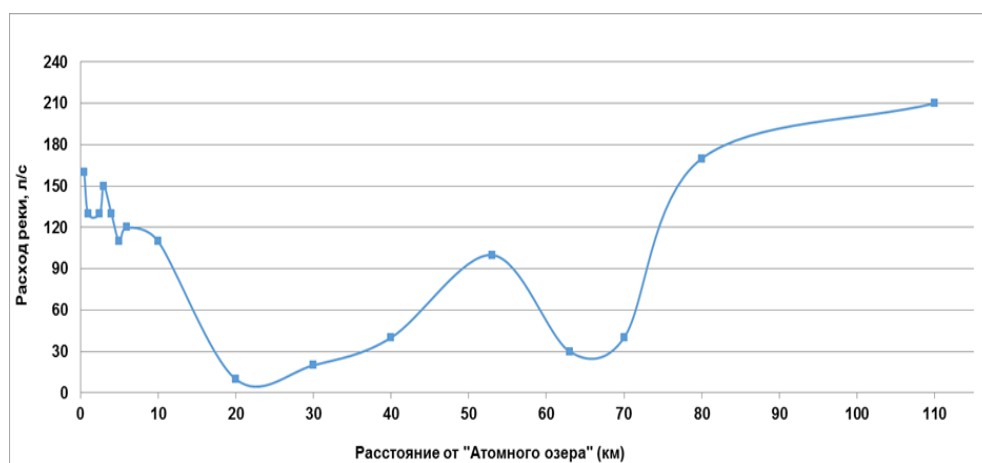


Рисунок 4. Изменение расхода воды р. Шаган вниз по течению

Примечание – составлено авторами

Согласно представленным данным, на всем протяжении р. Шаган отмечаются изменения расхода поверхностных вод. На участке с 0,5 до 6 км отмечаются резкие перепады в пределах 110...160 л/с, начиная с 10 км, расход воды уменьшается до 10 л/с. На 53 км, отмечается увеличение расхода до 100 л, далее наблюдается уменьшение до 30 л/с на 63 км. В районе впадения р. Шаган, в р. Ерчис расход воды увеличивается до максимальных 210 л/с.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные термометрические и гидрометрические исследования подтвердили существование активных зон разгрузки подземных вод, поступающих из области подземных ядерных взрывов испытательной площадки «Балапан».

Установлено, что глубинное перераспределение ЗН формируется в зонах отрицательным температурным градиентом и фиксируется в непосредственной связи с понижением температуры воды до 13,8...14,5 °С.

Расход воды в р. Шаган изменяется в пределах от 10 до 270 л/с, а в зоне впадения притока р. Ащису от 570 до 1300 л/с.

Для улучшения прогноза миграции ЗН и влияния подземных вод на сток реки Шаган рекомендуется организовать круглогодичный мониторинг:

– разместить 5...7 контрольных станций вдоль реки - в верхнем, среднем и нижнем течении, а также около притоков и возможных зон выхода подземных вод;

– проводить гидрометрические замеры и гидрохимические измерения содержания ЗН в воде раз в квартал, с увеличением частоты во время весеннего паводка и осенних дождей.

Ограничения исследования:

– нет данных за зиму, не учитываются сезонные колебания температуры и расхода воды;

– недостаточное количество измерений содержания ЗН, что ограничивает полностью оценить движение загрязнения в подземных водах;

– малый охват территории по оценке температурного показателя и содержания ЗН измерения проводились в зоне разгрузки подземных вод на участках «2-й км» и «5-й км».

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании получены авторами по проведенным полевым, камеральным испытаниям.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – АЕТ, МРА, ЛХА; управление данными – МРА, АЕТ, ЖАБ; формальный анализ – МРА, АЕТ, НЖМ; методология – АЕТ, МРА, АЖС; программное обеспечение – МРА, АЕТ, НАБ; мониторинг – МРА, АЕТ, НЖМ; визуализация – МРА, АЕТ; написание первоначального проекта – АЕТ, МРА; написание обзора и редактирование – АЕТ, МРА, ЖАБ.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках проекта «Комплексное радиоэкологическое исследование бассейна р. Шаган и разработка рекомендаций по минимизации негативного влияния на окружающую среду и население» (ИРН АР22783154) при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Seraya, N., Daumova, G., Petrova, O., Garcia-Mira, R., & Polyakova, A. (2025). Ecological status of the small rivers of the East Kazakhstan region. *Sustainability*, 17, 6525. <https://doi.org/10.3390/su17146525>;
2. Жуков И.А., Айбулатов Д.Н. Изменения годового модуля стока малых рек российской части бассейна реки Урал // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2025. № 2. С. 72–89. <https://doi.org/10.35567/19994508-2025-2-72-89>;
3. Lou, Y., Horner-Devine, A. R., Derakhti, M., Giddings, S. N., Spydell, M. S., Rodriguez, A., & Simpson, A. (2025). Dynamics and scaling of a small river discharging into the surf zone. *Journal of Physical Oceanography*, 55, 1255–1276. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-24-0072.1>;
4. Bayrak, G. (2025). Geological and geomorphological factors of the small rivers morphodynamics (on the example of the Chechva River, Limnitsa tributaries). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1, 5–14. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.108.01>;
5. Gusarov, A., & Beylich, A. (2025). Anthropocene trends in water flow of small and medium-sized rivers in the east of the East European Plain: The forest-steppe and steppe zones. *Hydrology*, 12, 242. <https://doi.org/10.3390/hydrology12090242>
6. Гидрологические ежегодники бассейна Карского моря (западная часть). Бассейны рек Иртыша, Оби ниже устья р. Иртыша и рек Обской губы к западу до границы с Баренцевым морем. - Омск: Омское управление гидрометеорологической службы, 1951-1977. - (Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1: Реки и каналы; Ч. 2: Озера и водохранилища).
7. Гидрологические ежегодники бассейна Карского моря (западная часть). Бассейны рек Иртыша, Оби ниже устья р. Иртыша и рек Обской губы к западу до границы с Баренцевым морем. - Омск: Омское территориальное управление по гидрометеорологии и контролю природной среды, 1978-1980. - (Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1: Реки и каналы; Ч. 2: Озера и водохранилища).
8. Гидрологические ежегодники бассейнов Иртыша, Ишима и Тобола (верхнее течение). - Алматы: Казахское республиканское управление по гидрометеорологии и контролю природной среды, 1981-1985. - (Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1: Реки и каналы; Ч. 2: Озера и водохранилища).
9. Гидрологические ежегодники бассейнов Иртыша, Ишима и Тобола (верхнее течение). - Алматы: Казахское республиканское управление по гидрометеорологии, 1986-1989. - (Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1: Реки и каналы; Ч. 2: Озера и водохранилища).
10. Гидрологические ежегодники бассейнов Иртыша, Ишима и Тобола (верхнее течение). - Алматы: Главное управление по гидрометеорологии при Кабинете Министров Республики Казахстан, 1990-1992. - (Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1: Реки и каналы; Ч. 2: Озера и водохранилища).

11. Гидрологические ежегодники бассейнов Иртыша, Ишима и Тобола (верхнее течение). - Алматы: Главное управление по гидрометеорологии Республики Казахстан, 1993. - (Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1: Реки и каналы; Ч. 2: Озера и водохранилища)
12. Aidarkhanova, A., Larionova, N., Tleukanova, Zh., Mamyrbaeva, A., Ermakova, R., Svetacheva, Y., Aktayev, M., & Panitskiy, A. (2022). The character of radionuclide contamination of natural lakes at the territory of the Semipalatinsk test site. *Journal of Environmental Radioactivity*, 255, 107041. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107041>
13. Aktayev, M., Subbotin, S., Aidarkhanov, A., Aidarkhanova, A., Timonova, L., & Larionova, N. (2024). Characterization of geological and lithological features in the area proximal to tritium-contaminated groundwater at the Semipalatinsk test site. *PLOS ONE*, 19(3), e0300971. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300971>
14. Темиржанова А., Байгазинов Ж., Мухамедияров Н., Актаев М., Дускаев К. Химические элементы донных отложений загрязненного участка реки Шаган // Гидрометеорология и экология. — 2025. — Т. 119, № 4. — С. 190–204. — DOI: 10.54668/2789-6323-2025-119-4-190-204
15. Aktayev, M. R., Toktaganov, T. Sh., Akbayeva, L. Kh., & Lyakhova, O. N. (2023). Research on the conditions of water formation in radiation-hazardous sites of the Semipalatinsk test point. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, 5(461), 35–44. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.329>
16. Актаев М. Р., Айдарханов А. О., Айдарханова А. К., Пронин С. С., Искенов А. О. Мониторинг тритиевого загрязнения вод р. Шаган // Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК). — 2021. — Вып. 2 (86). — С. 25–29. — ISSN 1729-7516. — DOI: 10.52676/1729-7885-2021-2-25-29
17. Актаев М. Р., Лукашенко С. Н., Айдарханов А. О., Ляхова О. Н., Токтаганов Т. Ш., Токарев И. В. Распределение микро- и макрокомпонентов и искусственных радионуклидов в водоеме «Атомное озеро» // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2019. — Т. 59, № 3. — С. 1–10. — ISSN 0869-8031. — DOI: 10.1134/S0869803119030044
18. Timonova, L., Larionova, N., Aidarkhanova, A., Lyakhova, O., Aktayev, M., Serzhanova, Z., Lukashenko, S., Polevik, V., Dashuk, A., Monayenko, V., Subbotin, S., & Aidarkhanov, A. (2024). Tritium distribution in the “water–soil–air” system in the Semipalatinsk Test Site. *PLOS ONE*, 19(4), e0297017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297017>
19. Субботин С. Б., Зеленский К. Л., Ларионова Н. В., Романенко В. В., Супрунов В. И., Пронин С. С., Актаев М. Р., Мельничук М. А. Исследование путей миграции радионуклидов с подземными водами в районе боевой скважины 1071 на площадке «Балапан» // Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК). — 2017. — Вып. 4 (72). — С. 81–90. — ISSN 1729-7516. — URL: https://static.nnc.kz/articles/2017_4_12.pdf
20. Темиржанова А., Байгазинов Ж., Мухамедияров Н., Актаев М., Дускаев К., Турғалиева Д., Берикбол Н., Ануарбекова А. Гидрохимические параметры загрязненных участков реки Шаган в пределах Семипалатинского испытательного полигона // Вестник ЕНУ имени Л. Н. Гумилева. Серия: Химия. География. Экология. — 2025. — Т. 151, № 2. — С. 294–307. — DOI: 10.32523/2616-6771-2025-151-2-294-307
21. Актаев М. Р., Лукашенко С. Н., Айдарханов А. О., Ляхова О. Н. Характер загрязнения тритием вод р. Шаган в районе «Атомного озера» // Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК). — 2017. — Вып. 4 (72). — С. 5–8. — ISSN 1729-7516. — URL: https://static.nnc.kz/articles/2017_4_01.pdf
22. Essaid, H., Hedef, & Caldwell, R. (2017). Evaluating the impact of irrigation on surface water–groundwater interaction and stream temperature in an agricultural watershed. *Science of The Total Environment*, 599, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.205>
23. Unland, N., Cartwright, I., Anderson, M., Rau, G., Reed, J., Gilfedder, B., Atkinson, A., & Hofmann, H. (2013). Investigating the spatio-temporal variability in groundwater and surface water interactions: A multi-technique approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 3437–3453. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3437-2013>
24. Drewnik, M., Rajwa-Kuligiewicz, A., Stolarczyk, M., Kucharzyk, S., & Żelazny, M. (2017). Intra-annual groundwater levels and water temperature patterns in raised bogs affected by human impact in mountain areas in Poland. *Science of The Total Environment*, 624, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.203>
25. Отчет по гидрогеологическому доизучению, инженерно-геологической и геоэкологической съемке территории листа М-44-XX масштаба 1:200000 за 1999–2003 гг. / Т.Ф. Амбалова. — Караганда : Геолого-геофизическое открытое АО "Азимут", 2003.
26. Методические указания ГСИ. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость–площадь» (МИ 1759–87–М). — М.: Издательство стандартов, 1987. - 25 с.
27. Фролов Н. М. Методические рекомендации по изучению режима температуры подземных вод/ВСЕГИНГЕО. М., 1973. 122 с.
28. Lapham, W. W. (1989). Use of temperature profiles beneath streams to determine rates of vertical ground-water flow and vertical hydraulic conductivity (Water-Supply Paper 2337). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/wsp2337>
29. Kaandorp, V. P., Doornbal, P. J., Kooi, H., Broers, H. P., & de Louw, P. G. B. (2019). Temperature buffering by groundwater in ecologically valuable lowland streams under current and future climate conditions. *Journal of Hydrology* X, 3, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100031>

30. Hare, D. K., Helton, A. M., Johnson, Z. C., Lane, J. W., & Briggs, M. A. (2021). Continental-scale analysis of shallow and deep groundwater contributions to streams. *Nature Communications*, 12(1), 1450. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21651-0>
31. Айдарханов А. О., Лукашенко С. Н., Субботин С. Б., Эдомин В. И., Генова С. В., Топорова А. В., Ларионова Н. В., Пестов Е. Ю. Состояние экосистемы р. Шаган и основные механизмы ее формирования // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана / под ред.. – Вып. 2. – Семипалатинск: Дом печати, 2010. – С. 9–55. – URL: https://irse.nnc.kz/wp-content/uploads/2018/10/Vypusk_2_rus.pdf
32. Cartwright, I., & Hofmann, H. (2016). Using radon to understand parafluvial flows and the changing locations of groundwater inflows in the Avon River, southeast Australia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(9), 3581–3600. <https://doi.org/10.5194/hess-20-3581-2016>;
33. Covino, T. P., & McGlynn, B. L. (2007). Stream gains and losses across a mountain-to-valley transition: Impacts on watershed hydrology and stream water chemistry. *Water Resources Research*, 43(W10), W10431. <https://doi.org/10.1029/2006WR005544>;
34. Menció, A., Galán, M., Boix, D., & Mas-Pla, J. (2014). Analysis of stream–aquifer relationships: A comparison between mass balance and Darcy’s law approaches. *Journal of Hydrology*, 517, 157–172. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.039>

REFERENCES

1. Seraya, N., Daumova, G., Petrova, O., Garcia-Mira, R., Polyakova, A. (2025). Ecological status of the small rivers of the East Kazakhstan region. *Sustainability*, 17, 6525. <https://doi.org/10.3390/su17146525>
2. Zhukov, I. A., Aibulatov, D. N. (2025). Izmeneniya godovogo modulya stoka malyx rek rossiyskoy chasti basseyna reki Ural [Changes in the annual runoff module of small rivers in the Russian part of the Ural River basin]. *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management], (2), 72–89. <https://doi.org/10.35567/19994508-2025-2-72-89> (In Russian).
3. Lou, Y., Horner-Devine, A. R., Derakhti, M., Giddings, S. N., Spydell, M. S., Rodriguez, A., & Simpson, A. (2025). Dynamics and scaling of a small river discharging into the surf zone. *Journal of Physical Oceanography*, 55, 1255–1276. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-24-0072.1>
4. Bayrak, G. (2025). Geological and geomorphological factors of the small rivers morphodynamics (on the example of the Chechva River, Limnitsa tributaries). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1, 5–14. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.108.01>
5. Gusarov, A., Beylich, A. (2025). Anthropocene trends in water flow of small and medium-sized rivers in the east of the East European Plain: The forest-steppe and steppe zones. *Hydrology*, 12, 242. <https://doi.org/10.3390/hydrology12090242>
6. *Gidrologicheskiye ezhegodniki basseyna Karskogo morya (zapadnaya chast’)*. Basseyny rek Irtysha, Obi nizhe ust’ya r. Irtysha i rek Obskoy guby k zapadu do granitsy s Barentsevym moryem [Hydrological Yearbooks of the Kara Sea Basin (Western Part): Basins of the Irtysh, the Ob below the mouth of the Irtysh, and rivers of the Ob Bay westward to the Barents Sea boundary]. (1951–1977). Omsk: Omskoye upravleniye gidrometeorologicheskoy sluzhby. (In Russian).
7. *Gidrologicheskiye ezhegodniki basseyna Karskogo morya (zapadnaya chast’)*. (1978–1980). Basseyny rek Irtysha, Obi nizhe ust’ya r. Irtysha i rek Obskoy guby k zapadu do granitsy s Barentsevym moryem [Hydrological Yearbooks of the Kara Sea Basin (Western Part): Basins of the Irtysh, the Ob below the mouth of the Irtysh, and rivers of the Ob Bay westward to the Barents Sea boundary]. Omsk: Omskoye territorial’noye upravleniye po gidrometeorologii i kontrolyu prirodnoy sredy. (In Russian).
8. *Gidrologicheskiye ezhegodniki basseynov Irtysha, Ishima i Tobola (verkhnoye techeniye)*. (1981–1985). [Hydrological Yearbooks of the Basins of the Irtysh, Ishim, and Tobol Rivers (Upper Reaches)]. Almaty: Kazakhskoye respublikanskoye upravleniye po gidrometeorologii i kontrolyu prirodnoy sredy. (In Russian).
9. *Gidrologicheskiye ezhegodniki basseynov Irtysha, Ishima i Tobola (verkhnoye techeniye)*. (1986–1989). [Hydrological Yearbooks of the Basins of the Irtysh, Ishim, and Tobol Rivers (Upper Reaches)]. Almaty: Kazakhskoye respublikanskoye upravleniye po gidrometeorologii. (In Russian).
10. *Gidrologicheskiye ezhegodniki basseynov Irtysha, Ishima i Tobola (verkhnoye techeniye)*. (1990–1992). [Hydrological Yearbooks of the Basins of the Irtysh, Ishim, and Tobol Rivers (Upper Reaches)]. Almaty: Glavnoye upravleniye po gidrometeorologii pri Kabinete Ministrov Respubliki Kazakhstan. (In Russian).
11. *Gidrologicheskiye ezhegodniki basseynov Irtysha, Ishima i Tobola (verkhnoye techeniye)*. (1993). [Hydrological Yearbooks of the Basins of the Irtysh, Ishim, and Tobol Rivers (Upper Reaches)]. Almaty: Glavnoye upravleniye po gidrometeorologii Respubliki Kazakhstan. (In Russian).
12. Aidarkhanova, A., Larionova, N., Tleukanova, Zh., Mamyrbayeva, A., Ermakova, R., Svetacheva, Y., Aktayev, M., & Panitskiy, A. (2022). The character of radionuclide contamination of natural lakes at the territory of the Semipalatinsk test site. *Journal of Environmental Radioactivity*, 255, 107041. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107041>

13. Aktayev, M., Subbotin, S., Aidarkhanov, A., Aidarkhanova, A., Timonova, L., & Larionova, N. (2024). Characterization of geological and lithological features in the area proximal to tritium-contaminated groundwater at the Semipalatinsk test site. *PLOS ONE*, 19(3), e0300971. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300971>
14. Temirzhanova, A., Baigazinov, Zh., Mukhamediyarov, N., Aktaev, M., & Duskayev, K. (2025). Khimicheskiye elementy donnykh otlozheniy zagryaznennogo uchastka reki Shagan [Chemical elements of bottom sediments of the contaminated section of the Shagan River]. *Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and Ecology]*, 119(4), 190–204. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2025-119-4-190-204> (In Russian).
15. Aktayev, M. R., Toktaganov, T. Sh., Akbayeva, L. Kh., & Lyakhova, O. N. (2023). Research on the conditions of water formation in radiation-hazardous sites of the Semipalatinsk test point. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, 5(461), 35–44. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.329>
16. Aktaev, M. R., Aidarkhanov, A. O., Aidarkhanova, A. K., Pronin, S. S., & Iskenov, A. O. (2021). Monitoring tritиеvogo zagryazneniya vod r. Shagan [Monitoring of tritium contamination in the waters of the Shagan River]. *Vestnik Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan (NYaTs RK) [Bulletin of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan]*, (2[86]), 25–29. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-25-29> (In Russian).
17. Aktaev, M. R., Lukashenko, S. N., Aidarkhanov, A. O., Lyakhova, O. N., Toktaganov, T. Sh., & Tokarev, I. V. (2019). Raspredelenie mikro- i makrokomponentov i iskusstvennykh radionuklidov v vodoyeme “Atomnoye ozero” [Distribution of micro- and macrocomponents and artificial radionuclides in the "Atomic Lake" reservoir]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya [Radiation Biology. Radioecology]*, 59(3), 1–10. <https://doi.org/10.1134/S0869803119030044> (In Russian).
18. Timonova, L., Larionova, N., Aidarkhanova, A., Lyakhova, O., Aktayev, M., Serzhanova, Z., Lukashenko, S., Polevik, V., Dashuk, A., Monayenko, V., Subbotin, S., & Aidarkhanov, A. (2024). Tritium distribution in the “water–soil–air” system in the Semipalatinsk Test Site. *PLOS ONE*, 19(4), e0297017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297017>
19. Subbotin, S. B., Zelenskiy, K. L., Larionova, N. V., Romanenko, V. V., Suprunov, V. I., Pronin, S. S., Aktaev, M. R., & Melnichuk, M. A. (2017). Issledovaniye putey migratsii radionuklidov s podzemnymi vodami v rayone boyevoy skvazhiny 1071 na ploshchadke “Balapan” [Investigation of radionuclide migration pathways with groundwater in the area of borehole 1071 at the Balapan site]. *Vestnik Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan (NYaTs RK) [Bulletin of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan]*, 4(72), 81–90. https://static.nnc.kz/articles/2017_4_12.pdf (In Russian).
20. Temirzhanova, A., Baigazinov, Zh., Mukhamediyarov, N., Aktaev, M., Duskayev, K., Turgaliev, D., Berikbol, N., & Anuarbekova, A. (2025). Gidrokhimicheskiye parametry zagryaznennykh uchastkov reki Shagan v predelakh Semipalatinskogo ispytatelnogo poligona [Hydrochemical parameters of contaminated sections of the Shagan River within the Semipalatinsk Test Site]. *Vestnik ENU imeni L. N. Gumilyova. Seriya: Khimiya. Geografiya. Ekologiya [Bulletin of L. N. Gumilyov ENU. Series: Chemistry. Geography. Ecology]*, 151(2), 294–307. <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2025-151-2-294-307> (In Russian).
21. Aktaev, M. R., Lukashenko, S. N., Aidarkhanov, A. O., & Lyakhova, O. N. (2017). Kharakter zagryazneniya tritiem vod r. Shagan v rayone “Atomnogo ozera” [Character of tritium contamination in the waters of the Shagan River in the “Atomic Lake” area]. *Vestnik Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan (NYaTs RK) [Bulletin of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan]*, 4(72), 5–8. https://static.nnc.kz/articles/2017_4_01.pdf (In Russian).
22. Essaid, H., Hedef, & Caldwell, R. (2017). Evaluating the impact of irrigation on surface water–groundwater interaction and stream temperature in an agricultural watershed. *Science of The Total Environment*, 599, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.205>
23. Unland, N., Cartwright, I., Anderson, M., Rau, G., Reed, J., Gilfedder, B., Atkinson, A., & Hofmann, H. (2013). Investigating the spatio-temporal variability in groundwater and surface water interactions: A multi-technique approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 3437–3453. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3437-2013>
24. Drewnik, M., Rajwa-Kuligiewicz, A., Stolarczyk, M., Kucharzyk, S., & Żelazny, M. (2017). Intra-annual groundwater levels and water temperature patterns in raised bogs affected by human impact in mountain areas in Poland. *Science of The Total Environment*, 624, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.203>
25. Otchet po gidrogeologicheskomu doizucheniyu, inzhenerno-geologicheskoy i geoekologicheskoy s'emke territorii lista M-44-XX masshtaba 1:200000 za 1999–2003 gg. [Report on hydrogeological, engineering-geological, and geoeological survey of the territory of sheet M-44-XX at 1:200000 scale for 1999–2003] / T.F. Ambalova. — Karaganda : Geologo-geofizicheskoe otkrytoe AO “Azimut”, 2003.
26. Metodicheskiye ukazaniya GSI. (1987). Raskhod vody na rekakh i kanalakh. Metodika vypolneniya izmereniy metodom “skorost’–ploshchad” (MI 1759–87–M) [Water discharge in rivers and channels: Measurement method “velocity–area”]. Moscow: Izdatel'stvo standartov. (In Russian).
27. Frolov, N. M. (1973). Metodicheskiye rekomendatsii po izucheniyu rezhima temperatury podzemnykh vod [Methodological recommendations for studying the temperature regime of groundwater]. Moscow: VSEGINGEO. (In Russian).

28. Lapham, W. W. (1989). Use of temperature profiles beneath streams to determine rates of vertical ground-water flow and vertical hydraulic conductivity (Water-Supply Paper 2337). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/wsp2337>
29. Kaandorp, V. P., Doornenbal, P. J., Kooi, H., Broers, H. P., & de Louw, P. G. B. (2019). Temperature buffering by groundwater in ecologically valuable lowland streams under current and future climate conditions. *Journal of Hydrology X*, 3, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100031>;
30. Hare, D. K., Helton, A. M., Johnson, Z. C., Lane, J. W., & Briggs, M. A. (2021). Continental-scale analysis of shallow and deep groundwater contributions to streams. *Nature Communications*, 12(1), 1450. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21651-0>
31. Aidarkhanov, A. O., Lukashenko, S. N., Subbotin, S. B., Edomin, V. I., Genova, S. V., Toporova, A. V., Larionova, N. V., & Pestov, E. Yu. (2010). Sostoyaniye ekosistemy r. Shagan i osnovnyye mekhanizmy yeye formirovaniya [The state of the Shagan River ecosystem and the main mechanisms of its formation]. In *Aktual'nyye voprosy radioekologii Kazakhstana* [Topical Issues of Radioecology of Kazakhstan] (Vol. 2, pp. 9–55). Semipalatinsk: Dom pechati. https://irse.nnc.kz/wp-content/uploads/2018/10/Vypusk_2_rus.pdf (In Russian).
32. Cartwright, I., & Hofmann, H. (2016). Using radon to understand parafluvial flows and the changing locations of groundwater inflows in the Avon River, southeast Australia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(9), 3581–3600. <https://doi.org/10.5194/hess-20-3581-2016>
33. Covino, T. P., & McGlynn, B. L. (2007). Stream gains and losses across a mountain-to-valley transition: Impacts on watershed hydrology and stream water chemistry. *Water Resources Research*, 43(W10), W10431. <https://doi.org/10.1029/2006WR005544>
34. Menció, A., Galán, M., Boix, D., & Mas-Pla, J. (2014). Analysis of stream–aquifer relationships: A comparison between mass balance and Darcy's law approaches. *Journal of Hydrology*, 517, 157–172. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.039>

ШАҒАН ӨЗЕНІНІҢ ТРИТИЙМЕН ЛАСТАНУ АЙМАҚТАРЫНДА ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ РЕЖИМ МЕН СУ ШЫҒЫНЫН ЗЕРТТЕУ

Арай Е. Темиржанова¹, Медет Р. Актаев^{2,3}, Жанат А. Байгазинов², Нурлан Ж. Мухамедияров^{2,4}, Айнур Ж. Смагулова⁵, Нариман А. Баубек³, Ляйля Х. Акбаева⁶, Javier Rodrigo-Ilari (Хавьер Родриго-Иларий)⁷, Касым К. Дускаев¹

¹ эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; temirzhanova.aray@mail.ru (АЕТ), kduskaev@gmail.com (ККД)

² «Ядролық технологиялар паркі» АҚ, Курчатова, Қазақстан; medet_aktaev@mail.ru (МПА), zh.baigazinov@gmail.com (ЖАБ), nurlan.eventumlab@gmail.com (НЖМ)

³ «Baiterek Engineering» ЖШС, Астана, Қазақстан; medet_aktaev@mail.ru (МПА), narimanbaubek1982@gmail.com (НАБ)

⁴ «Шәкәрім университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан; nurlan.eventumlab@gmail.com (НЖМ)

⁵ Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті, Астана, Қазақстан; ainura.sed@gmail.com (АЖС)

⁶ «Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан; akbaeva659@mail.ru (ЛХА)

⁷ Universitat Politècnica de València (Валенсия Политехникалық университеті), Валенсия, Испания; jrodrigoilari@gmail.com (ХР-И)

*Автор корреспонденциясы: Медет Р. Актаев, temirzhanova.aray@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

жерасты және жерүсті суларының өзара әрекеттесуі, гидрогеология, радиоэкология, жерасты суларының шығу аймақтары

Мақала жайында:

Алынды: 25.12.2023
Қайта қаралды: 30.03.2026
Қабылданды: 06.04.2026
Жарияланды: 01.07.2026

АБСТРАКТ

Зерттеулердің өзектілігі ядролық сынақ аймақтарындағы су экожүйелерінің жағдайын бағалау қажеттілігімен айқындалады, себебі радиоактивті ластанудың салдары табиғи ортада ұзақ уақыт сақталады. Ядролық жарылыстардың әсеріне ұшыраған аймақтарда жерүсті және жерасты суларының радиоактивті ластануы мәселесі негізгі экологиялық проблемалардың бірі болып қала береді. Осындай нысандардың бірі - Семей сынақ полигоны аумағында орналасқан Шаған өзені.

Арнайы назар өзен арнасының ластанған жерасты және жарықшақты сулардың жерүсті ағысына шығу аймақтарына аударылады, себебі бұл радионуклидтердің су жүйесі бойынша таралуына ықпал етеді.

Жұмыста Семей сынақ полигонының «Балапан» алаңының ықпал ету аймағында Шаған өзенінің су температуралық режимі мен ағынын кешенді

зерттеу жүргізілді. Негізгі назар құрамында тритий (3H) бар жерасты суларының шығу учаскелеріне және олардың кеңістіктік-уақыттық өзгергіштігін талдауға бағытталды.

Бұрынғы радиоэкологиялық зерттеулер Шаған өзенінің негізінен ластану деңгейін бағалауға бағытталған болса, осы зерттеуде негізгі назар жер асты және беткі сулардың өзара әрекеттесуіне, оның гидрологиялық режим қалыптасуына және радиоактивті компоненттердің тасымалдануына әсер етуіне аударылған.

Өзен арнасы бойымен әр 50 метр сайын жүргізілген термометриялық өлшеулер ұзындығы 5,4 км болатын бөлікте аномальды төмен температуралы (8,5...10 0C) аймақтарды анықтауға мүмкіндік берді, бұл учаскелер ластанған жерасты суларының шығу аймақтарына сәйкес келеді.

Гидрометриялық өлшеулер нәтижесінде судың шығыны 0,01...0,21 м3/с аралығында өзгертіні және сүзілудің салдарынан ағынның айтарлықтай жоғалуы байқалатыны анықталды. 3H ең жоғары меншікті белсенділігі өзен арнасының түбінде, «Атом» көлінен төмен қарай 2650...2800 м және 4950...5350 м қашықтықтағы учаскелерде тіркелді. Бұл температуралық ауытқулар мен жерасты суларының келу процестері арасындағы байланысты дәлелдейді.

STUDY OF THE TEMPERATURE REGIME AND WATER DISCHARGE OF THE SHAGAN RIVER IN AREAS OF TRITIUM CONTAMINATION

Aray Temirzhanova¹, Medet Aktayev^{2,3}, Janat Baigazinov², Nurlan Mukhamediyarov^{2,4}, Ainur Smagulova⁵, Nariman Baubek³, Lyayla Akbaeva⁶, Javier Rodrigo-Illari⁷, Kassym Duskeyev¹

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; temirzhanova.aray@mail.ru (AYeT), kduskaev@gmail.com (KKD)

² JSC «Park of Nuclear Technologies», Kurchatov, Kazakhstan; medet_aktayev@mail.ru (MRA), zh.baigazinov@gmail.com (ZhAB), nurlan.eventumlab@gmail.com (NZhM)

³ LLC «Baiterek Engineering», Astana, Kazakhstan; medet_aktayev@mail.ru (MRA), narimanbaubek1982@gmail.com (NAB)

⁴ NJSC «Shakarim University», Semey, Kazakhstan; nurlan.eventumlab@gmail.com (NZhM)

⁵ Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan; ainura.sed@gmail.com (AZhS)

⁶ NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan; akbaeva659@mail.ru (LChA)

⁷ Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain; jrodrigoillarri@gmail.com (JR-I)

* Corresponding author: Medet Aktayev, medet_aktayev@mail.ru

KEY WORDS

groundwater–surface water interaction, hydrogeology, radioecology, exfiltration zones

About article:

Received: 25.12.2025

Revised: 30.03.2026

Accepted: 06.04.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT

The relevance of research into the state of aquatic ecosystems in nuclear test areas is determined by the long-term persistence of the effects of radioactive contamination in natural environments. In areas exposed to nuclear explosions, the problem of radioactive contamination of surface and groundwater remains one of the key environmental challenges. One such site is the Shagan River, located on the territory of the Semipalatinsk test site. Particular attention is paid to sections of the riverbed where contaminated groundwater and fissure water discharge into surface watercourses, contributing to the further spread of radionuclides in the water system. A comprehensive study of the temperature regime and water flow of the Shagan River within the zone of influence of the Balapan test site of the Semipalatinsk test site was conducted. The main focus was on sections where groundwater containing tritium (3H) discharges and on analyzing their spatial and temporal variability. Unlike previous radioecological studies of the Shagan River, which focused primarily on assessing contamination, this study emphasizes the interaction between

groundwater and surface water and its role in shaping the hydrological regime and transporting radioactive components.

Thermometric measurements taken at 50 m intervals along the riverbed over a distance of 5.4 km revealed zones of abnormally low temperatures (8,5...10 0C) corresponding to areas of discharge of contaminated groundwater. Hydrometric measurements showed that the water flow varies from 0,01 to 0,21 m³/s, with significant losses due to filtration. The maximum specific activity of 3H is recorded at the bottom of the watercourse near sections 2650...2800 m and 4950...5350 m downstream from Lake «Atomnoe», confirming the link between temperature anomalies and groundwater inflow.

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



Научная статья

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕДКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ РАВНИННЫХ РЕК КАЗАХСТАНА В УСЛОВИЯХ СТАТИСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Марат М. Молдахметов  к.г.н

Международный Таразский инновационный институт имени Ш. Муртаза, Тараз, Казахстан; mmoldahmetov64@mail.ru

Автор корреспонденции: mmoldahmetov64@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

максимальный сток, редкая повторяемость, кривая обеспеченности, статистическая неопределенность, усеченная кривая обеспеченности, распределение Пирсона III, обобщенное экстремальное распределение (GEV), равнинные реки Казахстана

АБСТРАКТ

Оценка максимального стока редкой повторяемости является одной из ключевых задач инженерной гидрологии, поскольку расчетные расходы воды с обеспеченностью 1 %, 0,5 % и менее непосредственно используются при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений, мостов, водопропускных устройств и систем противопаводковой защиты. В инженерной практике такие характеристики, как правило, определяются на основе параметрических статистических распределений с экстраполяцией эмпирических рядов в область малых вероятностей превышения. Однако при ограниченной длине рядов наблюдений и выраженной асимметрии распределения максимального стока подобная экстраполяция сопровождается значительной статистической неопределенностью и может приводить к методически некорректным и физически трудно интерпретируемым результатам. Методическое преимущество усеченного подхода оценивалось по критериям RMSE в статистически надежной части распределения, устойчивости хвостовой экстраполяции и физической интерпретируемости расчетных расходов. Количественная оценка статистической неопределенности выполнена с использованием доверительных интервалов вероятности превышения при конечной длине ряда наблюдений. В работе рассмотрены методические подходы к оценке максимального годового стока редкой повторяемости равнинных рек Казахстана в условиях статистической неопределенности. Анализ выполнен на основе многолетних рядов максимальных расходов воды по рекам Жайык), Есиль, Тобыл и Илек. Наряду с классическим параметрическим подходом, основанным на распределении Пирсона III, применены усеченная графо-аналитическая методика построения кривых обеспеченности и обобщенное экстремальное распределение (GEV).

Показано, что использование распределения Пирсона III приводит к систематическому занижению расчетных расходов обеспеченности 1 % на 12,5...25 % по сравнению с усеченной кривой обеспеченности. Установлено, что применение GEV с параметризацией методом максимального правдоподобия (MLE) для равнинных рек может приводить к неустойчивому поведению хвостовой части распределения и завышению редких расходов воды, тогда как GEV, параметризованное по L-моментам, обеспечивает более устойчивые оценки, согласующиеся с результатами усеченного подхода.

Полученные результаты показывают, что при длине рядов наблюдений порядка 80...120 лет глубокая статистическая экстраполяция в область обеспеченностей менее 1 % сопровождается высокой неопределенностью, что методически обосновывает

необходимость ограничения экстраполяции при расчетах максимального стока редкой повторяемости.

1. ВВЕДЕНИЕ

Оценка максимального стока редкой повторяемости традиционно занимает центральное место в инженерной гидрологии и водохозяйственном проектировании.

Расчетные расходы воды с обеспеченностью 1 %, 0,5 % и менее используются при определении пропускной способности гидротехнических сооружений, расчетных уровней воды, устойчивости мостовых переходов и надежности систем противопаводковой защиты. Ошибки в оценке таких характеристик могут приводить как к аварийным ситуациям и значительному материальному ущербу, так и к необоснованному удорожанию проектных решений [1].

Методические основы расчета максимального стока в инженерной практике исторически формировались в рамках классической статистической гидрологии и предполагают использование параметрических распределений вероятностей с последующей экстраполяцией эмпирических рядов в область редкой повторяемости [2, 7]. В нормативных и методических документах наибольшее распространение получило распределение Пирсона III, параметры которого определяются по всей совокупности наблюдений без явного ограничения глубины экстраполяции. Такой подход широко применяется в инженерных расчетах, однако его корректность существенно зависит от длины рядов наблюдений и формы распределения максимального стока [8, 9].

В последние десятилетия в зарубежной гидрологической практике для анализа экстремальных паводков активно применяется обобщенное экстремальное распределение (GEV), основанное на положениях теории экстремальных значений и рассматриваемое как универсальная модель для описания годовых максимумов стока. Распределение GEV используется в международных рекомендациях и научных исследованиях при оценке редких паводков и проектных расходов воды. Вместе с тем многочисленные исследования указывают, что результаты применения GEV в значительной степени зависят от метода оценки параметров, длины гидрологических рядов и степени асимметрии распределения экстремальных значений [10, 15].

Для равнинных рек, характеризующихся выраженной межгодовой изменчивостью максимального стока, наличием одиночных экстремальных паводков и ограниченной продолжительностью наблюдений, как классические параметрические распределения, так и распределение GEV при стандартной параметризации методом максимального правдоподобия могут демонстрировать неустойчивое поведение хвостовой части распределения. В условиях длины рядов наблюдений порядка 80...120 лет экстраполяция в область обеспеченностей менее 1 % сопровождается высокой статистической неопределенностью и риском получения физически трудноинтерпретируемых расчетных значений [16].

Особую актуальность данная проблема имеет для равнинных рек Казахстана, гидрологический режим которых формируется преимущественно за счет снегового питания и характеризуется значительной асимметрией распределений максимального стока. Для большинства гидрологических постов продолжительность наблюдений является недостаточной для надежной оценки редких экстремумов исключительно на основе формальных параметрических моделей. В этих условиях неконтролируемая статистическая экстраполяция может приводить как к занижению, так и к завышению расчетных расходов воды редкой повторяемости.

В связи с этим возрастает интерес к методическим подходам, ориентированным на управление статистической неопределенностью хвостовой части распределения. К таким подходам относятся усеченные и графо-аналитические методы построения кривых обеспеченности, позволяющие ограничить область экстраполяции статистически надежной частью эмпирического ряда и контролировать форму распределения в области

По статье:

Получено: 17.01.2026

Пересмотрено: 27.04.2026

Принято: 05.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

Для цитирования:

Молдахметов М.,
Методические подходы к
оценке максимального
стока редкой повторяемости
равнинных рек Казахстана в
условиях статистической
неопределенности//
Гидрометеорология и
экология, 122 (2), 2026, 23-
45.

редкой повторяемости. Применение усечённых кривых обеспеченности позволяет получить устойчивые и физически интерпретируемые оценки максимального стока, сопоставимые с фактическими наблюдениями и инженерными представлениями о формировании экстремальных паводков [17, 18].

Целью настоящей работы является сравнительная оценка и методическое обоснование применения различных подходов к расчету максимального годового стока редкой повторяемости равнинных рек Казахстана в условиях статистической неопределённости, обусловленной ограниченной длиной рядов наблюдений и особенностями хвостовой части распределения экстремальных значений.

В работе выполнено сопоставление классического распределения Пирсона III, распределения GEV с различными методами параметризации и усеченной графо-аналитической методики, что позволило выявить преимущества усечённого подхода как инструмента повышения устойчивости инженерно-гидрологических расчетов.

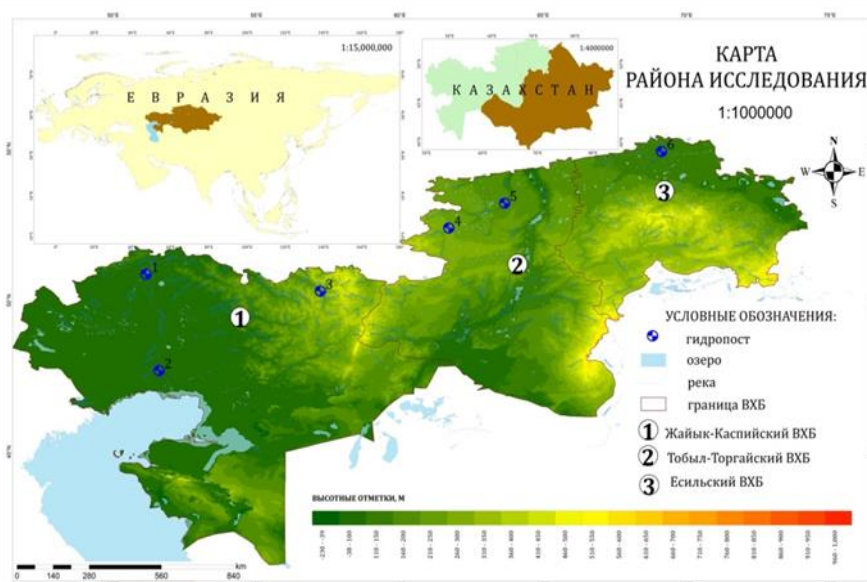
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Объект исследования

Объектом исследования в настоящей работе являются равнинные реки Казахстана, характеризующиеся преимущественно снежным типом питания, выраженной сезонностью стока и значительной межгодовой изменчивостью максимальных расходов воды. Для анализа выбраны реки, представляющие различные водохозяйственные бассейны страны и отличающиеся условиями формирования паводков, однако обладающие общими чертами равнинного гидрологического режима.

В качестве репрезентативных объектов исследования использованы данные по следующим рекам и гидрологическим постам: река Жайык - посты с. Кушум и с. Махамбет; река Есиль - пост г. Петропавловск; река Тобыл - посты с. Гришенка и г. Костанай; река Илек - пост г. Актобе. Выбранные посты располагаются в среднем и нижнем течении рек и характеризуют режим максимального стока крупных равнинных водосборов.

Пространственное расположение исследуемых гидрологических постов в пределах основных равнинных речных бассейнов Казахстана представлено на рисунке 1.



Примечание: Номера гидрологических постов на карте приведены в соответствии с таблицей 1.

Рисунок 1. Карта района исследования

Река Жайык (Урал) является одной из крупнейших рек Казахстана и Восточной Европы. В пределах территории Казахстана она протекает по обширной равнинной местности с незначительными уклонами русла и широкой поймой. Формирование

максимального стока реки Жайык обусловлено сочетанием весеннего снеготаяния и дождевых паводков, что приводит к значительной вариабельности годовых максимальных расходов воды и выраженной асимметрии их распределения. В нижнем течении реки, в районе постов Кушум и Махамбет, нередко наблюдаются одиночные экстремальные паводки, существенно влияющие на форму кривых обеспеченности.

Река Есиль относится к типичным равнинным рекам северного Казахстана. Ее водный режим определяется преимущественно весенним половодьем, формируемым за счет снеготаяния. Максимальные расходы воды, как правило, приходятся на короткий весенний период и характеризуются высокой межгодовой изменчивостью, зависящей от запасов снежного покрова и метеорологических условий весны. В то же время дождевые паводки в бассейне Есиля играют второстепенную роль, что отражается на сравнительно устойчивой форме эмпирических кривых обеспеченности.

Река Тобыл является крупным левобережным притоком реки Иртыш и характеризуется более сглаженным гидрологическим режимом по сравнению с рекой Жайык. Тем не менее в пределах бассейна Тобыла наблюдаются заметные пространственные различия условий формирования максимального стока. Использование данных по постам с. Гришенка и г. Костанай позволяет оценить влияние морфометрических и климатических факторов на форму распределения максимальных расходов воды в пределах одного речного бассейна.

Река Илек, протекающая в западной части Казахстана, отличается высокой неравномерностью формирования максимального стока. Для нее характерны как годы с умеренными паводками, так и редкие, но крайне интенсивные паводочные события. В результате распределение максимальных расходов воды по реке Илек обладает выраженной асимметрией и тяжелым хвостом, что существенно усложняет применение формальных параметрических методов расчета редких экстремумов.

Таким образом, выбранные объекты исследования охватывают широкий спектр гидрологических условий равнинных рек Казахстана и позволяют комплексно оценить применимость различных методических подходов к расчету максимального стока редкой повторяемости в условиях статистической неопределенности.

2.2 Исходные гидрологические данные

В качестве исходных материалов в работе использованы многолетние ряды максимальных годовых расходов воды, полученные по данным государственной гидрометеорологической сети наблюдений. Для всех выбранных гидрологических постов применялись только официальные, прошедшие первичную и последующую проверку данные наблюдений, что обеспечивает их сопоставимость и корректность при статистическом анализе.

Анализ выполнялся по значениям максимального расхода воды за гидрологический год без исключения экстремальных наблюдений, поскольку редкие паводки представляют собой неотъемлемую часть естественного гидрологического режима и оказывают определяющее влияние на форму распределения максимального стока. Исключение экстремальных значений рассматривалось как методически недопустимое, так как приводит к искажению хвостовой части распределения и снижению информативности рядов при оценке редкой повторяемости.

Длина рядов наблюдений по исследуемым постам составляет от нескольких десятков до более чем ста лет, что является типичным для равнинных рек Казахстана и соответствует условиям, в которых на практике выполняются инженерно-гидрологические расчеты. Характеристика используемых рядов наблюдений приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика гидрологических постов и рядов максимального стока

№ п/п	Река - пост	Код поста	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений	Длина ряда, лет
1	Жайык – с. Кушум	19072	190000	1912...2023	103
2	Жайык- с. Махамбет	19801	230000	1932...2023	93
3	Илек – г. Актобе	19195	11000	1938...2023	93
4	Тобыл – с. Грищенко	12002	13100/13400	1938...2023	93
5	Тобыл – г. Костанай	12008	28000/44800	1931...2023	93
6	Есиль - Петропавловск	11410	106000/118000	1901...2023	123

Перед выполнением расчетов была проведена предварительная проверка рядов максимального стока на наличие грубых ошибок, пропусков и явных несоответствий. Существенных искажений, способных повлиять на результаты анализа, выявлено не было.

Используемые ряды наблюдений соответствуют требованиям нормативных документов к минимальной длине гидрологических рядов, применяемых при расчете расчетных характеристик стока.

2.3 Определение эмпирической обеспеченности максимального стока

Для построения эмпирических кривых обеспеченности значения максимальных расходов воды упорядочивались по убыванию, после чего для каждого ранга определялась эмпирическая вероятность превышения. В качестве основной формулы для расчета обеспеченности использовалась классическая ранговая зависимость, основанная на отношении номера члена ряда к длине наблюдений.

$$P = \frac{m}{n+1}, \quad (1)$$

где m - ранг значения в упорядоченном по убыванию ряду, n - длина ряда наблюдений.

Использование ранговых формул обеспечивает наглядную интерпретацию эмпирической обеспеченности и широко применяется как в отечественной, так и в зарубежной практике инженерной гидрологии. При этом следует учитывать, что в области редкой повторяемости (менее 1...2 %) эмпирические вероятности превышения характеризуются высокой неопределенностью, обусловленной конечной длиной рядов наблюдений [19, 20].

Эмпирические значения обеспеченности использовались в качестве основы для сопоставления с расчетными кривыми и для выбора параметров усеченных кривых обеспеченности.

Для обеспечения сопоставимости результатов расчетов по различным методическим подходам все вычисления выполнялись для одинакового набора обеспеченностей: 10, 5, 3, 1 и 0,5 %. Такой выбор обусловлен тем, что указанные обеспеченности наиболее часто применяются в инженерных расчетах и одновременно отражают область повышенной статистической неопределенности.

2.4 Классический параметрический подход

В качестве базового параметрического метода расчета максимального стока в работе использовано распределение Пирсона III, которое традиционно применяется в инженерной практике и закреплено в нормативных и методических документах [21, 22].

Параметры распределения Пирсона III - среднее значение, среднеквадратическое отклонение и коэффициент асимметрии - определялись по всему ряду наблюдений максимального стока. После определения параметров строилась теоретическая кривая обеспеченности и выполнялась экстраполяция в область редкой повторяемости (1 %, 0,5 %).

Следует отметить, что данный подход носит формальный характер и не предусматривает явного ограничения глубины экстраполяции. В условиях ограниченной длины рядов и выраженной асимметрии распределений это может приводить к существенным расхождениям между расчетными и эмпирическими значениями, особенно в хвостовой части распределения.

В настоящей работе распределение Пирсона III использовалось не как эталонный, а как сравнительный метод, позволяющий количественно оценить влияние усеченного подхода на расчетные значения максимального стока.

2.5 Усеченная графо-аналитическая методика построения кривых обеспеченности

В гидрологических рядах наблюдений часто присутствуют значения, относящиеся к различным генетическим условиям формирования стока (например, экстремально маловодные годы и редкие дождевые паводки), что обуславливает неоднородность статистической структуры ряда и ограничивает применимость стандартных параметрических распределений в области крайних значений [17].

Важным аспектом, определяющим применимость стандартных расчётных методов, является физическая неоднородность условий формирования максимального стока равнинных рек. В условиях, когда основная часть годового речного стока формируется в короткий весенний или весенне-летний период при исключительно высокой для континентальных территорий межгодовой изменчивости водности, формирование волны половодья определяется совокупностью различных факторов.

В годы с крайне малоснежными зимами весенний сток формируется преимущественно за счёт снежных запасов, аккумулированных в русле реки и овражно-балочной сети. При более благоприятных зимних условиях в формировании половодья участвует талая вода, стекающая со значительной части водосбора. После многоснежных зим дополнительный вклад в формирование стока вносят депрессии рельефа («степные блюдца»), которые в обычные годы остаются гидрологически пассивными, но при переполнении включаются в стокоформирование.

В результате действующая площадь водосбора, реально участвующая в формировании максимального стока, существенно изменяется по годам. Это приводит к формированию годовых максимумов расходов воды при принципиально различных гидрологических условиях, вследствие чего исходный ряд Q_{max} приобретает выраженную неоднородность. В таких условиях описание всего ряда единым статистическим законом становится методически необоснованным, а применение усеченных распределений оказывается не просто целесообразным, но фактически неизбежным.

Морфология долины реки оказывает существенное влияние на форму распределений максимальных расходов и особенно уровней воды. При узкой пойме распределение может быть описано единым законом, при этом асимметрия уровенного ряда, как правило, остается положительной. В условиях широкой поймы и пологих бортов долины нередко возникает статистическая неоднородность ряда, и различные его фрагменты подчиняются разным законам распределения.

В подобных ситуациях точка усечения приобретает четкий физический смысл и может быть связана, например, с отметкой выхода воды на широкую пойму. Данный подход ранее применялся Р.И. Гальпериным [17], целесообразность его применения озвучена в докладах VII Всероссийского гидрологического съезда.

Экстремальные значения (аномальные паводки, выраженные периоды маловодья и др.) оказывают непропорционально сильное влияние на параметры теоретических распределений. Контролируемое ограничение области их влияния позволяет существенно повысить устойчивость и качество аппроксимации эмпирических рядов [18].

При проектировании инженерных сооружений (дамб, мостов, водопропускных устройств) принципиально важно, чтобы используемая аналитическая модель адекватно описывала именно ту часть распределения, которая определяет расчетные характеристики, соответствующие заданным уровням обеспеченности (например, 5 %, 1 % и 0,3 %).

В нормативных документах, регламентирующих расчет гидрологических характеристик для целей проектирования и строительства (в том числе СНиП 2.01.14-83, СП 33-101-2003 и связанных с ними методических указаниях), допускается применение усеченных или составных кривых обеспеченности в случаях неоднородности рядов наблюдений максимального или минимального стока [17].

В ряде нормативных положений указывается, что при наличии неоднородности гидрологического ряда, обусловленной различными условиями формирования стока, использование единого параметрического распределения по всей совокупности данных может быть методически необоснованным. В таких ситуациях рекомендуется переход к усеченным или составным кривым распределения ежегодных вероятностей превышения [17, 18].

Стандартные указания по определению расчетных гидрологических характеристик предусматривают:

- применение аналитических функций распределения (в частности, распределения Пирсона III, гамма-распределения и др.) при статистической однородности рядов наблюдений;

- при выявлении неоднородности - использование усеченных или составных кривых обеспеченности, а также отдельную обработку отдельных фрагментов ряда.

Фактически это означает, что крайние участки распределения, не соответствующие общей статистической тенденции формирования стока, не должны оказывать непропорционального влияния на параметры расчетной кривой и могут рассматриваться отдельно либо с ограничением их вклада в аппроксимацию.

Основным методическим элементом настоящего исследования является применение усеченной графо-аналитической методики построения кривых обеспеченности максимального стока. Ключевая идея данного подхода заключается в сознательном ограничении статистической экстраполяции областью эмпирических данных, обладающих наибольшей надежностью.

В рамках методики задаются две опорные точки эмпирической кривой обеспеченности: верхняя точка, соответствующая обеспеченности 5 %, и нижняя точка, определяющая границу усечения кривой P2 (как правило, в диапазоне 25...50 %). Значения максимального стока в этих точках принимаются непосредственно по эмпирическим данным.

Параметры расчетной кривой обеспеченности определяются таким образом, чтобы обеспечить наилучшее согласование с эмпирическими значениями в статистически надежной части распределения. Экстраполяция в область редкой повторяемости (1%, 0,5%) осуществляется без использования всей совокупности данных, что позволяет существенно снизить влияние одиночных экстремальных наблюдений и избежать неустойчивого поведения хвостовой части распределения.

Расчетная зависимость для усеченной кривой обеспеченности имеет вид:

$$Q_P = Q_{P_2} + \sigma [\Phi(P_1, C_S) - \Phi(P_2, C_S)], \quad (2)$$

где параметр σ определяется по двум опорным точкам:

$$\sigma = \frac{Q_{P_1} - Q_{P_2}}{\Phi(P_1, C_S) - \Phi(P_2, C_S)}. \quad (3)$$

Коэффициент асимметрии C_s подбирался по условию минимизации среднеквадратической ошибки согласования между эмпирическими и расчетными значениями в диапазоне обеспеченностей от 2 % до P2.

Выбор нижней границы усечения P2 выполнялся индивидуально для каждого гидрологического поста на основе анализа формы эмпирической кривой обеспеченности и минимизации расхождений между эмпирическими и расчетными значениями.

Для методического обоснования выбора нижней границы усечения P2 для каждого гидрологического поста была выполнена серия расчетов усеченных кривых обеспеченности при фиксированных значениях P2 = 25 %, 30 % и 40 %. В качестве количественного критерия согласования расчетных и эмпирических значений использовалась среднеквадратическая ошибка (RMSE). Результаты сравнительного анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение среднеквадратических отклонений усеченных кривых обеспеченности при различных значениях нижней границы усечения P2

Река – пост	RMSE при P2=25 %, м ³ /с	RMSE при P2=30 %, м ³ /с	RMSE при P2=40 %, м ³ /с	Принятое P2, %
Жайык – с. Кушум	351	442	504	25
Жайык – с. Махамбет	630	642	647	25
Илек – г. Актобе	194	181	167	40
Тобыл – с. Гришенка	171	189	183	25
Тобыл – г. Костанай	85,1	73,2	68,9	40
Есиль – г. Петропавловск	105	92,2	90,9	40

Выбор данной функциональной формы обусловлен ее широким применением в инженерной гидрологии и возможностью графо-аналитической интерпретации параметров, что обеспечивает сопоставимость с нормативными методами расчета. Принятые параметры усеченных кривых приведены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры усеченных кривых обеспеченности максимального стока

Река – пост	Нижняя граница усечения P2, %	Коэффициент асимметрии C_s	Среднеквадратическая ошибка (RMSE)
Жайык – с. Кушум	25	1,65	351
Жайык- с. Махамбет	25	4,58	616
Илек – г. Актобе	40	4,00	167
Тобыл – с. Гришенка	25	0,00	174
Тобыл – г. Костанай	40	3,98	68,9
Есиль - Петропавловск	40	2,12	89,9

Анализ данных таблицы 3 показывает, что минимальные значения среднеквадратического отклонения достигаются при различных значениях нижней границы усечения P2 в зависимости от реки и гидрологического поста. Это отражает различия в статистической структуре рядов максимального стока и подтверждает некорректность применения единого значения P2 для всех водотоков. Принятые в дальнейшем значения P2 соответствуют минимуму RMSE, что обеспечивает наилучшее согласование расчетных кривых с эмпирическими данными в статистически надежной части распределения.

Значения нижней границы усечения P2 варьируют в диапазоне от 25 до 40 %, что отражает различия в форме эмпирических кривых обеспеченности и степени неоднородности рядов наблюдений. Для рек Жайык (пост с. Кушум) и Тобыл (пост с. Гришенка) оптимальное согласование расчетной и эмпирической кривых достигается при P2 = 25 %, что указывает на относительно устойчивую статистическую структуру рядов в диапазоне средних обеспеченностей. В то же время для постов Жайык - с. Махамбет, Тобыл - г. Костанай и Есиль - г. Петропавловск более корректное описание эмпирических

данных обеспечивается при $P_2 = 40\%$, что свидетельствует о необходимости ограничения влияния нижней части распределения при аппроксимации.

Коэффициент асимметрии C_s , рассчитанный для усеченной части ряда, соответствующей принятому значению нижней границы усечения P_2 , демонстрирует значительную вариабельность, принимая значения от 0,00 до 4,00. Минимальное значение асимметрии, близкое к нулю, характерно для реки Тобыл в створе с. Гришенка при $P_2 = 25\%$, что указывает на сравнительно симметричную структуру распределения максимального стока в статистически надежной части ряда и отсутствие выраженного тяжелого хвоста. Следует отметить, что при альтернативных значениях усечения ($P_2=30\%$, $P_2=40\%$) для данного поста коэффициент асимметрии возрастает и превышает единицу, что подтверждает чувствительность параметров распределения к глубине усечения.

Напротив, для реки Илек (г. Актобе) и реки Жайык (с. Махамбет) даже при оптимальных значениях P_2 сохраняются высокие значения C_s , отражающие наличие редких, но крайне интенсивных паводков, формирующих тяжелую хвостовую часть распределения.

Значения среднеквадратической ошибки (σ) характеризуют степень согласования расчетных кривых с эмпирическими данными в статистически надежной части распределения. Относительно низкие значения σ для большинства постов свидетельствуют о хорошем качестве аппроксимации и подтверждают корректность выбранных параметров усеченных кривых обеспеченности. Более высокие значения σ для отдельных постов отражают повышенную изменчивость максимального стока и сложность статистического описания хвостовой части распределения.

Таким образом, данные таблицы 3 показывают, что применение усеченных кривых обеспеченности с индивидуальным подбором параметров позволяет адекватно учитывать различия в гидрологическом режиме рек и формирует надежную основу для расчета максимального стока редкой повторяемости.

2.6 Оценка статистической неопределенности

Оценка статистической неопределенности редких паводков при конечной длине рядов наблюдений имеет принципиальное значение для инженерной практики, поскольку нормативные расчеты, как правило, не учитывают диапазон возможных отклонений расчетных характеристик.

Для оценки статистической неопределенности, присущей расчету редких паводков при конечной длине рядов наблюдений, использовался биномиальный подход к оценке доверительных интервалов вероятности превышения. Данный анализ не предназначен для непосредственного расчета расходов воды, однако позволяет наглядно продемонстрировать диапазон возможных значений вероятности превышения для экстремальных наблюдений [23].

Для количественной оценки статистической неопределенности расчетных значений максимального стока редкой повторяемости была выполнена оценка доверительных интервалов вероятности превышения на основе биномиального подхода. Известно, что при конечной длине гидрологических рядов вероятность превышения экстремальных наблюдений определяется с существенной неопределенностью, особенно в области редкой повторяемости. Для оценки диапазона возможных отклонений вероятности превышения использовался биномиальный метод определения доверительных интервалов (метод Clopper–Pearson) при уровне доверия 95%. Расчеты выполнены для обеспеченностей 1% и 0,5%, соответствующих наиболее ответственным инженерным расчетам. Длина рядов наблюдений по исследуемым постам составляет от 93 до 102 лет, что позволяет количественно оценить статистическую неопределенность области редких вероятностей. Результаты расчетов показали, что при длине рядов порядка 93...102 лет доверительные интервалы вероятности превышения в области

обеспеченности 1% варьируют в диапазоне примерно от 0,03 до 5,5 %, а для обеспеченности 0,5 % - от 0,03 до 5,8 % (таблица 4). Это свидетельствует о высокой неопределенности глубокой статистической экстраполяции в область редкой повторяемости. Для перехода от вероятностных интервалов к диапазонам расчетных расходов использовались значения максимального стока обеспеченности 1 % и 0,5 %, полученные по усеченной кривой обеспеченности. В результате были определены доверительные интервалы расчетных расходов воды (таблица 5).

Таблица 4*Доверительные интервалы вероятности превышения (95 %)*

Река – пост	n	Q _{1%}	Интервал P _{1%} , (%)	Q _{0,5%}	Интервал P _{0,5%} , (%)
Жайык – с. Кушум	102	16564	0,03...4,97	19516	0,03...5,34
Жайык – с. Махамбет	93	9396	0,03...5,46	11552	0,03...5,85
Илек – г. Актобе	93	2780	0,03...5,46	3470	0,03...5,85
Тобыл – с. Гришенка	93	2618	0,03...5,46	2930	0,03...5,85
Тобыл – г. Костанай	93	4039	0,03...5,46	4970	0,03...5,85
Есиль – г. Петропавловск	93	5475	0,03...5,46	6400	0,03...5,85

Таблица 5*Доверительные интервалы расчетных расходов обеспеченности 1 %*

Река-пост	Q _{1%} , м ³ /с	Нижний предел Q _{1%}	Верхний предел Q _{1%}
Жайык–Кушум	16564	11334	37974
Жайык–Махамбет	9396	5665	26717
Илек–Актобе	2780	1615	8533
Тобыл–Гришенка	2618	1987	4627
Тобыл–Костанай	4039	2430	11534
Есиль–Петропавловск	5475	3735	12060

Анализ полученных результатов показал, что диапазоны возможных значений расчетных расходов могут существенно превышать номинальные значения. Например, для реки Есиль–Петропавловск при расчетном значении максимального расхода обеспеченности 1%, равном 5475 м³/с, диапазон возможных значений составляет 3735...12060 м³/с. Аналогичные закономерности выявлены и для других исследуемых водотоков. Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рисунке 2, где показаны кривые обеспеченности с доверительными интервалами.

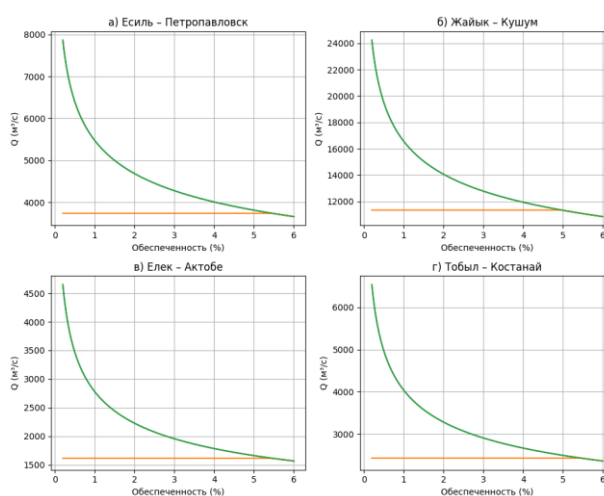


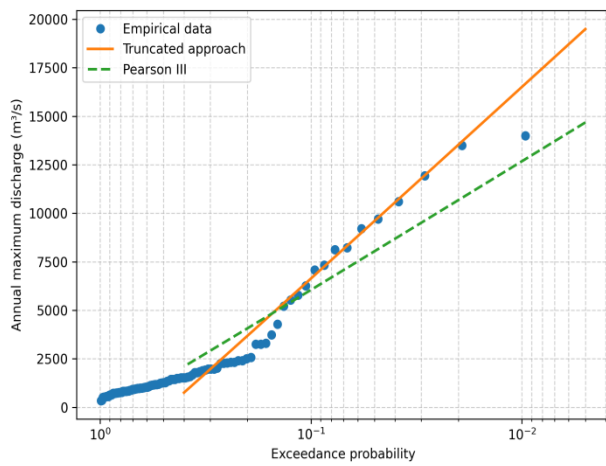
Рисунок 2. Кривые обеспеченности максимального стока с доверительными интервалами: а) р. Есиль–Петропавловск; б) р. Жайык–Кушум; в) р. Елек–Актобе; г) р. Тобыл–Костанай.

Видно, что в области обеспеченностей менее 1 % ширина доверительных интервалов резко возрастает, что подтверждает высокую статистическую неопределенность глубокой экстраполяции. Полученные результаты подтверждают методическую целесообразность ограничения глубины экстраполяции при расчетах максимального стока редкой повторяемости и обосновывают применение усеченных кривых обеспеченности как более устойчивого инструмента инженерно-гидрологических расчетов [24].

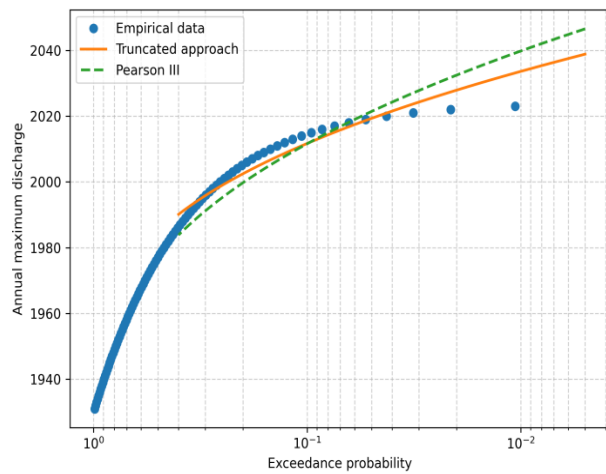
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Эмпирические и усеченные кривые обеспеченности максимального стока

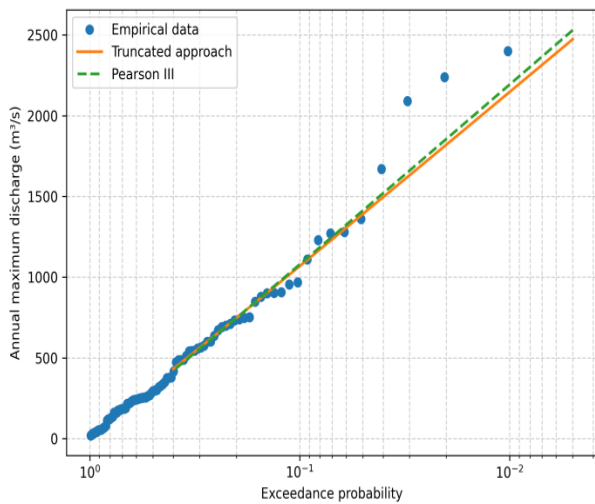
Результаты построения эмпирических и расчетных кривых обеспеченности максимального годового стока для исследуемых гидрологических постов приведены на рисунке 3.



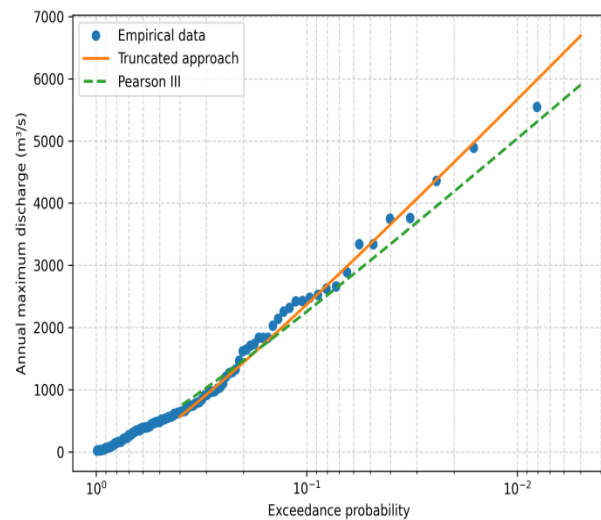
Жайык-Кошим



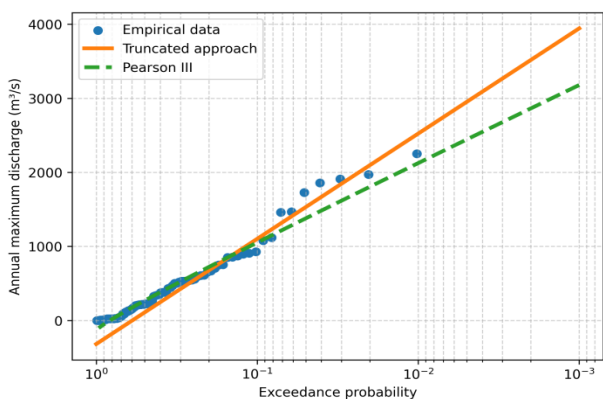
Жайык - Махамбет



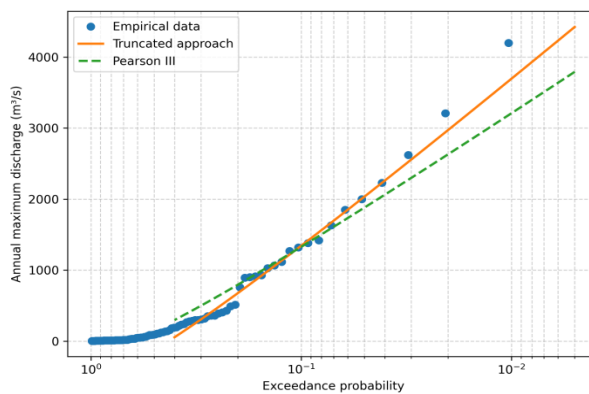
Илек-Актобе



Есиль-Петропавловск



Тобыл – с. Гришенка



Тобыл - Костанай

Рисунок 3. Эмпирические и усеченные кривые обеспеченности максимальных расходов воды (а-е - по гидрологическим постам: Жайык–Кушум, Жайык– Махамбет, Илек-Актобе, Есиль-Петропавловск, Тобыл– Гришенка, Тобыл - Костанай)

На рисунке представлены эмпирические значения максимальных расходов воды, а также расчетные кривые, полученные по усеченной графо-аналитической методике и классическому параметрическому распределению Пирсона III.

Анализ рисунка 3 показывает, что усеченная кривая обеспеченности обеспечивает устойчивое согласование с эмпирическими данными в статистически надежной части распределения, как правило в диапазоне обеспеченностей от 5 до 30...40 %. В этой области расчетные значения практически не отклоняются от эмпирических, что свидетельствует о корректном выборе параметров усеченной кривой и ее адекватности фактическому гидрологическому режиму рек.

При переходе к области редкой повторяемости (обеспеченности 1 % и 0,5 %) усеченная методика демонстрирует плавный и контролируемый характер экстраполяции. В отличие от параметрического подхода, форма кривой в хвостовой части распределения не испытывает резких перегибов и не приводит к скачкообразному изменению расчетных расходов воды. Это имеет принципиальное значение для инженерных расчетов, поскольку обеспечивает физически интерпретируемые и устойчивые значения максимального стока.

Наиболее выраженные преимущества усеченной методики наблюдаются для рек с высокой межгодовой изменчивостью максимального стока и наличием одиночных экстремальных паводков, в частности для реки Илек и нижнего течения реки Жайык. В этих случаях классическая параметрическая аппроксимация оказывается чувствительной к отдельным экстремальным наблюдениям, тогда как усеченная кривая сглаживает их влияние за счет ограничения области экстраполяции.

3.2 Расчетные значения максимального стока редкой повторяемости

Расчетные значения максимального годового стока различной обеспеченности, полученные по усеченной кривой обеспеченности, приведены в таблице 6. Таблица содержит значения расходов воды с обеспеченностями 10 %, 5 %, 3 %, 1 % и 0,5 %, которые традиционно используются в инженерно-гидрологических расчетах.

Таблица 6

Расчетные значения максимального стока редкой повторяемости (усеченная кривая обеспеченности)

Река – пост	Максимальные расходы воды различной обеспеченности, м³/с				
	Q10%	Q5%	Q3%	Q1%	Q0.5%
Жайык – с. Кушум	6509	9592	11828	16564	19516
Жайык- с. Махамбет	3195	4838	6196	9396	11552
Илек – г. Актобе	941	1388	1787	2780	3470
Тобыл – с. Гришенка	1312	1766	2061	2618	2930

Тобыл – г. Костанай	1276	2031	2638	4039	4970
Есиль - Петропавловск	2429	3340	4015	5475	6400

Расчетные значения максимального годового стока различной обеспеченности, приведенные в таблице 6, демонстрируют закономерный и монотонный рост расходов воды при переходе от часто повторяющихся паводков (обеспеченность 10...5 %) к редким экстремальным событиям (обеспеченность 1...0,5 %). Отсутствие резких скачков и немонотонности в ряду расчетных значений соответствует физическим представлениям о формировании экстремального стока в равнинных речных бассейнах, и свидетельствует о корректности применения усеченной кривой обеспеченности и устойчивости полученных оценок.

Наибольшие значения максимального стока редкой повторяемости характерны для реки Жайык, что обусловлено значительной площадью водосбора и спецификой формирования паводков в нижнем течении реки. Для поста с. Кушум расчетный расход обеспеченности 1 % превышает 16 тыс. м³/с, а при обеспеченности 0,5 % достигает порядка 19,5 тыс. м³/с, что отражает наличие редких, но чрезвычайно интенсивных паводков. В створе с. Махамбет значения максимального стока ниже, однако сохраняется выраженная тенденция к резкому увеличению расходов в области редкой повторяемости, что согласуется с высокой асимметрией распределения, выявленной на предыдущем этапе анализа.

Для реки Илек (г. Актобе) расчетные значения максимального стока демонстрируют более умеренный абсолютный уровень расходов, однако относительный рост между обеспеченностями 3 %, 1 % и 0,5 % остается значительным. Это указывает на высокую чувствительность оценок редких паводков к форме хвостовой части распределения и подчеркивает необходимость использования методов, ограничивающих неконтролируемую экстраполяцию.

Реки бассейна Тобыла характеризуются более сглаженной динамикой роста расчетных расходов. Для поста с. Гришенка увеличение максимального стока при переходе от обеспеченности 10 % к 0,5 % происходит плавно, что соответствует сравнительно симметричной структуре распределения максимального стока. В то же время для поста г. Костанай отмечается более выраженный рост расходов в области редкой повторяемости, что отражает различия в условиях формирования паводков и статистической структуре рядов наблюдений в пределах одного бассейна.

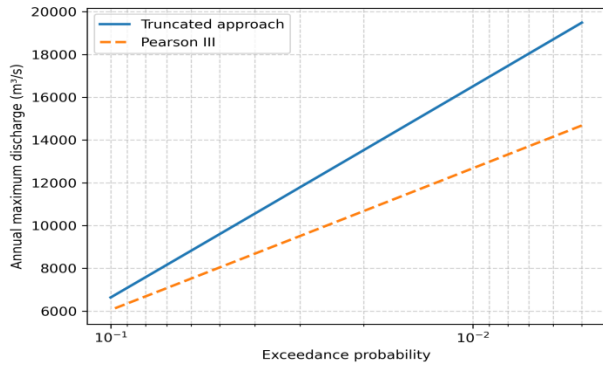
Для реки Есиль (г. Петропавловск) расчетные значения максимального стока редкой повторяемости занимают промежуточное положение между реками Жайык и Тобыл, что соответствует особенностям снегового типа питания и устойчивой сезонной структуре паводков. При этом рост расходов при переходе к обеспеченностям 1 % и 0,5 % остается контролируемым и физически интерпретируемым.

В целом данные таблицы 4 подтверждают, что применение усеченной кривой обеспеченности позволяет получить расчетные значения максимального стока редкой повторяемости, согласующиеся с эмпирическими кривыми (рисунок 2) и отражающие реальные гидрологические различия между реками и постами.

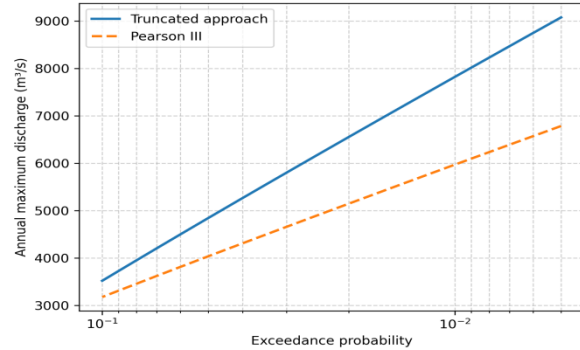
Следует отметить, что полученные значения максимального стока редкой повторяемости находятся в разумных пределах относительно эмпирических максимумов и не выходят за рамки гидрологически обоснованных оценок. Это особенно важно при использовании расчетных расходов для проектирования гидротехнических сооружений, где чрезмерное завышение или занижение расчетных характеристик может привести к серьезным инженерным последствиям. С инженерной точки зрения представленные значения могут быть использованы в качестве расчетных характеристик при проектировании гидротехнических сооружений и систем противопаводковой защиты.

3.3 Сравнение с классическим параметрическим подходом

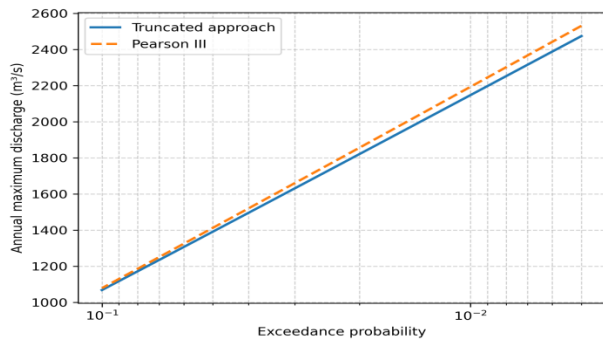
Сравнение расчетных кривых обеспеченности, полученных по усеченной методике и классическому распределению Пирсона III, представлено на рисунке 4. Для наглядности сравнение выполнено в диапазоне обеспеченностей от 10 % до 0,5 %, то есть в области, представляющей наибольший практический интерес для инженерных расчетов.



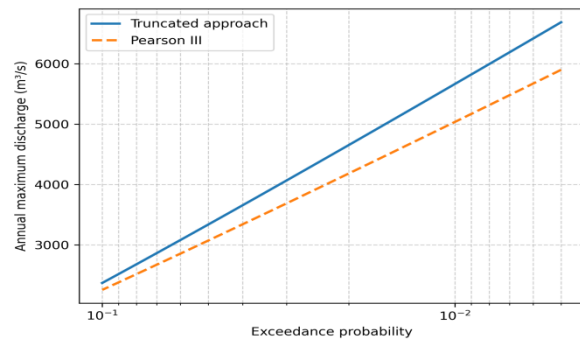
Жайык - Кошим



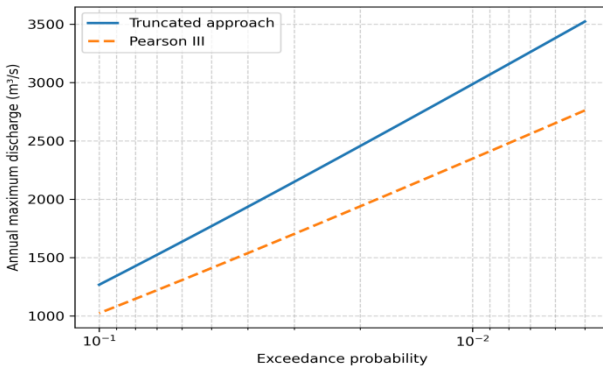
Жайык - Махамбет



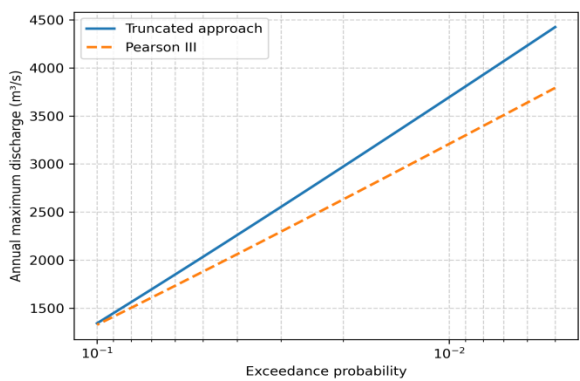
Илек-г. Актобе



Есиль - г. Петропавловск



Тобыл - с. Гришенка



Тобыл - Костанай

Рисунок 4. Сравнение кривых обеспеченности максимального стока, полученных по различным методам расчета (усеченная кривая обеспеченности и классическое распределение Пирсона III; диапазон обеспеченностей 10...0,5%)

Анализ рисунка 4 показывает, что различия между методами не являются существенными в области часто повторяющихся паводков, однако резко возрастают при переходе к редкой повторяемости. В большинстве рассмотренных случаев классическое

распределение Пирсона III либо занижает, либо завышает расчетные значения максимального стока по сравнению с усеченной кривой.

Количественная оценка различий между методами для обеспеченности 1% приведена в таблице 7.

Таблица 7

Сравнение расчетных значений максимального стока по усеченной кривой и классическому распределению Пирсона III

Река – пост	Q 1% (усеченная кривая), м ³ /с	Q 1% (кривая Пирсона III), м ³ /с	Отклонение, %
Жайык – с. Кушум	16564	13168	-20,5
Жайык- с. Махамбет	9396	7041	-25,1
Илек – г. Актобе	2780	2163	-22,2
Тобыл – с. Гришенка	2618	2125	-18,8
Тобыл – г. Костанай	4039	3303	-18,2
Есиль - Петропавловск	5475	4776	-12,8

Отрицательные значения отклонений свидетельствуют о занижении расчетных расходов при использовании классического параметрического подхода.

Данные таблицы 5 показывают, что расчетные значения максимального стока обеспеченности 1 %, полученные по распределению Пирсона III, для всех исследуемых гидрологических постов оказываются ниже соответствующих значений, рассчитанных по усеченной кривой обеспеченности. Величина занижения составляет от 12,8 до 25,1 % и возрастает для рек с выраженной асимметрией распределения максимального стока. Полученные результаты свидетельствуют о том, что формальное использование параметрического распределения Пирсона III без ограничения глубины экстраполяции может приводить к недооценке редких паводков, тогда как усеченная кривая обеспеченности обеспечивает более устойчивые и консервативные оценки, соответствующие инженерным требованиям надежности.

Полученные расхождения не следует рассматривать как недостаток параметрического распределения Пирсона III, а как следствие его формального применения за пределами статистически надежной части эмпирического ряда.

Это обстоятельство указывает на ограниченную применимость традиционного параметрического подхода для оценки хвостовой части распределения максимального стока в условиях высокой асимметрии и конечной длины рядов наблюдений.

В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть альтернативные модели описания экстремальных значений, широко применяемые в современной зарубежной гидрологической практике, и сопоставить получаемые по ним оценки с результатами, полученными по усеченной кривой обеспеченности.

3.4 Сравнительный анализ усеченной кривой обеспеченности и распределения GEV

В последние десятилетия в зарубежной гидрологической практике для анализа экстремальных паводков широко применяется обобщенное экстремальное распределение (GEV), рассматриваемое как универсальная модель для описания годовых максимумов стока в рамках теории экстремальных значений. Применение распределения GEV получило широкое распространение при анализе редких паводков и оценке расчетных расходов воды, используемых в инженерных и проектных расчетах. В этой связи представляло интерес сопоставить расчетные значения максимального стока, полученные по усеченной кривой обеспеченности, с оценками редких расходов воды, рассчитанными на основе распределения GEV [22].

Оценка параметров GEV в классической постановке обычно выполняется методом максимального правдоподобия (MLE). Однако, как показывают многочисленные исследования, при ограниченной длине рядов наблюдений и выраженной асимметрии распределений экстремальных значений данный метод может демонстрировать нестабильное поведение хвостовой части распределения. Это особенно характерно для равнинных рек с редкими, но чрезвычайно интенсивными паводками.

Для иллюстрации указанной проблемы в настоящей работе распределение GEV было применено к ряду максимальных расходов воды реки Жайык в створе с. Кушум, характеризующемуся высокой асимметрией и наличием одиночных экстремальных паводков (1921...2023 гг., n = 103). Расчеты показали, что при использовании стандартной MLE-оценки параметров GEV значения расходов обеспеченности 1 % и 0,5 % принимают физически трудноинтерпретируемые и завышенные величины, превышающие расчеты по усеченной кривой на порядки (таблица 8).

Таблица 8

Сравнение расчетных расходов воды редкой обеспеченности для реки Жайык – с. Кушум

P, %	Усеченная кривая, м3/с	GEV (MLE), м3/с	GEV (L-mom), м3/с
1,0	16564	$5,2 \times 10^{10}$	16200
0,5	19516	$2,9 \times 10^{12}$	23532

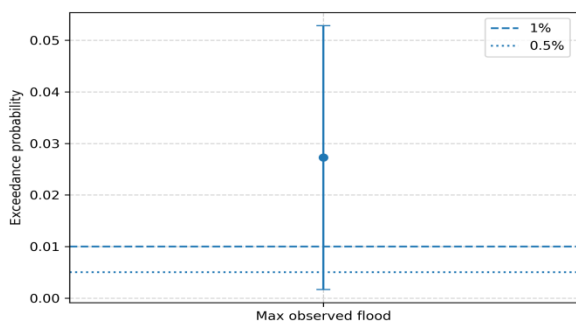
Подобное поведение распределения GEV (MLE) указывает не на экстремальность реального гидрологического режима, а на численную и статистическую неустойчивость параметров распределения в хвостовой части, обусловленную сильной зависимостью MLE-оценок от единичных экстремальных наблюдений. В этом смысле GEV (MLE) не устраняет неопределенность глубокой экстраполяции, а в ряде случаев усиливает ее.

В то же время использование альтернативного подхода к оценке параметров GEV - метода L-моментов - приводит к принципиально иному результату. Расчеты показали, что значения расходов обеспеченности 1 % и 0,5 %, полученные по GEV (L-mom), оказываются близкими к расчетам по усеченной кривой обеспеченности и укладываются в физически обоснованный диапазон, согласующийся с эмпирическими данными и историческими наблюдениями экстремальных паводков.

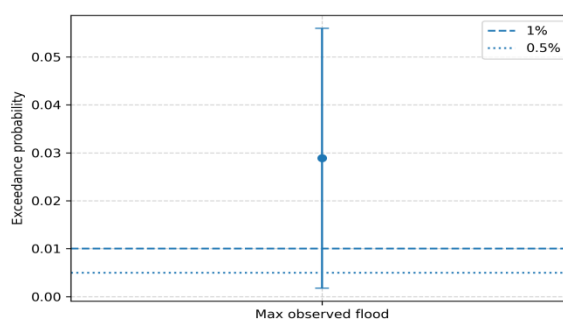
Таким образом, результаты сравнительного анализа показывают, что распределение GEV при стандартной параметризации методом максимального правдоподобия не устраняет проблему неопределенности оценки редких паводков для равнинных рек Казахстана и в ряде случаев приводит к физически трудно интерпретируемым значениям расчетных расходов. В то же время согласованность оценок, полученных по усеченной кривой обеспеченности и распределению GEV, параметризованному по L-моментам, подтверждает корректность усеченного подхода как инструмента управления статистической неопределенностью хвостовой части распределения максимального стока.

3.5 Статистическая неопределенность оценок редкого максимального стока

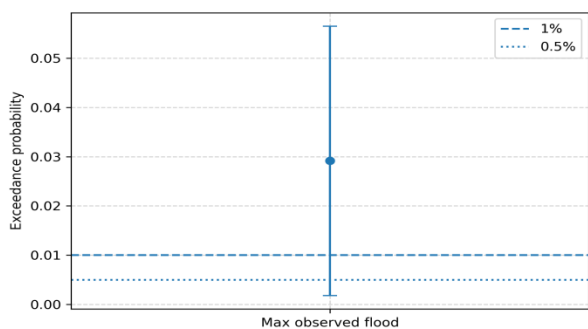
Для иллюстрации статистической неопределенности, присущей оценке редких паводков при конечной длине рядов наблюдений, на рисунке 5 приведены биномиальные доверительные интервалы вероятности превышения максимального годового стока.



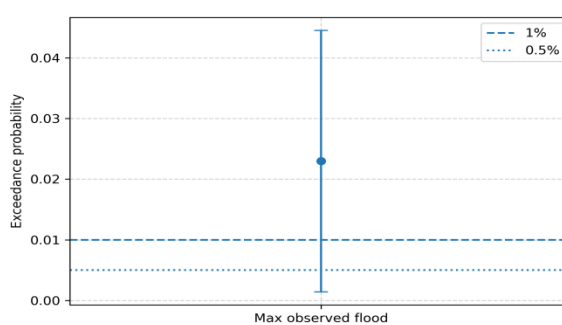
Жайык-Кошим



Илек – г. Актобе



Тобыл – г. Костанай



Есиль – г. Петропавловск

Рисунок 5. Биноминальные доверительные интервалы вероятности превышения максимального наблюдаемого паводка для рек Жайык, Илек, Тобыл и Есиль

Анализ рисунка 5 показывает, что при длине рядов наблюдений порядка 80...120 лет диапазон возможных значений вероятности превышения для экстремальных наблюдений остается достаточно широким. Это означает, что расчетные значения максимального стока с обеспеченностью менее 1 % не могут рассматриваться как строго определенные и обладают значительной статистической неопределенностью.

Данный результат имеет важное методическое и нормативное значение. Он подтверждает, что глубокая статистическая экстраполяция эмпирических рядов в область крайне редкой повторяемости не может быть выполнена без существенных допущений. В этих условиях применение усеченных кривых обеспеченности позволяет учесть объективные ограничения статистической информации и избежать ложной точности расчетных характеристик.

3.6 Инженерный пример применения усеченной методики

Рассмотрим типовую инженерную задачу - определение расчетного максимального расхода воды обеспеченности 1 % при проектировании мостового перехода через равнинную реку. В соответствии с нормативными требованиями расчетный расход используется для определения пропускной способности пролетных строений и расчетных уровней воды.

При использовании классического параметрического распределения Пирсона III расчетный расход может быть существенно искажен вследствие влияния одиночного экстремального паводка, зафиксированного в ряду наблюдений. В результате проектное решение либо оказывается недостаточно надежным (при занижении расчетного расхода), либо приводит к неоправданному увеличению размеров сооружения и росту стоимости строительства (при завышении).

Применение усеченной кривой обеспеченности позволяет получить расчетное значение максимального стока, опирающееся на статистически надежную часть эмпирического ряда и обеспечивающее более устойчивую оценку расхода обеспеченности 1 %. В инженерном смысле это приводит к снижению риска как недоучета, так и переучета паводочной опасности, что полностью соответствует принципам рационального и безопасного проектирования. Для рек с высокой асимметрией распределения ($C_s > 3$) использование усеченной методики позволяет снизить риск занижения расчетного расхода обеспеченности 1 % на 15...25 %.

Таким образом, усеченная методика может быть рекомендована в качестве дополнительного расчетного инструмента при проектировании мостовых переходов, водопропускных сооружений и гидротехнических объектов на равнинных реках Казахстана.

С учетом полученных результатов можно заключить, что применение усеченных кривых обеспеченности позволяет гармонизировать требования нормативных документов с реальными статистическими возможностями гидрологических рядов наблюдений. Методика не подменяет нормативные подходы, а дополняет их, повышая устойчивость и инженерную интерпретируемость расчетов максимального стока редкой повторяемости.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрены методические подходы к оценке максимального годового стока редкой повторяемости равнинных рек Казахстана в условиях статистической неопределенности и ограниченной длины рядов наблюдений. Анализ выполнен на основе многолетних данных максимальных расходов воды по рекам Жайык, Есиль, Тобыл и Илек, характеризующихся различными условиями формирования паводков и степенью асимметрии распределения максимального стока.

Показано, что формальное применение классических параметрических распределений, в частности распределения Пирсона III, без учета особенностей эмпирической структуры рядов и статистической неопределенности хвостовой части распределения может приводить к методически неустойчивым оценкам максимального стока редкой повторяемости. Различия между расчетными значениями, полученными по параметрическому и усеченному подходам, существенно возрастают в области обеспеченностей 1 % и 0,5 %, что имеет принципиальное значение для инженерно-гидрологических расчетов.

Установлено, что усеченная графо-аналитическая кривая обеспеченности обеспечивает устойчивое согласование с эмпирическими данными в статистически надежной части распределения и позволяет контролировать характер экстраполяции в область редкой повторяемости. Применение усеченного подхода позволяет избежать резких перегибов расчетных кривых и получить физически интерпретируемые значения максимального стока, сопоставимые с историческими наблюдениями.

Обоснована методическая целесообразность применения усеченных кривых обеспеченности для оценки максимального стока редкой повторяемости при ограниченной длине рядов наблюдений.

Количественно показано влияние статистической неопределенности на оценки обеспеченностей менее 1% для равнинных рек Казахстана.

Продемонстрировано, что формальное применение распределения Пирсона III может приводить к систематическому занижению расчетных расходов редкой повторяемости.

Предложен инженерно интерпретируемый подход, согласующий требования нормативных документов с реальными статистическими возможностями гидрологических рядов.

Дополнительно показано, что применение распределения GEV с оценкой параметров методом максимального правдоподобия не устраняет проблему неопределенности оценки редких паводков для равнинных рек Казахстана и в ряде случаев приводит к физически трудноинтерпретируемым результатам. В то же время согласованность расчетов по усеченной кривой обеспеченности и GEV, параметризованному по L-моментам, подтверждает корректность предложенного подхода как инструмента управления статистической неопределенностью хвостовой части распределения.

Анализ статистической неопределенности показал, что при длине рядов наблюдений порядка 80...120 лет оценки вероятностей превышения менее 1 % характеризуются значительным разбросом и не могут рассматриваться как строго определенные. В этих условиях ограничение глубины статистической экстраполяции является методически оправданным и соответствует принципам надежности инженерных расчетов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение усеченных кривых обеспеченности является эффективным инструментом повышения устойчивости расчетов максимального стока редкой повторяемости для равнинных рек Казахстана. Предлагаемый подход не противоречит действующим нормативным положениям и может рассматриваться как инструмент уточнения и повышения устойчивости расчетов максимального стока в области редкой повторяемости.

Результаты исследования могут быть использованы при инженерно-гидрологических расчетах, проектировании гидротехнических сооружений, мостовых переходов и систем противопаводковой защиты, а также при совершенствовании методических рекомендаций по расчету максимального стока в условиях ограниченной статистической информации.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании получены автором из официальных источников РГП «Казгидромет» и научных публикаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сикан А.В. С Вероятностные распределения в гидрологии. Специальные главы теории и практики гидрологических расчетов: учебник. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 286 с.
2. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М.: Госстрой России, 2004. – 74 с.
3. Свод правил по проектированию и строительству. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. СП 11-103-97. - М.: Госстрой России, 2004. – 29 с.
4. МСП 3.04-101-2005. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – Астана: Комитет по делам строительства и ЖКХ МИИР РК, 2005. – 56 с.
5. Определение расчетных гидрологических характеристик. СНиП 2.01.14-83.- М.: Стройиздат, 1985. – 35 с.
6. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 448 с.
7. Методические рекомендации по учету влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 168 с.
8. Gumbel E. J. Statistics of Extremes. - New York: Columbia University Press, 1958. - 375 p.
9. Рождественский А.В., Чеботарев А.М. Статистические методы в гидрологии.- Л.: Гидрометеоиздат, 1974.– 424 с.
10. World Meteorological Organization. Guide to Hydrological Practices. - Geneva : World Meteorological Organization, 2012. - 302 p. - (WMO-No. 168).
11. U.S. Army Corps of Engineers (USACE). Engineering and Design: Flood-Flow Frequency Analysis. -Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers, 1993. - 68 p. - (Engineer Manual EM 1110-2-1415).
12. England, J.F., Jr.; Cohn, T.A.; Faber, B.A.; Stedinger, J.R.; Thomas, W.O., Jr.; Veilleux, A.G.; Kiang, J.E.; Mason, R.R., Jr. Guidelines for Determining Flood Flow Frequency - Bulletin 17C. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 2018, 4–B5, 148 p. <https://doi.org/10.3133/tm4B5> pubs.usgs.gov
13. Bayliss A. C. Catchment descriptors. - Vol. 5 of the Flood Estimation Handbook. - Wallingford : Centre for Ecology & Hydrology, 1999.
14. Review of risk based prioritization/decision making methodologies for dams. US Army Corps of Engineers. 2004, - p. 42.
15. Swain R.E., D.Bowles, D.Ostena. A framework for characterization of extreme floods for dam safety risk assessment. - Proceedings of the 1998 USCOLD Annual Lecture.- Buffalo, New York. August, 1998 - p. 13.
16. Молдахметов М., Махмудова Л., Турсунова А., Григорюк М., Канатұлы А., Жулқайнарұлы М., Ахметова М. . Природные и антропогенные факторы в формировании стока равнинных рек Казахстана в условиях нестационарности климата// Journal of Geography and Environmental Management. – 2023. - 69(2). <https://doi.org/10.26577/JGEM.2023.v69.i2.09>
17. Гальперин Р.И. Использование усеченных кривых распределения для расчета максимальных уровней воды в реках // Хабаршы вестник, сер. географ.- 1999, - №8-9. – С.109-111.
18. Гальперин Р.И.Нюансы статистической интерпретации гидрологических рядов// Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы гидрометеорологии и экологии» – Алматы: КазНИИМОСК, 2001. – С.103-105.
19. Чеботарев А.И. Гидрологические расчеты. - Л.: Гидрометеоиздат, 1972. - 368 с.
20. Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W. Applied Hydrology. - New York: McGraw-Hill, 1988. - 572 p.
21. Griffis V.W., Stedinger J.R. Log-Pearson Type3 Distribution and Its Application in Flood Frequency Analysis I: Distribution Characteristics, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 12, No. 5, 2007, pp. 482-292. [doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2007\)12:5\(482\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:5(482))

22. Hosking, J.R.M. L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. // Journal of the Royal Statistical Society: Series B. - 1990. – Vol. 52(1), - 105–124. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1990.tb01775.x>
23. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. - М.: Физматлит, 2006. - 816 с.
24. Stedinger J.R., Vogel R.M., Foufoula-Georgiou E. Frequency analysis of extreme events // Handbook of Hydrology / ed. by D. R. Maidment. - New York: McGraw-Hill, 1993. - Sect.18.
25. Anghel, C.G. Revisiting the Use of the Gumbel Distribution: A Comprehensive Statistical Analysis Regarding Modeling Extremes and Rare Events. Mathematics – 2024. - 12, 2466. [Google Scholar] [CrossRef]
26. Anghel, C.-G.; Ianculescu, D. An In-Depth Statistical Analysis of the Pearson Type III Distribution Behavior in Modeling Extreme and Rare Events. Water 2025 17, 1539. [Google Scholar] [CrossRef]
27. Gómez, Y.M.; Gallardo, D.I.; Marchant, C.; Sánchez, L.; Bourguignon, M. An In-Depth Review of the Weibull Model with a Focus on Various Parameterizations// Mathematics. - 2024. – Vol. 12 – Art.56. [Google Scholar] [CrossRef]
28. Bardsley, E. The Weibull Distribution as an Extreme Value Model for Transformed Annual Maxima. J.Hydrol. - 2019, 58,123–131. Available online: <https://www.jstor.org/stable/26912154> (accessed on 9 October 2025).

REFERENCES

1. Sikan, A. V. (2020). *Veroyatnostnye raspredeleniya v gidrologii. Spetsialnye glavy teorii i praktiki gidrologicheskikh raschetov* [Probability distributions in hydrology. Special chapters of theory and practice of hydrological calculations]. Saint Petersburg: RGGMU [in Russian].
2. Svod pravil po proektirovaniyu i stroitelstvu. SP 33-101-2003. (2004). *Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Code of practice for design and construction. Determination of basic design hydrological characteristics]. Moscow: Gosstroj Rossii [in Russian].
3. Svod pravil po proektirovaniyu i stroitelstvu. SP 11-103-97. (2004). *Inzhenerno-gidrometeorologicheskie izyskaniya dlya stroitelstva* [Engineering hydrometeorological surveys for construction]. Moscow: Gosstroj Rossii [in Russian].
4. MSP 3.04-101-2005. (2005). *Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Determination of basic design hydrological characteristics]. Astana: Komitet po delam stroitelstva i ZhKKh MIIR RK [in Russian].
5. SNiP 2.01.14-83. (1985). *Opredelenie raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Determination of design hydrological characteristics]. Moscow: Stroizdat [in Russian].
6. Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. (1984). *[Guidelines for determination of design hydrological characteristics]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
7. Metodicheskie rekomendatsii po uchetu vliyaniya khozyaistvennoi deyatelnosti na stok malyykh rek pri gidrologicheskikh raschetakh dlya vodokhozyaystvennogo proektirovaniya. (1986). *[Methodological recommendations for accounting the impact of economic activity on small river runoff in hydrological calculations for water management design]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
8. Gumbel, E. J. (1958). *Statistics of extremes*. New York, NY: Columbia University Press.
9. Rozhdestvenskii, A. V., & Chebotarev, A. M. (1974). *Statisticheskie metody v gidrologii* [Statistical methods in hydrology]. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
10. World Meteorological Organization. (2012). *Guide to hydrological practices* (WMO-No. 168). Geneva.
11. U.S. Army Corps of Engineers. (1993). *Engineering and design: Flood-flow frequency analysis* (Engineer Manual EM 1110-2-1415). Washington, DC.
12. England, J. F., Jr., Cohn, T. A., Faber, B. A., Stedinger, J. R., Thomas, W. O., Jr., Veilleux, A. G., Kiang, J. E., & Mason, R. R., Jr. (2018). *Guidelines for determining flood flow frequency: Bulletin 17C* (USGS Techniques and Methods, Book 4, Chap. B5). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/tm4B5>
13. Bayliss, A. C. (1999). *Catchment descriptors* (Flood Estimation Handbook, Vol. 5). Wallingford, UK: Centre for Ecology & Hydrology.
14. U.S. Army Corps of Engineers. (2004). *Review of risk-based prioritization/decision-making methodologies for dams*. Washington, DC.
15. Swain, R. E., Bowles, D., & Ostenaar, D. (1998). *A framework for characterization of extreme floods for dam safety risk assessment*. Proceedings of the USCOLD Annual Lecture, Buffalo, NY.
16. Moldakhmetov, M., Makhmudova, L., Tursunova, A., Grigoruk, M., Kanatuly, A., Zhulqainarova, M., & Akhmetova, M. (2023). Prirodnye i antropogennye faktory v formirovani stoka ravninnykh rek Kazakhstana v usloviyakh nestatsionarnosti klimata [Natural and anthropogenic factors in the formation of runoff of plain rivers of Kazakhstan under climate non-stationarity]. *Journal of Geography and Environmental Management*, 69(2). <https://doi.org/10.26577/JGEM.2023.v69.i2.09> [in Russian].
17. Galperin, R. I. (1999). Ispolzovanie usechennykh krivykh raspredeleniya dlya rascheta maksimumnykh urovnei vody v rekakh [Use of truncated distribution curves for calculating maximum river water levels]. *Khabarshy vestnik. Seriya geograficheskaya*, (8–9), 109–111 [in Russian].
18. Galperin, R. I. (2001). Nyuansy statisticheskoi interpretatsii gidrologicheskikh ryadov [Nuances of statistical interpretation of hydrological series]. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Problems of Hydrometeorology and Ecology"* (pp. 103–105). Almaty: KazNIIMOSK [in Russian].
19. Chebotarev, A. I. (1972). *Gidrologicheskie raschety* [Hydrological calculations]. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
20. Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. New York, NY: McGraw-Hill.

21. Griffis, V. W., & Stedinger, J. R. (2007). Log-Pearson Type III distribution and its application in flood frequency analysis I: Distribution characteristics. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(5), 482–491. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2007\)12:5\(482\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:5(482))
22. Hosking, J. R. M. (1990). L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 52(1), 105–124. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1990.tb01775.x>
23. Kobzar, A. I. (2006). *Prikladnaya matematicheskaya statistika* [Applied mathematical statistics]. Moscow: Fizmatlit [in Russian].
24. Stedinger, J. R., Vogel, R. M., & Foufoula-Georgiou, E. (1993). Frequency analysis of extreme events. In D. R. Maidment (Ed.), *Handbook of hydrology* (Sect. 18). New York, NY: McGraw-Hill.
25. Anghel, C. G. (2024). Revisiting the use of the Gumbel distribution: A comprehensive statistical analysis regarding modeling extremes and rare events. *Mathematics*, 12, 2466. <https://doi.org/10.3390/math12162466>
26. Anghel, C.-G., & Ianculescu, D. (2025). An in-depth statistical analysis of the Pearson Type III distribution behavior in modeling extreme and rare events. *Water*, 17, 1539. <https://doi.org/10.3390/w17101539>
27. Gómez, Y. M., Gallardo, D. I., Marchant, C., Sánchez, L., & Bourguignon, M. (2024). An in-depth review of the Weibull model with a focus on various parameterizations. *Mathematics*, 12, 56. <https://doi.org/10.3390/math12010056>
28. Bardsley, E. (2019). The Weibull distribution as an extreme value model for transformed annual maxima. *Journal of Hydrology*, 58, 123–131.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЖАЗЫҚ ӨЗЕНДЕРІНІҢ СИРЕК ҚАЙТАЛАНАТЫН ЕҢ ЖОҒАРЫ АҒЫНДЫСЫН СТАТИСТИКАЛЫҚ БЕЛГІСІЗДІК ЖАҒДАЙЫНДА БАҒАЛАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕРІ

Марат М. Молдахметов, г.ғ.к.

Ш. Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті, Тараз, Қазақстан; mmoldahmetov64@mail.ru

Автор корреспонденциясы: mmoldahmetov64@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Ең жоғары ағынды, сирек қайталанушылық, қамтамасыз етілу қисығы, статистикалық белгісіздік, шектелген қамтамасыз етілу қисығы, Пирсонның III үлестірімі, жалпыланған экстремалды үлестірім (GEV), Қазақстанның жазық өзендері

Мақала жайында:

Алынды: 17.01.2026
Қайта қаралды: 27.04.2026
Қабылданды: 05.06.2026
Жарияланды: 01.07.2026

АБСТРАКТ

Сирек қайталанатын максимал ағындыны бағалау инженерлік гидрологиядағы негізгі міндеттердің бірі, өйткені қамтамасыздығы 1 %, 0,5 % және одан төмен болатын есептік су өтімдері гидротехникалық құрылыстарды, көпірлерді, су өткізгіш құрылғыларды және су тасқынынан қорғау жүйелерін жобалау мен пайдалануда тікелей қолданылады. Инженерлік тәжірибеде мұндай сипаттамаларды есептеу, әдетте, параметрлік статистикалық үлестірімдерді формалды қолдануға және эмпирикалық қатарларды аз ықтималдықтар аймағына экстраполяциялауға негізделеді. Алайда бақылау қатарларының ұзақтығы шектеулі және максимал ағындының таралуы айқын асимметриялы болған жағдайда мұндай экстраполяция елеулі статистикалық белгісіздікпен қатар жүреді және әдістемелік тұрғыдан дұрыс емес әрі физикалық тұрғыдан қиын интерпретацияланатын нәтижелерге әкелуі мүмкін. Қиылған үлестірім әдісінің әдістемелік артықшылығы үлестірімнің статистикалық сенімді бөлігіндегі RMSE критерийлері, үлестірімнің төменгі бөлігін экстраполяциялау тұрақтылығы және есептік өтімдердің физикалық интерпретациялану мүмкіндігі бойынша бағаланды. Статистикалық белгісіздіктің сандық бағасы бақылау қатарларының шектеулі ұзақтығы жағдайында асып кету ықтималдығының сенімділік интервалдарын анықтау арқылы орындалды. Жұмыста статистикалық белгісіздік жағдайында Қазақстанның жазық өзендерінің сирек қайталанатын жылдық ең жоғары ағындысын бағалаудың әдістемелік тәсілдері қарастырылған. Талдау Жайық, Есіл, Тобыл және Елек өзендері бойынша су өтімінің максималды мәндерінің көпжылдық қатарлары негізінде жүргізілді. Пирсонның III-типті үлестіріміне негізделген классикалық

параметрлік тәсілмен қатар, қамтамасыздық қисықтарын тұрғызудың шектелген графо-аналитикалық әдістемесі және жалпыланған экстремалды үлестірім (GEV) қолданылды.

Пирсонның III-типті үлестірімін қолдану шектелген қамтамасыздық қисығымен салыстырғанда қамтамасыздығы 1 % сәйкес есептік су өтімдерін 12,5...25 % аралығында жүйелі түрде төмендететіні анықталды. Сонымен қатар, жазық өзендер үшін GEV үлестірімін максималды ықтималдық әдісімен (MLE) параметрлеу үлестірімнің төменгі бөлігінің тұрақсыздығына және сирек қайталанатын су өтімдерін асыра бағалауға әкелуі мүмкін екені көрсетілді. Ал GEV үлестірімін L-моменттер бойынша параметрлеу шектелген тәсіл нәтижелерімен жақсы үйлесетін неғұрлым тұрақты бағаларды қамтамасыз етеді.

Алынған нәтижелер бақылау қатарларының ұзақтығы шамамен 80...120 жыл болған жағдайда 1 %-дан төмен қамтамасыз етілу аймағына терең статистикалық экстраполяцияның жоғары белгісіздікпен сипатталатынын көрсетеді, бұл сирек қайталанатын максималды ағындыны есептеу кезінде экстраполяцияны шектеудің әдістемелік тұрғыдан дұрыс екенін дәлелдейді.

METHODOLOGICAL APPROACHES FOR ESTIMATING RARE MAXIMUM STREAMFLOW IN LOWLAND RIVERS OF KAZAKHSTAN UNDER STATISTICAL UNCERTAINTY

Marat Moldakhmetov, candidate of geographical sciences

The International Taraz University named after SH.Murtaza, Taraz, Kazakhstan; mmoldahmetov64@mail.ru

Corresponding author: mmoldahmetov64@mail.ru

KEY WORDS

maximum streamflow,
rare events,
frequency curve,
statistical uncertainty,
truncated frequency curve,
Pearson type III distribution,
generalized extreme value
distribution (GEV),
lowland rivers of Kazakhstan

About article:

Received: 17.01.2026

Revised: 27.04.2026

Accepted: 05.06.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT

The assessment of rare maximum streamflow is one of the key tasks in engineering hydrology, since design discharges with exceedance probabilities of 1 %, 0,5 %, and lower are directly used in the design and operation of hydraulic structures, bridges, culverts, and flood protection systems. In engineering practice, such characteristics are commonly determined using parametric statistical distributions with extrapolation of empirical series into the domain of low exceedance probabilities. However, when observation records are of limited length and the distribution of maximum streamflow exhibits pronounced asymmetry, such extrapolation is associated with substantial statistical uncertainty and may lead to methodologically incorrect and physically difficult-to-interpret results. The methodological advantage of the truncated approach was assessed using RMSE criteria within the statistically reliable portion of the distribution, stability of tail extrapolation, and physical interpretability of calculated discharge values. Quantitative assessment of statistical uncertainty was performed using confidence intervals of exceedance probability under finite observation record length conditions.

This study examines methodological approaches to the assessment of rare annual maximum streamflow of lowland rivers in Kazakhstan under conditions of statistical uncertainty. The analysis is based on long-term records of annual maximum discharges for the Zhaiyk (Ural), Esil, Tobol, and Ilek rivers. Along with the classical parametric approach based on the Pearson type III distribution, a truncated graphical-analytical method for constructing frequency curves and the generalized extreme value (GEV) distribution were applied.

It is shown that the use of the Pearson type III distribution leads to a systematic underestimation of design discharges with 1% exceedance probability by 12.5...25% compared to the truncated frequency curve. It is also established that the application of the GEV distribution parameterized by the maximum likelihood estimation (MLE) method for lowland rivers may result in unstable behavior of the distribution tail and overestimation of rare design discharges, whereas GEV parameterization based on L-moments provides more stable estimates that are consistent with the results obtained using the truncated approach.



The results demonstrate that for observation records with lengths of approximately 80...120 years, deep statistical extrapolation into the domain of exceedance probabilities below 1% is characterized by high uncertainty. This provides a methodological justification for limiting extrapolation when estimating rare maximum streamflow.

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



Научная статья

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ НВУ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК АРАЛО-СЫРДАРЬИНСКОГО БАССЕЙНА

Тұрсын А.Тілләкәрім^{1*}  PhD, Серик Б. Саиров²  к.г.н, ассоциированный профессор,
Назира С. Алимжанова¹, Мариям Қ. Нұрхан¹ 

¹РГП «Казгидромет», г. Астана, Казахстан; tillakarim_t@meteo.kz (TAT), nazalimzhanova@gmail.com (HCA), nurkhan_m@meteo.kz (MKH)

² Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства, Тараз, Казахстан; seriksairov@yandex.kz

* Автор корреспонденции: Тұрсын А.Тілләкәрім, tillakarim_t@meteo.kz (TAT)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

гидрологическое моделирование, эффективность модели, калибровка, валидация модели, Казахстан

АБСТРАКТ

В статье проведена оценка возможности применения модели НВУ для горных рек Арало-Сырдарьинского бассейна. В работе было выполнено моделирование стока горных рек, площадь водосбора которых варьируется в пределах 88...1481 км². За периоды 2000...2016 годы была произведена калибровка параметров моделей, используя алгоритм GAP optimization. Эффективность модели оценена несколькими критериями: Нэша-Сатклиффа (NSE), процентным системным отклонением (PBIAS), стандартным коэффициентом отклонения (RSR). По результатам подбора оптимальных параметров была получена эффективность моделей: по NSE составила 0,56...0,94, PBIAS колеблется в пределах от -8,1 до 28,9 %, RSR 0,02...0,13. Рассчитанные эффективности модели определили, что динамика моделируемого стока в период калибровки хорошо коррелируют с наблюдаемыми данными. Наряду с вышеуказанными критериями выполнена оценка на применимость модели в качестве методики прогнозирования с помощью отношения \bar{S}/σ , в результате которого выявлено что, модель для рек Аксу, Сайрам, Шаян, Болдыбрек, Каттабугунь могут быть применены для прогноза стока. За периоды 2019...2022 гг. была произведена валидация параметров модели НВУ всех исследуемых рек. В результате калибровки и валидации модели откалиброванные параметры модели горных рек Арало-Сырдарьинского бассейна могут быть рекомендованы к применению при моделировании стока с помощью модели НВУ и для прогнозирования стока, а именно для составления краткосрочных, среднесрочных прогнозов расхода воды, за исключением бассейнов рек Жабаглысу и Карашик.

1. ВВЕДЕНИЕ

В условиях усиливающихся климатических изменений и увеличения водопотребления проблема эффективного и устойчивого управления водными ресурсами становится одной из ключевых, особенно для территорий Центральной Азии. К числу наиболее уязвимых водохозяйственных систем относится Арало-Сырдарьинский бассейн, где формирование речного стока происходит главным образом в горных районах и имеет определяющее значение для водоснабжения населения, развития сельского хозяйства и поддержания экосистем в нижнем течении.

В настоящее время в Южном Казахстане, в частности в Арало-Сырдарьинском регионе, ситуация с водой чрезвычайно напряженная. Более 70 % забираемой из поверхностных источников воды используется здесь для орошаемого земледелия. Усугубляет также трансграничное положение рассматриваемого бассейна, т. к. в перспективе ожидается сокращение ресурсов трансграничного стока, в связи с ростом хозяйственной деятельности в соседних государствах [1, 2].

По статье:

Получено: 10.02.2026

Пересмотрено: 16.03.2026

Принято: 19.03.2026

Опубликовано: 01.07.2026

Горные реки рассматриваемого бассейна отличаются сложным режимом стока, формирование которого определяется взаимодействием атмосферных осадков, процессов снеготаяния, а также физико-географических особенностей водосборных территорий. Характер весеннего и весенне-летнего половодья во многом зависит от высотной поясности, экспозиции склонов, размеров водосборов и совокупности климатических и гидрогеологических условий. В условиях наблюдаемых изменений сроков наступления и интенсивности половодий учет указанных факторов при планировании водохозяйственной деятельности приобретает особую значимость и требует применения современных методов гидрологического моделирования, позволяющих повысить точность оценки водных ресурсов и адаптировать управление ими к меняющимся природным условиям.

Для цитирования:

Тіллекерім Т., Саиров С.,
Алимжанова Н., Нұрхан М.
Результаты применения
модели HBV для
моделирования стока рек
Арал-Сырдарьинского
бассейна//

Гидрометеорология и
экология, 122 (2), 2026, 46-
59.

К настоящему времени накоплен большой опыт в области моделирования гидрологических систем, однако остается до конца не выясненным то, как функционирует водосбор в целом. Выбор гидрологической модели в качестве инструмента исследования обычно проводится в условиях значительной неопределенности и недостатка объективных критериев этого выбора [3].

Использование математических моделей стока является одним из наиболее эффективных инструментов для анализа и прогнозирования гидрологического режима рек, особенно в условиях ограниченности наблюдательных данных. Среди концептуальных гидрологических моделей широкое распространение получила модель HBV, которая успешно применяется для моделирования стока рек различного генезиса, включая снеговые и горные бассейны, благодаря относительно простой структуре, умеренным требованиям к входным данным и доказанной устойчивости результатов [4, 6].

Ранее авторами настоящего исследования были проделаны работы, направленные на калибровку модели HBV для условий горных рек Казахстана. В рамках этих работ модель была откалибрована для 15 водосборов горных рек Туркестанской, Восточно-Казахстанской, Алматинской областей и территории г. Алматы с использованием алгоритма оптимизации GAO optimization. В результате автоматического калибрования для каждого водного объекта были определены оптимальные наборы параметров модели с учетом климатических, гидрологических и геолого-геоморфологических условий водосборов. Полученные результаты показали, что модель HBV удовлетворительно и в ряде случаев с высокой точностью воспроизводит динамику речного стока горных рек Казахстана: значения критерия Нэша–Сатклиффа находились в диапазоне 0,745...0,950, что свидетельствует о высокой воспроизводимости наблюдаемого гидрологического режима и перспективности применения модели для дальнейших исследований [5, 7].

Целью настоящей работы является оценка результатов применения модели HBV для моделирования стока горных рек Арало-Сырдарьинского бассейна на основе калибровки и валидации модели с использованием комплекса статистических критериев.

Объект исследования. В данной работе объектами исследования являются 8 горных рек Арало-Сырдарьинского бассейна (табл.1., рис.1). Важность данных водных объектов заключается в использовании ресурсов речных вод для водообеспечения региона Туркестанской области, а также для орошения, которое развито на южной части республики.

Важную роль в формировании стока рассматриваемых рек играют атмосферные осадки и таяние снега. Продолжительность весеннего и весенне-летнего половодья

зависит от средней высоты, площади, рельефа и особенностей климатических и гидрогеологических условий.

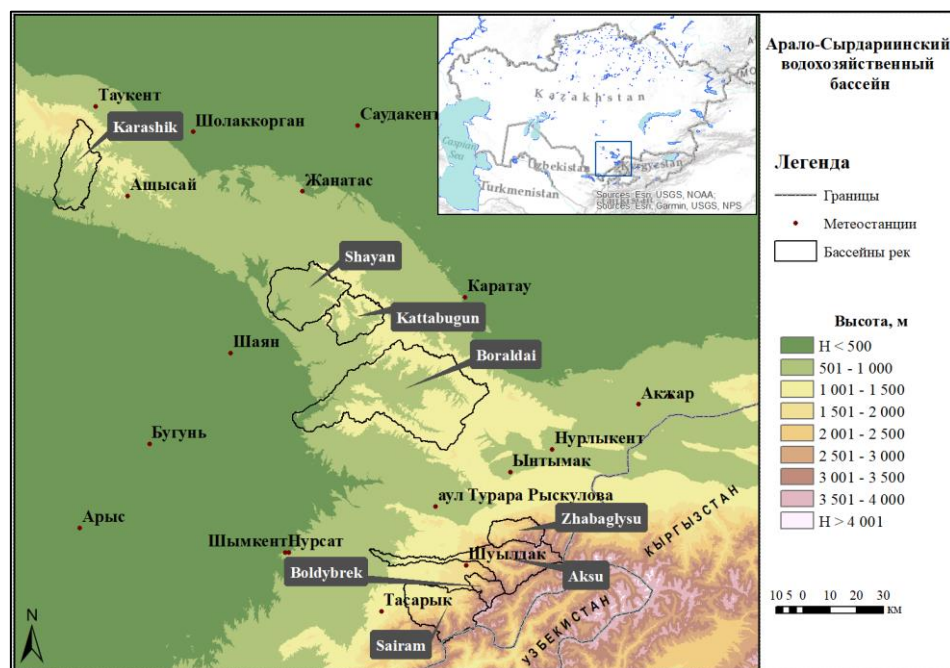


Рисунок 1. Карта расположения водосборных областей рек Арало-Сырдаринского бассейна

Площадь водосборной области рассматриваемых рек варьируется в диапазоне от 87,5 км² (р. Болдыбрек) до 1481 км² (р. Боралдай). Диапазон высот водосборов достигает до 4187 м н.у.м.

Таблица 1

Общие сведения водосборов рек

№	Список постов	F, км ²	H, м	Метеостанции	Нмс, м н.у.м.
1	р. Аксу – с. Саркырама	452	775...3969	Аул Турара Рыскулова, Шуылдак, Тасарык	1292
2	р. Сайрам – с. Тасарык	434	1065...4187	Аул Турара Рыскулова, Тасарык	965
3	р. Боралдай – с. Боралдай	1481	431...1688	Аул Турара Рыскулова, Шаян, Нурлыкент	709
4	р. Шаян – в 3,3 км ниже устья р. Акбет	479	434...1241	Шаян, Саудакент	352
5	р. Болдыбрек – у кордона Госзаповедника	87.5	1734...4077	Аул Турара Рыскулова, Шуылдак	1377
6	р. Каттабугунь – с. Жарыкбас	267	580...1288	Аул Турара Рыскулова, Нурлыкент	880
7	р. Жабаглысу – с. Жабаглы	167	1304...3987	Шуылдак, аул Турара Рыскулова	1377
8	р. Карашик – с. Хантаги	340	451...2091	Шолаккорган, Ащысай, Туркестан	501

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для моделирования стока горных рек в данной работе использована концептуальная гидрологическая модель HBV, версия HBV-light. Модель разработана в Шведском метеорологическом и гидрологическом институте и представляет собой

концептуальную модель водосбора, преобразующая осадки, температуру воздуха и потенциальное суммарное испарение либо в снеготаяние, либо в сток или приток в водохранилище [4].

Необходимой входной информацией для модели являются количество осадков (суточные суммы), температура воздуха (среднесуточные значения), испарение (среднемесячные многолетние данные), расход воды (среднесуточные значения), цифровая модель рельефа и информация о ледниковых покрытиях. Стандартная модель действует на основе месячных данных об усредненном по большому промежутку времени потенциальном суммарном испарении, обычно основанном на формуле Пенмана, скорректированной для температурных аномалий [8]. Но в данной работе для расчета испарения применена формула Н.И. Иванова, так как входные данные для расчета испарения по формуле Пенмана отсутствовали.

Для высотного анализа бассейнов использованы трехмерные снимки SRTM (Shuttle radar topography mission). На основе данных SRTM с расширением в 30x30 м подготовлены цифровые модели рельефа (ЦМР). Полученная информация помогла в проведении анализа рельефа каждого бассейна, классификации площади бассейнов по высотным зонам и выделении склонов различных экспозиций. При наличии ледникового покрова данная информация также учитывалась. Данные ледникового покрова взяты из базы данных GLIMS Глобального космического измерения сухопутного льда [9].

Для каждого водосбора реки подобраны метеорологические станции (табл. 1), расположенные в районе водосбора реки, а также которые имели хорошую связь между осадками и стоком реки.

Методики оценки эффективности модели. Модель HBV при оценке соответствия моделированного стока к наблюдаемому использует общепринятый критерий эффективности Нэша-Сатклифа (NSE) (1) [10], называемой в модели Reff [11]:

$$R_{eff} = 1 - \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum(Q_{obs} - \bar{Q}_{sim})^2}, \quad (1)$$

где Q_{obs} – расход воды, измеренный на гидрологическом посту; Q_{sim} – расход воды, рассчитанный с помощью модели.

В данной работе в качестве альтернативной оценки эффективности воспроизведения модели наблюдаемых данных рассчитаны следующие статистические оценки: коэффициент корреляции, процентное системное отклонение (2), стандартный коэффициент отклонения (3) [12]:

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs})} \right] \quad (2)$$

и стандартным коэффициентом отклонения

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\left[\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2} \right]}{\left[\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_{mean})^2} \right]} \quad (3)$$

где, Y_i^{obs} – расход воды, измеренный на гидрологическом посту, Y_i^{sim} – расход воды, рассчитанный с помощью модели, Y_{mean} – среднее значение расходов воды, измеренный на гидрологическом посту.

Для оценки последующего использования моделей в целях оперативного гидрологического прогнозирования рассчитан критерий качества методики согласно Наставлению по службе прогнозов [13]. За критерий применимости и качества прогнозов принято отношение \bar{S}/σ (4):

$$\bar{S}/\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (y - \bar{y})^2}{n-m}} / \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Методика прогноза считается применимой для выпуска оперативных прогнозов при следующих отношениях (5):

$$\begin{aligned} &\text{при } n \leq 15, \bar{S}/\sigma \leq 0,7; \\ &\text{при } 15 < n < 25, \bar{S}/\sigma \leq 0,75; \\ &\text{при } n \geq 25, \bar{S}/\sigma \leq 0,80. \end{aligned} \quad (5)$$

где, \bar{S} – средняя квадратичная погрешность проверочных прогнозов, σ – среднее квадратическое отклонение от нормы, n – число членов ряда. Категория качества применимой методики и соответствующее значение \bar{S}/σ даны в таблице 2.

Оценка эффективности производится по критериям приведенных в таблице 2.

Таблица 2

Общие оценки эффективности рекомендуемых статистических данных за месячный период [12,13]

Рейтинг производительности	RSR	NSE	PBIAS, %	\bar{S}/σ
Очень хорошо	0,00 <RSR <0,50	0,75 <NSE <1,00	PBIAS <±10	
Хорошо	0,50 <RSR <0,60	0,65 <NSE <0,75	±10 <PBIAS <±15	0,50
Удовлетворительно	0,60 <RSR <0,70	0,50 <NSE <0,65	±15 <PBIAS <±25	0,51 ... 0,80
Не удовлетворительно	RSR > 0,70	NSE <0,50	PBIAS > ±25	

Калибровка параметров модели. Одним из наиболее трудных аспектов применения концептуальных моделей является калибровка выбранной модели применительно к конкретному водосбору. Большинство параметров модели определяются итерационным способом, вручную или автоматически, на основе исторических рядов входных и выходных данных [14].

Процедура калибровки параметров модели заключается в поиске одного оптимального набора параметров для исследуемой территории. От этой процедуры напрямую зависит надежность результатов гидрологических моделей водосбора. При автоматической калибровке на модели HBV выбираются наилучшие параметры в пределах заданного диапазона [15], после чего модель запускается с использованием заданных параметров.

Для калибровки используется период, включающий в себя как многоводные, так и маловодные гидрологические годы, также необходимы синхронные ряды стока и метеорологических данных.

В данной работе использован метод автоматической калибровки, разработанный Лингстрёмом [16], который позволяет использовать различные критерии, при необходимости выбранные параметры изменялись вручную.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основной задачей в данной работе было моделирование данных стока с 2000 года с целью учета изменений климатических условий в речных бассейнах. Эта задача представила определенные трудности, поскольку большинство речных бассейнов в Арало-Сырдаринском регионе подвержены интенсивной хозяйственной деятельности. В рассматриваемом районе очень развито сельское хозяйство, что значительно влияет на гидрологический режим рек.

Необходимо отметить, что в зоне формирования стока, а также в водосборных областях всех рек, наблюдается редкая сеть метеорологических станций. В связи с этим для моделирования стока используются данные с близлежащих станций (рис. 1),

расположенных в значительном удалении от замыкающего створа, зачастую до 95 км. Такое расположение метеостанций может влиять на точность гидрологических моделей, поскольку данные не всегда корректно отражают локальные климатические условия водосборного бассейна.

Согласно рекомендациям для моделирования стока рек по модели HBV-light, водосборная область моделируемых рек должен составлять не менее 1000 км². Однако, в рассматриваемом водохозяйственном бассейне водосборные области большинства рек, за исключением крупных как Сырдария, Арысь, Келес, Бадам, не достигают 1000 км². Из выбранных рек лишь водосборная область реки Боралдай превышает данный порог, а водосборная область остальных рек варьируется от 87,5 км² (р. Болдыбрек – у кордона Госзаповедника) до 479 км² (р. Шаян – в 3,3 км ниже устья р. Акбет).

Все вышеуказанные обстоятельство могут создать определенные трудности при применении модели HBV-light, требуя дополнительного внимания к адаптации модели для малых водосборных бассейнов и учёта специфики локальных гидрологических процессов.

Бассейн р. Сырдарьи относится к зонам древнего орошения и в советский период являлся ключевым хлопководческим регионом. С конца 1930-х гг. проведена масштабная реконструкция водохозяйственной системы бассейна, обеспечившая расширение площадей орошаемых земель и повышение их водообеспеченности. В последующие годы развивалась сеть магистральных каналов, водохранилищ и гидротехнических сооружений, осуществлялось регулирование стока и межбассейновые переброски воды между притоками реки. Для повышения степени ирригационного использования водных ресурсов отдельных притоков р. Сырдарьи, с одновременным увеличением площади орошаемых земель и повышением водообеспеченности оросительных систем, при помощи магистральных каналов проведены многочисленные межбассейновые переброски стока: между реками Арыс и Боген – Арыс-Туркестанский канал с Богенским водохранилищем; между реками Шыршык и Келес – Большой Келесский магистральный канал; магистральный канал Ханым; магистральный канал Зах [1].

В бассейне реки Арыс активная водохозяйственная деятельность началась с 1930-х годов и имеется ряд водозаборных каналов для орошения земель. Именно в этот период большинство оросительных каналов введено в эксплуатацию. До настоящего времени они не имеют современного инженерного оборудования. В бассейне реки Арыс насчитывается до 300 магистральных и внутрихозяйственных каналов. Забор воды осуществляется на всем протяжении реки, начиная с верховьев.

Река Аксу является левобережным притоком р. Арыс. На реке Аксу выше поста с. Подгорное находятся головные сооружения двух каналов, построенные в 1935 и 1938 годах. Остальные 11 каналов берут начало ниже гидропоста.

Река Боралдай имеет 14 водозаборных каналов для орошения земель и несколько притоков (Белбулак, Кенсай, Жансай, Камлысай, Кольтогансай, Асылбексай, Кошкарата (Киши-Боралдай)).

Наибольшее антропогенное уменьшение стока по сравнению с естественными условиями произошло в бассейнах рек Арыс, Бадам, Боген; после ввода Арысского канала это изменение составило в среднем 55 %, в маловодные годы – до 80 %, в многоводные годы – до 35 % [2].

Влияние антропогенной деятельности на сток воды в горной области формирования стока отсутствует или не имеет существенного значения. Однако этот фактор приобретает весьма большое значение в области рассеивания стока, где забор воды на орошение изменяет картину. В числе рассматриваемых рек можно выделить реки Болдыбрек и Жабалгысу, находящиеся на среднегорной части бассейна, они испытывают минимальное антропогенное воздействие. Это обеспечивает относительно естественное состояние гидрологических процессов, что делает их важными объектами для исследований естественного водного режима. В отличие от них, пункты наблюдений за

другими реками, расположенные в равнинной части бассейна реки Сырдария, подвержены значительному антропогенному воздействию. В равнинных областях, более плотно заселенных и активно используемых для сельского хозяйства и промышленности, реки испытывают существенное влияние человеческой деятельности. Это приводит к изменениям в гидрологическом режиме.

Подбор наилучших параметров модели (калибровка), проведенный с учетом факторов зарегулированности большинства рек и активного использования вод на орошение, продемонстрировал хорошую степень точности. Результаты моделирования соответствуют оценкам «очень хорошей» и «хорошей» воспроизводимости (табл. 2). Это свидетельствует о том, что модель адекватно отражает гидрологические процессы в регионе.

В целом, для остальных семи рассматриваемых рек результаты оценки эффективности модели были следующими. Согласно критерию NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency), рейтинг производительности соответствует «хорошей» оценке, варьируясь в пределах 0,79...0,94. Процентная ошибка модели находится в диапазоне от -8,1% до +3,5%. Коэффициент RSR (Root Mean Square Error to Standard Deviation Ratio) для всех рек составляет менее 0,13 (табл.3). Эти показатели свидетельствуют о высокой точности модели в воспроизведении наблюдаемых гидрологических процессов.

Таблица 3

Результаты калибровок рек

№	Река-пункт	Период калибровки, г.г.	Эффективность модели				Период валидации, г.г.	Эффективность модели		
			Calibration					Validation		
			NSE	PBIAS	RSR	S/σ		NSE	PBIAS	RSR
1	р. Аксу – с. Саркырама	2001...2005	0,92	+0,2	0,10	0,96	2019...2022	0,72	-37,29	0,57
2	р. Сайрам – с. Тасарык	2000...2004	0,94	+0,9	0,06	0,57	2019...2022	0,61	-40,67	0,73
3	р. Боралдай – с. Боралдай	2004...2009	0,91	-5,6	0,13	1,54	2019...2022	0,72	-23,79	0,53
4	р. Шаян – в 3,3 км ниже устья	1982...1987	0,88	+3,5	0,03	0,44	2019...2022	0,29	-21,50	0,85
5	р. Акбет – у кордона Госзаповедника	2013...2018	0,92	+1,7	0,02	0,21	2019...2022	0,77	-22,73	0,50
6	р. Каттабугунь – с.Жарыкбас	2007...2012	0,80	-8,1	0,04	0,88	2019...2022	0,70	-6,44	0,55
7	р. Жабаглысу – с.Жабаглы	2001...2006	0,79	-7,8	0,02	0,51	2019...2022	0,44	-372,95	5,81
8	р. Карашик – с.Хантаги	2001...2004	0,56	+28,9	0,09	2,7	2019...2022	-0,04	-141,2	1,01

Условные обозначения: темно зеленым – «очень хорошо», «хорошо», зеленым – «удовлетворительно», желтым – «не удовлетворительно»

Следует отметить, что калибровка гидрологической модели для бассейна реки Карашик за период 2001...2004 гг. продемонстрировала «удовлетворительный» уровень оценки эффективности модели. По критерию NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency),

эффективность модели составила 0,56, вместе с самой большой процентной ошибкой модели, равной +28,9 %. Лишь результаты калибровки модели для бассейна реки Карашик за 2001...2004 гг. показали «удовлетворительный» результат оценки эффективности модели, которая составила по критерию NSE 0,56, которая также имеет самую большую процентную ошибку модели в +28,9 %. В период калибровки модели было отмечено, что смоделированный сток недооценивает наблюдаемые значения стока.

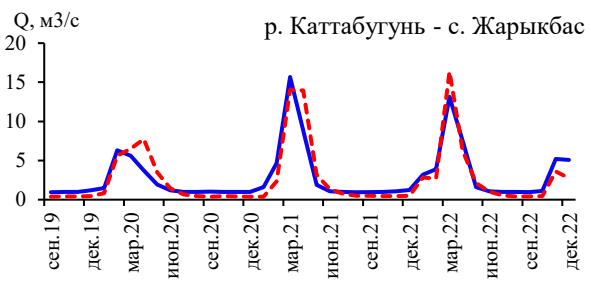
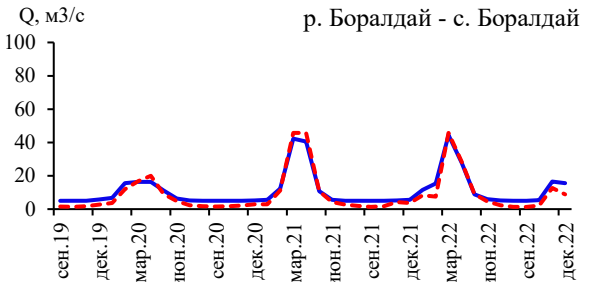
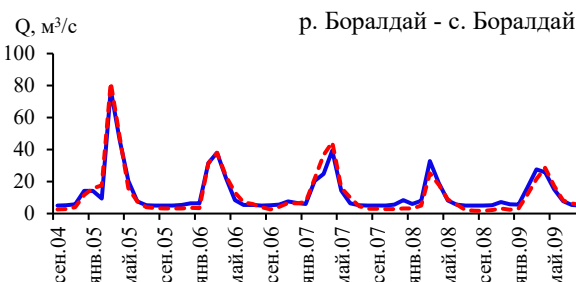
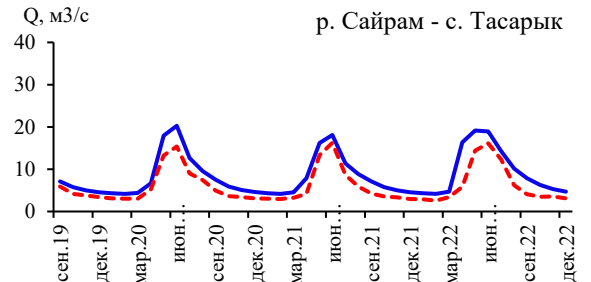
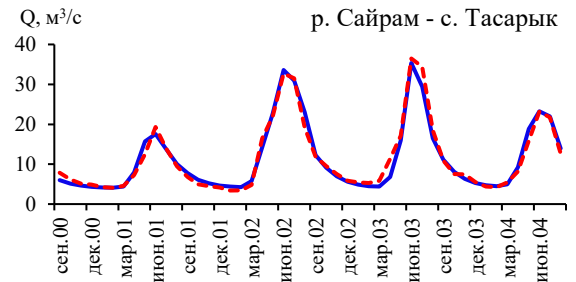
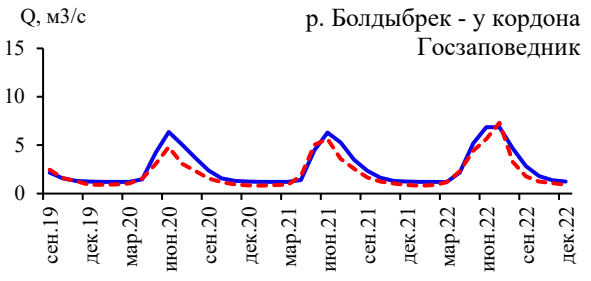
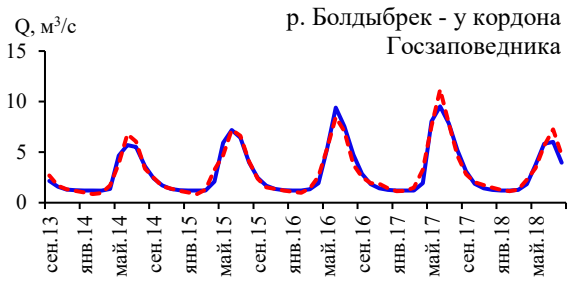
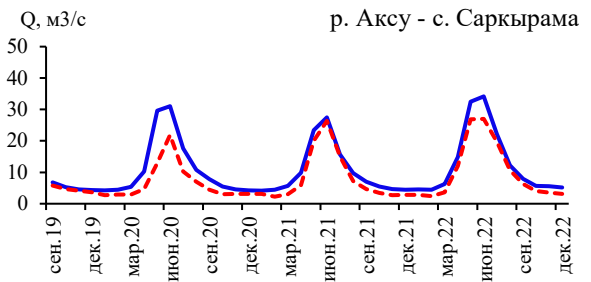
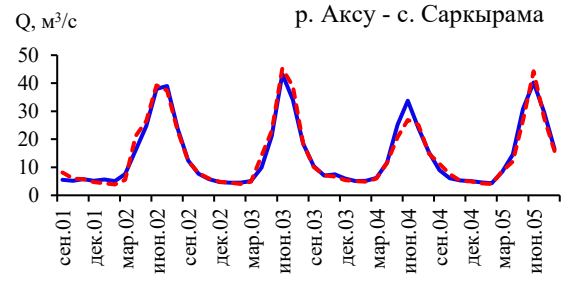
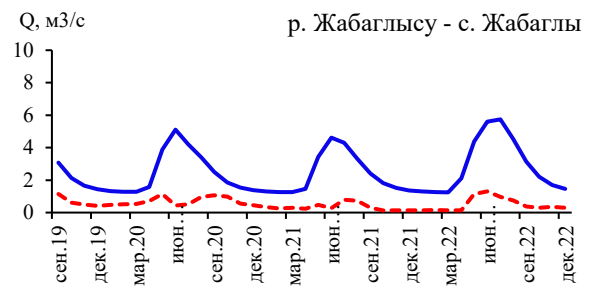
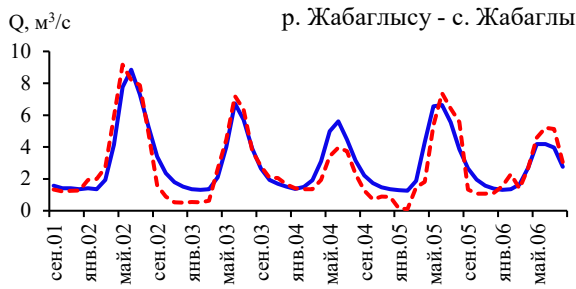
Низкая воспроизводимость модели для бассейна р. Карашик может быть обусловлена совокупным влиянием антропогенных и природных факторов. Одной из ключевых причин является зарегулированность стока Коскорганским водохранилищем, введенным в эксплуатацию в 1956 г. Регулирование стока водохранилищем, изменяет естественный гидрологический режим реки, что приводит к расхождениям между моделируемыми и наблюдаемыми значениями расхода воды. Согласно результатам исследования [17], Коскорганское водохранилище также подвергается неблагоприятным экологическим воздействиям, включая снижение притока воды, связанное как с климатическими изменениями, так и с антропогенной нагрузкой на водосборе. Эти факторы могут приводить к дополнительным изменениям водного баланса бассейна и, соответственно, снижать точность гидрологического моделирования.

Дополнительной причиной низкой эффективности модели может являться нерепрезентативность используемых метеорологических данных. Высота водосборной области бассейна достигает 2091 м н.у.м., что обуславливает значительную пространственную неоднородность климатических условий, в частности распределения осадков, формирования снежного покрова и режима его таяния. При ограниченном количестве метеорологических станций высокогорные участки бассейна могут быть недостаточно представлены в исходных данных, что приводит к возможной недооценке снеготаяния и искажению процессов снеготаяния в модели. В результате это может вызывать ошибки в оценке объемов и сезонной динамики стока.

Для оценки последующего использования моделей в целях оперативного гидрологического прогнозирования было рассчитано отношение S/σ , принятое как критерий определения качества методики (табл. 2). По результатам оценки, к критерию «хорошо» соответствовали результаты моделей бассейнов рек Шаян и Болдыбрек. «Удовлетворительной» оценке соответствовали реки Сайрам и Жабаглысу. Однако для рек Аксу, Боралдай, Каттабугунь и Карашик оценка была «неудовлетворительной». Таким образом, для обеспечения надежности модели HBV при использовании для этих рек необходимо введение поправок к результатам моделирования.

После процесса калибровки модели проведена проверка калибровочных параметров на независимом периоде за последние годы (2019...2022 гг.) – валидация модели. Результаты валидации модели в совокупности трех критериев оценок эффективности модели показали, что, для бассейнов рек Каттабугунь, Болдыбрек и Боралдай модель хорошо воспроизводит наблюдаемый сток. А для остальных рек, валидация модели показала не удовлетворительные результаты. Особенно для рек Жабаглысу и Карашик процентная ошибка воспроизводимости наблюдаемого стока была очень велика, колеблясь в диапазоне 140...373 % (табл 3).

Для рек Сайрам и Аксу модель показала завышение стока в среднем на 2,5...3,8 м³/с и на 2,9...5,5 м³/с, соответственно. Это указывает на необходимость корректировки результатов модели, чтобы учесть возможные неточности в расчетах и улучшить точность прогноза гидрологических процессов для этих рек. Результаты калибровки и валидации модели по наблюдаемому и смоделированному стоку для рек Арало-Сырдарьинского бассейна, полученные с использованием модели HBV-light, представлены на рис. 2.



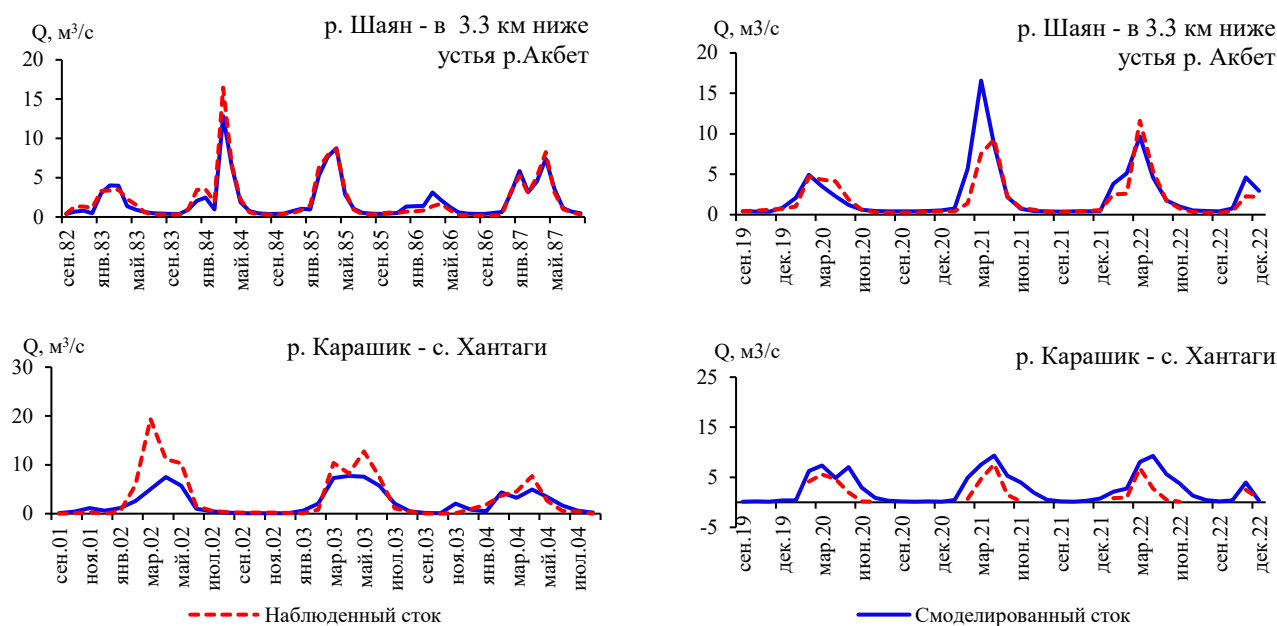


Рисунок 2. Результаты калибровки и валидации модели HBV-light для рек Арало-Сырдарьинского бассейна

После проведения валидации модели была выполнена оценка оправдываемости объёмов стока (млн м³) (табл. 4). Полученные результаты показали, что в среднем оправдываемость варьируется в пределах 74...94 %, что свидетельствует о хорошем качестве воспроизведения наблюдаемых значений моделью HBV-light. В то же время для бассейнов рек Жабаглысу и Карашик выявлены существенно более низкие значения оправдываемости, соответственно 18 и 52 %, что указывает на необходимость дополнительной калибровки модели или уточнения входных гидрометеорологических данных для данных водосборов.

Таблица 4

Результаты оценки оправдываемости объёмов стока (млн. м³)

№	Река-пункт	Ysim	Yobs	Ysim	Yobs	Ysim	Yobs	оправдываемость			
		2020		2021		2022		2020	2021	2022	Среднее
1	р. Аксу – с. Саркырама	231	135	198	178	240	200	59	90	83	77
2	р. Сайрам – с. Тасарык	174	130	162	125	205	142	75	77	70	74
3	р. Боралдай – с. Боралдай	171	162	289	304	266	247	95	95	93	94
4	р. Шаян – в 3,3 км ниже устья р. Акбет	31	39	86	53	52	49	79	62	95	79
5	р. Болдыбрек – у кордона Госзаповедника	50	34	51	44	53	48	69	86	89	81
6	р. Каттабугунь – с. Жарыкбас	46	61	81	87	72	73	75	93	98	89

7	р. Жабаглысу – с. Жабаглы	43	8	41	6	52	11	18	14	21	18
8	р. Карашик – с. Хантаги	74	43	80	38	72	37	58	47	51	52

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая редкую сеть метеорологических станций и значительную зарегулированность большинства рек, применение модели HBV-light продемонстрировало хорошие результаты при моделировании стока горных рек в Арало-Сырдарьинском бассейне. Об этом можно свидетельствует критерии эффективности NSE, RSR и PBIAS, соответствующие "хорошей" оценке производительности.

Откалиброванные параметры модели для бассейна р. Болдыбек могут быть рекомендованы для применения в задачах прогнозирования без введения дополнительных поправок к смоделированному стоку. В то же время для бассейнов рек Аксу, Сайрам и Каттабугунь использование откалиброванных параметров модели при прогнозировании, в том числе при составлении краткосрочных и среднесрочных прогнозов расхода воды, целесообразно осуществлять с учётом корректирующих поправок к смоделированному стоку на основе результатов валидации модели.

Однако для рек Жабаглысу и Карашик получены неудовлетворительные статистические показатели. В частности, для отдельных рек значение коэффициента эффективности Нэша–Сатклиффа (NSE) достигает $-0,44$, а величина PBIAS составляет более 100 %, что свидетельствует о существенных расхождениях между моделируемыми и наблюдаемыми значениями стока. При таких показателях модель не может считаться надёжной для дальнейшего использования в целях прогнозирования или оценки водных ресурсов.

В связи с этим результаты моделирования для рек Жабаглысу и Карашик следует интерпретировать с осторожностью. Учитывая полученные значения NSE и PBIAS, использование построенных моделей для прогнозирования стока в данных бассейнах на текущем этапе не рекомендуется.

Несмотря на то, что модель изначально предназначена для незарегулированных рек, результаты калибровки модели для некоторых рек данного региона, где наблюдается значительная антропогенная нагрузка на водный режим, считаем что модель показала хорошие результаты моделирования стока рек Арало-Сырдарьинского бассейна. Это подчеркивает адаптивность модели и ее потенциал в условиях измененных гидрологических характеристик.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ: Данные, использованные в данном исследовании, были получены авторами из РГП «Казгидромет».

ВКЛАД АВТОРОВ: Концептуализация – ТАТ, СБС ; управление данными – МҚН, НСА; формальный анализ – НСА, МҚН; методология – ТАТ, СБС; руководство – ТАТ; визуализация – МҚН, НСА; написание исходной статьи– ТАТ, МҚН; написание и редак-тирование статьи – ТАТ, СБС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурлибаев М. Ж., Достай Ж. Д., Турсунов А. А. Арало-Сырдарьинский бассейн (гидроэкологические проблемы, вопросы вододелиния). — Алматы : Дәуір, 2001. — 180 с.
2. Достай Ж. Д., Алимкулов С. К., Сапарова А. А. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана. — Т. VII, кн. 2. — Алматы, 2012. — 360 с.

3. Лупакова С. Ю., Бугаец А. Н., Шамова В. В. Применение различных структур модели HBV для исследования процессов формирования стока на примере экспериментальных водосборов // Водные ресурсы. — 2021. — Т. 48, № 4. — С. 417–426. <https://doi.org/10.31857/S032105962104012X>
4. Bergström S. The HBV model – its structure and applications // SMHI Reports RH. — Norrköping (Sweden), 1992. — No. 4.
5. Болатова А., Тілләкәрім Т., Серікбай Н., Болатов К. Результаты калибрования гидрологической модели HBV для горных рек Казахстана // Гидрометеорология и экология. — 2018. — № 3. — С. 110–124.
6. Seibert, J. and Vis, M. J. P.: Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package, Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 3315–3325, <https://doi.org/10.5194/hess-16-3315-2012>, 2012.
7. Болатова А., Тілләкәрім Т., Раймжанова М. Применение гидрологической модели HBV для прогнозирования стока рек на примере бокового притока воды в Шульбинское водохранилище // Гидрометеорология и экология. — 2019. — № 3. — С. 26–43.
8. Lindström G., Bergström S. Improving the HBV and PULSE models by use of temperature anomalies // Vannet i Nord. — 1992. — No. 1. — P. 16–23.
9. GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.glims.org/>.
10. Nash J. E., Sutcliffe J. V. River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles // Journal of Hydrology. — 1970. — Vol. 10, No. 3. — P. 282–290. — DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.
11. Seibert J. Multi-criteria calibration of a conceptual runoff model using a genetic algorithm // Hydrology and Earth System Sciences. — 2000. — Vol. 4, No. 2. — P. 215–224. — DOI: 10.5194/hess-4-215-2000.
12. Moriasi D., Arnold J., Van Liew M., Bingner R., Harmel R., Veith T. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations // Transactions of the ASABE. — 2007. — Vol. 50, No. 3. — P. 885–900. — DOI: 10.13031/2013.23153.
13. Наставление по службе прогнозов. Разд. 3: Служба гидрологических прогнозов. Ч. 1: Прогнозы режима вод суши. — 2-е изд. — Л.: Гидрометеоиздат, 1962. — 193 с.
14. World Meteorological Organization. Guide to Hydrological Practices. Vol. I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information. — 6th ed. — Geneva: WMO, 2012. — (WMO-No. 168).
15. Seibert J. HBV Light Version 2. User's Manual. — Stockholm: Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University, 2005.
16. Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M., Bergström S. Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model // Journal of Hydrology. — 1997. — Vol. 201, No. 1–4. — P. 272–288. — DOI: 10.1016/S0022-1694(97)00041-3.
17. Әбдімүтәліп Н., Тойчибекова Г., Әділбай А., Койшиева Г., Сарбаева К. Антропогендік климаттық және әсерлер жағдайында Қосқорған су қоймасының гидрологиялық және геоқұрылымдық өзгерістері // Гидрометеорология и экология, 120 (5), 2025, 20–33.

REFERENCES

1. Burlibaev, M. Zh., Dostai, Zh. D., Tursunov, A. A. (2001). Aralo-Syrdar'inskii bassein (gidroekologicheskie problemy, voprosy vododeleniya) [Aral-Syrdarya Basin (Hydroecological Problems, Watershed Issues)]. Almaty: Dәuir, 180 p. [in Russian].
2. Dostai, Zh. D., Alimkulov, S. K., Saparova, A. A. (2012). Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie. Resursy rechnogo stoka. Vozobnovlyaemye resursy poverkhnostnykh vod yuga i yugo-vostoka Kazakhstana [Water Resources of Kazakhstan: Assessment, Forecast, Management. River Runoff Resources. Renewable Surface Water Resources of Southern and Southeastern Kazakhstan]. Vol. VII, Book 2. Almaty, 360 p. [in Russian].
3. Lupakova, S. Yu., Bugaets, A. N., Shamova, V. V. (2021). Primenenie razlichnykh struktur modeli HBV dlya issledovaniya protsessov formirovaniya stoka na primere eksperimental'nykh vodosborov [Application of Different HBV Model Structures to Study Runoff Formation Processes Using Experimental Catchments]. Vodnye resursy, vol. 48, no. 4, pp. 417–426 [in Russian].
4. Bergström, S. (1992). The HBV model – its structure and applications. SMHI Reports RH, No. 4, Norrköping (Sweden).
5. Bolatova, A., Tillәkәrim, T., Serikbai, N., Bolatov, K. (2018). Rezul'taty kalibrovaniya gidrologicheskoi modeli HBV dlya gornykh rek Kazakhstana [Results of Calibration of the HBV Hydrological Model for Mountain Rivers of Kazakhstan]. Gidrometeorologiya i ekologiya, no. 3, pp. 110–124 [in Russian].
6. Seibert, J., Vis, M. J. P. (2012). Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package. Hydrol. Earth Syst. Sci., vol. 16, pp. 3315–3325. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3315-2012>
7. Bolatova, A., Tillәkәrim, T., Raimzhanova, M. (2019). Primenenie gidrologicheskoi modeli HBV dlya prognozirovaniya stoka rek na primere bokovogo pritoka vody v Shul'binskoe vodokhranilishche [Application of the HBV hydrological model for river runoff forecasting using the example of a lateral inflow to the Shulbinskoye reservoir]. Gidrometeorologiya i ekologiya, no. 3, pp. 26–43 [in Russian].

8. Lindström, G., Bergström, S. (1992). Improving the HBV and PULSE models by use of temperature anomalies. *Vannet i Nord*, no. 1, pp. 16–23.
9. GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space) [Electronic Resource]. Available at: <https://www.glims.org/>
10. Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, vol. 10, no. 3, pp. 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
11. Seibert, J. (2000). Multi-criteria calibration of a conceptual runoff model using a genetic algorithm. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 215–224. <https://doi.org/10.5194/hess-4-215-2000>
12. Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., Harmel, R., Veith, T. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, vol. 50, no. 3, pp. 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
13. Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razd. 3: Sluzhba gidrologicheskikh prognozov. Ch. 1: Prognozy rezhima vod sushi (1962) [Guidelines for Forecasting Service. Section 3: Hydrological Forecasting Service. Part 1: Forecasts of Water Regime of Land]. 2nd ed., Leningrad: Gidrometeoizdat, 193 p. [in Russian].
14. World Meteorological Organization (2012). Guide to Hydrological Practices. Vol. I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information. 6th ed., Geneva: WMO, No. 168.
15. Seibert, J. (2005). HBV Light Version 2. User's Manual. Stockholm: Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University.
16. Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., Bergström, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of Hydrology*, vol. 201, no. 1–4, pp. 272–288. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00041-3)
17. Abdimalip N., Tojhibekova G., Adilbaj A., Kojshieva G., Sarbaeva K. (2025) Antropogendik klimattyk zhәне aserler zhagdajynda Koskorған su қожmасынын gidrologiyalyk zhane геокurylymдык озgeristeri // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 120 (5), 20-33.

АРАЛ-СЫРДАРИЯ АЛАБЫ ӨЗЕНДЕРІНІҢ АҒЫСЫН МОДЕЛЬДЕУГЕ АРНАЛҒАН HBV МОДЕЛІН ҚОЛДАНУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Тұрсын А.Тілләкәрім^{1*} PhD, Серик Б. Саиров² г.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Назира Алимжанова¹,
Мариям Қ. Нұрхан¹

¹РМК «Қазгидромет», Астана қ., Қазақстан; tillakarim_t@meteo.kz (TAT), nazalimzhanova@gmail.com (HA), nurkhan_m@meteo.kz (MҚH)

²Қазақ су шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Тараз қ., Қазақстан; seriksairov@yandex.kz

* Автор корреспондент: Тұрсын А.Тілләкәрім, tillakarim_t@meteo.kz (TAT)

ТҮЙІН СӨЗДЕР

гидрологиялық модельдеу,
модель тиімділігі, калибрлеу,
модельді валидациялау,
Қазақстан

Мақала жайында:

Алынды: 10.02.2026

Қайта қаралды: 16.03.2026

Қабылданды: 19.03.2026

Жарияланды: 01.07.2026

АБСТРАКТ

Мақалада Арал-Сырдария алабының таулы өзендеріне HBV моделін қолдану мүмкіндігі бағаланған. Жұмыста су алабындағы ауданы 88-ден 1481 км²-ге дейінгі тау өзендерінің ағысын модельдеу жүзеге асырылған. 2000...2016 жылдар аралығында модель параметрлері GAP optimization алгоритмі арқылы калибрленген. Модельдің тиімділігі бірнеше критерийлер бойынша бағаланған: Нэш-Сатклифф коэффициенті (NSE), пайыздық жүйелік ауытқу (PBIAS), стандартты ауытқу коэффициенті (RSR). Оптималды параметрлерді таңдау нәтижесінде модельдің тиімділігі былай анықталды: NSE – 0,56...0,94, PBIAS – -8,1-ден 28,9 %-ке дейін, RSR – 0,02...0,13. Есептелген модель тиімділігі калибрлеу кезеңіндегі модельделген ағын динамикасының бақылау деректерімен жақсы корреляцияланғанын көрсетті. Жоғарыда аталған критерийлермен қатар, модельдің болжау әдістемесі ретінде қолданылу мүмкіндігі \bar{S}/σ қатынасы арқылы бағаланған; нәтижесінде Ақсу, Сайрам, Шаян, Болдыбек, Каттабугунь өзендері үшін модель ағынды болжауға жарамды екені анықталды. 2019...2022 жылдар аралығында барлық зерттелген өзендердің HBV

модель параметрлерінің валидациясы жүргізілген. Калибрлеу және валидация нәтижесінде Арал-Сырдария алабының тау өзендері үшін HBV моделін қолдана отырып ағынды модельдеуге және қысқа мерзімді, орта мерзімді су шығынын болжауға арналған параметрлер ұсынылды, Жабағлысу мен Карашик өзендерінің алаптарын қоспағанда.

RESULTS OF APPLYING THE HBV MODEL FOR STREAMFLOW MODELING OF RIVERS IN THE ARAL-SYRDARYA BASIN

Tursyn Tillakarim¹*PhD, Serik Sairov² Candidate of Geographical Sciences, associate professor, Nazira Alimzhanova¹, Mariyam Nurkhan¹

¹RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan; tillakarim_t@meteo.kz, nazalimzhanova@gmail.com, nurkhan_m@meteo.kz

² Kazakh Research Institute of Water Economy, Taraz, Kazakhstan; seriksairov@yandex.kz

* Corresponding author: Tursyn Tillakarim, tillakarim_t@meteo.kz

KEY WORDS

hydrological modeling, model performance, calibration, model validation, Kazakhstan

About article:

Received: 10.02.2026

Revised: 16.03.2026

Accepted: 19.03.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT





This study evaluates the applicability of the HBV model for mountainous rivers in the Aral-Syrdarya Basin. The runoff of mountain rivers with catchment areas ranging from 88 to 1,481 km² was simulated. For the period 2000...2016, model parameters were calibrated using the GAP optimization algorithm. Model performance was assessed using several criteria: Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Percent Bias (PBIAS), and the ratio of the root mean square error to the standard deviation of observations (RSR). Based on the selection of optimal parameters, model performance was obtained as follows: NSE ranged from 0.56 to 0.94, PBIAS varied between -8.1 and -28.9%, and RSR ranged from 0.02 to 0.13. The calculated model performance indicated that the dynamics of the simulated runoff during the calibration period were well correlated with observed data. In addition to these criteria, the model's applicability as a forecasting tool was assessed using the \bar{S}/σ ratio, which indicated that the model could be used for streamflow prediction in the Aksu, Sairam, Shayan, Boldybrek, and Kattabugun rivers. For the period 2019...2022, HBV model parameters for all studied rivers were validated. As a result of calibration and validation, the calibrated parameters of the HBV model for the mountainous rivers of the Aral-Syrdarya Basin are recommended for use in runoff simulation and prediction, particularly for short- and medium-term water flow forecasts, except for the Zhabaglysu and Karashik river basins.

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



Научная статья

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕМАТИЧЕСКИХ СЛОЕВ

Жанат З. Толеубекова  к.т.н., ассоциированный профессор, Забида Н. Курмангалиева* ,
Айнур Д. Каранеева , Толқын К. Куанышбек 

НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина», Астана, Казахстан;
jtoleubekova@mail.ru (ЖЗТ), zabida_98@mail.ru (ЗНК), ajnurk121@gmail.com (АДК), www.tolkynj@gmail.com (ТКК)

*Автор корреспонденции: Забида Н. Курмангалиева, e-mail: zabida_98@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДЗЗ, ГИС, тематические слои, аналитический иерархический процесс, талые воды, паводковые воды, сбор поверхностного стока

АБСТРАКТ

Люди, живущие в засушливых и полусухих регионах с нестабильным режимом осадков, регулярно сталкиваются как с засухами, так и с наводнениями, что напрямую отражается на обеспеченности водными ресурсами. Сбор поверхностного стока представляет собой традиционный способ водообеспечения, применяемый в условиях дефицита воды для удовлетворения растущих потребностей в водных ресурсах, смягчения последствий изменения климата и сдерживания процессов опустынивания. Данное исследование объединяет методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационные системы (ГИС) с использованием метода аналитической иерархии, предлагая экономически эффективный и надежный инструмент для оценки потенциальных мест размещения фермерских водоемов в степной зоне Северного Казахстана.

Исследование основано на шести тематических слоях: гидрогеология, уклон, плотность дренажа, землепользование/почвенный покров, почва и эквивалент снеговой воды. Эти параметры в наибольшей степени влияют на доступность, формирование стока, инфильтрацию и накопление талых и паводковых вод.

В результате исследования установлено, что наиболее подходящие участки характеризуются средней плотностью дренажной сети, небольшими уклонами, высокими значениями снегозапаса в водном эквиваленте и расположены на территориях с затапливаемой растительностью. Кроме того, при сборе талых вод с 30 % площади исследуемой территории возможно перевести четверть сельскохозяйственных земель исследуемого района на дефицитное орошение. Это позволит снизить риск наводнений, стабилизировать доходы фермеров в засушливые годы и создать возможности для выращивания более прибыльных сельскохозяйственных культур.

В целом исследование демонстрирует высокий потенциал для накопления талых вод в фермерских водоемах как меры противодействия сельскохозяйственной засухе и весенним паводкам.

1. ВВЕДЕНИЕ

Северные зерноводческие регионы Республики Казахстан в последние годы всё чаще сталкиваются с последствиями климатических изменений. В тёплый период усиливается засушливость, тогда как весной возрастает риск масштабных паводков [1]. Поскольку сельское хозяйство региона в значительной степени основано на богарном земледелии и практически не обеспечено устойчивыми источниками поверхностных вод,

засуха остаётся ключевым фактором риска снижения урожайности [2]. По оценкам международных организаций, ежегодные экономические потери Казахстана от засух могут достигать порядка двух сотен миллионов евро. Одновременно избыточные зимне-весенние осадки приводят к разрушительным паводкам, наносящим значительный ущерб населённым пунктам и инфраструктуре.

Одним из потенциально эффективных решений может стать аккумуляция талых и паводковых вод в фермерских прудах [3, 4]. Данный подход уже применялся в советский период, когда в степных регионах создавались тысячи сельскохозяйственных водоёмов. Однако после распада СССР значительная часть этих сооружений была заброшена, что привело к их деградации, ухудшению качества воды и потере регулирующей функции. Кроме того, исторические проекты не учитывали современные климатические тренды, включая рост интенсивности весеннего половодья.

Сбор поверхностного стока представляет собой проверенную во времени систему управления водными ресурсами, позволяющую увеличивать доступность воды для сельского хозяйства, снижать эрозию почв, уменьшать риски наводнений и поддерживать экологическую устойчивость территорий [5].

Современные технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и географических информационных систем (ГИС) в сочетании с методами многокритериального анализа, в частности аналитическим иерархическим процессом (АИП), позволяют выполнять комплексную оценку пригодности территорий для размещения водоёмов. ДЗЗ обеспечивает доступ к большим массивам пространственных данных, а АИП позволяет количественно оценивать значимость различных факторов при выборе оптимальных решений. Для северных степных территорий Казахстана снег является критически важным элементом водного баланса, поскольку именно он формирует основной объём весеннего стока. В связи с этим возникает необходимость разработки специализированных методических подходов, учитывающих условия холодного полузасушливого климата.

В данном исследовании выполнена оценка потенциала территории Аккайынского района Северо-Казахстанской области для аккумуляции талых вод в фермерских прудах с целью снижения рисков сельскохозяйственной засухи и весенних паводков.

Для моделирования использованы шесть основных параметров: гидрогеология, уклон поверхности, плотность дренажной сети, землепользование и почвенный покров, типы почв и эквивалент снеговой воды. Особое внимание уделено разработке карты снегозапасов по авторской методике [6]. После определения весовых коэффициентов факторов методом АНР была сформирована карта потенциала размещения фермерских прудов с выделением зон низкой, средней, высокой и очень высокой пригодности. Валидация результатов проводилась с использованием фактических данных о существующих фермерских водоёмах. Полученные результаты формируют научную основу для развития систем раннего предупреждения паводков, повышения устойчивости сельского хозяйства к засухам.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Область исследования

В качестве территории исследования (рис. 1) выбран один из крупнейших зернопроизводящих районов Северо-Казахстанской области. Климат территории резко континентальный и характеризуется значительной годовой амплитудой температур и недостаточным увлажнением. Основная часть исследуемого района расположена в пределах Западно-Сибирской низменности. Рельеф территории отличается широким распространением замкнутых понижений, в пределах которых формируются группы озёр и отдельные озёрные водоёмы. Межгодовое распределение атмосферных осадков характеризуется высокой изменчивостью. Снежный покров формируется неравномерно вследствие сильных ветровых процессов, приводящих к перераспределению снега и его

По статье:

Получено: 13.02.2026

Пересмотрено: 16.04.2026

Принято: 24.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

Для цитирования:

Толеубекова Ж.,

Курмангалиева З.,

Каранеева А., Куанышбек Т.

Интегрированный

геоинформационный анали-

территории с применением

тематических слоев //

Гидрометеорология и

экология, 122 (2), 2026, 60-

74.

сносу с открытых участков местности. В летний период засухи способствуют интенсивному иссушению почвенного покрова. Почвенный покров региона имеет выраженную зональность: в северной части распространены обыкновенные суглинистые чернозёмы, которые по мере продвижения к югу сменяются южными чернозёмами более лёгкого механического состава. Наряду с зональными почвами широко представлены интразональные почвенные комплексы, включающие солонцы и солончаки.

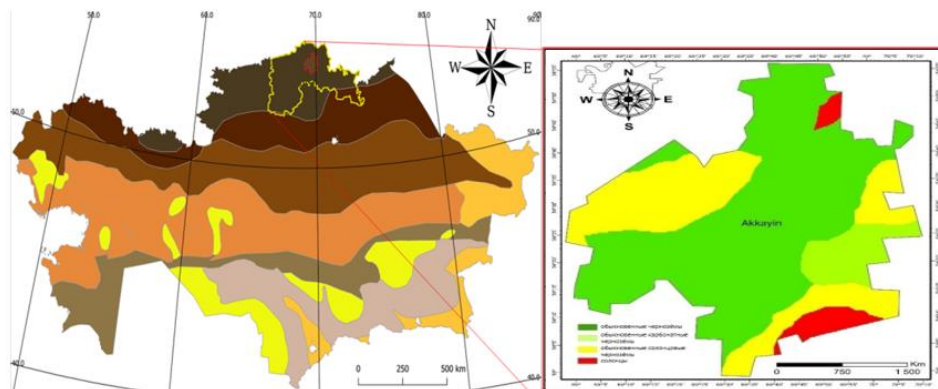


Рисунок 1. Почвенная карта Республики Казахстан и почвенная карта района исследования.

2.2. Источники данных

2.2.1. Снегомерная съемка

Полевые снегомерные исследования были проведены в два срока - в конце января 2023 года и в конце февраля 2023 года (рис. 2). Для измерения высоты снежного покрова использовался деревянный снегомер с делением 1 мм, а для измерения плотности снега - весовой снегомер. Расчет фактической плотности снега производился по следующему уравнению: $\text{плотность снега в г/см}^3 = \text{масса снега} / (\text{высота снега в см} * \text{площадь весового снегомера в см}^2)$ (табл. 1).

Таблица 1.

Количество измеренных точек в районе исследования с датами снегомерных съемок

Январь 2023		Февраль 2023	
Глубина	Плотность	Глубина	Плотность
197	39	115	26



Рисунок 2. Пункты съемки снега на территории исследуемого района в январе 2023 года

Из-за сложностей передвижения по исследуемой территории, для оперативного перемещения применялось моторизованное транспортное средство для движения по снегу. Высокоточное определение координат точек снегомерных наблюдений выполнялось с использованием портативного спутникового навигационного приемника. Дополнительно в летний период была выполнена аэрофотосъемка с использованием беспилотной авиационной системы с целью построения детализированной цифровой модели поверхности для последующего гидрологического анализа (рис. 3). Для выполнения работ применялся беспилотный летательный аппарат самолетного типа с цифровой фотокамерой. Полеты выполнялись на значительной высоте с обеспечением высокого продольного и поперечного перекрытия снимков. В результате съемочных работ был получен массив изображений, охватывающий крупную территорию исследования. Наземные контрольные точки в процессе съемки не закладывались из-за большой площади участка работ. При этом постобработка координат центров всех полученных изображений выполнялась с использованием данных бортовой двухчастотной GPS и базовых станций Stonex S900 и S10.



Рисунок 3. Процесс проведения полевой съемки с помощью БПЛА в районе исследования

2.3. Тематические слои и данные цифровых спутниковых снимков

Для оценки факторов, определяющих формирование и распределение талых и паводковых вод, были сформированы шесть ключевых тематических слоев: гидрогеологические условия, уклоны рельефа, плотность дренажной сети, землепользование и типы почвенного покрова, почвенные характеристики, а также водный эквивалент снега. Выбор данных параметров осуществлялся на основе экспертных оценок и анализа научных публикаций по рассматриваемой тематике. Гидрогеологическая информация была получена путем оцифровки карт среднего масштаба, подготовленных национальными профильными гидрологическими организациями, и использована в качестве исходных данных моделирования. Показатели уклонов поверхности и плотности дренажной сети рассчитывались на основе цифровой модели рельефа. Картографирование землепользования выполнялось с применением спутниковых данных высокого пространственного разрешения и методов тематической классификации, основанных на экспертных правилах. Для формирования почвенной карты использовались международные базы почвенных данных глобального уровня.

Расчет водного эквивалента снежного покрова выполнялся с использованием результатов полевых снегомерных измерений совместно со спутниковыми данными, полученными в близкие по времени периоды съемки. Получение исходных космических снимков осуществлялось из облачных архивов глобальных геоинформационных платформ дистанционного зондирования Земли.

Потенциальные территории для аккумуляции талых и паводковых вод были определены путем интеграции всех тематических слоев с применением метода взвешенной линейной комбинации в среде пространственного анализа ArcGIS Pro 2.8. Относительная значимость тематических слоев и их подгрупп рассчитывалась с использованием метода Аналитического процесса иерархии.

Дополнительно для выделения территорий, непригодных для резервирования вод, использовался векторный слой сельскохозяйственных земель исследуемой области. Для оценки эффективности размещения резервуаров была сформирована буферная зона шириной 1 км вокруг сельскохозяйственных угодий. Было принято, что сбор и накопление талых вод на расстоянии свыше 1 км от сельхозугодий является экономически и технологически нецелесообразным.

На данном этапе было проведено технико-экономическое обоснование резервирования талых и паводковых вод в исследуемом районе. На этапе планирования территорий для резервирования талых и паводковых вод для сельскохозяйственных нужд необходимо учитывать некоторые технические, экономические и экологические факторы. С технической точки зрения, нецелесообразно резервировать талую воду в отдаленных местах и протягивать километры труб к сельскохозяйственным полям. С экономической точки зрения, сельскохозяйственным предприятиям придется закупать большое количество необходимых товаров, таких как трубы, и обслуживать их, что требует огромных финансовых и трудовых ресурсов. С экологической точки зрения мы исключили районы с высоким содержанием в воде вредных металлов (металлоидов), таких как марганец и мышьяк, что неприемлемо для сельскохозяйственного использования.

2.3.1. Подготовка тематических слоев

2.3.1.1. Гидрогеология

Гидрогеологическая карта характеризует условия залегания подземных вод, особенности их формирования и пространственного распределения. Поскольку данные карты формируются на основе комплексных гидрогеологических исследований с использованием геологических и тектонических материалов, в рамках данного исследования особое внимание уделялось таким параметрам, как литологический состав водоносных горизонтов и уровень минерализации подземных вод.

Гидрогеологическая карта территории исследования была оцифрована с применением инструментов ГИС-анализа в программной среде ArcGIS Pro 2.8.

2.3.1.2. Уклон

Уклон поверхности, характеризующий степень крутизны рельефа, является одним из ключевых морфометрических параметров территории. Участки с умеренными значениями уклона обладают наибольшим инфильтрационным потенциалом, тогда как при увеличении крутизны возрастает доля поверхностного стока [7].

При выборе территорий для резервирования талых и паводковых вод уклон рассматривался как один из определяющих факторов. Для исследуемого района среднее значение уклона составляет около 2 %. Участки с уклоном более 5 % характеризуются сниженным потенциалом для аккумуляции вод вследствие усиления поверхностного стока. Карта уклонов была построена на основе цифровой модели рельефа с использованием инструментов пространственного анализа в программной среде ArcGIS Pro 2.8 по

формуле, где S - наклон в 3D, dZ/dx - горизонтальная разница в высоте, деленная на расстояние между пикселями, и dZ/dy - вертикальная разница в высоте, деленная на расстояние между пикселями:

$$S = \sqrt{\left(\frac{dZ}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dZ}{dy}\right)^2} \quad (1)$$

2.3.1.3. Плотность дренажа

Плотность дренажной сети является одним из значимых факторов при оценке пригодности территорий для аккумуляции талых и паводковых вод в фермерских водоёмах. Территории с высокой плотностью дренажа характеризуются интенсивным поверхностным стоком, что, как правило, сопровождается низкой инфильтрационной способностью и, соответственно, меньшим потенциалом водонакопления [8, 9]. В рамках данного исследования предполагалось, что наиболее перспективные участки для размещения фермерских прудов должны располагаться в нижних частях водосборов, однако вне зон с максимальными значениями плотности дренажной сети. Для построения карты плотности дренажа исследуемой территории был выполнен комплекс геообработывающих операций. На основе цифровой модели рельефа произведено упорядочивание водотоков с целью их идентификации и классификации по порядку, учитывающему количество притоков, а также сформирован индекс сетки дренажной сети. Расчёт плотности дренажа выполнен с использованием инструмента Line Density в среде ArcGIS Pro 2.8 по формуле, где DD - плотность дренажа, L - длина потока, а A - площадь бассейна:

$$DD = \frac{\sum_1^n L}{A} \quad (2)$$

2.3.1.4. Землепользование/Земельный покров

Землепользование и почвенно-растительный покров являются важными факторами, определяющими интенсивность поверхностного стока, водопотребление и накопление снега [10]. К наименее пригодным для аккумуляции талых и паводковых вод были отнесены голые земли, сильно занесенные снегом, урбанизированные территории. В то же время участки с затапливаемой растительностью, луга и кустарники определены как наиболее благоприятные для размещения фермерских водоёмов. Карта землепользования и земельного покрова исследуемой территории была сформирована на основе данных дистанционного зондирования высокого пространственного разрешения Sentinel-1 и Sentinel-2. Классификация выполнена с применением метода, основанного на экспертных правилах, с использованием данных ESRI LULC 2021 в качестве эталонной базы.

2.3.1.5. Почва

Почвенный покров оказывает значительное влияние на формирование поверхностного стока и интенсивность инфильтрации, что напрямую определяет доступность талых и паводковых вод для их последующего аккумуляции [11]. Физико-механические характеристики почв, включая гранулометрический состав и структуру порового пространства, существенно влияют на процессы пополнения подземных вод [12, 13]. Установлено, что крупнозернистые почвы по сравнению с мелкозернистыми характеризуются более высокой инфильтрационной способностью, что может приводить к увеличению потерь поверхностного стока при аккумуляции талых вод в фермерских водоёмах [14].

Вместе с тем в условиях современного климатического потепления отмечается ускоренное таяние снежного покрова в период, когда почва ещё остаётся промёрзшей на глубину порядка 1...1,5 м. В результате в начале весеннего периода, независимо от типа почвы, инфильтрация талых вод резко ограничена, что способствует формированию интенсивного поверхностного стока и развитию паводковых процессов.

2.3.1.6. Водный эквивалент снега

Эквивалент снегозапаса рассматривался как ключевой параметр исследования, поскольку он комплексно отражает как мощность, так и плотность снежного покрова, потенциально доступного для аккумуляции в сельскохозяйственных водоёмах. Данный показатель позволяет количественно оценивать запасы твёрдых атмосферных осадков на территории и уточнять особенности формирования водного режима рек и озёр [6]. Карта снежного водного эквивалента исследуемой территории с пространственным разрешением 10 м была сформирована на основе разработанной и апробированной авторской методики оценки глубины снежного покрова и снегозапаса с применением данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий. Обработка и расчёты выполнялись с использованием облачной платформы Google Earth Engine, обеспечивающей работу с массивами данных сверхбольшого объёма. Исходные программные коды расчётов приведены в открытом доступе [15].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Шесть параметров (гидрогеология, уклон, плотность дренажа, землепользование/почвенный покров, почва и эквивалент снеговой воды), которые в основном влияют на сток, инфильтрацию и накопление поверхностных талых и паводковых вод на исследуемой территории, были тщательно рассмотрены для оценки потенциальных зон для размещения сельскохозяйственных прудов. После успешного распределения весов каждого фактора с помощью метода АИП была составлена карта потенциальных зон с низким, средним, высоким и очень высоким потенциалом хранения талых и паводковых вод для сельского хозяйства.

В рамках исследования для оценки потенциальных территорий размещения сельскохозяйственных водоёмов были проанализированы шесть ключевых факторов: гидрогеологические условия, уклон поверхности, плотность дренажной сети, землепользование и почвенно-растительный покров, тип почв, а также эквивалент снегозапаса. Указанные параметры оказывают определяющее влияние на процессы поверхностного стока, инфильтрации и накопления талых и паводковых вод на исследуемой территории.

После определения весовых коэффициентов для каждого фактора с применением метода анализа иерархий была сформирована итоговая карта потенциальной пригодности территорий. В результате были выделены зоны с низким, средним, высоким и очень высоким потенциалом аккумуляции талых и паводковых вод для сельскохозяйственного использования.

3.1. Гидрогеологические условия

Гидрогеологическая характеристика территории рассматривалась как один из базовых факторов при оценке пригодности земель для размещения фермерских накопительных водоёмов, поскольку она отражает совокупное влияние геологического строения и гидрологического режима территории. Особое внимание уделялось таким показателям, как скорость инфильтрации, особенности формирования поверхностного стока, уровень минерализации подземных вод, а также литологический состав водоносных горизонтов.

В пределах исследуемой территории были выделены три основных типа водоносных горизонтов: плиоцен-четвертичный, четвертичный озёрно-аллювиальный и неогеновый (рис. 4). Их площадь составила соответственно 323,7 тыс. га (70,4 %), 88,6 тыс. га (19,3 %) и 47,5 тыс. га (10,3 %).

Наименее благоприятным с точки зрения размещения сельскохозяйственных водоёмов оказался неогеновый водоносный горизонт. Это связано с тем, что значительная часть его площади занята солёными озёрами и территориями, ограниченно пригодными для сельскохозяйственного использования, что существенно снижает потенциал аккумуляции и дальнейшего использования талых вод.

Четвертичный озёрно-аллювиальный водоносный горизонт был оценён как территория со средним потенциалом. Для него характерны относительно низкая скорость инфильтрации и повышенные показатели поверхностного стока. Кроме того, наличие хорошо отсортированных глинистых отложений и карбонатных включений может создавать дополнительные ограничения для сельскохозяйственного освоения.

Наиболее благоприятные условия были выявлены в пределах плиоцен-четвертичного водоносного горизонта, который занимает большую часть территории исследуемого района. Для него характерны относительно низкая минерализация подземных вод и более высокая инфильтрационная способность, что делает данные территории наиболее перспективными для аккумуляции талых и паводковых вод с последующим использованием в сельском хозяйстве.

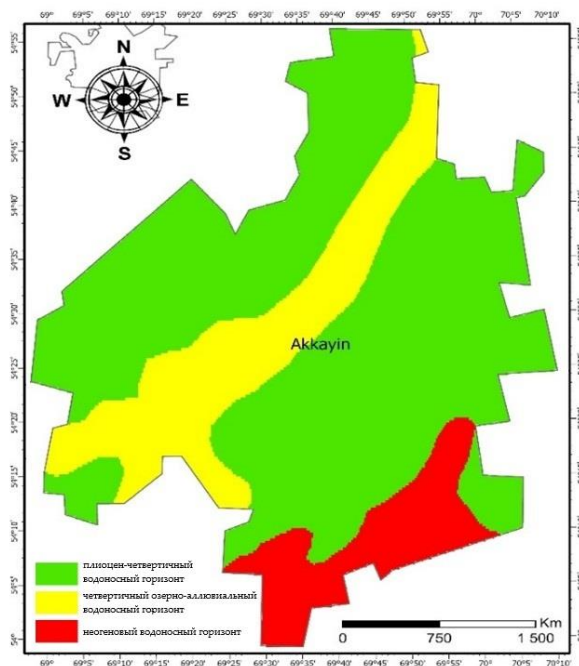


Рисунок 4. Типы водоносных горизонтов

3.2. Уклон поверхности

Рельеф местности является важным фактором, влияющим на перераспределение поверхностного стока и возможность накопления талых вод. Средний уклон территории Аккайынского района составляет около 2 %, что в целом создаёт благоприятные условия для инфильтрации и локального накопления воды.

Известно, что увеличение уклона способствует ускорению поверхностного стока и снижению времени контакта воды с почвой, тогда как умеренные уклоны обеспечивают более эффективное просачивание влаги. В рамках исследования карта уклонов была классифицирована на пять категорий потенциала: очень высокий (0...1 %), высокий (1...2 %), средний (2...3 %), низкий (3...4 %) и очень низкий (> 4 %) (рис. 5).

Рельеф большей части территории района благоприятен для создания фермерских водоёмов. Так, около 42 % площади было отнесено к зоне очень высокого потенциала, ещё 40,5 % — к зоне высокого потенциала. При этом 14 % территории характеризуются средним потенциалом, 2,6 % — низким и лишь 0,9 % — очень низким потенциалом для накопления весеннего поверхностного стока.

Таким образом, с точки зрения рельефа более 80 % территории Аккайынского района можно рассматривать как потенциально пригодные для размещения фермерских накопительных водоёмов.

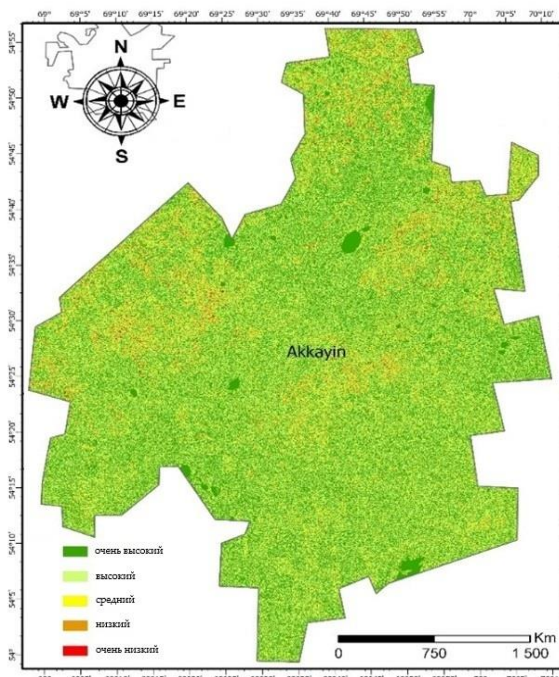


Рисунок 5. Классификация уклона поверхности

3.3. Плотность дренажной сети

Плотность дренажной сети была определена как один из наиболее значимых факторов после снежно-водного эквивалента, поскольку она напрямую отражает интенсивность поверхностного стока и гидрологическую связанность территории.

Как правило, территории с высокой плотностью дренажной сети характеризуются быстрым отводом воды, что снижает возможности её накопления. Напротив, при слишком низкой плотности дренажа может наблюдаться недостаточная водосборная способность. Наиболее благоприятными считаются территории с умеренными значениями плотности дренажной сети.

Для оценки территория была разделена на пять классов, аналогичных классификации уклонов (табл. 2). Результаты ранжирования представлены следующим образом:

Таблица 2.

Классификация плотности дренажной сети

Класс плотности дренажной сети	Оценка потенциала	Доля территории
Очень высокая	Очень низкий	1,3 %
Высокая	Низкий	8,5 %
Средняя	Высокий	26,7 %
Низкая	Очень высокий	34,5 %
Очень низкая	Средний	29,0 %

В целом анализ показал, что более 60 % территории исследования обладают благоприятными характеристиками с точки зрения плотности дренажной сети для создания фермерских накопительных водоёмов.

3.4. Структура землепользования и характеристика земного покрова

Важным этапом оценки пригодности территории для размещения фермерских накопительных водоёмов стал анализ пространственного распределения типов землепользования и земного покрова (рис. 6).

К урбанизированным территориям, а также участкам с открытой почвой и землям, непригодным для сельскохозяйственного использования, была отнесена отдельная группа. Подобные территории характеризуются минимальной способностью к аккумуляции

рованию талых вод и практически не рассматриваются как перспективные для размещения фермерских прудов. Их доля в пределах исследуемой территории составляет около 0,9 %.

Поверхностные водные объекты были классифицированы как зоны низкой пригодности (порядка 2 %). Несмотря на наличие водных ресурсов, их использование для накопления талых вод ограничено из-за повышенной минерализации, а также пространственной удалённости от сельскохозяйственных массивов, что снижает практическую эффективность их вовлечения в систему орошения.

Лесная растительность и сельскохозяйственные угодья были объединены в единый класс со средним уровнем пригодности (59,1 %). Для данных территорий характерно наличие почвенного и растительного покрова, способствующего задержанию влаги, однако интенсивное хозяйственное использование ограничивает возможности размещения водоёмов.

Территории, занятые кустарниковой растительностью, показали более благоприятные условия для размещения накопительных водоёмов и были отнесены к зонам высокого потенциала (24,1 %). Это объясняется сочетанием относительно благоприятных гидрологических условий и меньшей степенью антропогенной нагрузки.

Согласно экспертной оценке, наибольшей перспективностью для аккумуляции талых вод обладают участки с травянистой и периодически затапливаемой растительностью. Несмотря на ограниченную площадь распространения (около 13,9 %), данные территории характеризуются наиболее оптимальными условиями для формирования локальных водоёмов и устойчивого накопления поверхностного стока.

В целом проведённый анализ подтверждает, что структура землепользования является одним из определяющих факторов при выборе площадок для размещения фермерских накопительных водоёмов, поскольку напрямую влияет на процессы инфильтрации, удержания влаги и формирование поверхностного стока.

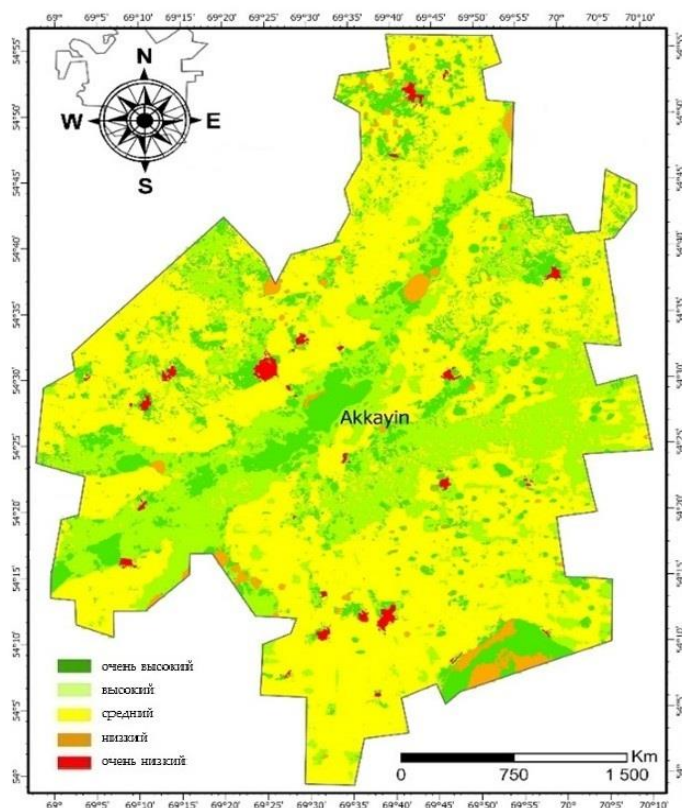


Рисунок 6. Классификация типов землепользования и земного покрова

3.5. Почвенные условия территории

Анализ почвенного покрова являлся одним из ключевых этапов оценки пригодности территории для размещения фермерских накопительных водоёмов, поскольку именно почвенные свойства во многом определяют процессы инфильтрации, удержания влаги и формирования поверхностного стока. В пределах исследуемой территории были выделены четыре основные почвенные группы: обыкновенные чернозёмы, обыкновенные карбонатные чернозёмы, обыкновенные солонцовые чернозёмы и солонцы.

Наименее благоприятными с точки зрения создания сельскохозяйственных водоёмов оказались солонцы. Высокая щелочность и неблагоприятные агрохимические свойства таких почв ограничивают возможность их использования в сельскохозяйственном производстве и негативно влияют на качество аккумулируемой воды. В связи с этим данные почвы были отнесены к зоне очень низкого потенциала, занимая около 4 % площади территории исследования.

Обыкновенные солонцовые чернозёмы были охарактеризованы как территории со средним потенциалом (27,2 %). Несмотря на наличие чернозёмного профиля, повышенная минерализация и солонцеватость ухудшают водно-физические свойства почвы и снижают эффективность накопления и последующего использования воды.

Обыкновенные карбонатные чернозёмы показали более благоприятные условия для размещения водоёмов и были отнесены к категории высокого потенциала (7,2 %). Эти почвы обладают относительно стабильными водно-физическими характеристиками и меньшими ограничениями для использования в системе сельскохозяйственного водоснабжения.

Наиболее благоприятными для аккумуляции талых и родниковых вод оказались обыкновенные чернозёмы, которые занимают основную часть исследуемой территории (61,6 %). Данный тип почв отличается хорошей структурой, высокой влагоёмкостью и благоприятными условиями для формирования устойчивого водного режима.

Следует отметить, что такие характеристики, как детальные различия в инфильтрационной способности и влагоудерживающих свойствах, не использовались как отдельные критерии ранжирования. Это связано с тем, что на территории Аккайынского района преобладают почвы одного генетического типа — чернозёмы, а различия между подтипами в региональном масштабе оказывают менее выраженное влияние по сравнению с другими природными факторами.

В целом результаты анализа подтверждают, что почвенный покров играет важную, но взаимосвязанную с другими природными условиями роль при выборе оптимальных площадок для размещения фермерских накопительных водоёмов.

3.6. Снежно-водный эквивалент

Оценка пространственного распределения снежно-водного эквивалента (СВЭ) рассматривалась как один из ключевых этапов исследования, поскольку именно объём влаги, накопленной в снежном покрове, во многом определяет водообеспеченность территории в период весеннего снеготаяния (рис. 7). Для анализа была использована карта СВЭ высокого пространственного разрешения, полученная на основе ранее разработанной авторской методики.

Согласно полученным результатам, территории с очень низким потенциалом занимают около 5,9 % площади исследуемого района ($СВЭ \leq 10 \text{ кг/м}^2$). Зоны с низким потенциалом охватывают 6,9 % территории ($СВЭ \leq 20 \text{ кг/м}^2$), тогда как доля территорий со средним потенциалом составляет 8,6 % ($СВЭ \leq 30 \text{ кг/м}^2$). Относительно небольшая площадь данных зон указывает на то, что в зимний период в регионе формируется значительный снежный запас влаги.

Соответственно, большая часть территории характеризуется более высокими значениями СВЭ. Участки с запасом влаги в снежном покрове от 30 до 40 кг/м^2 были отнесены к зонам высокого потенциала и занимают около 19,8 % территории. При этом наиболее благоприятные условия для накопления талых вод наблюдаются на территориях

с СВЭ более 50 кг/м², которые были классифицированы как зоны очень высокого потенциала и занимают 58,8 % исследуемой территории.

В целом полученные результаты подтверждают высокую роль снежного покрова как основного источника формирования водных ресурсов в весенний период для условий Северного Казахстана. Значительные запасы влаги в снежном покрове создают благоприятные предпосылки для внедрения технологий аккумулирования талых вод и их последующего использования в сельскохозяйственном водоснабжении.

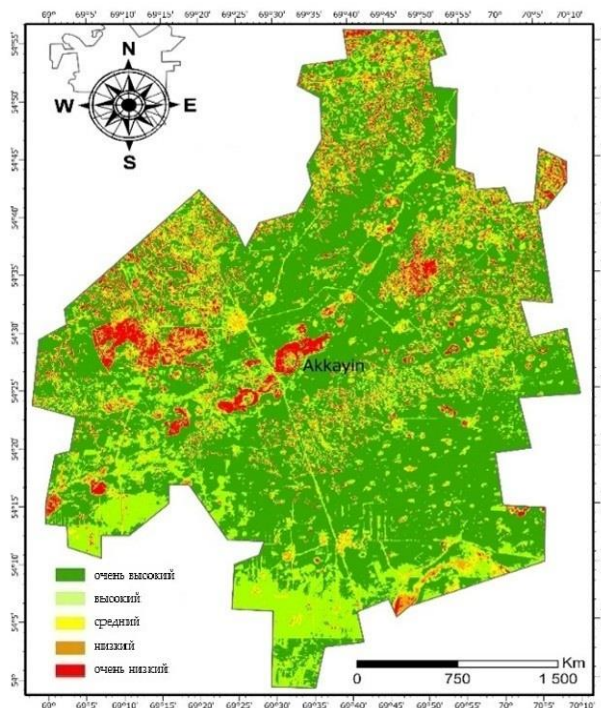


Рисунок 7. Классификация распределения снежно-водного эквивалента

Приведенные выше результаты показывают, что метод АИП на основе ГИС показал хорошие результаты в определении потенциальных мест для сельскохозяйственных прудов для сбора талых вод на исследуемой территории, а Аккайинский район в целом имеет высокий потенциал для использования избыточного поверхностного стока в сельском хозяйстве. По сравнению с аналогичными исследованиями, в данной работе использовался параметр снега, который ранее не учитывался.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании выявление потенциальных участков для размещения накопительных прудов для сбора поверхностного стока в Аккайинском районе Северо-Казахстанской области проводилось с использованием ГИС-ориентированного метода аналитического иерархического процесса и шести входных параметров: гидрогеология, уклон, плотность дренажной сети, землепользование/земельный покров, почвы и снежно-водный эквивалент. Данные параметры в наибольшей степени влияют на доступность водных ресурсов, формирование поверхностного стока, инфильтрационные процессы, а также накопление талых и паводковых вод.

В результате было установлено, что наиболее подходящие территории характеризуются средней плотностью дренажной сети, малыми уклонами, высоким снежно-водным эквивалентом и приурочены к участкам с затапливаемой растительностью и кустарниковыми сообществами.

Кроме того, большая часть обрабатываемых сельскохозяйственных земель была отнесена к территориям со средним потенциалом, несмотря на значительные запасы воды в снежном покрове и умеренные значения уклонов. В то же время менее

предпочтительные зоны занимают сравнительно небольшую площадь, однако их значительная часть совпадает с территориями, ограниченными буферной зоной шириной 1 км от сельскохозяйственных полей.

В результате применения наземных обследований, данных дистанционного зондирования Земли и метода АНР в ГИС-среде были получены карты потенциальных зон размещения фермерских водоёмов с точностью 82 %. Оценка точности модели проводилась на основе сопоставления результатов моделирования с фактическим расположением существующих фермерских прудов.

Предполагается, что предложенный подход может быть применён в регионах с аналогичными почвенно-климатическими условиями Северного Казахстана для решения задач, связанных с засухами и весенними паводками, за счёт внедрения устойчивых методов управления водными ресурсами и повышения водопроductивности.

В дальнейшем планируется оценка возможных социально-экономических эффектов внедрения устойчивого водопользования на основе аккумуляирования талых и паводковых вод в фермерских накопительных водоёмах, а также повышения эффективности использования воды при орошении.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ЖЗТ, ЗНК; управление данными - ЖЗТ; формальный анализ – ЗНК, АДК; методология - ЖЗТ; программное обеспечение – ЖЗТ, ; отслеживание - ЖЗТ; визуализация – ЖЗТ, ЗНК, АДК, ТКК; написание исходного проекта - ЖЗТ; написание и редактирование обзора – ЖЗТ, ЗНК, АДК, ТКК.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование приурочено к бюджетной программе ГФ25-27 - ИРН AP26100353 «Цифровая трансформация противоэрозионных практик: от анализа данных к реализации решений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Dubovyk O., Ghazaryan G., González J., Graw V., Löw F., Schreier J. (2016). Drought hazard in Kazakhstan in 2000–2016: a remote sensing perspective. *Environ Monit Assess* 191, 510. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7620-z>
2. Suleimenov M., Saparov A., Akshalov K., Kaskarbayev Z. (2012). Land Degradation Issues in Kazakhstan and Measures to Address Them: Land Degrad. *Pedol*, 55, 373–381. https://doi.org/10.18920/pedologist.55.3_373
3. Rahman A. (2017). Recent Advances in Modelling and Implementation of Rainwater Harvesting Systems towards Sustainable Development. *Water*, 9, 959. <https://doi.org/10.3390/w9120959>
4. Al-Abadi A., Al-Shamma'a A., Aljabbari M. (2014). A GIS-Based DRASTIC Model for Assessing Intrinsic Groundwater Vulnerability in Northeastern Missan Governorate, Southern Iraq. *Appl. Water Sci.* <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0221-7>.
5. Alwan I.A., Aziz N.A., Hamoodi M.N. (2020). Potential Water Harvesting Sites Identification Using Spatial Multi-Criteria Evaluation in Maysan Province, Iraq. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 9, 235. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040235>
6. Teleubay Z., Yermekov F., Tokbergenov I., Toleubekova Z., Igitmanov A., Yermekova Z., Assylkhanova A. (2022). Comparison of Snow Indices in Assessing Snow Cover Depth in Northern Kazakhstan. *Sustainability*, 14, 9643. <https://doi.org/10.3390/su14159643>
7. Hagos Y.G., Andualem T.G. (2021). Geospatial and Multi-Criteria Decision Approach of Groundwater Potential Zone Identification in Cuma Sub-Basin, Southern Ethiopia. *Heliyon*, 7, e07963. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07963>
8. Andualem T.G., Demeke G.G. (2019). Groundwater Potential Assessment Using GIS and Remote Sensing: A Case Study of Guna Tana Landscape, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *J. Hydrol. Reg. Stud*, 24, 100610. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100610>
9. Thomas R., Duraisamy V. (2018). Hydrogeological Delineation of Groundwater Vulnerability to Droughts in Semi-Arid Areas of Western Ahmednagar District. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci*, 21, 121–137. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.008>
10. Yifru B.A., Chung I.-M., Kim M.-G., Chang S.W. (2021). Assessing the Effect of Land/Use Land Cover and Climate Change on Water Yield and Groundwater Recharge in East African Rift Valley Using Integrated Model. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 37, 100926. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100926>

11. Etikala B., Golla V., Li P., Renati S. (2019). Deciphering Groundwater Potential Zones Using MIF Technique and GIS: A Study from Tirupati Area, Chittoor District, Andhra Pradesh, India. *HydroResearch*, 1, 1–7, <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2019.04.001>.
12. Musa J.J., Anijofor S.C., Obasa P., Avwevuruvwe J.J. (2017). Effects of Soil Physical Properties on Erodibility and Infiltration Parameters of Selected Areas in Gidan Kwano. *Niger. J. Technol. Res*, 12, 46–54. <https://doi.org/10.4314/njtr.v12i1.8>.
13. Gomboš M., Pavelková D., Kandra B., Tall A. (2019). Impact of Soil Texture and Position of Groundwater Level on Evaporation from the Soil Root Zone. In *Water Resources in Slovakia: Part I: Assessment and Development*; Negm, A.M., Zeleňáková, M., Eds.; The Handbook of Environmental Chemistry; Springer International Publishing: Cham, pp. 167–181. ISBN 978-3-319-92853-1.
14. Nolan B., Healy R., Taber P., Perkins K., Hitt K., Wolock D. (2006). Factors Influencing Groundwater Recharge in the Eastern United States.
15. Teleubay Z. (2023). Source Codes for Snow Depth and Snow Water Equivalent Calculation on Google Earth Engine Platform Using Sentinel-2 MSI Images.

ТАҚЫРЫПТЫҚ ҚАБАТТАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП АУМАҚТЫҢ ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ГЕОАҚПАРАТТЫҚ ТАЛДАУЫ

Жанат З. Толубекова, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Забида Н. Курманғалиева, Айнур Д. Каранеева, Толқын К. Қуанышбек

«Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАК, Астана қ., Қазақстан; jtolubekova@mail.ru (ЖЗТ), zabida_98@mail.ru (ЗНК), ajnurk121@gmail.com (АДК), www.tolkynj@gmail.com (ТКК)

*Автор корреспонденциясы: Забида Н. Курманғалиева, e-mail: zabida_98@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

ЖҚЗ, ГАЖ, тақырыптық қабаттар, аналитикалық иерархиялық процесс, еріген қар, тасқын сулары, жерүсті ағын суларын жинау

Мақала жайында:

Алынды: 13.02.2026
Қайта қаралды: 08.04.2026
Қабылданды: 24.06.2026
Жарияланды: 01.07.2026

АБСТРАКТ

Құрғақ және жартылай құрғақ аймақтарда, жауын-шашын режимі тұрақсыз жағдайларда өмір сүретін халық жиі құрғақшылық пен су тасқындарына ұшырайды, бұл өз кезегінде су ресурстарымен қамтамасыз етілу деңгейіне тікелей әсер етеді. Жерүсті ағын суларын жинау су тапшылығы жағдайында өсіп келе жатқан су ресурстарына деген сұранысты қанағаттандыру, климаттың өзгеруінің салдарын жұмсарту және шөлейттену үдерістерін тежеу мақсатында қолданылатын дәстүрлі су қамтамасыз ету тәсілдерінің бірі болып табылады.

Осы зерттеуде Солтүстік Қазақстанның дала аймағында фермерлік су қоймаларын орналастырудың әлеуетті учаскелерін бағалау үшін қашықтықтан зондтау (ҚЗ) деректері мен геоақпараттық жүйелер (ГАЖ) аналитикалық иерархия әдісін қолдану арқылы біріктірілді. Ұсынылған тәсіл экономикалық тұрғыдан тиімді және сенімді бағалау құралын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Зерттеу алты тақырыптық қабатқа негізделген: гидрогеология, жер бедерінің еңістігі, дренаж желісінің тығыздығы, жер пайдалану/топырақ жамылғысы, топырақ және қар қорының су эквиваленті. Аталған параметрлер су ресурстарының қолжетімділігіне, ағынның қалыптасуына, инфильтрацияға және еріген қар мен тасқын сулардың жиналуына ең жоғары деңгейде әсер етеді.

Зерттеу нәтижелері бойынша ең қолайлы учаскелер дренаж желісінің орташа тығыздығымен, аз еңістік мәндерімен, қар қорының су эквивалентінің жоғары көрсеткіштерімен және су басуға бейім өсімдіктер таралған аумақтарда орналасуымен сипатталады. Сонымен қатар, зерттелетін аумақтың 30 % бөлігінен еріген қар суларын жинау жағдайында зерттеу ауданының ауыл шаруашылығы жерлерінің төрттен бір бөлігін су тапшылығы жағдайындағы суаруға көшіру мүмкіндігі бар. Бұл су тасқыны қаупін төмендетуге,

құрғақшылық жылдары фермерлердің табысын тұрақтандыруға және жоғары табысты ауыл шаруашылығы дақылдарын өсіруге мүмкіндік береді. Жалпы алғанда, зерттеу фермерлік су қоймаларында еріген қар суларын жинақтау ауыл шаруашылығындағы құрғақшылық пен көктемгі су тасқындарының теріс әсерін төмендетудің тиімді шараларының бірі екенін көрсетеді.

INTEGRATED GIS-BASED TERRITORIAL ANALYSIS USING THEMATIC SPATIAL LAYERS

Zhanat Toleubekova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Zabida Kurmangaliyeva, Ainur Karaneeva, Tolkin Kuanyshbek

Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan; jtoleubekova@mail.ru (ZZT), zabida_98@mail.ru (ZNK), ajnurk121@gmail.com (ADK), www.tolkynj@gmail.com (TKK)

*Corresponding author: Zabida N. Kurmangaliyeva, e-mail: zabida_98@mail.ru

KEY WORDS

Remote sensing, geographic information systems (GIS), thematic spatial layers, analytical hierarchy process (AHP), snowmelt, floodwaters, surface runoff harvesting

About article:

Received: 13.02.2026

Revised: 08.04.2026

Accepted: 24.06.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT

Populations living in arid and semi-arid regions characterized by highly variable precipitation regimes are frequently exposed to both droughts and flood events, which directly affect water resource availability. Surface runoff harvesting represents a long-established water management strategy used under water-scarcity conditions to meet increasing water demand, mitigate climate change impacts, and reduce land degradation and desertification processes.

This study integrates remote sensing data and geographic information systems within an analytical hierarchy process framework to develop a cost-effective and reliable approach for identifying suitable locations for farm reservoirs in the steppe zone of Northern Kazakhstan.

The analysis is based on six key thematic spatial layers, including hydrogeology, terrain slope, drainage density, land use and land cover, soil characteristics, and snow water equivalent. These factors play a critical role in determining water availability, runoff generation, infiltration processes, and the accumulation of snowmelt and floodwaters.

The results indicate that the most suitable sites are typically associated with moderate drainage density, gentle slopes, high snow water equivalent values, and areas dominated by flood-prone vegetation. Furthermore, harvesting snowmelt runoff from approximately 30 % of the study area could potentially enable deficit irrigation across nearly one-quarter of the agricultural land within the region. This approach may contribute to reducing flood risk, stabilizing farm income during dry years, and supporting the cultivation of higher-value crops.








Overall, the findings highlight the strong potential of farm reservoirs for snowmelt water storage as an effective adaptation measure to mitigate agricultural drought and seasonal spring flooding.

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



Научная статья

ПРОСТРАНСТВЕННО ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СЕЛЕФОРМИРОВАНИЯ В ГОРАХ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

Виталий В. Жданов¹  к.т.н., Мәулен М. Тоғыс^{1,2} , Виктор П. Благовещенский¹  д.г.н.,
Сандугаш У. Ранова¹  к.г.н., Айдана Н. Камалбекова^{1,2} , Еркебулан Е. Халыков¹  PhD,
Ұлжан Р. Алдаберген^{1,2} 

¹Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан; zhdanovvitaliy@yandex.kz (ВВЖ), maulenmm@mail.ru (ММТ), victor.blagov@mail.ru (ВПБ), sandu2004@mail.ru (СУР), aidana.kamalbekova@gmail.com (АНК), e.halykov@mail.ru (ЕЕХ), aldabergen_u@mail.ru (ҰРА)

²Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; maulenmm@mail.ru (ММТ), aidana.kamalbekova@gmail.com (АНК), aldabergen_u@mail.ru (ҰРА)

*Автор корреспонденции: Мәулен М. Тоғыс, maulenmm@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

GIS – картографирование, метеорологический архив, селевая опасность, селевой риск, факторы селеформирования, экстремальные осадки, Южный Казахстан

АБСТРАКТ

Селевые потоки и наносоводные паводки в горах Южного Казахстана регулярно приносят значительный ущерб. Их воздействию подвержены хозяйственные объекты в бассейнах многих рек: Сайрам, Бадам, Терис, Келес, Угам, Балдыбрек, Тамды. Прошедшие потоки относились к двум типам ливневые и тало-дождевые. Актуальность изучения этого района связана с малой изученностью и небольшим количеством доступных публикаций. В условиях изменения климата анализ метеофакторов требует регулярного обновления. Целью исследований является оценка климатических условий селеформирования и их тенденций в XXI веке. Было определено, что распределение экстремальных осадков связано с расположением горных хребтов по отношению к ведущим потокам в атмосфере. Экстремальные селеопасные осадки регистрируются в центральных частях Таласского и Киргизского Алатау и хребта Каратау. Именно здесь расположены основные селевые очаги. Отмечается рост сумм разовых осадков с высотой местности. Отмечается увеличение средней температуры воздуха и годовых сумм осадков в XXI веке по сравнению с нормами XX века. Однако нет тенденции изменчивости экстремальных температур воздуха и суточных осадков. Это говорит о случайном стохастическом характере развития условий селеформирования. Были построены климатические карты, которые являются важным этапом в построении комплексных GIS карт селевой опасности и селевого риска в горах Южного Казахстана.

По статье:

Получено: 13.01.2026
Пересмотрено: 10.03.2026
Принято: 22.06.2026
Опубликовано: 01.07.2026

1. ВВЕДЕНИЕ

Селевые потоки и наносоводные паводки на горных реках являются одним из основных источников стихийных бедствий в мире. Во многих странах, где горные регионы занимают значительные площади, селевые потоки оказывают большое влияние на инфраструктуру и население. Поэтому изучение этого стихийного явления имеет важное значение при обеспечении безопасности населения [9, 12, 14, 19, 25].

В Республике Казахстан широко известны случаи прохождения катастрофических селевых потоков в горах Иле Алатау, однако в остальных горных районах тоже существует селевая угроза. Но в отличие от этого региона остальные регионы до сих пор слабо изучены [6, 8, 23].

Для цитирования:
Жданов В., Тоғыс М.,
Благовещенский В.,
Ранова С., Камалбекова А.,
Халыков Е., Алдаберген Ұ.,
Пространственно
временное распределение
метеорологических
условий
селеформирования в горах
Южного Казахстана//
Гидрометеорология и
экология, 122 (2), 2026, 75-
89.

Территории горных хребтов Каратау, Огем, Таласский, Киргизский Алатау отличаются значительной или средней степенью селевой опасности [2]. Здесь по данным наблюдений начиная с 1900 года зарегистрированы более 200 случаев прохождения селевых потоков и наносоводных паводков [15, 16, 20, 22, 26, 27, 28, 29]. Воздействию селевых потоков подвержены ряд населенных пунктов, расположенных на предгорных конусах выноса, в том числе города Туркестан, Ленгер, Кентау, Каратау.

Чаще всего незначительные селевые явления происходят на малых горных реках без ущерба. Но в отдельные годы, такие как 1959, 1998, 2016, потоки отмечались повсеместно и сопровождались значительным ущербом. Они относятся к потокам ливневого или тало-дождевого генезиса. Из-за большой площади региона и редкости наблюдательной сети регистрация потоков затруднена. В густонаселенных районах даже незначительный поток вызывает ущерб, а в отдаленных районах потоки с большим объемом и расходом могут проходить без последствий. Описание в архиве составлялось с задержкой по заключениям экспертов, которые осуществляли обследование [27]. Информация о потоках со значительным ущербом приведена в таблице 1.

Таблица 1

Селевые потоки со значительным ущербом

Дата	Место	Бассейн реки	Категория селя	Расход, м ³ /с	Ущерб
09.04.1956	Жамбылская обл.	Ассы, Куренсай	-	274	мосты, дороги, дома, ЛЭП
07-08.	Жамбылская и	Арыс, Бадам, Сайрамсу, Тамды, Келес,	-	2713	Дома, ЛЭП, ГЭС, дороги,
04.1959	Туркестанская области	Жабагылысу	-		погиб скот
20.05.1978	п. Мерке	Мерке	1	500	мосты, дороги, дома
17-19.	Луговской рн.	Макпал, Кайындысай	2	-	мосты, дороги, дома
07.1983					
26.05.1998	с. Жанабазар	Келес	2	-	мосты, хозпостройки
27.05.1998	Кызылтан	Жинишке	1	-	мосты, хозпостройки
28.05.1998	п. Кокпак	Кокпарсай	2	-	мосты, хозпостройки
29.05.1998	п Каржан	Коргансай	2	-	мосты, хозпостройки
28.05.1998	п. Казыгурт	Келес	2	-	мосты, хозпостройки
26.05.2003	г. Ленгер	Бадам	1	560	мосты, дороги, 12 домов
06.06.2016	г. Каратау	Тамды	-	-	мосты, дороги, дома

Исследования селей в Казахстане проводятся Институтом географии и водной безопасности, Казселезащитой и Казгидрометом [7, 21, 35, 42]. Институтом географии и водной безопасности в 2010 г. издан Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан, в котором приведены селевые карты на все горные районы Казахстана [2]. В 2018...2020 годах составлены карты селевой опасности и селевого риска речных бассейнов северного склона Иле Алатау, на которых показаны территории, подверженные воздействию селевых потоков с количественными характеристиками объемов, повторяемости и распространенности. В 2017 г. Институтом географии и водной безопасности разработана концепция автоматизированного мониторинга селевой опасности на территории города Алматы, а в 2018...2019 годах составлены подробные карты селевого риска на бассейны рек Киши и Улкен Алматы, Каргалы и Аксай [3,4].

Таласский и Киргизский Алатау, хребты Огем и Каратау относятся к регионам с сухим внутреконтинентальным климатом умеренных широт. Он характеризуется значительными амплитудами температуры воздуха и количества осадков [13]. Средняя

годовая температура воздуха в предгорьях составляет 10...12 °С и минус 2 °С в высокогорной зоне на уровне 3000 м., в зимние месяцы отмечается инверсионное распределение температуры, когда в горных районах бывает теплее, чем на равнине. Годовая сумма осадков меняется от 150 мм в равнинных полупустынных районах до 900 мм в осевой части хребта Таласского Алатау [30, 36].

Основным метеорологическим условием формирования дождевых селевых потоков и наносоводных паводков являются разовые экстремальные суммы осадков [10, 24, 33, 38, 41]. Пороговое значение более 30 мм осадков за 12 часов является стихийным гидрометеорологическим явлением и приводит к образованию поверхностного стока и поверхностной эрозии. Критические значения осадков более 50...60 мм за время дождя являются чрезвычайным явлением, приводящим к катастрофическим последствиям [35].

Актуальность исследований. В горном регионе Южного Казахстана селевые потоки и наносоводные паводки способны наносить огромный ущерб. Однако по сравнению с хорошо изученным хребтом Иле Алатау этот район до сих пор остается неизученным. Количество научных публикаций для гор южного Казахстана невелико и многие из них выполнены еще в XX веке [20, 22, 26]. Учитывая тенденции к изменению климата данные об условиях селеформирования устаревают и требуют обновления. Поэтому оценка селевой опасности и селевого риска в горах Каратау, Таласском и Киргизском Алатау имеет важное прикладное значение. Оценка метеорологических и климатических условий формирования один из этапов работы.

Цель исследований. Оценить многолетние тенденции изменения основных факторов селеформирования в горных районах Южного Казахстана (среднегодовые температуры воздуха, годовые суммы осадков, абсолютный максимум осадков). Выполняемые задачи – статистический анализ метеорологических данных, выявление значимых многолетних трендов, создание электронной карты условий селеформирования.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа метеорологических условий формирования селевых потоков были использованы методы статистической обработки метеорологических данных (среднегодовая температура воздуха, годовая сумма осадков, абсолютный годовой максимум осадков) и технологии GIS-картографирования. Для оценки взяты данные климатических справочников (КазССР, УзССР, КирССР) и электронные архивы метеорологической информации. Используются данные 25 метеостанций в горах Каратау, Таласского и Киргизского Алатау, расположенных близко к районам прохождения селевых потоков и паводков (таблица 2). Зоны формирования большинства селевых потоков и наносоводных паводков расположены в пограничных высокогорных районах с Республиками Кыргызстан и Узбекистан. Однако многие метеостанции расположены в низкогорной зоне, что ограничивает изучение факторов селеформирования в высокогорье. Для изучения доступны только наземные данные существующих архивов.

Анализировались основные метеорологические факторы селеформирования и их тенденции в XX и XXI веках. Данные о климатических нормах за XX век взяты из климатических справочников [30, 31, 32]. Период осреднения 1881...1980 гг. Данные за XXI век (с 2000 по 2024 гг.) взяты из свободных источников климатических архивов Казгидромета и Росгидромета [5, 17, 18]. Период осреднения 2000...2025 гг. Для анализа взяты средние годовые температуры воздуха, суммы осадков и экстремальные разовые осадки. Затем были рассчитаны средние значения за периоды наблюдений, их тенденции изменения и результаты нанесены на GIS карту.

Современные технологии GIS картографирования – важный инструмент при анализе природных опасностей. Геоинформационная система представляет из себя комплексное программное обеспечение для хранения, анализа и визуализации

пространственных данных [1, 40]. В работе был использован программный комплекс ArcGIS 10.8. В результате получается интегрированная карта с возможностями интерполяции данных и выведения различных слоев. Интерполяция реализована в модуле Spatial Analyst. Метод сплайн-интерполяции (Spline) основан на построении гладкой поверхности с минимальным общим изгибом, проходящей через все исходные точки. В ArcGIS 10.8 реализованы два варианта: Regularized Spline (регуляризованный сплайн) и Tension Spline (сплайн с натяжением). Он эффективен при работе с постепенно изменяющимися поверхностями. Это позволяет оценить и отобразить пространственное распределение метеорологических и гидрологических параметров. Собранные нами данные накладывались на цифровую модель рельефа (ЦМР), а программное обеспечение позволяет визуализировать карту с заданным масштабом. Это позволяет отображать слои и объекты с различным разрешением, от 1:10000 до 1:1500000. Создание климатической карты условий селеформирования является важным этапом для оценки селевой опасности и селевого риска в Южном Казахстане.

Таблица 2

Список метеорологических станций Казахстана, Узбекистана и Кыргызстана

Метеостанция	Широта	Долгота	Высота места, м	Индекс ВМО
Шиели	66.729003	44.182537	152	38069
Аккум	67,417299	43,709005	173	38191
Туркестан	68.191389	43.271944	209	38198
Шаян	69.370833	43.021389	366	38207
Шулакурган	69.170833	43.754167	480	38201
Каратау	70.439828	43.179672	518	38208
Казыгурт	69.375556	41.747222	597,6	38452
Шымкент	69.7000	42.347778	604	38328
Тараз	71.293542	42.867658	651,2	38341
Мерке	73.170917	42.879975	690,8	38344
Кулан	72.730672	42.919336	700	38343
Турар Рыскулов	70.353889	42.544722	808,9	38334
Ащисай	68.8975	43.552222	820	38196
Чарвак	70.0000	41.6000	974	38464
Чон Арык	73.7500	42.0600	1100	38354
Тасарык	70.155278	42.234167	1122,5	38337
Кордай	74.930008	43.321411	1140,8	38229
Талас	72.2167	42.5167	1217	38345
Пскем	70.3671	41.9091	1258	38462
Чаткал	71.3500	41.9000	1937	38471
Шуылдак	70.428611	42.295556	1947,1	38338
Сусамыр	73.9833	42.1500	2061	38358
Ойгайинг	70.8696	42.1628	2150	38339
Ангрен	70.7167	41.6667	2286	38466
Тюя-Ашу	74.000	42.5000	3090	38359

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многолетняя изменчивость факторов селеформирования

Для изучения многолетних тенденций изменения факторов селеформирования были рассчитаны отклонения этих элементов в XXI веке от климатических норм XX века.

Нормы за XX век взяты из климатических справочников [30, 31, 32]. Период осреднения 1881...1980 гг. Нормы за XXI век взяты из электронной базы данных Казгидромета и Росгидромета [5, 17, 18]. Период осреднения 2000...2025 гг. Результаты приведены в таблице 3.

Данные наземных наблюдений есть только в низкогорных и среднегорных районах. Высокогорные метеостанции есть только в горах Киргизского хребта на территории Кыргызстана. Поэтому есть возможность оценить изменчивость факторов селеформирования в этих высотных зонах. Оценить температуру и осадки в высокогорье возможно только по математическим моделям [39]. Повсеместно в XXI веке отмечается тенденция роста средних температур воздуха на 0,4...1,9 °С, что соответствует мировому тренду потепления климата. Вековые тенденции изменения годовых сумм осадков в XXI неоднозначные, от роста до 100 мм, до падения на 60 мм по сравнению с многолетними нормами. Это подтверждается выводами других экспертов [34].

Таблица 3

Изменения среднего значения температуры воздуха и сумм осадков в XXI веке по отношению к нормам в XX веке

Метеостанция	XX век		XXI век		Изменение	
	Температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм	Температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм	Температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм
Шиели	10,6	156	12,3	139	1,7	-17
Аккум	11,7	186	13,1	151	1,4	-35
Туркестан	12,1	201	14	218,9	1,9	17,9
Шаян	12,1	372	13,4	318	1,3	-54
Шулакурган	9,4	184	11,2	181	1,8	-3
Казыгурт	11,9	480	13,8	501	1,9	21
Шымкент	12,4	576	13,7	618	1,3	42
Тараз	9,8	326	11,5	346	1,7	20
Мерке	9,9	411	11,2	351	1,3	-60
Кулан	9,3	338	10,9	360	1,6	22
Турар					0,8	9
Рыскулов	11,7	759	12,5	768		
Ащисай	10,6	545	11,5	549	0,9	4
Тасарык	9,6	707	10,4	726,8	0,8	19,8
Кордай	7,9	495	9,2	441,4	1,3	-53,6
Талас	7,5	313	9,3	314	1,8	1
Пскем	9,2	757	10,1	871	0,9	114
Шуылдак	5,9	877	6,3	818,4	0,4	-58,6
Сусамыр	-2,1	376	-0,4	333	1,7	-43
Ойгайинг	2,3	627	3,3	728	1	101
Тюя-Ашу	-1,4	718	-2,9	631	-1,5	-87

В таблице 4 приведены данные по экстремальным суточным осадкам и максимальным температурам воздуха в горах Южного Казахстана. Несмотря на полупустынный климат и малое количество годовых осадков здесь отмечаются редкие события, когда суточные осадки превышают критические для селеформирования значения в 50...60 мм. Для формирования селевых потоков экстремальные значения осадков являются важнейшим предиктором [10, 24, 37, 38, 41], поэтому их тенденции очень важны в условиях меняющегося климата. Абсолютный максимум осадков зарегистрирован на метеостанции

Ойгаинг в Узбекистане (200 мм за сутки). Абсолютные максимумы осадков за историю наблюдений в основном отмечены в XX веке, только на нескольких станциях абсолютный максимум пришелся на XXI. Стоит отметить, что разовое выпадение экстремальных осадков носит случайный стохастический характер. Оно слабо подчиняется общим закономерностям и не обладает выраженной циклическостью. Это сильно затрудняет оценку и прогнозирование стихийных явлений, вызванных сильными дождями.

Таблица 4

Изменения максимальных температур воздуха и сумм осадков в XXI веке по отношению к значениям в XX веке

Метеостанция	XX век		XXI век		Изменение	
	Температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм	Температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм	Температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм
Шиели	45	58,7	43,4	30	-1,6	-28,7
Аккум	46	55,4	-	31	-	-24,4
Туркестан	49	62,2	55,7	36	6,7	-26,2
Шаян	49	57,3	45	40	-4	-17,3
Шулакурган	47	49,9	42	50	-5	0,1
Казыгурт	46	43,2	42,6	41	-3,4	-2,2
Шымкент	44	57,8	43,6	104	-0,4	46,2
Тараз	45	62,6	42,5	33	-2,5	-29,6
Мерке	44	60,3	41,2	38,2	-2,8	-22,1
Кулан	44	48,8	41,5	34	-2,5	-14,8
Турар						-7,7
Рыскулов	42	85,7	41,5	78	-0,5	
Ащисай	45	110	39,5	84	-5,5	-26
Тасарык	40	79,3	38	63,6	-2	-15,7
Кордай	40	56,8	38	42	-2	-14,8
Талас	40	53	50,7	39	10,7	-14
Пскем	-	70	39,4	77	-	7
Шуулдак	34	65	38,8	46	4,8	-19
Сусамыр	35	38	49,8	54	14,8	16
Ойгаинг	-	77	36,7	210	-	133
Тюя-Ашу	25	65	27,6	34	2,6	-31

Распределение факторов селеформирования по высоте местности

Распределение климатических норм XX века с учётом высоты местности показано на рисунке 1. Отмечается естественное падение температуры воздуха с высотой местности. Она меняется от 10 °С тепла в предгорной зоне до минус 2 °С в высокогорной зоне выше 3000 м над уровнем моря (Метеостанция Тюя-Ашу). Количество осадков меняется от 150 мм в год в полупустынных предгорьях хребта Каратау до 877 мм в год в среднегорной зоне Таласского Алатау (Метеостанция Шуулдак). Из-за значительных площадей и условий отмечается значительные колебания в зависимости от широтного распределения метеостанций. Но общая тенденция показывает максимум сумм осадков в среднегорной зоне (метеостанция Шуулдак) и стандартное падение средних температур воздуха с высотой местности. Высотная изменчивость температуры воздуха имеет четкую зависимость и аппроксимируется линией. В среднем высотный градиент стандартный – 7 °С на 1 км поднятия. Максимум осадков же приходится на среднегорную высотную зону 2000

м. Выше и ниже отмечается уменьшение годовых сумм. Высотное распределение температуры и осадков очень важно для понимания высоты местности, где отмечаются благоприятные условия для зарождения селей и паводков.

Сезонная изменчивость факторов селеформирования

Сезонная изменчивость экстремальных суточных осадков приведена в таблице 5. Данные приведены за весь год, поскольку экстремальные осадки и опасные гидрологические явления на реках могут отмечаться круглогодично. В сезонном ходе отмечаются два максимума осадков весной и осенью. Суточные осадки более 60 мм регистрировались преимущественно с февраля по июнь или с октября по ноябрь. Исключением стала метеостанция Ащисай где абсолютный максимум 110 мм зарегистрирован в декабре. В жаркие летние и холодные зимние месяцы максимально зарегистрированные суммы суточных осадков намного ниже. Поэтому в сочетании с началом снеготаяния и влажностью почво-грунтов в конце зимы и весной складываются наиболее опасные условия. Это подтверждается данными о зарегистрированных селевых явлениях из таблицы 1. В отличие от соседнего хребта Иле Алатау селеопасный сезон здесь смещен на более ранние сроки и кроме угрозы грязекаменных селей широко распространены наносоводные паводки в период снеготаяния.

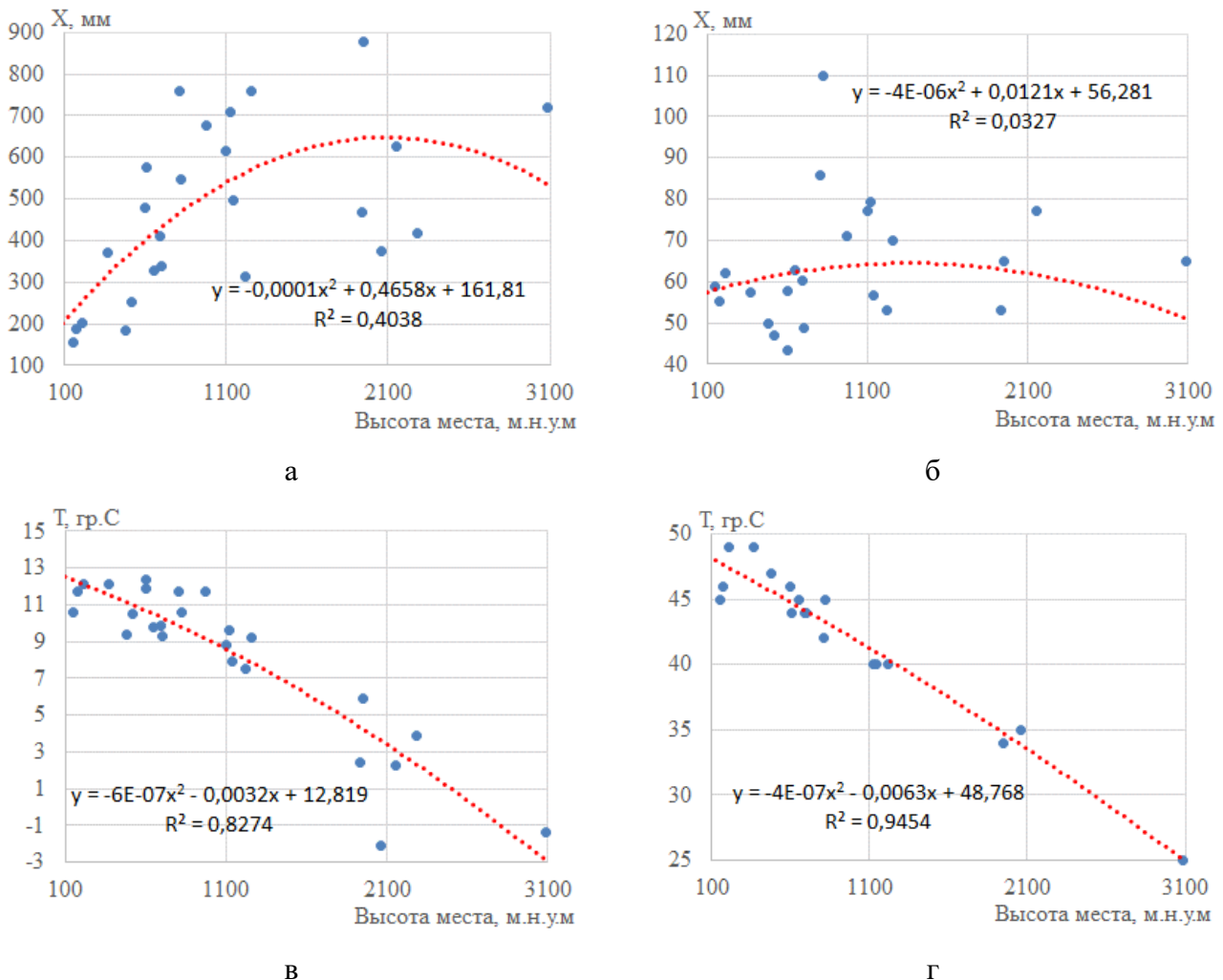


Рисунок 1. Распределение метеорологических условий селеформирования в зависимости от высоты места:
 а – годовая сумма осадков; б – абсолютный максимум осадков; в – среднегодовая температура воздуха;
 г – абсолютный максимум температуры воздуха

Таблица 5

Сезонная изменчивость абсолютных максимумов суточных осадков

МС	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Шиели	13,5	20,2	31,5	30,4	58,7	20,3	27,6	20,7	21,5	19,9	30,4	20,4
Аккум	18	18,5	37,6	36	55,4	44	30,6	20,8	11,7	18,8	26,3	29,9
Туркестан	29,5	25,6	53,5	39,3	62,2	25,7	17	17,4	21	22,7	28	46,5
Шаян	23,1	33,9	39,7	38,3	56,1	27,7	36,4	22	24,3	57,3	42	36,6
Шулакурган	15,3	25,3	24,6	43,5	49,9	34,8	21,6	26,8	17	16,2	22,2	23,5
Каратау	20,1	24,4	40	46,8	26,8	34,7	33,2	28,4	22,8	35	40	34,7
Казыгурт	30,9	38,3	43,2	40	46,4	25,6	23,6	26,5	16	39	53,3	39
Шымкент	40,3	53	46,3	51,1	57,8	38	28,3	28,1	29,7	46,1	68,6	46,3
Тараз	39,3	34,4	42,3	43,8	41,7	62,6	43,8	22,1	41,9	45,3	44,6	25,8
Мерке	16	36,8	29,9	46,7	60,3	44,9	30,5	25,6	28,5	31,9	38,4	18
Кулан	27,8	36	35,2	48,8	41	28,4	25,7	38,2	30	31,5	32,4	22,6
Турар Рыскулов	48	66,9	85,7	75,2	61,6	54,4	64	34,9	53,7	53,9	73,4	73,6
Ащисай	43,9	56,6	81,1	78,9	52,7	48,2	30,9	31,3	29,5	65,5	73,4	110
Тасарык	45,6	57,4	79,3	81,2	58,1	50,4	39,4	53,2	43,3	89,7	53,3	42
Кордай	32,9	35,3	41,6	44,5	56,8	45,4	36,8	31,2	38,1	39,8	35,7	33,7
Шуылдак	51,1	53,3	64,6	74,6	65,4	54,4	53,1	32,7	40,6	95,5	61,5	53,2
ср. Макс	31,0	38,5	48,5	51,2	53,2	40,0	33,9	28,7	29,4	44,3	45,2	41,0
абс. Макс	51,1	66,9	85,7	81,2	65,4	62,6	64,0	53,2	53,7	95,5	73,4	110,0

Пространственное распределение факторов селеформирования

Для оценки пространственного распределения факторов селеформирования были созданы картографические модели распределения температуры воздуха и количества осадков с применением GIS технологий. Была проведена интерполяция по методу Spline и построено поле пространственного изменения экстремальных осадков. На рисунках 2 и 3 показано распределение экстремальных селеформирующих осадков в XX веке и их тенденции изменения в XXI веке.

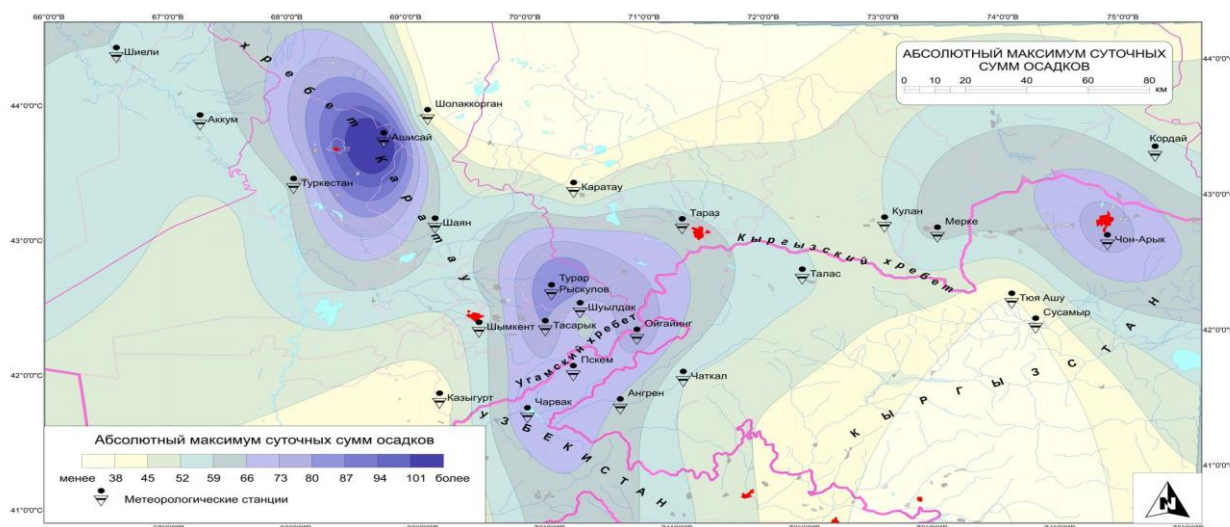


Рисунок 2. Пространственное распределение климатических норм экстремальных осадков в XX веке

Максимальные значения по данным наземных наблюдений приходятся на предгорные и среднегорные районы хребтов северо-западного и западного макро-склона хребтов Каратау, Огем и Таласского Алатау. Это близко к зонам зарождения селевых потоков на реках Сайрам, Огем, Бадам, Тамды, Терис, Келес. Однако высокогорная зона не охвачена наблюдениями и выводы делаются по результатам интерполяции. Северные склоны Киргизского Хребта – реки Талас, Мерке, Аспара обладают значительно меньшими суммами экстремальных осадков и более редкими случаями прохождения селевых потоков и паводков. Внутренние высокогорные районы Таласского и Киргизского хребтов на территории Кыргызстана закрыты от ведущих потоков атмосферной циркуляции, поэтому здесь наблюдаются сухие холодные высокогорные гляциально-нивальные районы с минимальной высотой снега и площадью оледенения. Тенденция увеличения сумм разовых максимальных осадков в XXI веке отмечается только на отдельных метеостанциях в центральной части горных хребтов. В предгорных районах на территории Казахстана отмечается отрицательная тенденция.

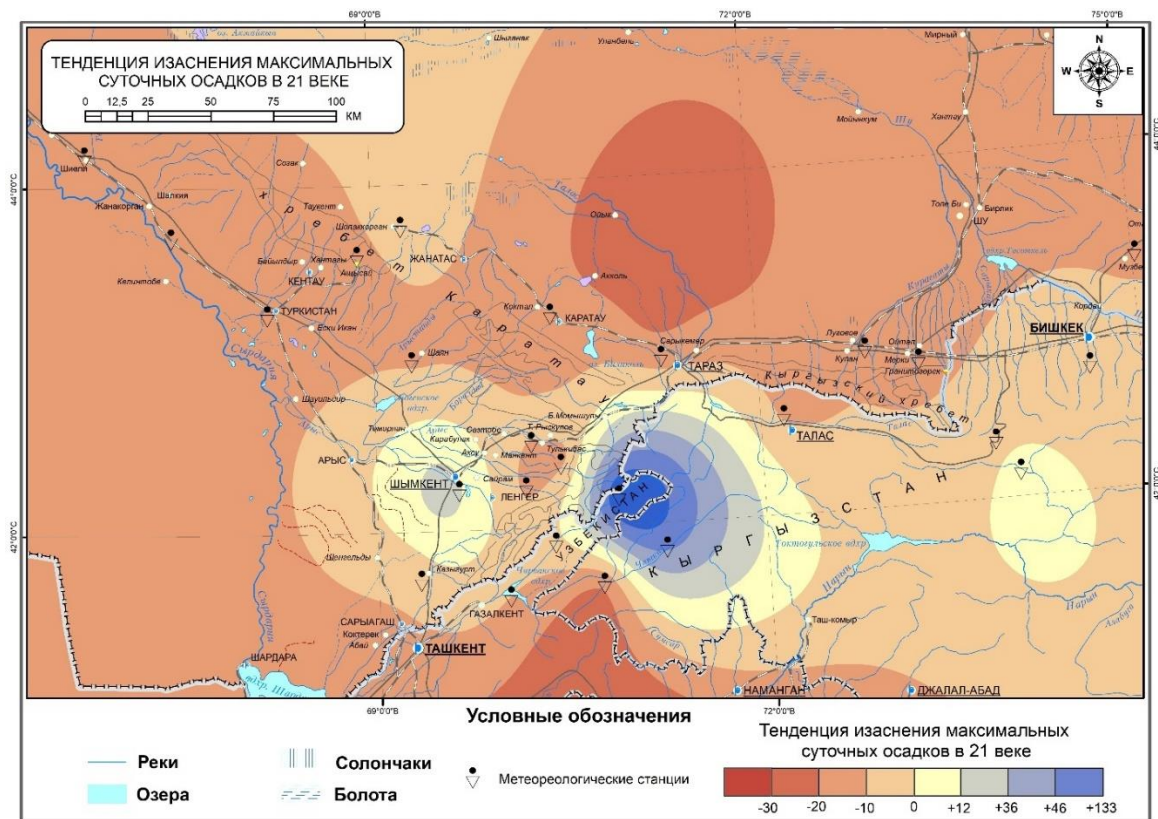


Рисунок 3. Пространственное распределение тенденций изменения экстремальных осадков в XXI веке

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований были получены следующие результаты:

Суммы средних годовых и абсолютных максимальных осадков имеют четкое пространственное распределение. Максимум отмечается на макро-склонах, перекрывающих ведущие атмосферные потоки. Поэтому в бассейнах рек северного и северо-западного склона хребта Таласский Алатау и центральной части хребта Каратау селеопасные ливни и вызванные ими селевые потоки и наносоводные паводки отмечаются намного чаще. В хребте Киргизский Алатау, особенно во внутренних высокогорных районах экстремальные селеформирующие осадки редкость.

В сезонном ходе осадков отмечаются два максимума весной (март-май) и осенью (октябрь-ноябрь). Поэтому в конце зимы и начале весны в период начала снеготаяния складываются самые селеопасные условия. А сезон формирования селевых потоков и

наносоводных паводков смещен на более ранние месяцы по сравнению с соседним изученным хребтом Иле Алатау.

Выпадение разовых экстремальных сумм осадков – это случайный стохастический процесс, что затрудняет его изучение. В условиях меняющегося климата в XXI веке отмечается рост средней температуры воздуха на 0,4...1,9 °С в сравнении с нормами середины XX по представленным метеостанциям. Годовые суммы и абсолютные максимумы осадков не имеют выраженного тренда. Тенденции изменчивости обладают различными знаками от значительного роста (до 114 мм) до значительного падения (60 мм).

Построенная картографическая модель с использованием GIS-технологий позволяет наносить данные на топооснову и визуализировать в заданном масштабе. Это очень полезно при оценке опасных гидрологических явлений. Комплексная карта отображает географическое распределение зон зарождения селевых потоков и зон выпадения максимальных годовых и разовых сумм осадков.

Полученные результаты имеют важное прикладное значение: оценка селевой опасности горной территории, планирование рекреационной и хозяйственной деятельности, организация системы селевого мониторинга и раннего предупреждения. Основные потребители информации: РГП «Казгидромет», ГУ «Казселезащита», областные департаменты по чрезвычайным ситуациям и бассейновые управления Министерства водного хозяйства.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Все полученные данные представлены в статье.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы внесли равный вклад в подготовку статьи.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотрудникам РГП «Казгидромет» и ГУ «Казселезащита» ответственным за сбор и публикацию этих данных.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту грантового финансирования AP26198857 «Составить электронные карты селевой опасности и селевого риска на горные районы Южного Казахстана на основе ГИС-Технологий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусина А.К., Абдуллаева Ә.С. Иле Алатауының орталық бөлігіндегі өзен алаптарының сел қауіптілігін бағалау және зоналау // Гидрометеорология и экология. 2023. №4 (111). Б. 34-60. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-34-60>.
2. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан. (2010). Под ред. Медеу А.Р. Алматы, 264 с.
3. Akhmetkal, R. Medeu, Nikolay, V. Popov, Viktor, P. Blagovechshenskiy, Maulken, A. Askarova, Alikhan, A. Medeu, Sandugash U. Ranova, Aidana Kamalbekova, Tobias Bolch. (2022). Moraine-dammed glacial lakes and threat of glacial debris flows in South-East Kazakhstan. *Earth-Science Reviews*, vol. 229, pp. 103999. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103999>.
4. Medeu A.R., Blagoveshchenskiy V.P., Gulyayeva T.S. & Ranova S.U. (2019). Debris Flow Activity in Trans-III Alatau in the 20th - Early 21 th Centuries. *Geogr. Nat. Resour.* no 3, pp. 292-298. <https://doi.org/10.1134/S1875372819030120>.
5. Архив метеонаблюдений РГП "Казгидромет". [Электронный ресурс]. URL:https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/. (дата обращения 05.03.2024).
6. Баймолдаев, Т.А., Касенов, М.К., Мусина, А.К., Раймбекова, Ж.Т. (2018). Пространственно-временной анализ распределения селевых явлений и пути предупреждения и снижения их разрушительных воздействий в горных и предгорных районах Казахстана. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита, тр. 5-й междунар. конф., с. 262-270.
7. Баймолдаев, Т.А., Виноходов, В.Н. (2007). "Казселезащита" - оперативные меры до и после стихии. Алматы, 284 с.

8. Бекенов, К.А., Касенов, М.К. (2023). Селевая безопасность. 50 лет деятельности Казселезащиты: итоги, эффективность, перспективы. 1973-2023 гг. Алматы: Zialy баспасы, 208 с.
9. Veniamin, Perov., Sergey, Chernomorets., Olga, Budarina., Elena, Savernyuk., Tatiana, Leontyeva. (2017). Debris flow hazards for mountain regions of Russia: regional features and key events. *Natural Hazards*, vol. 88, pp. 199-235.
10. Виноградов, Ю.Б. (1977). Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. - Ленинград: Гидрометеоиздат, с. 155.
11. Государственный климатический кадастр. [Электронный ресурс]. URL: https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr/ (дата обращения 13.02.2024 г.).
12. Dash, R.K., Falae, P.O., Kanungo, D.P. (2022). Debris flow susceptibility zonation using statistical models in parts of Northwest Indian Himalayas-implementation, validation, and comparative evaluation. *Nat. Hazards*, № 111, pp. 2011-2058.
13. Дементьев, В. С., Спиридонова, А. Р. (2025). Туристско-рекреационный потенциал Южного Казахстана. Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки, т. 18, № 2. с. 1-20.
14. Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. (2025). Proceedings of the 8th International Conference (Tbilisi, Georgia). Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva. Moscow: Geomarketing LLC, 496 p.
15. Дуйсенов, Е.Д. (1971). Селевые потоки в Заилийском Алатау. Алма-Ата: Казахстан, 192 с.
16. Ежегодные обзоры стихийных гидрометеорологических явлений в Казахстане. [Электронный ресурс]. URL: <https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/search/index>. (дата обращения: 12.11.2025).
17. Информация о погоде по данным метеостанций. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rp5.ru>. (дата обращения: 12.11.2025).
18. Информация о погоде и климате архив Росгидромета. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history>. (дата обращения: 12.11.2025).
19. Hou, Jiangping, Zhou, Jun. (2023). Development characteristics and trend of Napa debris flow in lewang town, Wangmo County, Guizhou Province, *Geology of Yunnan*, 42(2), pp. 244-250.
20. Заппаров, М.Р. (2001). Гидрометеорологические условия формирования селевых явлений в Южно-Казахстанской области Республики Казахстан: Современные проблемы геоэкологии и созоологии. Доклады Международной научно-практической конференции 22-23 января 2001 г. Алматы, с. 213-220.
21. Kapitsa, V., Shahgedanova, M., Kasatkin, N., Severskiy, I., Kasenov, M., Yegorov, A., Tatkova, M. (2023). Bathymetries of proglacial lakes: a new data set from the northern Tien Shan, Kazakhstan *Front. Earth Sci*, vol. 11:1192719, pp. 1-17. - <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1192719>.
22. Кавецкий, С.П., Раушенбах, И.О., Рыбкина, М.П. (1964). Казахстан. Сели в СССР и меры борьбы с ними, М.: Наука, с. 149-177.
23. Кочубей, К.А. (2024). Системная оценка селевой опасности с использованием гис-технологий на примере бассейнов рек Таласского Алатау // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН: Тезисы докладов. Москва, ИФЗ РАН, 6-7 ноября 2024 г., М.: ИФЗ РАН, 71 с.
24. Киренская, Т.Л., Данилина, Н.А. (1989). О долгосрочных прогнозах селевых явлений ливневого происхождения. "Селевые потоки", сб.11, КазНИГМИ., с. 27-35.
25. Li, Caixia, Ma, Yu. (2019). Formation, mechanical characteristics and vulnerability of debris flow in Yaojiawan Gully, Wangmo County, Guizhou province. *Science, technology and engineering*, no 19 (24), pp. 62767.
26. Медеуов, А., Колотилин, Н.Ф., Керемкулов, В.А. (1993). Сели Казахстана, Алматы: Гылым, 160 с.
27. Медеу, А.Р., Баймолдаев, Т.А., Киренская, Т.Л. (2016). Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Антология селевых явлений и их исследования, Алматы, 576 с.
28. Медеуов, А.Р. (1981). О формировании селевых процессов в зоне Угамского хребта (северо-западные отроги Тянь-Шаня). Проблемы противоселевых мероприятий, Алма-Ата: Казахстан, с. 166-170.
29. Медеу, А.Р. (2011). Селевые явления Юго-Восточного Казахстана.: Основы управления. Алматы, т. 1. с. 46-49.
30. Научно-прикладной справочник по климату СССР. (1989). Под ред. Е.П. Борисенкова. Л.: Гидрометеоиздат, Сер. 3, многолетние данные, вып. 18, ч. 1-6, кн. 1, 2, 440 с.
31. Научно-прикладной справочник по климату СССР. (1989). Под ред. Е.П. Борисенкова. Л.: Гидрометеоиздат, Сер. 3, многолетние данные, вып. 32, ч. 1-6, кн. 1, 2, 376 с.
32. Научно-прикладной справочник по климату СССР. (1989). Под ред. Е.П. Борисенкова. Л.: Гидрометеоиздат, Сер. 3, многолетние данные, вып. 19, ч. 1-6, кн. 1, 2, 280 с.
33. Полякова, С.Е., Таланов, Е.А. (2016). Рекомендации по моделированию характеристик полей ливневых осадков для горных районов. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Материалы IV междунар. конф. (Россия, г. Иркутск пос. Аршан (Республика Бурятия), 6-10 сентября 2016 г.), Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, с. 211-214.
34. Сальников, В., Турулина, Г., Полякова, С., & Петрова, Е. (2023). Изменение климата и его региональные проявления в Казахстане. *Гидрометеорология и экология*. № 2, с. 17-31. <https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/634>.
35. Степанов, Б.С. (2023). Вклад национальной гидрометеорологической службы республики Казахстан в селевую безопасность страны. *Гидрометеорология и экология*. № 4, с. 113-123. DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-113-123.
36. Справочник по климату Казахстана. (2004). Многолетние данные. РГП "Казгидромет", вып. 13, разделы 1-6, 295 с.

37. Степанов, Б.С., Яфязова, Р.К. (2023). Сверхкраткосрочный прогноз дождевых селей и формирование селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы 21 июля 2023 года // *Гидрометеорология и экология*, № 4, с. 16-24.
38. Степанов, Б.С.; и др. (2001). Механизмы, приводящие к формированию селей дождевого генезиса в высокогорной зоне Заилийского Алатау. *Гидрометеорология и экология*. Алматы, № 1-2, с. 74-81.
39. Toropov, P.A., Shestakova, A.A., Yarynich, J.I., Kutuzov, S.S. (2022). Simulation of orographic precipitation's component on the Mount Elbrus example Led i Sneg. Ice and Snow, 62 (4), pp. 485-503. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673422040146.
40. Толепбаева, А., Карагулова, Р., Есжанова, А., Танбаева, А., Радуснова, О., & Камалбекова, А. (2024). Использование данных космических снимков для актуализации векторной картографической основы тематических карт (на примере горных районов Иле и Жетысу Алатау). *Вестник КазНУ. Серия географическая*. 74(3), с. 36-50. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v74.c3-04>.
41. Яфязова, Р.К. (2014). К концепции сверхкраткосрочного прогноза. *Гидрометеорология и экология*. № 4, с. 52-57.
42. Яфязова, Р.К. (2007). Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. Алматы, 158 с.

REFERENCES

1. Abdullayeva, A., & Musina, A. (2023). Assessment and zoning of mudflow hazard in river basins of the central part of Ile Alatau, *Hydrometeorology and ecology*, no. 4, pp. 34–60. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-34-60>.
2. Atlas prirodnih i tehnogennyh opasnostey i riskov Respubliki Kazakhstan. [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations in the Republic of Kazakhstan]. (2010). Edited by Medeu A.R., Almaty, 264 p. [In Russian].
3. Akhmetkal, R. Medeu, Nikolay, V. Popov, Viktor, P. Blagovechshenskiy, Maulken, A. Askarova, Alikhan, A. Medeu, Sandugash, U. Ranova, Aidana, Kamalbekova, Tobias, Bolch. (2022). Moraine-dammed glacial lakes and threat of glacial debris flows in South-East Kazakhstan. *Earth-Science Reviews*, vol. 229, pp. 103999. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103999>.
4. A.R. Medeu, V.P. Blagoveshchenskiy, T.S. Gulyayeva & S.U. Ranova. (2019). Debris Flow Activity in Trans-Ili Alatau in the 20th – Early 21st Centuries. *Geogr. Nat. Resour*, no. 40, pp. 292-298. <https://doi.org/10.1134/S1875372819030120>.
5. Archive of meteorological observations of RSE "Kazhydromet".(date of access 05.03.2024). [Electronic resource]. URL: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/
6. Baimoldaev, T.A., Kasenov, M.K., Musina, A.K., Raimbekova, Zh.T. (2018). Prostranstvenno vremennoy analis raspredeleniy selevyh yavleniy i puti preduprezdeniy ih razrusitelnyh vozdeistviy v gornih i predgornih raionah Kazahstana [Spatio-temporal analysis of the distribution of mudflow phenomena and ways to prevent and reduce their destructive impacts in the mountainous and foothill regions of Kazakhstan]. *Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashita* [Mudflows: disasters, risk, forecast, protection], proceedings of the 5th int. conf., pp. 262-270 [In Russian].
7. Baimoldayev, T.A., Vinokhodov, V.N. (2007). «Kazselezashchita» – operativnye mery do i posle stihii. [«Kazselezashchita» – operational measures before and after a disaster]. Almaty, 284 p. [In Russian].
8. Bekenov, K.A., Kasenov, M.K. (2023). Selevaya bezopasnost 50 let deyatelnosti Kazselezashchity: itogi, effektivnost, perspektivy. 1973-2023 gg. [Mudflow safety. 50 years of Kazselezashchita activity: results, effectiveness, prospects. 1973-2023]. Almaty: *Zialy bapcasy*, 208 p. [In Russian].
9. Veniamin Perov, Sergey Chernomorets, Olga Budarina, Elena Savernyuk. Tatiana Leontyeva. (2017). Debris flow hazards for mountain regions of Russia: regional features and key events. *Natural Hazards*, vol. 88, pp. 199–235.
10. Vinogradov, Yu.B. (1977). Glyacialnye proryvnye pavodki i selevye potoki. [Glacial outburst floods and mudflows]. Leningrad, *Hydrometeorological Publishing House*, p. 155. [In Russian].
11. State Climate Cadastre. (date of access 13.02.2024). [Electronic resource]. URL: https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr/
12. Dash, R.K., Falae, P.O., Kanungo, D.P. (2022). Debris flow susceptibility zonation using statistical models in parts of Northwest Indian Himalayas-implementation, validation, and comparative evaluation, *Nat. Hazards*, no. 111, pp. 2011–2058.
13. Dementyev, V.S., Spiridonova, A.R. (2025). Turistsko-rekreacionnyj potencial Yuzhnogo Kazahstana [Tourism and recreational potential of Southern Kazakhstan]. *Bulletin of Pskov State University, Series: Natural and Physical-Mathematical Sciences*, vol. 18, no. 2, pp. 1–20 [In Russian].
14. Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. (2025). Proceedings of the 8th International Conference (Tbilisi, Georgia). – Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva. Moscow: *Geomarketing LLC*, 496 p.
15. Duisenov, E.D. (1971). Selevye potoki v Zailijskom Alatau [Mudflows in the Trans-Ili Alatau]. Alma-Ata, Kazakhstan, 192 p. [In Russian].
16. Ezhegodnye obzory stihijnyh gidrometeorologicheskikh yavlenij v Kazahstane [Weather information from meteorological stations]. (date accessed: 12.11.2025). [Electronic resource]. URL: <http://www.rp5.ru> [In Russian]
17. Weather and climate information from the Roshydromet archive. (date accessed: 12.11.2025). [Electronic resource]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history> [In Russian]

18. Informaciya o pogode i klimate arhiv Rosgidrometa [Annual reviews of natural hydrometeorological phenomena in Kazakhstan]. URL: <https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/search/index> [In Russian]
19. Hou, Jiangping, Zhou, Jun. (2023). Development characteristics and trend of Napa debris flow in Lewang town, Wangmo County, Guizhou Province, *Geology of Yunnan*, 42 (2), pp. 244–250.
20. Zapparov, M.R. (2001). Gidrometeorologicheskie usloviya formirovaniya selevyh yavlenij v YUzhno-Kazahstanskoj oblasti Respubliki Kazahstan: Sovremennye problemy geokologii i sozologii. [Hydrometeorological conditions for the formation of mudflow phenomena in the South Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan Modern problems of geocology and zoology. Reports of the International Scientific and Practical Conference, January 22–23, 2001]. Almaty, pp. 213–220 [In Russian].
21. Kapitsa, V., Shahgedanova, M., Kasatkin, N., Severskiy, I., Kasenov, M., Yegorov, A., Tatkoa, M. (2023). Bathymetries of proglacial lakes: a new data set from the northern Tien Shan, Kazakhstan, *Front. Earth Sci.* vol. 11:1192719., pp. 1–17, <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1192719>.
22. Kavetsky, S.P., Rauschenbach, I.O., Rybkina, M.P. (1964). Kazakhstan. Seli v SSSR i mery borby s nimi [Mudflows in the USSR and measures to combat them]. M.: *Nauka*, pp. 149–177 [In Russian].
23. Kochubey, K.A. (2024). Sistemnaya ocenka selevoj opasnosti s ispol'zovaniem gis-tekhnologij na primere bassejnov rek Talasskogo Alatau. Nauchnaya konferenciya molodyh uchenyh i aspirantov IFZ RAN: Tezisy dokladov [Systematic assessment of mudflow hazard using GIS technologies: the example of the Talas Alatau river basins. Scientific conference of young scientists and postgraduate students of the IPE RAS: Abstracts of reports]. Moscow, IPE RAS, November 6–7, 2024, M.: IPE RAS, 71 p. [In Russian].
24. Kirenskaya, T.L., Danilina, N.A. (1989). O dolgosrochnyh prognozah selevyh yavlenij livneвого proiskhozhdeniya «Selevye potoki» [On long-term forecasts of mudflow phenomena of rainfall origin «Mudflows»]. Collection of articles no. 11, KazNIGMI., pp. 27–35 [In Russian].
25. Li, Caixia, Ma, Yu. (2019). Formation, mechanical characteristics and vulnerability of debris flow in Yaojiawan Gully, Wangmo County, Guizhou province. *Science, technology and engineering.* no. 19(24), pp. 62–67.
26. Medeuov, A., Kolotilin, N.F., Keremkulov, V.A. (1993). Seli Kazahstana [Mudflows of Kazakhstan]. Almaty, Gylym, 160 p. [In Russian].
27. Medeu, A.R., Baimoldayev, T.A., Kirenskaya, T.L., (2016). Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazahstana: Antologiya selevyh yavlenij i ih issledovaniya, [Mudflow Phenomena of South-Eastern Kazakhstan: Anthology of Mudflow Phenomena and Their Research]. Almaty, 576 p. [In Russian].
28. Medeuov, A.R. (1981). O formirovanii selevyh processov v zone Ugamskogo hrebta (severo-zapadnye otrogi Tyan-Shanya. Problemy protivoselevyh meropriyatij, [On the Formation of Mudflow Processes in the Ugam Range Zone (Northwestern Spurs of the Tien Shan // Problems of Anti-Mudflow Measures]. Alma-Ata, Kazakhstan, pp. 166–170 [In Russian].
29. Medeu, A.R. (2011). Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazahstana.: Osnovy upravleniya. [Mudflow Phenomena of South-Eastern Kazakhstan: Fundamentals of Management]. Almaty, vol. 1, pp. 46–49 [In Russian].
30. Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. [Scientific and applied handbook on the climate of the USSR]. Ed. E.P. Borisenkov, (1989). L., *Gidrometeoizdat*, Series 3, Long-term data, Issue 18, Parts 1–6, Book 1, 2, 440 p. [In Russian].
31. Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. [Scientific and applied handbook on the climate of the USSR]. Ed. E.P. Borisenkov. 1989. L., *Gidrometeoizdat*, Series 3, Long-term data, Issue 32, Parts 1–6, Book 1, 2, 376 p. [In Russian].
32. Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. [Scientific and applied handbook on the climate of the USSR]. Ed. E.P. Borisenkov. (1989). L., *Gidrometeoizdat*, Series 3, Long-term data, Issue 19, Part 1–6, Book 1, 2, 280 p. [In Russian].
33. Polyakova, S. E., Talanov, E.A. (2016). Rekomendacii po modelirovaniyu harakteristik polej livnevnyh osadkov dlya gornyh rajonov. Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita: Materialy IV mezhdunar. konf. [Recommendations for modeling the characteristics of rainfall fields for mountainous areas. Mudflows: disasters, risk, forecast, protection: Proceedings of the IV int. conf.]. (Russia, Irkutsk - Arshan village (Republic of Buryatia), September 6–10, 2016), Irkutsk, Publishing house of the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, pp. 211–214 [In Russian].
34. Salnikov, V., Turulina, G., Polyakova, S., & Petrova, E. (2023). Izmenenie klimata i ego regional'nye proyavleniya v Kazahstane [Climate change and its regional manifestations in Kazakhstan]. *Hydrometeorology and ecology*, no. 2, pp. 17–31. <https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/634> [In Russian].
35. Stepanov, B.S. (2023). Vklad nacionalnoj gidrometeorologicheskoy sluzhby respubliki Kazahstan v selevuyu bezopasnost' strany [Contribution of the National Hydrometeorological Service of the Republic of Kazakhstan to Mudflow Safety of the Country]. *Hydrometeorology and ecology*, no. 4, pp. 113–123. DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-113-123. [In Russian].
36. Spravochnik po klimatu Kazahstana [Handbook of Kazakhstan Climate]. (2004). Long-Term Data, RSE «Kazhydromet», Issue 13, Sections 1–6, 295 p. [In Russian].
37. Stepanov, B.S., Yafyazova, R.K. (2023). Sverhkratkosrochnyj prognoz dozhdevykh selej i formirovanie selej v bassejnah rek Kishi i Ulken Almaty 21 iyulya 2023 goda [Ultra-short-term forecast of rain mudflows and mudflow formation in the Kishi and Ulken river basins of Almaty on July 21, 2023]. *Hydrometeorology and ecology*, no. 4, pp. 16–24 [In Russian].

38. Stepanov, B.S.; et al. (2001). Mekhanizmy, privodyashchie k formirovaniyu selej dozhdevogo genezisa v vysokogornoj zone Zailijskogo Alatau. [Mechanisms leading to the formation of rain-induced mudflows in the high-mountain zone of the Trans-Ili Alatau]. *Hydrometeorology and ecology*, Almaty, no. 1-2, pp. 74–81 [In Russian].
39. Toropov, P.A., Shestakova, A.A., Yarynich, J.I., Kutuzov, S.S. (2022). Simulation of orographic precipitation's component on the Mount Elbrus example Led i Sneg, Ice and Snow, 62 (4), pp. 485–503 [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673422040146.
40. Tolepbaeva, A., Karagulova, R., Eszhanova, A., Tanbaeva, A., Radosnova, O., & Kamalbekova, A. (2024). Ispolzovanie dannyh kosmicheskikh snimkov dlya aktualizacii vektornoj kartograficheskoj osnovy tematiceskikh kart (na primere gornyh rajonov Ile i Zhetysu Alatau) [Using space imagery data to update the vector cartographic basis of thematic maps (on the example of the mountainous regions of Ile and Zhetysu Alatau)]. *Bulletin of KazNU, Geographical series*, 74(3), pp. 36–50. [In Russian]. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v74.c3-04>.
41. Yafyazova, R.K. (2014). K koncepcii sverhkratkosrochnogo prognoza [On the Concept of Ultra-Short-Term Forecasting]. *Hydrometeorology and ecology*, no. 4, pp. 52–57 [In Russian].
42. Yafyazova, R.K. (2007). Priroda selej Zailijskogo Alatau. Problemy adaptacii. [The Nature of Mudflows in the Trans-Ili Alatau. Adaptation Problems]. Almaty, 158 p. [In Russian].

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ТАУЛАРЫНДАҒЫ СЕЛ ПАЙДА БОЛУЫНЫҢ МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫНЫҢ КЕҢІСТІКТІК УАҚЫТТЫҚ ТАРАЛУЫ

Виталий В. Жданов¹ т.ғ.к., Мәулен М. Тоғыс^{1,2*}, Виктор П. Благовещенский¹ г.ғ.д., Сандугаш У. Ранова¹ г.ғ.к., Айдана Н. Камалбекова^{1,2}, Еркебулан Е. Халыков¹ PhD, Ұлжан Р. Алдаберген^{1,2}

¹«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, zhdanovvitaliy@yandex.kz, maulenmm@mail.ru, victor.blagov@mail.ru, sandu2004@mail.ru, aidana.kamalbekova@gmail.com, e.halykov@mail.ru, aldabergen_u@mail.ru

²Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, maulenmm@mail.ru, aidana.kamalbekova@gmail.com, aldabergen_u@mail.ru

*Автор корреспонденциясы: Мәулен М. Тоғыс, maulenmm@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Сел қаупі, сел тәуекелі, селдің пайда болу факторлары, экстремалды жауын-шашын, ГАЖ картасын жасау, метеорологиялық мұрағат, Оңтүстік Қазақстан

Мақала жайында:

Жіберілді: 13.01.2026
Қайта қаралды: 10.03.2026
Қабылданды: 22.06.2026
Жарияланды: 01.07.2026

АБСТРАКТ

Оңтүстік Қазақстан тауларында сел мен шөгінді тасқындар үнемі табиғи ортаға айтарлықтай зиян келтіреді. Олар көптеген: Сайрам, Бадам, Теріс, Келес, Өгем, Балдыберек және Тамды өзендер бассейндеріндегі шаруашылық нысандарына әсер етеді. Өткенші ағындар екі түрге бөлінді нөсер және еріген қар суы. Бұл аймақты зерттеудің өзектілігі аз зерттелуімен және қол жетімді басылымдардағы мақалалардың санының аздығымен байланысты. Климаттың өзгеруі жағдайында метеофакторларды талдау үнемі жаңартуды қажет етеді. Зерттеудің мақсаты - селдің пайда болуының климаттық жағдайларын және олардың ХХІ-ғасырдағы үрдістерін бағалау. Жауын-шашынның экстремалды мөлшерінің таралуы атмосферадағы жетекші ағындарға қатысты тау жоталарының орналасуымен байланысты екені анықталды. Экстремалды сел қаупі бар жауын-шашын Талас және Қырғыз Алатауы мен Қаратау жотасының орталық бөліктерінде тіркеледі. Дәл осы жерде негізгі сел ошақтары орналасқан. Биіктікке қарай бір реттік жауын-шашын мөлшерінің артуы байқалады. ХХ ғасырдағы орташа ауа температурасы мен жылдық жауын-шашын мөлшерінің ХХ ғасырдағы нормалармен салыстырғанда артқаны анықталды. Алайда, ауа температурасы мен күнделікті жауын-шашынның өзгергіштік тенденциясы байқалмайды. Бұл сел пайда болу жағдайларының дамуының кездейсоқ стохастикалық сипатын көрсетеді. Оңтүстік Қазақстан тауларындағы сел қаупі мен сел тәуекелінің кешенді ГАЖ карталарын құрудағы маңызды қадам болып табылатын климаттық карталар жасалды.

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF METEOROLOGICAL CONDITIONS OF DEBRIS FLOW FORMATION IN THE MOUNTAINS OF SOUTHERN KAZAKHSTAN

Vitaliy Zhdanov¹ Candidate of Technical Sciences, Maulen Togys^{1,2*}, Victor Blagoveshchensky¹ Doctor of Geographical Sciences, Sandugash Ranova¹ Candidate of Geographical Sciences, Aidana Kamalbekova^{1,2}, Erkebulan Khalykov¹ PhD, Ulzhan Aldabergen^{1,2}

¹JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan, zhdanovvitaliy@yandex.kz, maulenmm@mail.ru, victor.blagov@mail.ru, sandu2004@mail.ru, aidana.kamalbekova@gmail.com, e.halykov@mail.ru, aldabergen_u@mail.ru

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, maulenmm@mail.ru, aidana.kamalbekova@gmail.com, aldabergen_u@mail.ru

*Corresponding author: Maulen Togys. maulenmm@mail.ru

KEY WORDS

GIS mapping, meteorological archive, debris flow danger, debris flow risk, debris flow-forming factors, extreme precipitation, Southern Kazakhstan.

About article:

Received: 13.01.2026

Revised: 10.03.2026

Accepted: 22.03.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT

Debris flows and sediment floods in the mountains of Southern Kazakhstan regularly cause significant damage. They impact economic facilities in the basins of many rivers: the Sairam, Badam, Teris, Keles, Ugam, Baldybrek, and Tamdy. The flows that occurred were classified as rain and showers. The relevance of studying this region is due to the paucity of research and the small number of available publications. In the context of climate change, the analysis of meteorological factors requires regular updating. The aim of this research is to assess the climatic conditions of mudflow formation and their trends in the XXst century. It was determined that the distribution of extreme precipitation events is related to the location of mountain ranges relative to the leading atmospheric flows. Extreme debris flow-prone precipitation events are recorded in the central parts of the Talas and Kyrgyz Alatau mountains and the Karatau range. This is where the main debris flow centers are located. An increase in the amount of one-time precipitation with altitude is noted. An increase in average air temperature and annual precipitation in the XXIst century compared to XXth-century norms is noted. However, there is no trend in variability in extreme air temperatures and daily precipitation. This suggests a random, stochastic nature to the development of debris flow-forming conditions. Climate maps were created, which are an important step in the development of comprehensive GIS maps of debris flow danger and debris flow risk in the mountains of Southern Kazakhstan.

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



Научная статья

АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ, ВЫПАВШИХ НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2002...2022 гг.

Фаргана Салам кызы Дадашова, кандидат химических наук

Министерство Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики; hidromet-institut@mail.ru

*Автор корреспонденции: Фаргана С. Дадашова, hidromet-institut@mail.ru.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

изменение климата
режим осадков
осадки по высоте
сезонные осадки
многолетний период

АБСТРАКТ

Ввиду разнообразия и сложности рельефа территории Азербайджанской Республики изучение метеорологических условий на её территории является актуальной темой. В представленной статье анализируется количество осадков на территории страны на разных высотах и в разных регионах за многолетний период 2002...2022 годов. В течение этого многолетнего периода количество осадков распределялось по стране неравномерно: в одни годы выпадало больше осадков, чем за базовый период, а в другие — меньше. За анализируемый многолетний период среднее количество осадков по стране уменьшилось на -8,84 % по сравнению с базовым периодом (1961...1990), в сравнении по месяцам, количество осадков увеличилось в июле на всех высотах, а также в феврале и сентябре на высотах 0-200 м, кроме >1000 м высоты. Наименьшее количество осадков по регионам по сравнению с базовым показателем выпало в Ленкорань-Астаринском регионе (-10,22 %) и на Малом Кавказе (-9,32 %), а в Баку-Абшеронском регионе зафиксирован рост на +10,4 %. Количество осадков уменьшилось во все сезоны по всей стране, особенно весной и летом. За этот многолетний период меньшее количество осадков выпало в 2022 году (-28,15 %), а большее в 2016 году по сравнению с базовым периодом. Количество осадков в 2016 году было на +23,11 % больше, чем в базовом периоде, а в 2017 году уменьшилось на -21,22 %.

По статье:

Получено: 13.04.2026

Пересмотрено: 05.06.2026

Принято: 22.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

1. ВВЕДЕНИЕ

Глобальное изменение климата и его ущерб для населения, биоразнообразия, сельского хозяйства, инфраструктуры и стихийных бедствий являются одной из крупнейших проблем, стоящих перед человечеством [2, 10, 12, 19, 21]. В современном мире аномальные атмосферные процессы, происходящие под влиянием изменения климата, привели к изменениям гидрометеорологических условий и, как следствие, к увеличению числа стихийных бедствий, включая наводнения, ураганы, засухи, сильные ветры, интенсивные дожди, лесные пожары, колебания уровня воды и т.д. По данным Всемирной метеорологической организации, 80...85% стихийных бедствий в мире связаны с гидрометеорологическими процессами [1, 3, 7, 18, 20]. Стратегия, применяемая в борьбе с наводнениями на Кавказе, в Центральной Азии, Крыму, Ялте, на Дальнем Востоке, в Карпатах, Алтае, Кордильерах и Андах, отличается большей эффективностью и практическим успехом [5, 12].

По данным Турецкой метеорологической службы, количество осадков в Турции за 12 месяцев (2024 год) упало до самого низкого уровня за 52 года. В Средиземноморском

Для цитирования:

Дадашова Ф., Анализ количества осадков, выпавших на территории Азербайджана за многолетний период 2002-2022 гг. // Гидрометеорология и экология, 122 (2), 2026, 90-100.

регионе это количество осадков уменьшилось на -31 % [24]. На проливные дожди и наводнения пришлось 30 % стихийных бедствий в Турции в период с 2010 по 2021 год, а на град 17 % [25...28]. В Израиле за последние 30 лет наблюдается снижение общего количества осадков. В 1988...2017 годах количество осадков уменьшилось в среднем на 3,4 % по сравнению с 1961...1990 годами, и в последние десятилетия наблюдается тенденция к уменьшению количества дождливых дней. Согласно прогнозу Израильской метеорологической службы, ожидается, что количество осадков уменьшится в среднем на 10...20% в период с 2071 по 2100 год по сравнению со средним показателем за 1988...2017 годы [25, 29].

В Азербайджанской Республике 85...87% наводнений образуется дождевой водой, до 8% смешанными водами и лишь до 5 % снежными водами [8, 15, 17]. Наиболее мощные и разрушительные наводнения в Азербайджанской Республике наблюдаются в Большом Кавказе. Здесь же принимаются соответствующие превентивные меры для смягчения негативного воздействия глобального изменения климата и адаптации к нему [6].

В Азербайджане последние годы, особенно после 2010 года увеличились экстремальные показатели метеорологических элементов. Максимальная температура в 2024 году составила 43,4 °С в Хаджигабуле, а максимальное месячное количество осадков 500,6 мм в июне 2023 года в Сарыбаше [17, 30]. Максимальная скорость ветра в 2020...2021 годах составила 38 м/с, а в 2022...2024 годах 40 м/с. В 2020 году в стране было зафиксировано 36 наводнений и 53 града, в 2021 году 41 наводнение, в 2021 году 34 града, в 2022 году 59 наводнений и 34 града, в 2023 году 147 наводнений и 150 градов, в 2024 году 110 наводнений и 127 градов. В годы (2017...2024) с небольшим количеством снега выпало большее количество дождя, а в годы с большим количеством дождей — меньше снега. В целом, в последние годы по всей стране наблюдается уменьшение количества снегопадов [10].

В представленной статье проводится сравнительный анализ количества осадков за многолетний период 2002...2022 гг. с базовым периодом (1961...1990 гг.) как по всей стране, так и на разных высотах над уровнем моря.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящее время Национальная гидрометеорологическая служба при Министерстве экологии и природных ресурсов изучает гидрометеорологические условия территории страны с использованием 75 автоматических, 15 полуавтоматических и 4 радиолокационных радаров. Для анализа количества осадков, выпавших на территории Азербайджана и его отдельных высотах за период 2002...2022 годов, были использованы данные наблюдений с 69 гидрометеорологических станций и пунктов Национальной гидрометеорологической службы при Министерстве экологии и природных ресурсов, расположенных в различных физико-географических регионах страны и имеющих долгосрочные записи наблюдений [30] и результаты сравнивались с базовым периодом (1961...1990).

Для обработки данных использовались методы сравнительного и статистического анализа. Выполнено сопоставление количества осадков за период 2002...2022 гг. с климатической нормой (1961...1990 гг.) по месяцам, сезонам, высотным зонам и физико-географическим регионам Азербайджана.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Температурный режим территории Азербайджанской Республики за многолетний период 2002...2022 годов был проанализирован по высотам ниже <0 м под уровнем моря, 1...200 м, 201...500 м, 501...1000 м и >1000 м над уровнем моря, сезонам и регионам для этих высот [21]. Аналогичным образом был проанализирован количество осадков за тот же многолетний период, а недостающие ряды были восстановлены с использованием математических статистических методов, и метода экстраполяции.

Ниже на рисунке 1 представлен сравнительный с нормой анализ осадков, выпадающих на территории страны за многолетний период 2002...2022 годов.

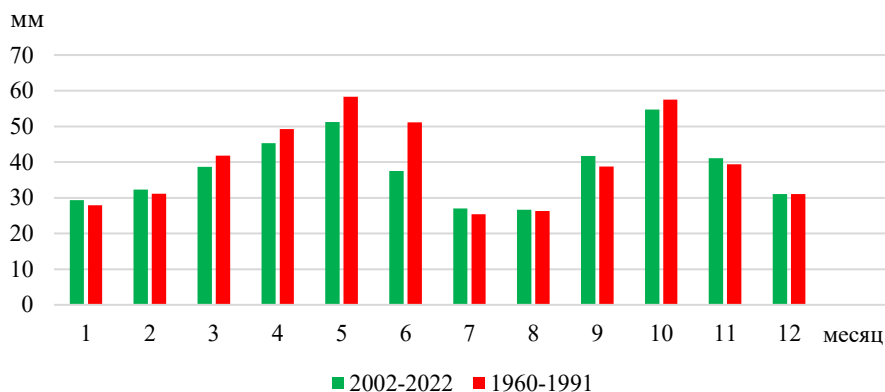
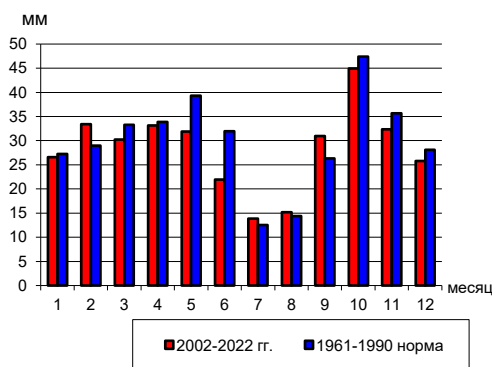


Рисунок 1. Сравнительный график среднемесячных и среднегодовых осадков в республике по сравнению с базовым периодом (1961...1990)

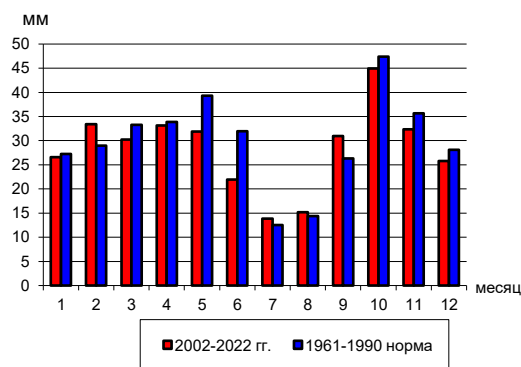
По рисунку 1 можно сказать что, за этот многолетний период по сравнению с базовым периодом, количество осадков, выпадающих на территории республики, уменьшилось на -7,52 % в марте, -8,06 % в апреле, -12,07 % в мае, -26,67 % в июне, -4,92 % в октябре, а также осадки увеличились +5,2 % в январе, +3,56 % в феврале, +6,45% в июле, +4,42 % в августе +1,44 %, в сентябре +7,69 %, в ноябре и почти приблизилось к норме в декабре.

Ниже приведено влияние изменения климата на количество осадков на территории Азербайджана на высотах ниже <0 м, 1...200 м, 201...500 м, 501...1000 м и выше 1000 м над уровнем моря (рис. 2 а, б, в, г, д).

а) <0м

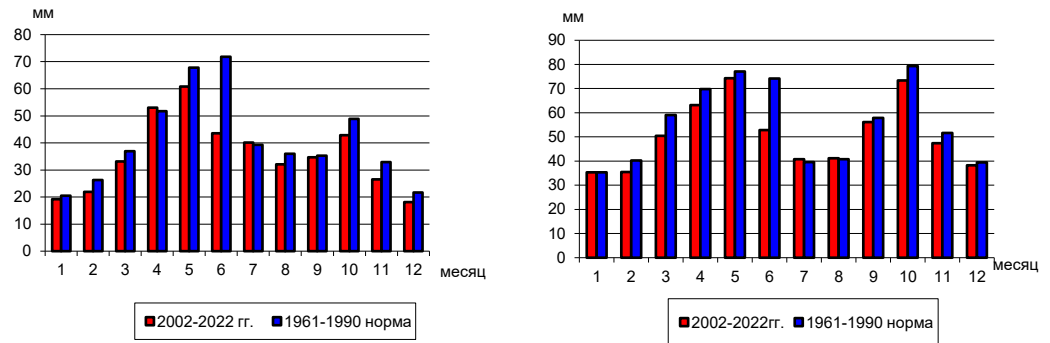


б) 1...200м



в) 201...500м

г) 501...1000м



д) > 1000 м

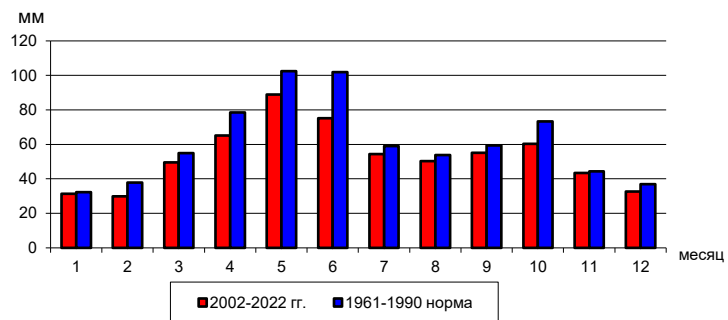


Рисунок 2. Изменение количество осадков по месяцами на разных высотах: а) <0 м, б) 1...200 м, в) 201...500 м, г) 501...1000 м, д) > 1000 м по сравнению с базовым периодом (1961...1990)

Как видно из рисунка 2, в зависимости от высоты над уровнем моря в отдельные месяцы наблюдалось как превышение, так и снижение количества осадков относительно нормы. На высоте <0 м (а) наиболее значительное снижение количества осадков наблюдалось в июне (-17,53 %), в августе (-21,21 %), и по этой высоте увеличилось больше нормы в июле (+29,53 %). На высоте 1–200 м (б) количество осадков по сравнению с нормой снизилось в июне (-31,19 %), и более увеличилась в сентябре (+17,5 %). На высотах 201...500 м (в), несмотря на относительно с нормой высокие показатели в апреле и июле, но более уменьшились в июне (-39,32 %), в ноябре (-19,36 %). Осадки на высотах 501-1000 м (г) были близки к норме в январе (+0,26 %), но уменьшились в другие месяцы, особенно в июне (-28,83 %). На высотах >1000 м (д) во все месяцы, особенно в феврале (-21,13 %), в июне (-26,22 %), в октябре (-17,9 %) количество осадков было ниже нормы.

На рисунке 2, были выбраны высоты, на которых количество осадков наиболее сильно менялось по месяцам, и эти данные были повторно проанализированы на рисунке 3.

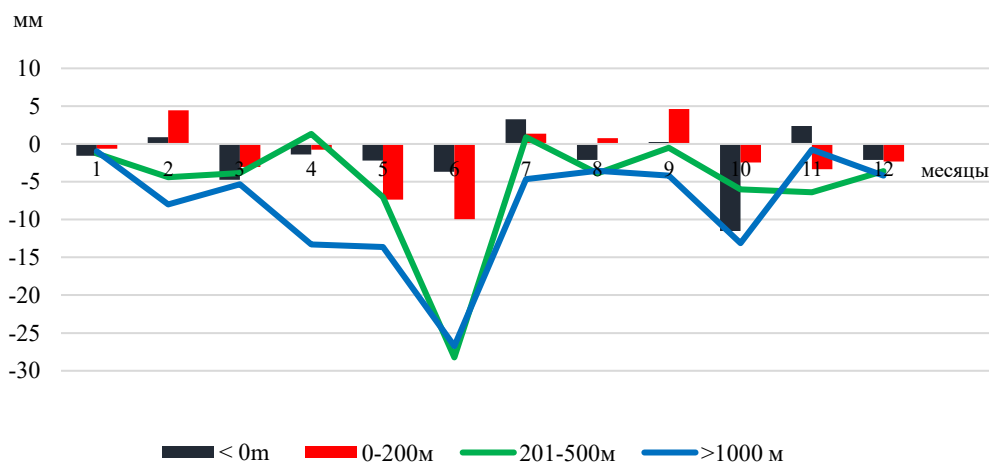


Рисунок 3. Динамика изменения количества осадков по месяцам на разных высотах

В условиях современного потепления климата изменяются термический режим атмосферы и характеристики атмосферной циркуляции, что может оказывать влияние на пространственно-временное распределение осадков. На рисунке 3 показано, что количество осадков уменьшалось в основном на высотах выше 201...500 м и > 1000 м за все месяцы, особенно в июне. Осадки увеличились на высотах ниже <0 м в феврале и в ноябре, на высотах 1...200м в феврале и в сентябре, а на высотах 201...500 м только в апреле. Более заметное уменьшение количества осадков на высотах 201...500 м и выше 1000 м может быть связано с особенностями региональных климатических изменений и трансформацией атмосферной циркуляции в условиях современного потепления климата. Вместе с тем для установления конкретных причин выявленных изменений необходимы дополнительные исследования с использованием данных о циркуляции атмосферы, влажности воздуха, снежном покрове и других климатообразующих факторах. Увеличение количества осадков на отдельных высотах в некоторые месяцы также может быть связано с особенностями атмосферной циркуляции и увеличением повторяемости интенсивных осадков.

На рисунке 4 ниже представлен сравнительный анализ количества многолетних осадков по всей стране для высот < 0 м, 1...200 м, 201...500 м, 501...1000 м и > 1000 м по сравнению с базовым периодом.

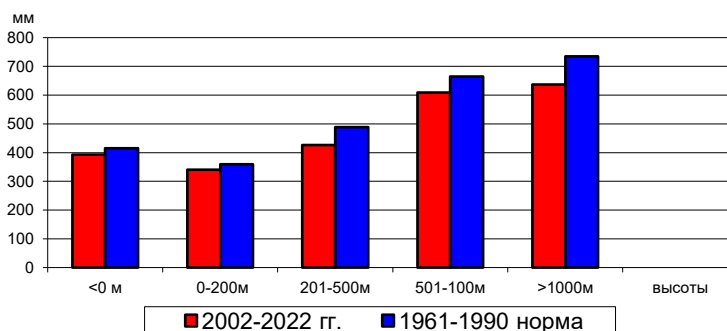


Рисунок 4. Среднее многолетнее годовое количество осадков по высотам в сравнении с базовым периодом по всей стране

Как видно из рисунка 4, хотя среднее многолетнее количество осадков уменьшилось по сравнению с нормой на всех высотах, наибольшее уменьшение наблюдалось на высотах 201...500 м, а еще больше на высотах более 1000 м. Снижение количества осадков составило: на высотах ниже 0 м - 5,43 %, на высотах 0...200 м — 5,02

%, на высотах 201...500 м — 12,86 %, на высотах 501...1000 м — 8,38 %, на высотах более 1000 м — 13,38 %. В течение анализируемого периода наибольший рост температуры воздуха наблюдался на высотах более 1000 м [21]. Одновременно на этих высотах отмечалось наиболее значительное снижение количества осадков. Данная особенность может свидетельствовать о взаимосвязи между изменением температурного режима и режимом увлажнения, однако для установления причинно-следственных связей необходимы дополнительные исследования.

Ниже, на рисунке 5 сравнительный анализ сезонных изменений количества осадков по высотным зонам (а, б, в, г, д) в сопоставлении с базовым периодом.

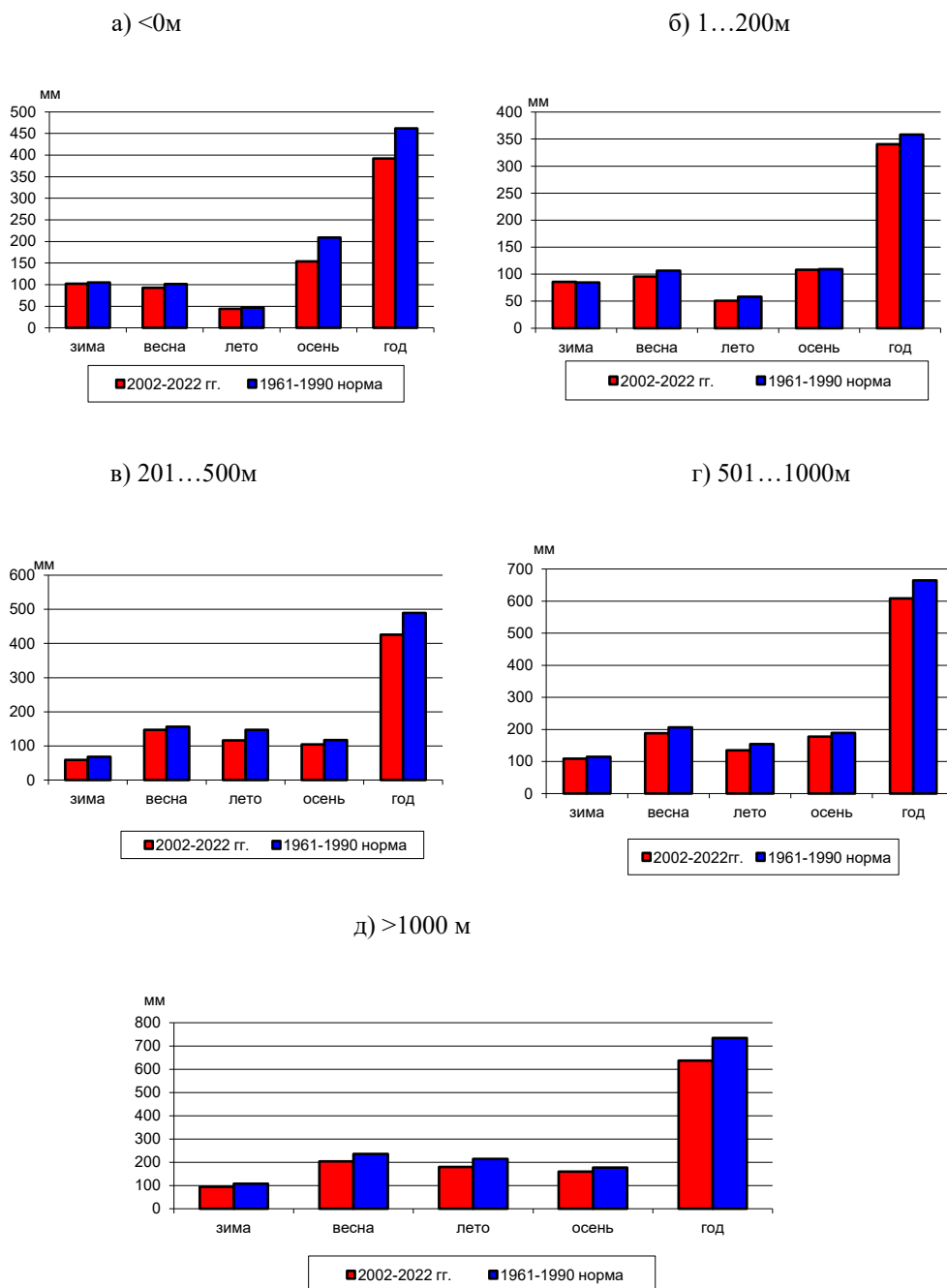


Рисунок 5. Сравнительный график осадков по сезонам с нормой на высотах ниже а) <0 м, б) 1...200 м, в) 201...500 м, г) 501...1000 м, д) > 1000 м

На рисунке 5 показано, что количество осадков по сезонам на всех высотах оказалось ниже нормы. По сравнению с нормой, более значительным количеством осадков уменьшились на высотах <0 м (а) весной (-8,2 %), осенью (-26,57 %), на высотах 1...200 м (б) весной (-10,45 %), летом (-12,14 %), на высотах 201...500 м (в) зимой (-13,45 %), летом (-21,19 %), на высотах 501...1000 м (г) весной (-8,73 %), летом (-12,81 %), на высотах >1000 м (д) весной (-13,66 %), и летом (-16,26 %). На высотах более 1000 м (д) во все сезоны наблюдалось более значительное снижение количества осадков по сравнению с другими высотными зонами. Только на высотах 1...200 м (б) зимой количество осадков было на +1,65 % больше нормы.

На рисунке 6 представлен сравнительный анализ количества осадков по регионам страны в сопоставлении с нормой.

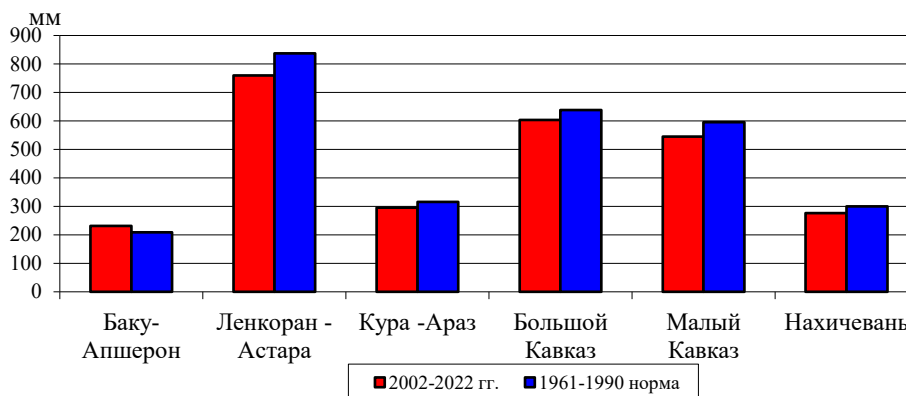


Рисунок 6. Сравнительный график многолетних осадков по регионам в сопоставлении с базовым периодом

Как видно из рисунка 6, в течение многолетнего периода (2002...2022 гг.) количество осадков увеличилось по сравнению с нормой только в Баку-Абшеронском регионе на +10,4 %, уменьшилось в Ленкорань-Астаре -9,28 %, в Кура-Аразской низменности - 6,21 %, на Большом Кавказе - 5,48 %, на Малом Кавказе - 8,52 % и в Нахчыване - 7,81 %. Увеличение количества осадков в Баку-Абшеронском регионе может быть связано с его расположением на побережье Каспийского моря и особенностями региональной атмосферной циркуляции.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В Азербайджане количество многолетних осадков за 2002...2022 гг. уменьшилось на -8,84 % по сравнению с нормой (1961...1990 гг.). За этот многолетний период на территории страны по сравнению с нормой выпало в среднем на -14,81 % меньше осадков в 2014 году, на -21,22 % меньше в 2017 году, на -28,15 % меньше в 2022 году, и на 14,75 % больше в 2016 году.

2. За анализируемый многолетний период количество осадков на всех высотных уровнях было ниже климатической нормы. Наибольшее снижение отмечено на высотах более 1000 м (-13,39 %) и 201...500 м (-12,86 %), наименьшее — на высотах менее 0 м (-5,43 %) и 1...200 м (-5,02 %).

3. За многолетний период количество осадков на анализируемых высотах по всей стране в июне снизилось больше нормы. В июне количество осадков было ниже нормы на высотах 1...200 м (-31,19 %), на высотах 201...500 м (-39,32 %) и на высотах более 1000 м (-26,22 %).

4. В июле количество осадков по всей стране за многолетний период превысило норму на всех высотах, за исключением высот более >1000 м. В июле количество осадков

на высоте ниже <0 м превысило норму на +29,53 %. Увеличение количества осадков в отдельные летние месяцы сопровождалось случаями наводнений и разливов рек.

5. За анализируемый период количество осадков по сезонам было ниже климатической нормы во все времена года. Наиболее значительное снижение отмечено летом (-16,26 %) и весной (-13,66 %), менее выраженное — зимой (-12,31 %) и осенью (-10,22 %).

6. На отдельных высотных уровнях наиболее значительное снижение сезонного количества осадков отмечено на высотах <0 м осенью (-26,57 %), на высотах 201...500 м летом (-21,19 %) и на высотах >1000 м летом (-16,26 %). Лишь на высотах 1...200 м зимой количество осадков превышало климатическую норму на 1,65 %.

7. В региональном разрезе наибольшее снижение количества осадков относительно климатической нормы отмечено в Ленкорань-Астаринском регионе (-10,22 %) и на Малом Кавказе (-9,32 %). В Баку-Абшеронском регионе, напротив, зафиксировано увеличение количества осадков на 10,4 %.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гасанов С.Т., Аллахвердиева Ф.Ф. Глобальные изменения климата: хроника, глобальное потепление, причины возникновения, противоположные точки зрения // Азербайджанская аграрная наука. - 2017. - № 4. - С. 106 - 114. [Азербайджан]
2. Дадашова Ф. С., Мамедова В. И., Аббасова М. А. Влияние изменения климата на термические условия Азербайджана за многолетний период (2002–2022 гг.) // Гидрометеорология и экология. — Казахстан, 2025. — № 2 (117). — С. 18–28.
3. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2014 году. — Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. — 188 с.
4. Somos-Valenzuela M. A., Oyarzún-Ulloa J. E., Fustos-Toribio I. J., Garrido-Urzuа N., Chen N. The mudflow disaster at Villa Santa Lucía in Chilean Patagonia: Understandings and insights derived from numerical simulation and post-event field surveys // Natural Hazards and Earth System Sciences. — 2020. — Vol. 20, issue 8. — Pp. 2319–2333. — DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2319-2020>.
5. Мамедов Г. Ш., Хашимов А. Дж., Хасанов С. Т. Защита окружающей среды от негативного воздействия сельскохозяйственного производства и устойчивое использование природных ресурсов // Сборник научных трудов АЖДМ ЕИБ. — Баку : Эльм, 2016. — Т. XXXV. — С. 19–25.
6. Mammadov J. H. Characteristics of mudflow streams in the Azerbaijan part of the Greater Caucasus // Bulletin of Karaganda University. Series: Biology. Medicine. Geography. — Karaganda, 2024. — Vol. 29, issue 2 (114). — Pp. 133–142. — DOI: <https://doi.org/10.31489/2024BMG2/133-142>.
7. Mahmudov R., Aliyev V., Teymurov M., Gafarov E. Regional climate changes in Azerbaijan and assessment of their impact on 5 water resources with a new method // Reliability: Theory and Applications. — 2024. — Pp. 830–837.
8. Махмудов Р. Н. Анализ региональных изменений климата и речного стока в Азербайджане // География и природные ресурсы: труды Азербайджанского географического общества. — 2024. — № 2 (22). — С. 6–12.
9. Mahmudov R. N., Dadashova F. S. Analysis of temperature, snow, and precipitation regimes in the republic of Azerbaijan (for the multi-year period 2017-2023) // Geography and Natural Resources. — Баку, 2025. — № 1.
10. Cui Lianbiao, Sun Yi, Song Malin, Zhu Lei. Co-financing in the green climate fund: lessons from the global environment facility // Climate Policy. — 2020. — Vol. 20, no. 1. — Pp. 95–108.
11. Tarikhaizer S. A., Nabiyeв G. L. Assessment of mudflow hazard manifestations in Azerbaijan (using the Greater Caucasus as an example) // Sustainable development of mountainous territories. — Vladikavkaz, 2017. — Vol. 9, № 3 (33). — Pp. 257–268.
12. Гребенюк Г. Н., Ходжаева Г. К. Метеорология и климатология: учебно-практическое пособие. — Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2012. — 180 с.
13. Махмудов Р. Н. Опасные гидрометеорологические явления в Азербайджане. — Баку, 2014. — 130 с

14. Махмудов Р. Н. Современные изменения климата и опасные гидрометеорологические явления. — Баку, 2016. — 158 с.
15. Mahmudov R. N. Modern climate changes and dangerous hydrometeorological phenomena. — Baku : National Aviation Academy, 2018. — Vol. 232.
16. Махмудов Р. Н. Региональные изменения климата и опасные гидрометеорологические явления в Азербайджане. — Баку, 2022. — 208 с.
17. Глобальное потепление: Факты, гипотезы, комментарии // Википедия : свободная энциклопедия. — URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 25.03.2026).
18. Dunai M., De Clercq G. Nuclear energy too slow, too expensive to save climate: report // Reuters. — 2019. — 23 Sept. — URL: <https://www.reuters.com> (дата обращения: 26.03.2026).
19. Eastern European nations pave way for Baku to host COP29 // Financial Times. — URL: <https://www.ft.com> (дата обращения: 27.03.2026).
20. UNESCO and UNESCO i—WSSM. (2019)/ Water Security and the Sustainable Development Goals (Series 1). Global Water Security Issues (GWSI) Series, UNESCO Publishing, Paris, 2019, p. 210. [Электронный ресурс]
21. United Nations Framework Convention on Climate Change: official website. — URL: <https://unfccc.int/> (дата обращения: 10.02.2024).
22. COP29 Azerbaijan : official website. — URL: <https://cop29.az/en/home> (дата обращения: 08.12.2024).
23. Турция столкнулась с катастрофой // Страна. Аз : информационный портал. — 2025. — URL: <https://global-info.az> (дата обращения: 25.06.2025).
24. Az Globalinfo.az 2025 [Электронный ресурс]
25. Initial Plan Azerbaijan 2024. — 2024. — P. 176.
26. İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı 2024-2030 / T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. —URL: https://iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fine%20Uyum%20Stratejisi%20ve%20Eylem%20Plan_%202024-2030.pdf (дата обращения: 25.08.2025).
27. National Adaptation Plan (NAP) of Azerbaijan / UNFCCC. — 2024. — URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2024_NAP_Azerbaijan.pdf (дата обращения: 25.03.2026).
28. National Adaptation Plan (NAP) of Israel 2025 / UNFCCC. — 2025. — URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NAP_Israel_2025_ENG.pdf (дата обращения: 25.03.2026).
29. Официальные оперативные данные за 2024–2025 гг. / Национальная гидрометеорологическая служба при Министерстве экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики. — Баку, 2025.

REFERENCES

1. Gasanov, S. T., & Allakhverdieva, F. F. (2017). Global'nye izmeneniya klimata: khronika, global'noe poteplenie, prichiny vozniknoveniya, protivopolozhnye tochki zreniya [Global climate change: chronicle, global warming, causes, and opposing viewpoints]. *Azerbaidzhanskaya agrarnaya nauka*, (4), 106–114.
2. Dadashova, F. S., Mamedova, V. I., & Abbasova, M. A. (2025). Vliyanie izmeneniya klimata na termicheskie usloviya Azerbaidzhana za mnogoletnii period (2002–2022 gg.) [Impact of climate change on thermal conditions of Azerbaijan over a long-term period (2002–2022)]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, (2), 18–28.
3. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya Rossiiskoi Federatsii v 2014 godu [Report on the state and use of agricultural lands in the Russian Federation in 2014]. (2016). Moscow: *FGBNU Rosinformagrotekh*.
4. Somos-Valenzuela, M. A., Oyarzún-Ulloa, J. E., Fustos-Toribio, I. J., Garrido-Urzu, N., & Chen, N. (2020). The mudflow disaster at Villa Santa Lucía in Chilean Patagonia: Understandings and insights derived from numerical simulation and postevent field surveys. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 20(8). 2319–2333. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2319-2020>
5. Guliyeva, S.Yu., Kuchinskaya, I.Ya., Tarikhazer, S.A., & Karimova, E.J. (2019). Natural and anthropogenic factors in hazard assessment of the Al-pine-Himalayan montane ecosystems (at the example of the Azerbaijan Caucasus). *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 72(9), 1227–1233. <https://doi.org/10.7546/CRABS.2019.09.10>
6. Mamedov, G. Sh., Khashimov, A. Dzh., & Khasanov, S. T. (2016). Zashchita okruzhayushchei sredy ot negativnogo vozdeistviya sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva i ustoichivoe ispol'zovanie prirodnikh resursov [Environmental protection from agricultural impacts and sustainable use of natural resources]. In *Sbornik nauchnykh trudov AZhDM EIB*, 35, 19–25). Baku.

7. Mammadov, J.H. (2024) Characteristics of mudflow streams in the Azerbaijan part of the Greater Caucasus. *Bulletin of Karaganda University. Series: Biology. Medicine. Geography.* Karaganda 29(2), 133–142. <https://doi.org/10.31489/2024BMG2/133-142>.
8. Mahmudov R., Aliyev V., Teymurov M., & Gafarov E. (2024) Regional climate changes in Azerbaijan and assessment of their impact on 5 water resources with a new method. *Reliability: Theory and Applications*, 830-837.
9. Makhmudov R.N. (2024) Analiz regional'nykh izmenenii klimata i rechnogo stoka v Azerbaidzhane. *Geografiya i prirodnye resursy. Trudy Azerbaidzhanskogo geograficheskogo obshchestva.* 2 (22), Baku, 6-12.
10. Mahmudov R.N., & Dadashova F.S. (2025) Analysis of temperature, snow, and precipitation regimes in the republic of Azerbaijan (for the multi-year period 2017-2023). *Geography and Natural Resources*, 1.
11. Cui, L., Sun, Yi., Song, Malin., & Zhu, Lei. (2020). "Co-financing in the green climate fund: lessons from the global environment facility". *Climate Policy*, 20 (1), 95–108.
12. Tarikhazer, S.A., & Nabiyev, G.L. (2017) Assessment of mudflow hazard manifestations in Azerbaijan (using the Greater Caucasus as an example). *Sustainable development of mountainous territories.* Vladikavkaz, 9(3), 257–268.
13. Grebenyuk G.N., & Khodzhaeva G.K. (2012) *Meteorologiya i klimatologiya: Uchebno-prakticheskoe posobie.* Nizhnevartovsk: Izd-vo Nizhnevart. gumanit. un-ta, 180.
14. Makhmudov R.N. (2014) Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya v Azerbaidzhane. 130.
15. Makhmudov R.N. (2016) Sovremennye izmeneniya klimata i opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya. 158.
16. Mahmudov R.N. (2018) Modern climate changes and dangerous hydrometeorological phenomena. *National Aviation Academy*, 232.
17. Makhmudov R.N. (2022) Regional'nye izmeneniya klimata i opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya v Azerbaidzhane. 208.
18. Wikipedia contributors. (n.d.). *Global warming: Facts, hypotheses, comments.* In *Wikipedia*. Retrieved March 25, 2026, from https://ru.wikipedia.org/wiki/Глобальное_потепление:_Факты,_гипотезы,_комментарии
19. Dunai, M., & De Clercq, G. (2019, September 23). *Nuclear energy too slow, too expensive to save climate: Report.* Reuters. <https://www.reuters.com>
20. Financial Times. (n.d.). *Eastern European nations pave way for Baku to host COP29.* Retrieved March 27, 2026, from <https://www.ft.com>
21. UNESCO, & UNESCO i-WSSM. (2019). *Water security and the Sustainable Development Goals (Series 1): Global Water Security Issues (GWSI) Series.* UNESCO Publishing, 210.
22. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (n.d.). Retrieved February 10, 2024, from <https://unfccc.int/>
23. COP29 Azerbaijan. (n.d.). Retrieved December 8, 2024, from <https://cop29.az/en/home>
24. Globalinfo.az. (2025). *Турция столкнулась с катастрофой.* Retrieved June 25, 2025, from <https://globalinfo.az>
25. *Initial Plan Azerbaijan 2024.* (2024), Ph 176.
26. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024). *İklim değişikliğine uyum stratejisi ve eylem planı 2024–2030.* Retrieved August 25, 2025, from https://iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fine%20Uyum%20Stratejisi%20ve%20Eylem%20Plan_%202024-2030.pdf
27. United Nations Framework Convention on Climate Change. (2024). *National Adaptation Plan (NAP) of Azerbaijan.* Retrieved March 25, 2026, from https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2024_NAP_Azerbaijan.pdf
28. United Nations Framework Convention on Climate Change. (2025). *National Adaptation Plan (NAP) of Israel 2025.* Retrieved March 25, 2026, from https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NAP_Israel_2025_ENG.pdf
29. National Hydrometeorological Service under the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Azerbaijan. (2025). *Official operational data for 2024–2025.*

2002...2022 ЖЫЛДАР КЕЗЕҢІНДЕ ӘЗІРБАЙЖАН АУМАҒЫНДА ТҮСКЕН ЖАУЫН-ШАШЫН МӨЛШЕРІН ТАЛДАУ

Фарғана С. Дадашова., х.ф.к.

Әзірбайжан Республикасы Экология және табиғи ресурстар министрлігі, Баку, Әзірбайжан; e-mail: hidromet-institut@mail.ru (FSD)

*Автор корреспондент: Фарғана С. Дадашова, e-mail: hidromet-institut@mail.ru.

ТҮЙІН СӨЗДЕР

климаттың өзгеруі,
жауын-шашын режимі,
биіктік бойынша жауын-
шашын, маусымдық жауын-
шашын, көпжылдық цикл

Мақала жайында:

Алынды: 13.04.2026
Қайта қаралды: 05.06.2026
Қабылданды: 22.06.2026
Жарияланды: 01.07.2026

АҢДАТПА

Әзірбайжан Республикасының жер бедері алуан түрлі және күрделі екендігін ескере отырып, оның аумағындағы метеорологиялық жағдайларды зерттеу өзекті мәселе болып табылады. Бұл мақалада 2002...2022 жылдар аралығындағы көпжылдық кезеңде ел бойынша әртүрлі биіктіктегі және әртүрлі аймақтардағы жауын-шашын мөлшері талданады. Осы көпжылдық кезеңде жауын-шашын ел бойынша біркелкі бөлінбеді, кейбір жылдары базистік жылға қарағанда жауын-шашын көп, ал басқаларында аз түседі. Талданатын ұзақ мерзімді кезеңде республика бойынша жауын-шашынның орташа мөлшері базистік жылмен (1961...1990 ж.ж.) салыстырғанда -8,84 %-ға төмендеді, айлармен салыстырғанда жауын-шашын мөлшері шілдеде барлық биіктікте, сонымен қатар >1000 м биіктіктен басқа 0...200 м биіктікте ақпан мен қыркүйекте өсті. Өңірлер бойынша ең аз жауын-шашын базалық көрсеткішпен салыстырғанда Лэнкаран-Астара аймағында (-10,22 %) және Кіші Кавказда (-9,32 %) байқалды, ал Баку-Абшерон аймағында +10,4 %-ға өсім тіркелді. Республика бойынша барлық маусымда, әсіресе көктем мен жазда жауын-шашын азайды. Осы көпжылдық кезеңде 2022 жылы жауын-шашын аз (-28,15 %) және 2016 жылы базалық жылмен салыстырғанда көбірек түсті. 2016 жылы жауын-шашын мөлшері базалық жылмен салыстырғанда +23,11 %-ға көп болса, 2017 жылы -21,22 %-ға төмендеген.

ANALYSIS OF THE AMOUNT OF PRECIPITATION RECORDED IN THE TERRITORY OF AZERBAIJAN OVER THE MULTI-YEAR PERIOD 2002...2022

F.S. Dadashova, Candidate of Chemical Sciences

Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Azerbaijan; hidromet-institut@mail.ru.

*Author correspondent: hidromet-institut@mail.ru.

KEY WORDS

climate change
precipitation regime
precipitation by altitude
seasonal precipitation
multi-year period

About article:

Received: 13.04.2026
Revised: 05.06.2026
Accepted: 22.06.2026
Published: 01.07.2026




ABSTRACT

The presented article analyzes the precipitation regime of different altitudes and regions for the multi-year period on 2002...2022 in the territory of country. The amount of the precipitation in the country over this multi-year period decreased by 8.84 % in comparison with the norm (1961...1990 y.y.). At altitudes below 0 m the quantity of the precipitation decreased by -5.43 % in comparison with the norm, at 0-200 m -5.06 %, at 201-500 m -12.86 %, at 501-1000 m -8.38 %, at above >1000 m -13.39 %, and in July it increased at all altitudes except of >1000 m. By regions, in comparison with the norm, the least precipitation fell in Lankaran-Astara (-10.22 %), and in the Lesser Caucasus (-9.32 %), while in the Baku-Absheron region it increased by +10.4 %. The precipitation decreased in all seasons over the country. In comparison with the autumn, it decreased more in the winter season (-12.31 %), spring season (-13.66 %), and summer season (-16.26 %). In 2014 the country received -14.81 %, in 2017 -21.22 %, in 2022 -28.15 % less precipitation than the norm, and in 2016 +14.75 % more precipitation than the norm.

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



АЛМАТЫ МЕН ҚАПШАҒАЙДЫҢ ТУРИСТІК КЛИМАТТЫҚ ИНДЕКСІН БАҒАЛАУ

Айкерім Ж. Керімқұл^{1*} , Айман С. Нысанбаева¹  г.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Азамат С. Мадібеков²  PhD, қауымдастырылған профессор.

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; kerimkul_aigerim@mail.ru, ayman.Nysanbaeva@kaznu.edu.kz (АЖК), (АСН)

²«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; madibekov@mail.ru (АСМ)

*Автор корреспонденциясы: Айкерім Ж. Керімқұл, kerimkul_aigerim@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

туризм, климат, туристік климаттық индекс (ТСІ), биоклимат, маусымдылық, Алматы, Қапшағай

АБСТРАКТ

Туристік климаттық индекс (Tourism Climate Index – TCI) белгілі бір аумақтың туризм үшін климаттық қолайлылығын кешенді түрде бағалауға мүмкіндік беретін маңызды биоклиматтық көрсеткіш болып табылады. Бұл индекс температура, салыстырмалы ылғалдылық, жауын-шашын мөлшері, жел жылдамдығы және күн сәулесінің ұзақтығы сияқты негізгі метеорологиялық факторларды біріктіре отырып, климаттық жағдайлардың туристік рекреацияға әсерін сандық түрде сипаттайды.

Осы зерттеуде Алматы қаласы мен Қапшағай өңірінің туристік климаттық жағдайлары ТСІ әдістемесі негізінде бағаланды. Зерттеу 1978...2020 жылдар аралығын қамтып, екі кезең бойынша қарастырылды: 1978...1998 және 1999...2020 жылдар. Есептеулер айлық метеорологиялық деректер негізінде жүргізіліп, екі кезең арасындағы климаттық қолайлылықтың өзгеру үрдістері салыстырмалы түрде талданды.

Зерттеу нәтижелері екі аумақта да климаттық жайлылықтың айқын маусымдық сипаты бар екенін көрсетті. Алматы қаласында туристік климаттық жағдайлар көктем мен күз айларында анағұрлым қолайлы болып, әсіресе сәуір және қыркүйек айларында ТСІ көрсеткіштері жоғары мәндерге жетеді. Жаз мезгілінде жоғары температура климаттық жайлылық деңгейінің біршама төмендеуіне әсер етеді. Қапшағай өңірінде туристік климаттық жағдайлардың маусымдық сипаты Алматымен ұқсас болып, жаз айларындағы ТСІ көрсеткіштері екі аумақта да шамалас деңгейде байқалады.

Салыстырмалы талдау нәтижелері Алматыда соңғы кезеңде климаттық жайлылық деңгейінің аздап төмендеу үрдісі байқалатынын, ал Қапшағайда индекс мәндерінің салыстырмалы тұрақтылығы сақталғанын көрсетті. Жалпы алғанда, екі өңірде де туристік климаттық жағдайлар «қанағаттанарлық» деңгейде бағаланды. Зерттеу нәтижелері климаттық факторларды ескере отырып туризмді аумақтық жоспарлау, туристік маусымдарды тиімді ұйымдастыру және тұрақты туризм стратегияларын қалыптастыру үшін маңызды ғылыми негіз болып табылады.

Мақала жайында:

Жіберілді: 29.04.2026

Қайта қаралды: 22.05.2026

Қабылданды: 18.06.2026

Жарияланды: 01.07.2026

Дәйексөз үшін:

Керімқұл А., Нысанбаева А., Мадібеков А., Алматы мен Қапшағайдың туристік климаттық индексін бағалау // Гидрометеорология және экология, 122 (2), 2026, 101-113.

1. КІРІСПЕ

Соңғы жылдары көптеген зерттеушілер ауа райы мен климаттың қазіргі өзгерістерін, олардың адамның тіршілік әрекеті мен денсаулығына әсерін зерттеуге ерекше көңіл бөлуде. Климат туризмнің көптеген түрлері үшін негізгі ресурс болып табылады және осы тұрғыдан алғанда оны өлшеп, бағалауға болады. Бұл міндетті шешу үшін индекс тәсілі қажет, себебі ауа райы құбылыстарының табиғаты көпқырлы және климаттың қоршаған орта үшін маңызын айқындайтын метеорологиялық айнымалыларды біріктіру тәсілдері күрделі [1].

Адам мен климаттық жағдайлардың өзара әрекеттестігі – биоклиматологияның қарқынды дамып келе жатқан бағыттарының бірі. Бұл сала физикалық география, экология, климатология, биометеорология, экологиялық климатология, медициналық география бағыттарындағы көптеген еңбектерде қарастырылған [2].

Көп жағдайда қоршаған ортаның климаттық-экологиялық жағдайы адамның өмір сүру ерекшеліктерін айқындайды. Осыған байланысты қоршаған орта компоненттерін сапалық және сандық тұрғыдан бағалауға деген сұраныстың артуы белгілі бір аумақта биоклиматтық құбылыстардың кеңістіктік-уақыттық таралуын зерттеудің өзектілігін көрсетеді. Метеорологиялық факторлардың адам ағзасына әсері түрлі температуралық шкалалар мен индекстер негізінде есептеу және талдау арқылы анықталады. Биоклиматтық индекстер ортаның жылулық жағдайын физикалық тұрғыдан сипаттайды және адамның жылулық күйінің жанама көрсеткіші болып табылады. Туристік климатология саласындағы көптеген зерттеулерге сәйкес, аймақтық ерекшеліктер, соның ішінде көрнекі факторлар, физикалық орта және жылулық жайлылық туризм үшін маңызды [3].

Ең жиі қолданылатын көрсеткіштер – метеорологиялық факторлардың кешені болып табылатын кешенді биоклиматтық индекстер. Климаттық жайлылықты талдау өнеркәсіптік-аграрлық кешені дамыған, сондай-ақ тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық нысандары орналасқан аймақтар үшін де маңызды [4].

Рекреация мақсатында биометеорологиялық жағдайларды бағалау, әдетте, негізгі метеорологиялық деректерге, климат пен туризм индекстеріне немесе биометеорологиялық индекстерге негізделеді [5].

Аумақтың биоклиматы – адамның жайлылық сезіміне, көңіл-күйіне, жұмысқа қабілеттілігіне және жалпы денсаулығына әсер ететін маңызды табиғи ресурс. Метеорологиялық жағдайлардың өзгерістерінің бейімделу механизмдеріне ықпалын анықтау арқылы қоршаған орта сапасының нашарлауы жағдайында адам денсаулығын сақтау мәселесін шешуге болады. Осыған байланысты өңірлік деңгейде биоклиматтық жағдайларды бағалау және аумақтық жіктеу бағытындағы зерттеулер ерекше маңызға ие.

Биоклиматтық бағалау – әртүрлі климаттық факторлар мен олардың кешендерінің адам ағзасына оң және теріс әсерін анықтау арқылы аумақтың медициналық-климаттық әлеуетін айқындау, ландшафттық-климаттық жағдайларды денсаулық сақтау мен рекреация мақсатында ұтымды пайдалану мүмкіндігін көрсету болып табылады [6].

Туризм саласы климаттық жағдайларға тікелей тәуелді экономикалық бағыттардың бірі болып табылады. Климат демалыс маусымының ұзақтығын, туристердің жайлылығын және туристік ағымның маусымдық ауытқуын анықтайды. Осыған байланысты туристік климат ресурстарын сандық тұрғыда бағалау қажеттілігі туындап, климаттық индекстер жүйесі қалыптасты.

Туристік климат индексі (Tourism Climate Index – TCI) ұғымы алғаш рет поляк ғалымы З. Мечковский тарапынан енгізілді [7]. Ол климаттың туристік қолайлылығын бағалау үшін бес негізгі компонентті (температура, ылғалдылық, жауын-шашын, жел және күн сәулесі) пайдаланып, әр аймаққа арналған балдық көрсеткіш жүйесін ұсынды. Бұл әдістеме арқылы әлемнің түрлі бөліктерінің туризмге климаттық жарамдылығы салыстырмалы түрде бағалануға мүмкіндік берілді.

Кейінгі жылдары TCI индикаторы әртүрлі географиялық және климаттық аймақтарда кеңінен қолданылды. Мысалы, Amelung, Viner [8] еңбегінде Жерорта теңізі аймағындағы туризмнің болашағы климаттың өзгеру сценарийлері негізінде бағаланған. Ал Scott, McBoyle және Schwartzenuber [9] Солтүстік Америка мысалында TCI арқылы климаттық ресурстардың таралуын талдап, туризм маусымдарының ығысу мүмкіндігін көрсеткен. Сондай-ақ Perch-Nielsen және әріптестері [10] Еуропа елдерінде туризмге арналған климаттық ресурстарды күндік көрсеткіштер негізінде жетілдірілген TCI әдісімен есептеген.

Зерттеудің мақсаты- Алматы қаласы мен Қапшағай өңірінің туристік климаттық ресурстарын Tourism Climate Index (TCI) әдістемесі негізінде кешенді бағалау және олардың уақыт ішіндегі өзгеріс үрдістерін анықтау. Сонымен қатар зерттеу барысында екі аумақтың маусымдық климаттық жайлылық ерекшеліктерін салыстыру, туризм үшін

ең қолайлы кезеңдерді айқындау және климаттық өзгерістердің туристік әлеуетке ықпалын бағалау көзделеді.

Зерттеудің нысаны – Алматы қаласы мен Қапшағай өңірінің туристік климаттық жағдайлары.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Алматы қаласы Іле Алатауының солтүстік беткейінде орналасқан, табиғи-климаттық жағдайлары алуан түрлі, рекреациялық және танымдық туризм кең дамыған аймақ болып табылады. Қапшағай өңірі Іле өзені бойында орналасқан, су қоймасы негізінде қалыптасқан жағажайлық және демалыс туризмімен ерекшеленеді.

Аталған аумақтар климаттық ерекшеліктері бойынша бір-бірінен айырмашылық жасайды, сондықтан оларды салыстырмалы түрде зерттеу туристік климат ресурстарының аймақтық айырмашылықтарын анықтауға мүмкіндік береді.

Метеорологиялық деректер Қазақстан Республикасының "Қазгидромет" мекемесі ұсынған ресми бақылаулар негізінде алынды. Алматы және Қапшағай метеорологиялық станциялары бойынша 1978...2020 жылдар аралығындағы айлық орташа ауа температурасы, салыстырмалы ылғалдылық, жауын-шашын мөлшері, жел жылдамдығы және күн сәулесінің ұзақтығы деректері пайдаланылды [11].

Уақыттық қатарлардағы климаттық көрсеткіштердің өзгеріс үрдісін анықтау үшін Манн-Кендалл (Mann-Kendall) параметрлік емес статистикалық тесті қолданылды. Бұл әдіс климаттық айнымалылардың бағытталған трендтерін (өсу немесе төмендеу) анықтауға мүмкіндік береді және климаттық сериялардың монотондылығын бағалауда жиі қолданылады. Тест нәтижесінің $p < 0,05$ мәні трендтің статистикалық тұрғыдан маңызды екенін көрсетеді [12].

Алматы мен Қапшағай климатының туристерге қаншалықты қолайлы екендігін анықтау үшін, аймақтың климаттық индексіне бағалау жүргізілді.

Tourism Climate Index (TCI) әдістемесі - туристік климаттық жағдайларды кешенді бағалау үшін қолданылатын биоклиматтық көрсеткіш. Бұл әдіс туризмге әсер ететін климаттың бес негізгі элементін (күндізгі және тәуліктік температура, салыстырмалы ылғалдылық, жауын-шашын, жел жылдамдығы және күн сәулесі) біріктіреді және әрқайсысына салмақтық коэффициент арқылы баға береді [7]. Индекс мәні 0...100 аралығында өзгереді және климаттың туризм үшін қолайлылық деңгейін сипаттайды (0 – қолайсыз, 100 – мінсіз). Бұл индексті канадалық биометеоролог З. Мечковский 1985 жылы жасаған болатын. Ол алғаш рет рекреанттарға ауа райының әсерін бағалау үшін физиологиялық жайлылық диапазонын қолданған. Физиологиялық жайлылық диапазонын талдай келе, туристік климаттық индексті (ТКИ) есептеудің формуласын ұсынған болатын:

$$ТКИ = 2*(4*КТси + ТТси + 2ЖШси + 2Кси + Жси) \quad (1)$$

мұндағы: ТКИ – туристік климаттық индекс; КТси – күндізгі температуралық суб-индекс, баллмен; ТТси – тәуліктік температуралық субиндекс, баллмен; ЖШси – жауын-шашын субиндексі, баллмен; Кси – күн суб-индексі, баллмен; Жси – жел суб-индексі, баллмен.

TCI (Tourism Climate Index) индексін есептеу барысында З. Мечковский ұсынған 7 негізгі метеорологиялық көрсеткіш пайдаланылады. Әрбір көрсеткіш туристік жайлылық деңгейін бағалауға бағытталған және арнайы субиндекстер арқылы есептеледі. TCI индексін анықтау кезінде метеорологиялық көрсеткіштердің есептелу ерекшеліктері төмендегідей:

1. Жоғарғы тәуліктік температура – күндізгі уақыттағы максималды ауа температурасы негізінде бағаланады. Бұл көрсеткіш адамның күндізгі туристік белсенділік кезіндегі жылулық жайлылығын сипаттайды.

2. Төменгі тәуліктік салыстырмалы ылғалдылық – тәуліктегі ең төменгі салыстырмалы ылғалдылық мәні есепке алынады. Ол жоғары температура жағдайында адамның жайлылық сезіміне әсер етеді.

3. Орташа тәуліктік температура – тәуліктік орташа ауа температурасының мәні арқылы анықталады және жалпы климаттық қолайлылықты бағалауға қолданылады.

4. Орташа тәуліктік салыстырмалы ылғалдылық – тәуліктегі орташа ылғалдылық деңгейі негізінде есептеледі. Бұл көрсеткіш адамның физиологиялық жайлылығына ықпал етеді.

5. Жауын-шашын мөлшері – белгілі бір кезеңдегі жауын-шашын көлемі ескеріледі. Жауын-шашынның көп болуы туристік белсенділікті төмендететін фактор ретінде қарастырылады.

6. Күн сағаттарының саны – күн сәулесінің ұзақтығы анықталады. Күн сәулесінің көп болуы туристік тартымдылықты арттыратын оң фактор болып саналады.

7. Желдің орташа жылдамдығы – желдің орташа тәуліктік жылдамдығы есептеледі. Қатты жел туристік жайлылықты төмендетуі мүмкін.

Барлық суб-индекстер 5 баллға дейінгі шкала бойынша бағаланады. 1 кесте бойынша әр көрсеткішке балл беру арқылы және туристік климаттық индекс формуласына қойып, есептеу арқылы аймақтың туристік климаттық жағдайын байқауға болады. Соңында шыққан жалпы мән бойынша климаттың қаншалықты қолайлылығын, жайлылығын анықтауға болады. 2 кестеде туристік климаттық индекстің сипаттамалары берілген.

Кесте 1

Туристік климаттық индекс үшін суб-индекстердің баллдық шкаласы

Баллдар	Ауаның эффективті температурасы (КТси/ТТси)	Жауын-шашынның мөлшері (ЖШси)	Күн сағаттарының саны (Кси)	Жел жылдамдығы (Жси)		
				Ең жоғарғы күндізгі ауа температура сы 15-тен 24-ке дейін	Ең жоғарғы күндізгі ауа температурасы 24-тен жоғары	Ыстықта (30-дан жоғары)
5,0	20...27	0...14,9	10-нан артық	2,88-ден кем	12,24...19,79	
4,5	19...20; 27...28	15...29,9	9...10	2,88...5,75		
4	18...19; 28...29	30...44,9	8...9	5,76...9,03	9,04...12,23; 19,80...24,29	
3,5	17...18	45...59,9	7...8	9,04...12,23		
3	15...17	60...74,9	6...7	12,24...19,79	5,76...9,03; 24,30...28,79	
2,5	10...15	75...89,9	5...6	19,80...24,29	2,88...5,75	
2	5...10	90...104,9	4...5	24,30...28,79	2,88-ден кем; 28,8...38,52	2,88-ден кем
1,5	0...5	105...119,9	3...4			2,88...5,75
1	-5...0	120...134,9	2...3	28,8...38,52		5,76...9,03
0,5		135...149,9	1...2			9,04...12,23
0,25						
0	-10...-5	150-ден артық	1-ден кем	38,52-ден артық	12,24-тен артық	12,24-тен артық

Кесте 2

Туристік климаттық индекстің сипаттамасы

ТКИ	ТКИ сипаттамасы
90...100	Мінсіз
80...89	Керемет
70...79	Өте жақсы
60...69	Жақсы
50...59	Қанағаттанарлықтай
40...49	Жеткіліксіз жайлы
30...39	Жеткіліксіз
20...29	Нашар
10...19	Өте нашар
0...10	Жоқ

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Алматы және Қапшағай метеорологиялық станциялары бойынша климат өзгерісін бағалау. Соңғы онжылдықтарда Қазақстан Республикасында климаттың өзгеру тенденцияларын отандық және шетелдік ғалымдар түрлі экономикалық салаларды ескере отырып зерттеп келеді. Зерттеулер көрсеткендей, Қазақстанның бүкіл аумағында, соның ішінде зерттеліп отырған өңірде де орташа жылдық ауа температурасының артуы байқалады. Деректерге сәйкес, Қазақстанда орташа жылдық ауа температурасы әр 10 жыл сайын шамамен 0,32 °C-қа жоғарылаған.

1978...2020 жылдар аралығында Алматы және Қапшағай метеорологиялық станциялары бойынша ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашын көрсеткіштерінің трендтері бағаланды. Талдау Манн–Кендаллдың параметрлік емес статистикалық әдісі негізінде жүргізілді. Есептеулер R бағдарламасында *mk.test* функциясын қолдану арқылы, маңыздылық деңгейі $\alpha = 0,05$ (95 % сенімділік деңгейі) бойынша орындалды. 3 кестеде Алматы және Қапшағай бойынша ауа температурасы бойынша Манн–Кендалл тест нәтижелері берілген.

Кесте 3

Алматы және Қапшағай бойынша ауа температурасы бойынша Манн–Кендалл тест нәтижелері (1978...2020 жж.)

	Test Z	Signific	Q	Test Z	Signific	Q
	Алматы			Қапшағай		
Қаңтар	1,59		0,06	0,97		0,04
Ақпан	1,83	+	0,07	1,29		0,05
Наурыз	3,93	***	0,14	3,12	**	0,12
Сәуір	2,09	*	0,05	1,64		0,04
Мамыр	3,19	**	0,06	1,25		0,03
Маусым	3,58	***	0,05	1,59		0,02
Шілде	2,93	**	0,04	-0,64		-0,01
Тамыз	3,20	**	0,05	1,34		0,02
Қыркүйек	2,35	*	0,05	0,49		0,00
Қазан	2,42	*	0,05	0,88		0,02
Қараша	0,72		0,03	0,06		0,00
Желтоқсан	-1,21		-0,03	-1,67	+	-0,07
Жыл	4,81	***	0,05	2,15	*	0,02

Mann-Kendall test of significance Level *** - 99,9%; ** - 99%; * - 95%; + -90%

*Q - Sen's slope coefficient.

Манн-Кендалл тестінің нәтижелері Алматы станциясында ауа температурасының айқын оң трендін көрсетті. Ең жоғары статистикалық маңызды өсу наурыз ($Z = 3.93$), маусым ($Z = 3.58$) және жылдық қатарда ($Z = 4.81$) байқалды. Sen's slope коэффициенттері температураның барлық маусымдарда негізінен оң бағытта өзгергенін көрсетті. Қапшағай станциясында да температураның өсу үрдісі байқалғанымен, статистикалық маңыздылығы Алматымен салыстырғанда әлсіздеу болды. Ең айқын оң тренд наурыз айында анықталды ($Z = 3.12$). Жалпы жылдық қатар бойынша да температураның сенімді өсуі байқалды ($Z = 2.15$; $p < 0.05$). Алматыдағы трендтердің күштірек байқалуы урбандалу әсерімен, тауалды рельефімен және қала микроклиматының ерекшеліктерімен байланысты болуы мүмкін. Ал Қапшағайда су қоймасының климатты жұмсартушы әсері температура ауытқуларының салыстырмалы тұрақтылығына ықпал етеді. 4 кестеде Алматы және Қапшағай бойынша жауын-шашын бойынша Манн-Кендалл тест нәтижелері келтірілген.

Кесте 4

Алматы және Қапшағай бойынша жауын-шашын бойынша Манн-Кендалл тест нәтижелері (1978...2020 жж.)

	Test Z	Signific	Q	Test Z	Signific	Q
	Алматы			Қапшағай		
Қаңтар	0,47		0,12	1,90	+	0,19
Ақпан	0,84		0,16	2,75	**	0,27
Наурыз	-0,21		-0,07	0,67		0,09
Сәуір	0,62		0,48	-0,09		-0,02
Мамыр	-1,76	+	-1,04	0,89		0,24
Маусым	-0,76		-0,26	0,06		0,02
Шілде	-0,43		-0,12	0,46		0,14
Тамыз	1,52		0,44	1,17		0,12
Қыркүйек	0,96		0,23	0,23		0,03
Қазан	-0,95		-0,40	-1,34		-0,25
Қараша	-0,25		-0,07	0,46		0,09
Желтоқсан	0,42		0,08	1,26		0,18
Жыл	-0,23		-0,03	0,69		0,07

Mann-Kendall test of significance Level *** - 99,9%; ** - 99%; * - 95%; + -90%

*Q - Sen's slope coefficient.

Жауын-шашын мөлшерінің уақыттық қатарларын Манн-Кендалл тесті арқылы талдау Алматы және Қапшағай станцияларында айқын статистикалық маңызды ұзақ мерзімді трендтің жоқ екенін көрсетті. Жылдық қатарлар бойынша екі станцияда да $p > 0.05$ болғандықтан, жауын-шашын мөлшерінің өзгерісі статистикалық тұрғыдан маңызды емес деп бағаланды.

Жалпы алғанда, зерттелген кезеңде климаттық өзгерістердің негізгі көрсеткіші ретінде ауа температурасының өсуі басым байқалды, ал жауын-шашын мөлшерінде тұрақты бағытталған өзгеріс анықталған жоқ. Осылайша, зерттелетін кезеңде Алматы және Қапшағай станцияларында климаттық өзгерістердің негізгі ерекшелігі – ауа температурасының сенімді артуы болып табылады, ал жауын-шашын мөлшерінде айқын бағытталған өзгеріс анықталған жоқ.

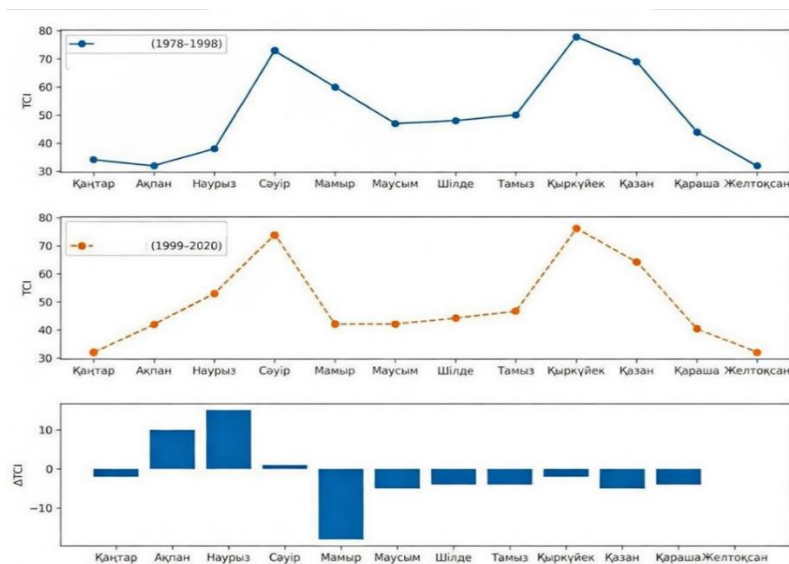
Жоғарыда келтірілген нәтижелерге сәйкес, зерттелетін аумақта ауа температурасының тұрақты артуы және жауын-шашын мөлшерінің айқын өзгерісінің болмауы туризм саласына тікелей әсер ететін маңызды факторлар болып табылады. Климаттық жағдайлардың адамға қолайлылық деңгейін бағалау мақсатында Туристтік климаттық индекс (Tourism Climate Index) кеңінен қолданылады.

Туристтік климаттық индекс ауа температурасы, салыстырмалы ылғалдылық, жауын-шашын мөлшері, жел жылдамдығы және күн сәулесінің ұзақтығы сияқты негізгі метеорологиялық көрсеткіштерді кешенді түрде бағалауға мүмкіндік береді. Бұл

көрсеткіштер туристер үшін қолайлы немесе қолайсыз климаттық жағдайларды анықтауда маңызды рөл атқарады. Алматы және Қапшағай өңірлері үшін температураның жоғарылауы жаз мезгілінде туристік жайлылық деңгейінің төмендеуіне әкелуі мүмкін, әсіресе аптап ыстық кезеңдерде. Ал көктем мен күз мезгілдерінде ауа температурасының жұмсаруы, керісінше, туризм үшін қолайлы жағдай қалыптастыруы ықтимал. Жауын-шашын мөлшерінің айтарлықтай өзгермеуі туристік белсенділікке күрт әсер етпейді, алайда оның маусымдық таралуы маңызды фактор ретінде қарастырылады.

Осылайша, туристік климаттық индексті есептеу Алматы мен Қапшағай өңірлерінде жыл мезгілдері бойынша туризмнің қолайлылық деңгейін бағалауға, сондай-ақ климаттық өзгерістердің рекреациялық әлеуетке әсерін анықтауға мүмкіндік береді.

Туристік климаттық индекс (ТСІ) бойынша жүргізілген есептеулер Алматы және Қапшағай өңірлерінің климаттық жағдайлары туризм үшін маусымдық тұрғыдан әртүрлі қолайлылық деңгейін көрсететінін анықтады. Есептеу нәтижелері екі кезең бойынша (1978...1998 және 1999...2020 жж.) талданып, аймақтардың туристік климаттық әлеуетіндегі өзгерістер бағаланды (сурет 1). Нәтижелер климаттық жайлылықтың жыл мезгілдеріне байланысты айқын айырмашылықтарын көрсетеді.



Сурет 1. Алматы бойынша туристік климаттық индекс (ТСІ) мәндері екі кезең бойынша (1978...1998 және 1999...2020 жж.) өзгерісі

Алматы бойынша туристік климаттық индекс (ТСІ) мәндері екі кезең бойынша (1978...1998 және 1999...2020 жж.) талданды. Нәтижелер климаттық жайлылықтың маусымдық өзгерісі айқын екенін көрсетті.

Бірінші кезеңде (1978...1998 жж.) көктем және күз айларында туристік климаттық жағдайлардың салыстырмалы түрде қолайлы екені байқалды. Әсіресе сәуір және қыркүйек айларында ТСІ көрсеткіштері жоғары болып, бұл кезеңдер туризм үшін ең қолайлы уақыт ретінде анықталды. Жаз айларында температураның жоғарылауына байланысты индекс мәні біршама төмендеп, климаттық жайлылық деңгейі орташа деңгейде бағаланды. Қыс айларында төмен температура мен күн радиациясының аз болуы ТСІ көрсеткіштерінің төмен болуына әсер етті.

Екінші кезеңде (1999...2020 жж.) де жалпы маусымдық заңдылық сақталғанымен, кейбір айларда индекс мәндерінің өзгерісі байқалады. Көктем және күз мезгілдері бұрынғыдай туризм үшін қолайлы кезең болып қала береді. Алайда жаз айларында жоғары температураның жиі байқалуы туристік климаттық жайлылықтың аздап төмендеуіне әсер еткен. Қыс айларында да индекс мәндері төмен деңгейде қалып отыр.

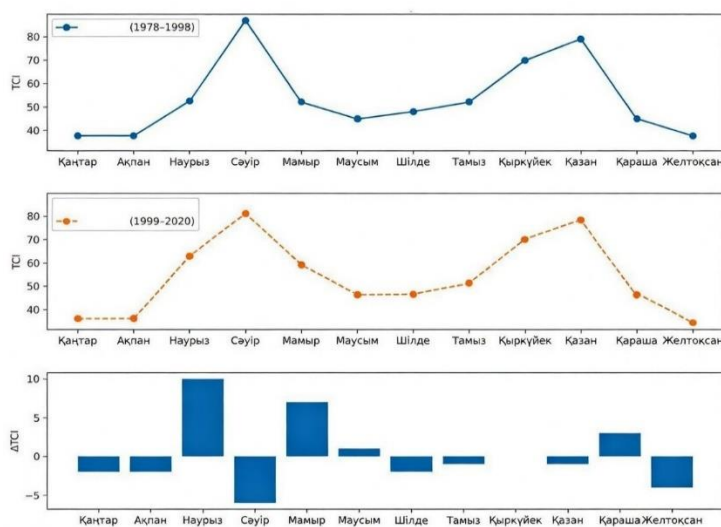
Жалпы алғанда, Алматы қаласында туристік климаттық жағдайлардың ең қолайлы кезеңдері көктемнің ортасы мен күздің басы болып табылады. Әсіресе сәуір

және қыркүйек айлары туристік рекреация үшін климаттық тұрғыдан ең қолайлы уақыт ретінде анықталды. Қапшағай бойынша туристік климаттық индекс (ТСІ) мәндері екі кезең бойынша (1978–1998 және 1999–2020 жж.) өзгерісі көрсетілген (сурет 2).

Қапшағай өңірі бойынша туристік климаттық индекс (ТСІ) көрсеткіштері екі кезең бойынша (1978...1998 және 1999...2020 жж.) талданды. Есептеу нәтижелері климаттық жағдайлардың маусымдық өзгерісі айқын байқалатынын және жылдың әр мезгілінде туристік қолайлылық деңгейі әртүрлі болатынын көрсетті.

Бірінші кезеңде (1978...1998 жж.) Қапшағайда туристік климаттық жағдайлар көктемнің соңында және жаз мезгілінде салыстырмалы түрде қолайлы болғаны байқалады. Әсіресе мамыр, маусым және қыркүйек айларында ТСІ көрсеткіштері жоғары болып, бұл кезеңдер рекреациялық демалыс пен жағажай туризмі үшін тиімді уақыт болып табылады. Жаз айларында ауа температурасының жоғары болуы кей жағдайларда климаттық жайлылық деңгейін аздап төмендеткенімен, су айдынының әсері климаттың жұмсақ болуына ықпал етеді. Қыс мезгілінде төмен температура мен күн сәулесінің аздығына байланысты индекс мәндері төмен деңгейде байқалады.

Екінші кезеңде (1999...2020 жж.) жалпы маусымдық заңдылық сақталғанымен, кейбір айларда климаттық жағдайлардың өзгерісі байқалады. Жаз мезгілінде ауа температурасының жоғарылауы туристік климаттық жайлылықтың аздап төмендеуіне әсер етуі мүмкін. Дегенмен су қоймасының әсерінен Қапшағайда жаз айларындағы климат Алматыға қарағанда біршама тұрақты және жағажайлық туризм үшін қолайлы болып қала береді. Көктем және күз айларында да индекс мәндері салыстырмалы түрде жоғары деңгейде сақталған.



Сурет 2. Қапшағай бойынша туристік климаттық индекс (ТСІ) мәндері екі кезең бойынша (1978...1998 және 1999...2020 жж.) өзгерісі

Жалпы алғанда, екі кезеңді салыстырмалы талдау Қапшағай өңірінің туристік климаттық жағдайлары маусымдық тұрғыдан тұрақты екенін көрсетті. Әсіресе көктемнің соңы мен күздің басы туристік демалыс үшін ең қолайлы кезеңдер ретінде анықталды.

Алматы қаласы мен Қапшағай өңірінің туристік климаттық индексі (ТСІ) нәтижелерін салыстырмалы талдау екі аумақта климаттық жайлылықтың маусымдық ерекшеліктері ұқсас болғанымен, белгілі бір айырмашылықтардың бар екенін көрсетті. Алматы қаласында көктем мен күз мезгілдерінде туристік климаттық жағдайлар анағұрлым қолайлы болып байқалады. Әсіресе сәуір және қыркүйек айларында ТСІ көрсеткіштері жоғары мәндерге жетеді. Ал жаз мезгілінде жоғары температура әсерінен климаттық жайлылық деңгейі біршама төмендейді.

Қапшағай өңірінде туристік климаттық жағдайлардың маусымдық өзгерісі Алматы қаласымен ұқсас заңдылық көрсетеді. Жаз айларында TCI мәндері екі аумақта да шамалас деңгейде байқалады. Ең қолайлы кезеңдер көктемнің соңы мен күздің басына сәйкес келеді. Осылайша, Алматыда туристік климаттық қолайлылық сәуір мен қыркүйек айларында жоғары болса, Қапшағайда сәуір мен қыркүйек, қазан айларында біршама тиімді байқалады. Бұл айырмашылықтар аймақтардың географиялық ерекшеліктерімен және жергілікті климаттық жағдайларымен байланысты болуы мүмкін.

Алматы Іле Алатауының тауалды аймағында орналасқандықтан, жер бедерінің күрделілігі жергілікті циркуляция мен ауа алмасуына әсер етеді. Тау-аңғар желдері тәуліктік температура ауытқуын күшейтіп, кей кезеңдерде жел жылдамдығының артуына ықпал етеді. Сонымен қатар таулы рельеф бұлттылық пен жауын-шашынның қалыптасуын күшейтеді, нәтижесінде TCI құрамындағы ылғалдылық пен жауын-шашын субиндекстерінің маусымдық өзгерісі айқынырақ байқалады.

Қапшағай су қоймасы маңындағы су айдыны климатты жұмсартушы фактор ретінде әрекет етеді. Су бетінің жоғары жылу сыйымдылығы жаз мезгілінде температураның шектен тыс көтерілуін бәсеңдетеді және ауаның салыстырмалы ылғалдылығын арттырады. Сонымен қатар ашық жазықтық жел айналымын күшейтіп, жаз айларында жел жылдамдығы субиндексінің жоғарырақ болуына ықпал етеді. Бұл жағдайлар Қапшағайда TCI көрсеткіштерінің салыстырмалы тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу барысында Алматы қаласы мен Қапшағай өңірінің туристік климаттық жағдайлары Tourism Climate Index (TCI) әдістемесі негізінде кешенді түрде бағаланды. Зерттеу 1978...2020 жылдар аралығын қамтып, екі кезеңге бөлінді: 1978...1998 және 1999...2020 жылдар. Талдау барысында метеорологиялық деректер негізінде климаттық факторлардың өзгеру үрдістері анықталып, олардың туризм үшін қолайлылық деңгейіне әсері қарастырылды.

Зерттеу нәтижелері Алматы және Қапшағай станцияларында жылдық орташа ауа температурасының тұрақты өсу үрдісін көрсетті. Манн–Кендалл тесті бойынша бұл өзгеріс статистикалық тұрғыдан мәнді болды ($p < 0,05$). Ең айқын жылыну қыс және жаз мезгілдерінде байқалды. Ал жауын-шашын мөлшерінің ұзақ мерзімді өзгерістері статистикалық тұрғыдан мәнді емес екені анықталды ($p > 0,05$). Жалпы, зерттелген кезеңдегі климаттық өзгерістердің негізгі ерекшелігі ауа температурасының сенімді артуымен сипатталады.

Туристік климаттық индекс бойынша жүргізілген есептеулер екі аумақта да климаттық жағдайлардың маусымдық сипаты айқын екенін көрсетті. Алынған нәтижелер жыл мезгілдеріне байланысты туристік қолайлылық деңгейінің едәуір өзгеретінін дәлелдейді. Алматы қаласы бойынша жүргізілген талдау нәтижелері көктем және күз мезгілдерінде климаттық жағдайлардың туризм үшін анағұрлым қолайлы екенін көрсетті. Әсіресе сәуір және қыркүйек айларында TCI көрсеткіштері жоғары мәндерге жетіп, бұл кезеңдердің туристік рекреация үшін тиімді екенін анықтады. Жаз мезгілінде ауа температурасының жоғарылауы климаттық жайлылық деңгейінің біршама төмендеуіне әсер етеді. Ал қыс мезгілінде төмен температура мен күн радиациясының аз болуы индекс мәндерінің төмен болуына ықпал етеді.

Екі кезеңді салыстыру нәтижелері Алматы қаласында туристік климаттық жағдайлардың жалпы маусымдық заңдылықтары сақталғанын көрсетті. Дегенмен соңғы кезеңде, яғни 1999...2020 жылдары жаз айларында температураның жоғарылауына байланысты туристік климаттық жайлылық деңгейінің белгілі бір дәрежеде төмендеуі байқалады. Бұл жағдай климаттың жылыну үрдісімен байланысты болуы мүмкін.

Қапшағай өңірі бойынша жүргізілген талдау нәтижелері де климаттық жағдайлардың маусымдық ерекшеліктері айқын екенін көрсетті. Бірінші кезеңде көктемнің соңы мен жаз мезгілдерінде туристік климаттық жағдайлардың салыстырмалы

түрде қолайлы екені байқалады. Әсіресе мамыр, маусым және қыркүйек айларында ТСІ көрсеткіштері жоғары мәндерге жетеді. Бұл кезеңдер рекреациялық демалыс пен жағажай туризмі үшін қолайлы уақыт болып табылады. Қыс мезгілінде төмен температура мен күн сәулесінің аздығы индекстерінің төмендеуіне әсер етеді.

Екінші кезеңде Қапшағай өңірінде де жалпы маусымдық заңдылық сақталғанымен, кейбір айларда климаттық көрсеткіштердің өзгерісі байқалады. Жаз мезгілінде ауа температурасының жоғарылауы туристік климаттық жайлылық деңгейінің біршама төмендеуіне әсер етуі мүмкін. Алайда жалпы алғанда Қапшағай өңірінің климаттық жағдайлары туризм үшін қолайлы кезеңдердің сақталғанын көрсетеді.

Алматы мен Қапшағай өңірлерін салыстырмалы талдау екі аумақта климаттық жайлылықтың маусымдық сипаты ұқсас екенін көрсетті. Жаз айларында ТСІ көрсеткіштері екі аумақта да шамалас деңгейде байқалады. Сонымен қатар көктем мен күз мезгілдері екі аумақта да туристік демалыс үшін қолайлы кезеңдер болып табылады. Алматы қаласында туристік климаттық қолайлылық әсіресе сәуір және қыркүйек айларында жоғары болса, Қапшағай өңірінде сәуір, қыркүйек және қазан айларында қолайлы жағдай қалыптасады.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері Алматы қаласы мен Қапшағай өңірінің туристік климаттық ресурстары рекреациялық туризмді дамыту үшін жеткілікті әлеуетке ие екенін көрсетеді. Әсіресе көктем мен күз мезгілдері туристік қызметтерді дамыту және туристік ағымды арттыру үшін тиімді кезеңдер болып табылады. Сонымен қатар климаттың жылыну үрдісі болашақта туристік маусымдардың ұзақтығы мен қолайлы кезеңдерінің өзгеруіне ықпал етуі мүмкін.

Осыған байланысты туристік ресурстарды жоспарлау барысында климаттық факторларды және олардың ұзақ мерзімді өзгеріс үрдістерін ескеру маңызды болып табылады. Зерттеу нәтижелері аймақтық туризмді жоспарлау, рекреациялық ресурстарды тиімді пайдалану және тұрақты туризм стратегияларын қалыптастыру үшін ғылыми негіз бола алады.

Алматы қаласында жаз мезгіліндегі жоғары температураның артуына байланысты туристік инфрақұрылымды климаттық бейімдеу шараларын енгізу маңызды. Атап айтқанда:

- жаяу туристік маршруттарда көлеңкелі аймақтарды көбейту;
- қоғамдық демалыс орындарында ауызсу пункттерін орналастыру;
- ыстық кезеңдерде туристік белсенділікті таңертеңгі және кешкі уақытқа бейімдеу.

Қапшағай өңірінде жағажай туризмін дамыту барысында:

- жел эрозиясына төзімді инфрақұрылым салу;
- су деңгейінің маусымдық өзгерістерін ескере отырып рекреациялық аймақтарды жоспарлау;
- көктем мен күз мезгілдеріндегі туризмді кеңейту арқылы маусымаралық туристік ағынды арттыру ұсынылады.

Сонымен қатар климаттық индекстерді туризмді жоспарлау жүйесіне енгізу туристік маусымдардың ұзақтығын тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛЖЕТІМДІЛІГІ

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

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

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

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

1. C.de Freitas, D. Scott A second generation climate index for tourism (CIT): Specification and verification International Journal of Biometeorology, 2008, 52(5):399-407 DOI:10.1007/s00484-007-0134-3
2. Adamenko, V.N. Problems of bioclimatic assessment of weather severity and reclamation of the microclimate of the building / V.N. Adamenko, K.Sh. Khairullin // Trudy GGO. – 1973. – Issue 306. – pp. 74-81.
3. Tzu-Ping Lin, Andreas Matzarakis Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan, 2008 Int. J Biometeorology 52(4):281-90 DOI:10.1007/s00484-007-0122-7.
4. Climatic resources and methods of their representation for applied purposes /edited by K.Sh.Khairullina. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 2005. 231s.
5. Katarzyna Lindner-Cendrowska Assessment of bioclimatic conditions in urban areas for tourism and leisure activities. Geographia Polonica 86(1):55-66 DOI:10.7163/GPol.2013.7
6. S.Toy, S.Yilmaz, H. Yilmaz Determination of bioclimatic comfort in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey. Building and Environment, Volume 42, Issue 3, March 2007, Pages 1315-1318.
7. Mieczkowski, Z. (1985). The Tourism Climate Index: A method of evaluating world climates for tourism. *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, 29(3), 220–233. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1985.tb00365.x>
8. Amelung, B., & Viner, D. (2006). Mediterranean tourism: Exploring the future with the tourism climate index. *Journal of Sustainable Tourism*, 14(4), 349–366. <https://doi.org/10.2167/jost549.0>
9. Scott, D., McBoyle, G., & Schwartztruber, M. (2004). Climate change and the distribution of climatic resources for tourism in North America. *Climate Research*, 27(2), 105–117. <https://doi.org/10.3354/cr027105>
10. Perch-Nielsen, S. L., Amelung, B., & Knutti, R. (2010). Future climate resources for tourism in Europe based on the daily tourism climatic index. *Climatic Change*, 103(3–4), 363–381. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9772-2>
11. Қазгидромет деректер базасы. Метеорологиялық деректер порталы [Электрондық ресурс]. Қолжетімділік режимі: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo
12. R бағдарламасы құжаттамасы. МК Test – Манн–Кендалл трендтік тесті (trend пакеті, 1.1.4 нұсқасы). Қолжетімділік режимі: <https://www.rdocumentation.org/packages/trend/versions/1.1.4/topics/mk.test>
13. Қазақстандағы биоклиматтық өзгерістерді бағалау (XX ғасырдың соңы – XXI ғасырдың ортасы, PRECIS болжамы негізінде).
14. Aiman S. Nyssanbaeva, Alexandr V. Cherednichenko, Vladimir S. Cherednichenko, Nurlan N. Abayev, Azamat S. Madibekov. Bioclimatic conditions of the winter months in Western Kazakhstan and their dynamics in relation to climate change // International Journal of Biometeorology. Special issue: Asian biometeorology (invited only). – 2018. (<https://doi.org/10.1007/s00484-018-1513-7>)
15. Керімқұл А.Ж., Мадібеков А.С. Қапшағай су қоймасындағы температуралық режимнің климат өзгеруіне әсері // *ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы*. – 2021. – 63(4). – 55–62 б.
16. V.Vinogradova Using the Universal Thermal Climate Index (UTCI) for the assessment of bioclimatic conditions in Russia. Int. J of Biometeorology 65(9). DOI:10.1007/s00484-020-01901-4 May 2020
17. O. Çalışkan, İ.Çiçek, Matzarakis The climate and bioclimate of Bursa (Turkey) from the perspective of tourism. July 2011 Springer-Verlag, DOI 10.1007/s00704-011-0489-6
18. K. Blazejczyk Weather recreation index for Europe. DWD, Annalen der Meteorologie, 41, 2,17th International Congress of Biometeorology ICB 2005, p. 604-607
19. Dubois, G., & Ceron, J. P. (2006). Tourism and climate change: Spatial modelling of regional vulnerability. *Revue de Géographie Alpine*, 94(1), 105–118. <https://doi.org/10.3406/rga.2006.2382>
20. Ruttu, M., & Scott, D. (2010). Will the Mediterranean become “too hot” for tourism? *Tourism and Hospitality Planning & Development*, 7(3), 267–281. <https://doi.org/10.1080/1479053X.2010.502386>
21. Blazejczyk, K., 1987: A model for bioclimatic evaluation and typology of health resorts and recreation areas. *Geographia Polonica*, 53: 141-148.
22. I. Keggenhoff, M. Elizbarashvili, A. Amiri-Farahani, L. King aTrends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. *Weather and Climate Extremes* 4 (2014) 75–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2014.05.001>

REFERENCES

1. C. de Freitas, C. R., & Scott, D. (2008). A second generation climate index for tourism (CIT): Specification and verification. *International Journal of Biometeorology*, 52(5), 399–407. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0134-3>
2. Adamenko, V. N., & Khairullin, K. Sh. (1973). Problems of bioclimatic assessment of weather severity and reclamation of the microclimate of the building. *Trudy Glavnoi Geofizicheskoi Observatorii (Trudy GGO)*, 306, 74–81.
3. Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2008). Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *International Journal of Biometeorology*, 52(4), 281–290. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0122-7>.
4. Khairullina, K. Sh. (Ed.). (2005). *Climatic resources and methods of their representation for applied purposes*. Hydrometeoizdat.
5. Lindner-Cendrowska, K. (2013). Assessment of bioclimatic conditions in urban areas for tourism and leisure activities. *Geographia Polonica*, 86(1), 55–66.
6. Toy, S., Yilmaz, S., & Yilmaz, H. (2007). Determination of bioclimatic comfort in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey. *Building and Environment*, 42(3), 1315–1318.

7. Mieczkowski, Z. (1985). The Tourism Climate Index: A method of evaluating world climates for tourism. *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, 29(3), 220–233. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1985.tb00365.x>
8. Amelung, B., & Viner, D. (2006). Mediterranean tourism: Exploring the future with the tourism climate index. *Journal of Sustainable Tourism*, 14(4), 349–366. <https://doi.org/10.2167/jost549.0>
9. Scott, D., McBoyle, G., & Schwartztruber, M. (2004). Climate change and the distribution of climatic resources for tourism in North America. *Climate Research*, 27(2), 105–117. <https://doi.org/10.3354/cr027105>
10. Perch-Nielsen, S. L., Amelung, B., & Knutti, R. (2010). Future climate resources for tourism in Europe based on the daily tourism climatic index. *Climatic Change*, 103(3–4), 363–381. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9772-2>
11. Kazgidromet derekter bazasy. Meteorologialyq derekter portaly. – Qoljetimdi: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo
12. R bagdarlamasy qujattamasy. MK Test – Mann–Kendall trendtik testi (trend paketi, 1.1.4 nūsqasy). – Qoljetimdi: <https://www.rdocumentation.org/packages/trend/versions/1.1.4/topics/mk.test>
13. Qazaqstandagy bioklimattyq ozgeristerdi bagalau (XX gasyrdyn sony – XXI gasyrdyn ortasy, PRECIS boljamy negizinde).
14. Aiman S. Nyssanbaeva, Alexandr V. Cherednichenko, Vladimir S. Cherednichenko, Nurlan N. Abayev, Azamat S. Madibekov. Bioclimatic conditions of the winter months in Western Kazakhstan and their dynamics in relation to climate change // *International Journal of Biometeorology*. Special issue: Asian biometeorology (invited only). – 2018. (<https://doi.org/10.1007/s00484-018-1513-7>)
15. Kerimqul A.J., Madibekov A.S. Qapşagai su qoimasyndagy temperaturalyq rejimnin klimat ozgeruine aseri// *QazUU habarşysy. Geografia seriasy*. – 2021. – 63(4). – 55–62 b.
16. V.Vinogradova Using the Universal Thermal Climate Index (UTCI) for the assessment of bioclimatic conditions in Russia. *Int. J of Biometeorology* 65(9). DOI:10.1007/s00484-020-01901-4 May 2020
17. O. Çalıřkan, İ.Çiçek, Matzarakis The climate and bioclimate of Bursa (Turkey) from the perspective of tourism. July 2011 Springer-Verlag, DOI 10.1007/s00704-011-0489-6
18. K. Blazejczyk Weather recreation index for Europe. DWD, *Annalen der Meteorologie*, 41, 2, 17th International Congress of Biometeorology ICB 2005, p. 604-607
19. Dubois, G., & Ceron, J. P. (2006). Tourism and climate change: Spatial modelling of regional vulnerability. *Revue de Géographie Alpine*, 94(1), 105–118. <https://doi.org/10.3406/rga.2006.2382>
20. Ruty, M., & Scott, D. (2010). Will the Mediterranean become “too hot” for tourism? *Tourism and Hospitality Planning & Development*, 7(3), 267–281. <https://doi.org/10.1080/1479053X.2010.502386>
21. Blazejczyk, K., 1987: A model for bioclimatic evaluation and typology of health resorts and recreation areas. *Geographia Polonica*, 53: 141-148.
22. Keggenhoff, M. Elizbarashvili, A. Amiri-Farahani, L. King aTrends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. *Weather and Climate Extremes* 4 (2014) 75–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2014.05.001>

ОЦЕНКА ТУРИСТИЧЕСКОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА АЛМАТЫ И КАПЧАГАЯ

Айкерим Ж. Керимкул^{1*}, Айман С. Нысанбаева¹ к.г.н., ассоциированный профессор, Азамат С. Мадибеков² PhD, ассоциированный профессор

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан kerimkul_aigerim@mail.ru (АЖК), ayman.nysanbaeva@kaznu.edu.kz (АЧН)

²АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан madibekov@mail.ru (АСМ)

*Автор-корреспондент: Айкерим Ж. Керимкул kerimkul_aigerim@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

туризм, климат, туристический климатический индекс (ТСИ), биоклимат, сезонность, Алматы, Капшагай

АБСТРАКТ

Туристический климатический индекс (Tourism Climate Index – TCI) является важным биоклиматическим показателем, позволяющим комплексно оценить климатическую комфортность территории для развития туризма. Данный индекс объединяет основные метеорологические параметры, такие как температура воздуха, относительная влажность, количество осадков, скорость ветра и продолжительность солнечного сияния, и позволяет количественно оценить влияние климатических условий на туристскую рекреацию.

В данном исследовании туристические климатические условия города Алматы и региона Капшагай были оценены на основе методики TCI. Исследование охватывает период 1978...2020 гг. и рассматривается по двум временным этапам: 1978...1998 и 1999...2020 гг. Расчёты выполнены на основе среднемесячных метеорологических

По статье:

Получено: 30.04.2026

Пересмотрено: 22.05.2026

Принято: 18.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

данных, а также проведён сравнительный анализ изменений климатической комфортности между двумя периодами.

Результаты исследования показали, что в обоих регионах климатическая комфортность имеет ярко выраженную сезонную изменчивость. В городе Алматы наиболее благоприятные климатические условия для туризма наблюдаются весной и осенью, особенно в апреле и сентябре, когда значения ТСИ достигают наиболее высоких показателей. В летний период повышение температуры приводит к некоторому снижению уровня климатической комфортности. В регионе Капшагай сезонные особенности климатической комфортности в целом схожи с Алматы, при этом значения ТСИ в летние месяцы в обоих регионах находятся на близком уровне.

Сравнительный анализ показал, что в Алматы в последний период наблюдается незначительное снижение уровня климатической комфортности, тогда как в Капшагае значения индекса остаются относительно стабильными. В целом климатические условия для туризма в обоих регионах оцениваются как «удовлетворительные». Полученные результаты могут служить научной основой для территориального планирования туризма, оптимизации туристических сезонов и разработки стратегий устойчивого развития туризма с учётом климатических факторов.

ASSESSMENT OF THE TOURISM CLIMATE INDEX OF ALMATY AND KAPCHAGAY

Aikerim Kerimkul¹, Aiman Nyssanbayeva¹ Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Azamat Madibekov² PhD, Associate Professor

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; kerimkul_aigerim@mail.ru, ayman.nysanbaeva@kaznu.edu.kz

²JSC “Institute of Geography and Water Security”, Almaty, Kazakhstan; madibekov@mail.ru

*Corresponding author: Aikerim Zh. Kerimkul kerimkul_aigerim@mail.ru

KEY WORDS

tourism, climate, tourism climate index (TCI), bioclimate, seasonality, Almaty, Kapshagay

About article:

Received: 29.04.2026

Revised: 22.05.2026

Accepted: 18.06.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT

The Tourism Climate Index (TCI) is an important bioclimatic indicator that allows a comprehensive assessment of the climatic suitability of a territory for tourism. This index integrates key meteorological parameters such as air temperature, relative humidity, precipitation, wind speed, and sunshine duration, providing a quantitative assessment of the impact of climatic conditions on tourism and recreation.

In this study, the tourism climatic conditions of Almaty city and the Kapshagay region were evaluated using the TCI methodology. The research covers the period from 1978 to 2020 and is divided into two stages: 1978...1998 and 1999...2020. The calculations were carried out using monthly meteorological data, and a comparative analysis of climatic comfort changes between the two periods was conducted.

The results show that both regions exhibit pronounced seasonal variability in climatic comfort. In Almaty, the most favorable conditions for tourism occur during spring and autumn, particularly in April and September when TCI values reach their highest levels. During summer, increased air temperature leads to a moderate decrease in climatic comfort. In the Kapshagay region, the seasonal pattern of climatic comfort is generally similar to that of Almaty, with TCI values during the summer months remaining at comparable levels in both areas.




The comparative analysis indicates a slight decrease in climatic comfort in Almaty during the later period, while TCI values in Kapshagay remain relatively stable. Overall, the tourism climatic conditions in both regions are assessed as “acceptable”. The results of this study can serve as a scientific basis for tourism planning, optimization of tourist seasons, and the development of sustainable tourism strategies considering climatic factors.

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



Ғылыми мақала

ҚАЗАЛЫ АУДАНЫНЫҢ 2000...2025 ЖЖ. АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫН ГЕОКЕҢІСТІКТІК ТАЛДАУ

Аяжан Ұ. Шыныбек^{1,2*} , Канат Б. Самарханов¹  г.ғ.к., PhD., Гульбаршын Е. Азимбаева¹ 

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; ayazhan_shynybek@mail.ru (АҰШ), samarkhanov_kb@enu.kz (КБС), azimbayeva_gye@enu.kz (ГЕА)

²РМК «Казгидромет», г. Астана, Қазақстан; ayazhan_shynybek@mail.ru

* Автор корреспонденциясы: Аяжан Ұ. Шыныбек, ayazhan_shynybek@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Қазалы ауданы, вегетация, NDVI, Google Earth Engine (GEE), Getis-Ord Gi, Mann-Kendall, ЖҚЗ, ГАЖ

АБСТРАКТ

Мақалада ЖҚЗ деректері негізінде Қазалы ауданының 2000...2025 жж. аралығындағы вегетациялық кезеңіндегі өсімдік жамылғысының кеңістіктік-уақыттық өзгерісі мен деградация ошақтары анықталды. Статистикалық талдау жұмыстары Манн-Кендалл тесті және Getis-Ord Gi әдістері негізінде жүргізілді. Манн-Кендалл тестінің нәтижесі бойынша алынған нәтижелері бойынша жалпы аудан бойынша айқын статистикалық трендтің жоқ болғандығына қарамастан, Getis-Ord Gi әдісі негізінде жасырын жергілікті ошақ көздері анықталды. Жалпы, аудан бойынша деградация аумақтары 99 % сенімділікпен 39,3 % қамтыды. Бұл аумақтар негізінен ауданның оңтүстік, оңтүстік-батыс бөліктерінде табиғи жайылымдық және антропогендік ықпал жоғары аумақтарды алды. Сонымен қатар, алынған өсу және деградация аумақтары аудан бойынша ауыл шаруашылығы өнімділігінің нәтижелерімен салыстырылды. Нәтижесінде 38,9 % өсу аумақтары суармалы егістік алқаптарындағы өнімділіктің арту көрсеткіштерімен толық сәйкестік көрсетті.

1. КІРІСПЕ

Жаһандық климаттың өзгеруі, сондай-ақ антропогендік әсерлердің күшеюіне байланысты қазіргі таңда аридті және жартылай аридті аймақтардағы табиғи ландшафттардың деградация үрдістері үдей түсуде. Арал теңізінің тартылуына байланысты, әсіресе бұл жағдай Қазақстанның оңтүстік-батыс өңірлерінде өсімдік жамылғысының жұтаңдануы, ауыл шаруашылығы мен мал жайылым алқаптарының азаюы мен шөлейттену үрдістерінің жеделдеуі арқылы айқын көрінуде [1, 4]. Сырдария өзенінің төменгі ағысында орналасқан Қазалы ауданы ауыл шаруашылығы үшін маңызды аймақ ретінде аталған экологиялық өзгерістердің ықпалында қалып отыр. Сол себепті, аудандағы өсімдік жамылғысының ұзақ мерзімді вегетациялық кезеңнің динамикасын жүйелі бақылау және деградация ошақтарын ерте анықтау өңірдің экологиялық тұрақтылығы мен тұрақты дамуын қамтамасыз ететін ғылыми-практикалық бағыттардың бірі болып табылады.

Вегетациялық кезеңіндегі өсімдік жамылғысының жай-күйін бағалауда жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) әдістері, соның ішінде ландшафттық өзгерістердің сезімтал әрі сенімді индикаторы ретінде кеңінен қолданылатын нормаланған айырмашылық вегетация индексі (NDVI) қолданылды. Соңғы жылдары Google Earth Engine (GEE) бұлтты есептеу платформаларының дамуы Landsat, MODIS сияқты үлкен көпжылдық жерсеріктік деректер қорын ретроспективті талдауға мүмкіндік берді [5, 8]. Уақыттық қатарлардың трендін бағалауда жиі пайдаланылатын Манн-Кендалл тесті кеңістіктік әркелкілікті ескермеу себебінен, жергілікті деңгейдегі маңызды экологиялық ауытқулар

Мақала жайында:

Жіберілді: 05.03.2026
 Қайта қаралды: 16.03.2026
 Қабылданды: 09.06.2026
 Жарияланды: 01.07.2026

Дәйексөз үшін:

Шыныбек А., Самарханов
 К., Азимбаева Г.,
 Қазалы ауданының
 2000...2025 жж.
 аралығындағы өсімдік
 жамылғысының
 динамикасын геокеңістіктік
 талдау// Гидрометеорология
 және экология, 122 (2),
 2026, 114-124.

жалпыланған статистикалық фон ішінде байқалмай қалуы мүмкін. Сондықтан, аталған мәселені шешу мақсатында кеңістіктік-статистикалық талдау әдістерінің бірі Getis-Ord Gi статистикасына негізделген Hot Spot Analysis қолданылды. Бұл әдіс вегетация көрсеткішінің орташа мәнін ғана емес, сондай-ақ деградация (төмен NDVI) және өсім (жоғары NDVI) аймақтарының кеңістіктік кездейсоқ емес шоғырлануын 90 %, 95 % және 99 % сенімділік деңгейлерінде анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдістер жалпы, жайылымдық және суармалы агроландшафттарды бағалауда осы сияқты кешенді әдістерді қолдану экологиялық мониторингтің нақтылығын арттырады [9, 10].

Зерттеудің мақсаты – 2000...2025 жж. аралығындағы ЖҚЗ және кеңістіктік-статистикалық әдістер негізінде Қазалы ауданының вегетациялық кезеңіндегі өсімдік жамылғысының динамикасын кешенді бағалап, деградация ошақтарын анықтау. Сонымен қатар, алынған нәтижелерді ауыл шаруашылық өнімділігімен салыстыра отырып, кеңістіктік модельдерің сенімділігі мен қолданбалы дәлдігін негіздеу.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу аумағы ретінде Арал теңізінің шығыс бөлігінде орналасқан Қазалы ауданы қарастырылды. Қазалы ауданы шөлейтті белдемде орналасқан және климаты континенталды, жауын-шашын мөлшері аз, температураның маусымдық ауытқуларымен сипатталады. Ауданның басты су артериясы Сырдария өзені, ол ауданның экологиялық тұрақтылығы мен ауыл шаруашылығының дамуына әсер етеді [11, 13].

Зерттеу барысында 2000...2025 жылдар аралығындағы көпжылдық ЖҚЗ деректер жиынтығы қолданылып, оларды алдын-ала өңдеу мен геоақпараттық талдау жұмыстары GEE бұлтты платформасында орындалды. Өңірдің жер жамылғысы типтерінің ерекшеліктеріне байланысты жіктеу үшін 100 м. ажыратылымдықтағы Copernicus Global Land Cover (CGLS-LC 100 Collection 3) деректер базасы қолданылды (1-кесте). 25 жылдық кезеңдегі өсімдік жамылғысының динамикасын зерттеу үшін Landsat түсірілімдерімен қатар, уақыттық рұқсаты жоғары MODIS (MOD13Q1.061 Terra Vegetation Indices) деректер жиынтығы негізінде, жер жамылғысы типтерінің әрбір класына NDVI мәні есептелді. Спутниктік түсірілімдерді алдын ала өңдеу барысында бұлттылығы әсерін жою үшін Quality Assessment (QA) биіктік маскасы қолданылып, бұлттылығы 10 % төмен ғарыштық түсірілімдер іріктелді. Ал вегетациялық кезеңіндегі (сәуір-қыркүйек) барлық түсірілімдердің жиынтығына медианалық сүзгілеу қолданылды [14, 17].

Кесте 1

ЖҚЗ деректерінің техникалық сипаттамасы

Деректер жиынтығы	Кеңістіктік ажыратылымдық	Ескертпе
Landsat 5,7,8	30 м.	Бұлттылық
MODIS (MOD13Q1.061) Terra	250 м.	<10 %
Copernicus Global Land Cover (CGLS-LC 100)	100 м.	

Алынған мәліметтердің ұзақ мерзімді өзгерістерін статистикалық тұрғыдан бағалау үшін Манн-Кендалл тесті пайдаланылды. Манн-Кендалл әдісі көпжылдық қатарлардың өсу немесе кему трендтерінің статистикалық мәнділігін анықтауға мүмкіндік береді. Трендтің қарқындылығы Sen's slope estimator (1) әдісімен есептелді.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

мұндағы

x_i және x_j – уақыттық қатардағы NDVI мәндері.

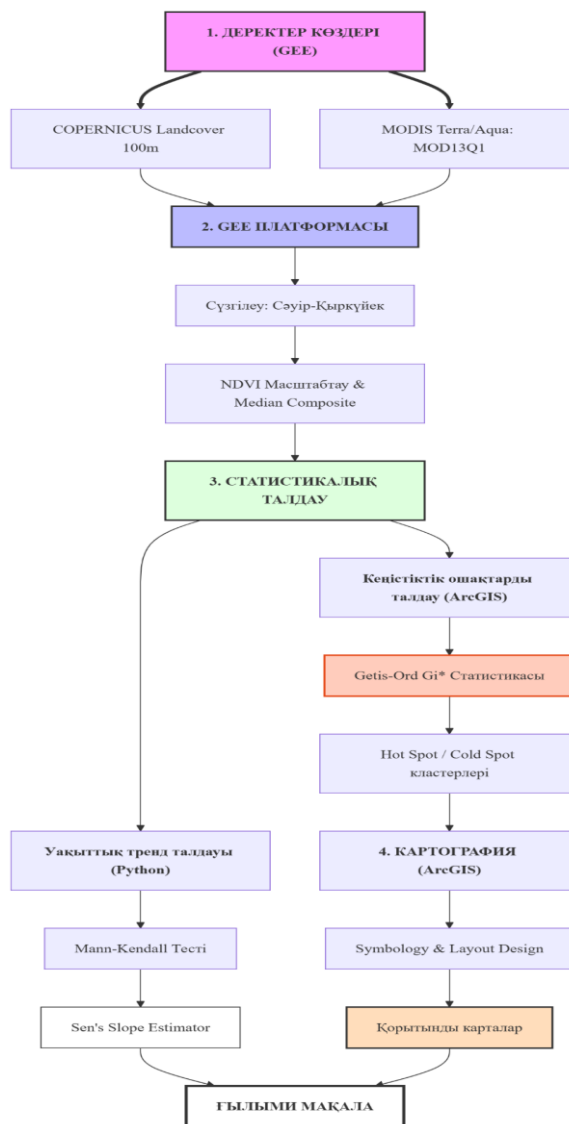
Дегенмен, бұл әдіс нәтижесі бойынша аудан көлемінде статистикалық маңызды трендтердің жоқтығы анықталды. Себебі, Манн-Кендалл тесті жалпы алынған мәндер бойынша орташа көрсеткіштерді есепке алады. Сондықтан, трендтердің болмауына қарамастан жергілікті өзгерістер мен деградациялық ошақ көздерін анықтау мақсатында Getis-Ord G_i^* (2) әдісіне негізделген Hot Spot Analysis құралы пайдаланылды.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{s \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (2)$$

мұндағы

$w_{i,j}$ – кеңістіктік салмақ коэффициенттері, x_j – NDVI мәндері.

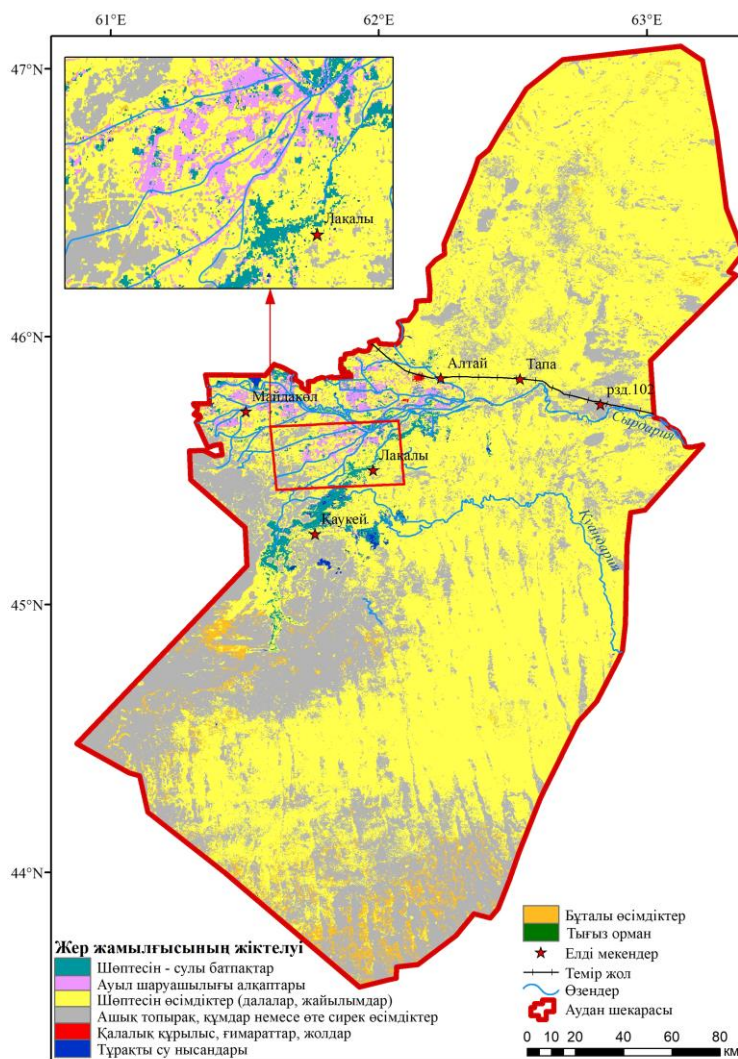
Бұл әдісте 5000 метрлік бекітілген қашықтық радиусы мен евклидтік арақашықтық өлшемін пайдалана отырып, NDVI көрсеткіші мәндерінің төмен және жоғары шоғырлану ошақтары мен сенімділік деңгейлерін анықтауға мүмкіндік берді. Шоғырлану ошақтары анықталған нүктелік деректер негізінде Spatial Join → Summary Statistic құралы арқылы ауданның деградациялық үрдістерінің пайыздық үлесі есептелді. Getis-Ord G_i^* әдісі Манн-Кендалл тесті бойынша жалпы тренд анықталмаған жағдайда, жергілікті деңгейдегі экологиялық ошақтарды айқындаудың тиімді құралы екенін көрсетті [18, 20]. Зерттеу барысында қолданылған мәліметтер мен әдістердің құрылымдық блок схемасы төменде 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. Мәліметтер мен зерттеу әдістерінің блок схемасы

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

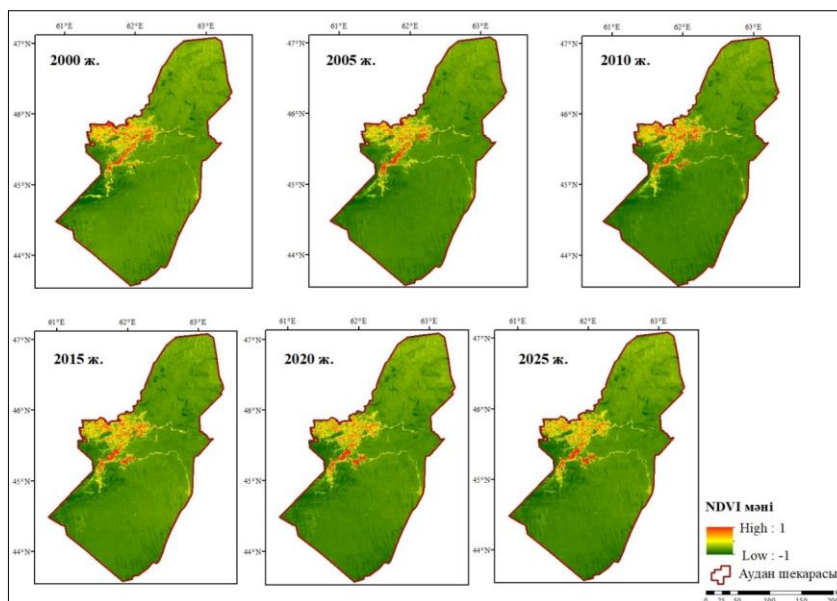
Зерттеу барысында әртүрлі уақыт кезеңдерін қамтитын көпжылдық спутниктік түсірілімдер қолданылды. Атап айтқанда, 2000...2025 жж. аралығындағы жер жамылғысының түрлерін анықтау үшін MODIS және Copernicus Global Land Cover (CGLS-LC 100 Collection 3) деректер базасы қолданылды. Мультиспектралды оптикалық түсірілімдері негізінде 100 және 250 метрлік ажыратымдылықпен алынған түсірілімдер алдын-ала өңдеуден өтіп бір проекция мен кеңістіктік ажыратылымдылықтары сәйкестендірілді. Халықаралық жіктеу жүйесіне сәйкес Қазалы ауданы бойынша жер жамылғысы мен жер пайдалану құрылымының 8 негізгі класы анықталды (2-сурет).



Сурет 2. Қазалы ауданының жер жамылғысының құрылымы

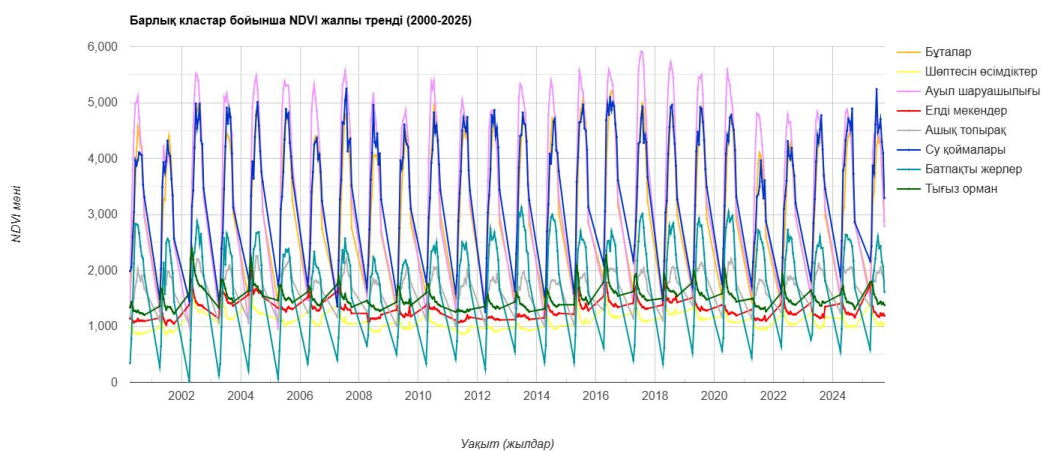
Сырдария өзені және оның салалары мен каналдар бойында ауыл шаруашылығы алқаптары шоғырланған. Бұл ауданның негізгі экономикалық және аграрлық орталығы болып саналады. Сонымен қатар бұталар мен шөптесін өсімдіктер, яғни табиғи жайылымдық жерлер ауданда басым бөлікті алады. Өңірдің оңтүстік және оңтүстік-батыс бөліктерінде ашық топырақ пен құмдар кеңінен таралған және бұл шөлейттену үрдісінің белгілері болып саналады.

NDVI көрсеткіші мәндерінің 2000...2025 жж. аралығындағы кеңістіктік таралуына тоқталатын болсақ, оның салыстырмалы түрде тұрақты екенін көрсетеді. NDVI көрсеткішінің жоғары мәндері суармалы егістік және мәдени ауыл шаруашылық алқаптарында байқалады. Ал, төмен мәндері ауданның шөлейтті оңтүстік-батыс бөліктерінде байқалды (3-сурет).



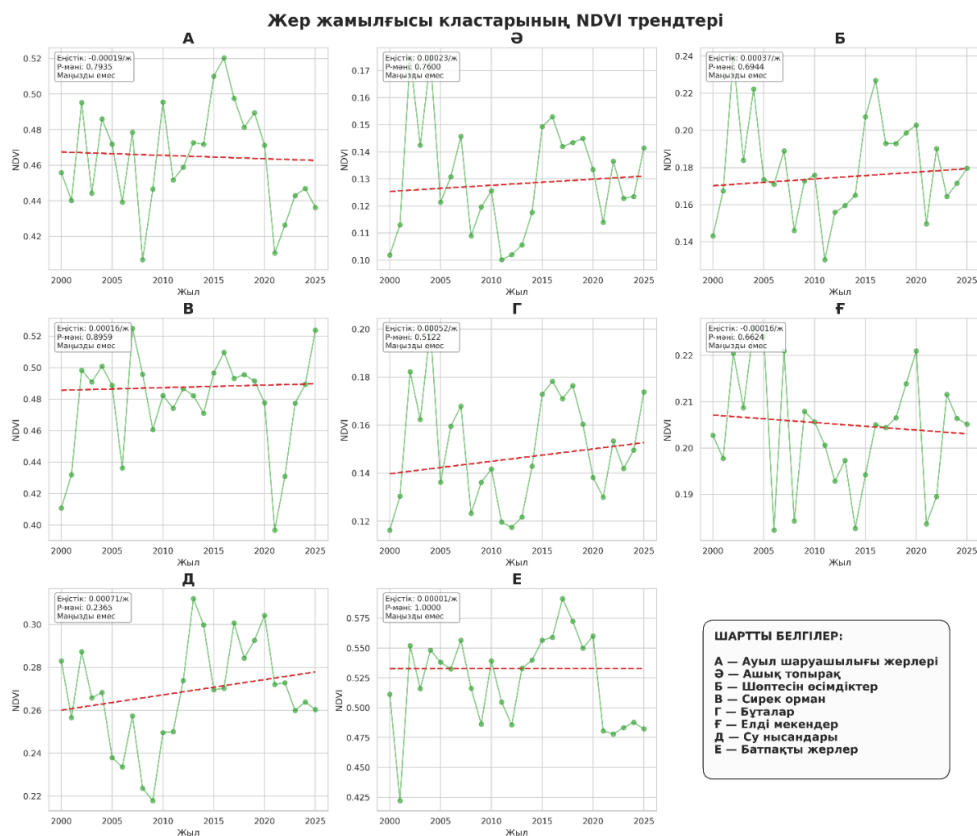
Сурет 3. 2000...2025 жж. аралығындағы NDVI көрсеткішінің өзгеріс динамикасы

Сонымен қатар GEE бұлтты платформасында барлық кластар бойынша NDVI көрсеткішінің 2000...2025жж. арналған жалпы уақыттық тренді тұрғызылды (4-сурет). Графикке сәйкес жер пайдаланудың барлық кластарында NDVI көрсеткішінің көпжылдық жалпы тренді салыстырмалы түрде тұрақты сақталғанын байқауға болады және ең жоғары вегетациялық мәндер мен айқын динамикалық тренд сызығы ауыл шаруашылығы алқаптарына тән.



Сурет 4. 2000...2025 жж. аралығындағы NDVI көрсеткішінің жалпы тренді

Қазалы ауданының 2000...2025 жылдардағы жер жамылғысы кластарының NDVI мәндеріне сәйкес анықталған Манн-Кендалл тесті бойынша Р мәндерінің 0,05 деңгейінен жоғары болуын және бұл сәйкесінше статистикалық тұрғыдан трендтің жоқтығын көрсетті (5-сурет). Бұл жағдай өңірдегі өсімдік жамылғысының өзгерістері деградация және тұрақты көгалдандыру үрдістерімен емес, климаттық өзгерістермен және Сырдария өзенінің сулылық режиміне тәуелділігімен сипатталатынын көрсетеді.

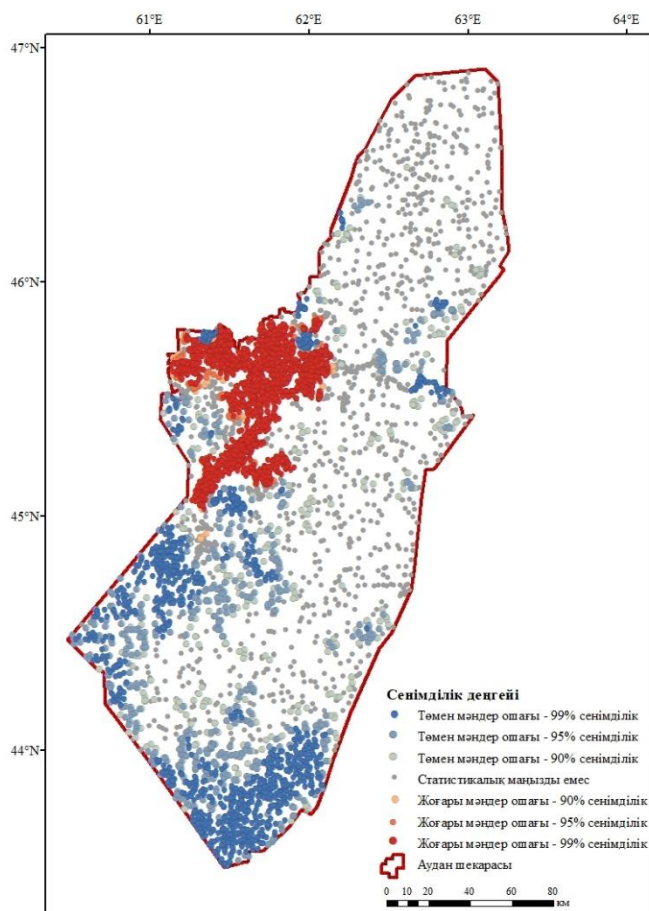


Сурет 5. Жер жамылғысының кластарының NDVI мәндері бойынша Манн-Кендалл тестінің трендтері

Ауыл шаруашылығы алқабы бойынша еңістік коэффициентінің (Sen's slope) - 0,00019 мәні бұл алқаптардағы өнімділіктің баяу төмендеу үрдісімен, ал $P = 0,7935$ мәні үрдістің статистикалық тұрғыдан маңыздылығы жоқ екендігін, яғни шаруашылық алқаптарының көпжылдық фондық көрініс жағдайы сақталып келгенін айқындайды. Осы трендтердің статистикалық тұрғыдан маңызды болмауының негізгі себептерінің бірі ауданның аридті климат белдемінде орналасқандығында, сондай-ақ NDVI мәндерінің гидрометеорологиялық факторларға сезімталдығымен байланысты. Яғни, бұл нәтиже ауыл шаруашылық жүйесінің тұрақтылығын қалыптастыру үшін тек қана NDVI индексімен шектелмей, басқада индекстерді қолдану қажеттігін NDWI (ылғалдылық индексі) немесе NDMI сияқты басқа да көрсеткіштерді интеграциялау, су ресурстарының тиімділігі мен топырақтың екінші реттік тұздану процестері сияқты, сондай-ақ антропогендік факторларды кешенді түрде бақылау қажеттігін дәлелдейді. Сонымен, бұл тесттің қорытындысы бойынша аудан бойынша маңызды трендтің болмауы соңғы 25 жыл ішінде аймақтың айтарлықтай деградациялық өзгерістерге ұшырамағандығын және экожүйенің салыстырмалы түрде сақталғандығын растайды.

Келесі, Манн-Кендалл тесті бойынша аудан бойынша статистикалық трендтің болмауы себепті жергілікті деңгейдегі өзгерістерді айқындау үшін Getis-Ord G_i^* (Hot Spot Analysis) кеңістіктік талдауы жүргізілді. Алынған нәтижелер бойынша (6281 нүктелік іріктеме) ауданның 39,3 %-ы статистикалық тұрғыдан маңызды төмен мәндердің шоғырлануымен, ал оның ішінде 26,1 % (1640 нүкте) 99 % сенімділік деңгейінде өте күшті деградациялық ошақтары айқындалып, бұл аудандарда вегетациялық көрсеткіштердің тұрақты түрде төмен үрдісінің бар екендігін сипаттайды және ауданның оңтүстік, оңтүстік-батыс бөліктерінде жайылымдық жерлердің шамадан тыс мал жаудан тозуымен, сондай-ақ антропогендік қысымның артуымен байланысты. Өңір бойынша 21,8 % аумақта экологиялық тепе-теңдік сақталған, статистикалық тұрғыдан айқын ауытқулар болмаған тұрақты аймақтар анықталды. Ауданның 38,9 % өте жоғары өнімділік ошақтары (Hot Spots) ретінде сипатталды, бұл көрсеткіштер Сырдария өзенінің аңғарындағы суармалы

егіншілік алқаптарында шоғырланған. Getis-Ord G_i^* нәтижелері ауданның 2000...2024жж. аралығындағы ресми өнімділік көрсеткіштерімен сәйкестік көрсетті. Өңірдегі дәнді дақылдардың жалпы жиынтығы 196,7-ден 478,6 мың тоннаға дейін өсуі 6 суреттегі өсу аймақтарына (қызыл нүкте) сәйкес келеді.



Сурет 6. Қазалы ауданының NDVI көрсеткіші негізінде деградация және өсім аумақтары

Манн-Кендалл және Getis-Ord G_i^* әдістерінің нәтижелерін ұштастыра талдау көрсеткендей, аудан бойынша жалпы трендтің болмауы – деградацияға ұшыраған аймақтар (39,3 %) мен вегетация деңгейі артқан суармалы аймақтардың (38,9 %) арасындағы кеңістіктік тепе-теңдіктің сақталуымен түсіндіріледі, яғни Getis-Ord G_i^* әдісі Манн-Кендалл тестілуінде байқалмаған «жасырын» деградация ошақтарын кеңістіктік тұрғыдан айқындауға мүмкіндік берді.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Қазалы ауданының 2000...2025 жж. өсімдік жамылғысына көпжылдық ЖҚЗ деректері мен Манн-Кендалл, Getis-Ord G_i^* әдістері негізінде жүргізілген геокеңістіктік талдау қорытындылары аймақтағы ауыл шаруашылығының дамуы мен ауданның шеткі аймақтарындағы деградация үрдістері арасындағы күрделі тепе-теңдікті сипаттайды. Қазалы ауданының өсімдік жамылғысы аридті климат пен топырақтың тұздану жағдайларына бейімделген ксерофитті және галофитті қауымдастықтардан тұрады. Ауданының өсімдік жамылғысының құрылымы мен вегетациялық өнімділігі тікелей Сырдария өзенінің арнасы мен магистральды каналдар жүйесіне тәуелді екені дәлелденді. NDVI мәндерінің жоғарғы көрсеткіштері өзен аңғарындағы мәдени суармалы агроландшафттарда шоғырланған, ал төменгі мәндері шөлейтті-сорлы ландшафттарға тән.

Манн-Кендалл тесті Қазалы ауданы вегетациясының статистикалық тұрғыдан жалпы трендтің жоқтығын айқындағанмен, Getis-Ord G_i^* әдісі ауданда маңызды деградация ошақтарының бар екенін көрсетті. Аудан аумағының 39,3 %-ын тұрақты деградация ошақтары (Cold Spots) қамтыған, бұл негізінен су ресурстарынан шалғай орналасқан табиғи жайылымдық алқаптарының антропогендік әсердің артуы салдарынан құнарсызданумен түсіндіріледі. Ал ауданның 38,9 %-ы вегетациялық өсім ошақтары ретінде анықталды, бұл Сырдария өзенінің аңғарындағы суармалы егістік алқаптарының тиімді игерілуіне сәйкес келеді.

Сонымен қатар, вегетациялық өсім ошақтары Қазалы ауданы бойынша ауыл шаруашылығы өнімділігінің (дәнді дақылдардың) 196,7 мың тоннадан 478,6 мың тоннаға дейін өсуі туралы нақты статистикалық деректермен үйлесімділік тапты. Алайда бұл осы үрдістің тек суармалы егіншілік алқаптарымен шектеліп отырғандығын және ауданның дамуы тек ауыл және суармалы егіншілікпен шектелгендігін көрсетті. Ал, деградация аумақтарының су ресурстарынан алыс орналасқан табиғи жайылымдық алқаптармен сәйкес келуі, антропогендік әсердің артуы мен табиғи алқаптар құнарлығының төмендеуі мал шаруашылығының дамуына кері әсер ететіндігін сипаттайды. Жалпы алғанда, өңірдің ауыл шаруашылығы тұрақты түрде дамығанымен экологиялық тұрғыдан теңсіздік бар екендігі байқалады. Осыған байланысты, анықталған деградация аумақтарында жерді ұтымды пайдалану және қалпына келтіру шараларын күшейту, сондай-ақ қайта тұздандуды алдығ алу мақсатында мелиоративтік және фитомелиоративтік бақылауларды жетілдіру ұсынылады.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Мақалада пайдаланылған деректерді авторлар ҚР стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі «Ұлттық статистика бюросы» [21] дереккөздерінен алды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау - АҰШ; деректерді басқару - АҰШ; Ресми талдау - АҰШ, КБС; Әдістеме - КБС; Қадағалау - КБС; Визуализация - АҰШ; Бастапқы жобаны жазу - АҰШ; Шолу жазу және редакциялау - АҰШ, ГЕА.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Косарев А.В., Иванов Д.Е., Микеров А.Н., Савина К.А., Валеев Т.К., Сулейманов Р.А. Применение геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Земли для оценки влияния аридности территории на качество воды малых рек // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100. – № 10. – С. 1052–1059.
2. Керімбай Б.С., Баймырзаев А.С., Керімбай Н.Н., Бахыт М.Б., Таженова С.Қ. Агрландшафттардың кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін геожүйелік тұрғыдан талдау // ҚазҰУ Хабаршысы. География сериясы. – 2025. – № 3 (78). – Б. 39–48.
3. Conrad C., Dech S., Dubovyk O., Remote sensing-based assessments of land use, soil and vegetation in the Aral Sea Basin // Water Security. – 2020. – Article 100078. – DOI: [10.1016/j.wasec.2020.100078](https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100078).
4. Муталипова Қ.Қ. Қазақстан Республикасындағы жайылымдық жерлердің тозуы: себептері мен салдары // Аграрлық нарық проблемалары. – 2024. – № 4. – Б. 245–254.
5. Аралова М.Қ. Геоақпараттық технологиялар арқылы табиғи ландшафттарды зерттеу әдістері // ҚР ҰҒА Хабаршысы. География сериясы. – 2016. – № 4. – Б. 44–50.
6. Gantulga N., Lima T., Batmunkh M., Surenjav U., Tserennadmin E., Turmunkh T., Dorjsuren B. Impacts of natural and anthropogenic factors on soil erosion // Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences. – 2023. – Vol. 63. – № 2 (246). – P. 3–18.
7. Choudhary K., Shi W., Boori M.S., Corgne S. Agricultural phenology monitoring using NDVI time series based on remote sensing satellites: a case study of Guangdong, China // Optical Memory and Neural Networks. – 2019. – Vol. 28. – P. 204–214. DOI: [10.3103/S1060992X19030093](https://doi.org/10.3103/S1060992X19030093)
8. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. – 2017. – Vol. 202. – P. 18–27.
9. Liepa A., et al. Harmonized NDVI time-series from Landsat and Sentinel-2: capturing phenological patterns // Remote Sensing Applications: Society and Environment. – 2024. – Vol. 29. – P. 100–115.
10. Segarra J., Buchailot M.L., Araus J.L., Kefauver S.C. Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications // Agronomy. – 2020. – Vol. 10. – № 5. – Article 641. – P. 2–18.
11. Асқарова М.А., Сарсенова И.Б. Арал өңірінің экологиялық жағдайын ГАЖ-технологиялар негізінде картографиялау // ҚазҰУ Хабаршысы. География сериясы. – 2020. – № 3 (58). – Б. 12–21.

12. Әбдірахымов Н.Ә., Қалдыбаев С., Ержанова К., Рустемов Б., Бектаев Н. Қазақстанның құрғақ дала аймағының ашық қара-қоңыр топырақтарының деградацияланған жайылымдарын бағалау // *Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты.* – 2021. – № 2 (90). – Б. 99–111.
13. Löw F. Mapping abandoned agricultural land in Kyzylorda, southern Kazakhstan // *Land Use Policy.* – 2015. – Vol. 48. – P. 377–390. – DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.05.009.
14. Табылдина А.Т., Какимжанов Е.Х., Уваров В.Н., Мақаш К.К. Основы алгоритма расчета индекса растительности NDVI // *Вестник КазНУ.* – 2019. – С. 68–78.
15. Петрушин А.Ф., Митрофанов Е.П. Оценка состояния дренажных систем сельскохозяйственного поля с помощью данных дистанционного зондирования // *Вестник российской сельскохозяйственной науки.* – 2017. – № 4. – С. 17–20.
16. Козубенко И.С., Бегляров Р.Р., Вандышева Н.М. и др. Использование материалов дистанционного зондирования Земли в Единой федеральной информационной системе о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) // *Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве: материалы II Всероссийской научной конференции.* – Санкт-Петербург, 2018. – С. 19–25.
17. Баширова Ч.Ф. Индекс NDVI для дистанционного мониторинга растительности // *Молодой ученый.* – 2019. – № 31 (269). – С. 30–31.
18. Xu H., Croot P., Zhang C. Discovering hidden spatial patterns and their associations with controlling factors for potentially toxic elements in topsoil using hot spot analysis and K-means clustering analysis // *Environment International.* – 2021. – Vol. 151. – Article 106456. – DOI: 10.1016/j.envint.2021.106456.
19. Then Y.J., Abdul Halim S. Modified Mann–Kendall with higher-order statistics for trend analysis // *Scientific Reports.* – 2025. – Vol. 16. – Article 500.
20. Liu W., Ma L., Smanov Z., Samarkhanov K., Abuduwaili J. Clarifying soil texture and salinity using local spatial statistics (Getis-Ord G_i^* and Moran's I) in Kazakh–Uzbekistan border area, Central Asia // *Agronomy.* – 2022. – Vol. 12. – № 2. – Article 332. – DOI: 10.3390/agronomy12020332.
21. Бюро национальной статистики Республики Казахстан. Статистика регионов Казахстана (Кызылординская область) [Электронный ресурс]. – URL: <https://stat.gov.kz/ru/region/kyzylorda/> (дата обращения: 07.01.2025.)

REFERENCES

1. Kosarev, A. V., Ivanov, D. E., Mikerov, A. N., Savina, K. A., Valeev, T. K., & Suleymanov, R. A. (2021). *Primenenie geoinformatsionnykh tekhnologii i distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya otsenki vliyaniya aridnosti territorii na kachestvo vody malyykh rek. Gigiena i Sanitariya, 100(10), 1052–1059.* [In Russian].
2. Kerimbai, B. S., Baimyrzaev, A. S., Kerimbai, N. N., Bakht, M. B., & Tazhenova, S. Q. (2025). *Agrolandshaftardyn kenistik-uakyttyk ozgeristerin geozhuyelik turgydan taldau. QazUU Habarshysy. Geografiya Seriyasy, 78(3), 39–48.* [In Kazakh].
3. Conrad, C., Dech, S., Dubovyk, O., & others. (2020). Remote sensing-based assessments of land use, soil and vegetation in the Aral Sea Basin. *Water Security, 11*, Article 100078. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100078>
4. Mutalipova, K. K. (2024). *Qazaqstan Respublikasyndagy zhailymdyk zherlerdin tozuu: sebepteri men saldary. Agrarlyk Naryk Problemalary, 4, 245–254.* [In Kazakh].
5. Aralova, M. K. (2016). *Geoaparattyk tekhnologiyalar arkyly tabigi landshaftardy zertteu adisteri. QR UGA Habarshysy. Geografiya Seriyasy, 4, 44–50.* [In Kazakh].
6. Gantulga, N., Limaa, T., Batmunkh, M., Surenjav, U., Tserennadmin, E., Turmunkh, T., & Dorjsuren, B. (2023). Impacts of natural and anthropogenic factors on soil erosion. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences, 63(2), 3–18.*
7. Choudhary, K., Shi, W., Boori, M. S., & Corgne, S. (2019). Agricultural phenology monitoring using NDVI time series based on remote sensing satellites: A case study of Guangdong, China. *Optical Memory and Neural Networks, 28*, 204–214. <https://doi.org/10.3103/S1060992X19030093>
8. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment, 202*, 18–27.
9. Liepa, A., et al. (2024). Harmonized NDVI time-series from Landsat and Sentinel-2: Capturing phenological patterns. *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 29*, 100–115.
10. Segarra, J., Buchailot, M. L., Araus, J. L., & Kefauver, S. C. (2020). Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy, 10(5), Article 641.* 2-18. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050641>
11. Askarova, M. A., & Sarsenova, I. B. (2020). *Aral onirinin ekologiyalyk zhagdayyn GAJ-tekhnologiyalar negizinde kartografiyalau. QazUU Habarshysy. Geografiya Seriyasy, 58(3), 12–21.* [In Kazakh].
12. Abdirahymov, N. A., Qaldybaev, S., Erzhanova, K., Rustemov, B., & Bektaev, N. (2021). *Qazaqstannyn qurak dala aymagynyn ashyq qara-qonnyr topyraqtarynyn degradaciyalangan zhailymdaryn baqalau. Izdenister, Natizheler – Issledovaniya, Rezultaty, 90(2), 99–111.* [In Kazakh].
13. Löw, F. (2015). Mapping abandoned agricultural land in Kyzylorda, southern Kazakhstan. *Land Use Policy, 48*, 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.009>
14. Tabyldina, A. T., Kakimzhanov, E. Kh., Uvarov, V. N., & Maqash, K. K. (2019). *Osnovy algoritma rascheta indeksa rastitelnosti NDVI. Vestnik KazNU, 68–78.* [In Russian].

15. Petrushin, A. F., & Mitrofanov, E. P. (2017). Otsenka sostoyaniya drenaznykh sistem selskokhozyaystvennogo polya s pomoshchyu dannykh distantsionnogo zondirovaniya. *Vestnik Rossiyskoy Selskokhozyaystvennoy Nauki*, 4, 17–20. [In Russian].
16. Kozubenko, I. S., Beglyarov, R. R., Vandysheva, N. M., et al. (2018). Ispolzovanie materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli v Edinoy federalnoy informatsionnoy sisteme o zemlyakh selskokhozyaystvennogo naznacheniya (EFIS ZSN). In *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v selskom khozyaystve: Materialy II Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* (pp. 19–25). Saint Petersburg. [In Russian].
17. Bashirova, C. F. (2019). Indeks NDVI dlya distantsionnogo monitoringa rastitelnosti. *Molodoy Uchenyy*, 31(269), 30–31. [In Russian].
18. Xu, H., Croot, P., & Zhang, C. (2021). Discovering hidden spatial patterns and their associations with controlling factors for potentially toxic elements in topsoil using hot spot analysis and K-means clustering analysis. *Environment International*, 151, Article 106456. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106456>
19. Then, Y. J., & Abdul Halim, S. (2025). Modified Mann–Kendall with higher-order statistics for trend analysis. *Scientific Reports*, 16, Article 500.
20. Liu, W., Ma, L., Smanov, Z., Samarkhanov, K., & Abuduwaili, J. (2022). Clarifying soil texture and salinity using local spatial statistics (Getis-Ord Gi* and Moran's I) in the Kazakh–Uzbekistan border area, Central Asia. *Agronomy*, 12(2), Article 332. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020332>
21. Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan. (2026). *Statistika regionov Kazakhstan (Kyzylordinskaya oblast)*. <https://stat.gov.kz/ru/region/kyzylorda/>

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА КАЗАЛИНСКОГО РАЙОНА ЗА ПЕРИОД 2000...2025 ГГ.

Аязжан Ұ. Шыныбек^{1,2*}, Канат Б. Самарханов¹ к.ғ.н., PhD., Гульбаршын Е. Азимбаева¹

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казакстан; ayazhan_shynybek@mail.ru, samarkhanov_kb@enu.kz, azimbayeva_gye@enu.kz.

²РГП «Қазгидромет», Астана қ., Қазақстан; ayazhan_shynybek@mail.ru

*Автор корреспонденции: Аязжан Ұ.Шыныбек, e-mail: ayazhan_shynybek@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Казалинский район, вегетация, NDVI, Google Earth Engine (GEE), Getis-Ord Gi, Mann-Kendall, ДЗЗ, ГИС

По статье:

Получено: 05.03.2026

Пересмотрено: 16.03.2026

Принято: 09.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

АБСТРАКТ

На основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) выявлены пространственно-временные изменения растительного покрова и очаги деградации в Казалинском районе в период вегетации за 2000...2025 гг. Статистический анализ проводился с применением теста Манна - Кендалла и метода локальной ассоциации Getis-Ord Gi. Согласно результатам теста Манна - Кендалла, несмотря на отсутствие выраженного общего тренда по всему району, использование метода Getis-Ord Gi позволило выявить скрытые локальные очаги изменений. В целом, зоны деградации с уровнем значимости 99 % охватили 39,3 % территории района. Данные участки преимущественно сосредоточены в южной и юго-западной частях региона, охватывая естественные пастбища и территории с высокой антропогенной нагрузкой. Кроме того, полученные ареалы роста и деградации были сопоставлены с показателями продуктивности по району. В результате установлено, что 38,9 % территорий с положительной динамикой роста соответствуют участкам повышения продуктивности на орошаемых пашнях.

GEOSPATIAL ANALYSIS OF VEGETATION COVER DYNAMICS IN THE KAZALY DISTRICT FOR THE PERIOD 2000–2025

Ayazhan Shynybek^{1,2*}, Kanat Samarkhanov¹, Candidate of Geographical Sciences, PhD., Gulbarshyn Azimbayeva¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; ayazhan_shynybek@mail.ru, samarkhanov_kb@enu.kz, azimbayeva_gye@enu.kz.

²RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan; ayazhan_shynybek@mail.ru

*Corresponding author: Ayazhan U. Shynybek, ayazhan_shynybek@mail.ru

KEY WORDS

Kazaly district, vegetation, NDVI, Google Earth Engine (GEE), Getis-Ord Gi, Mann-Kendall, RS, GIS

About article:

Received: 05.03.2026

Revised: 16.03.2026

Accepted: 09.06.2026

Published: 01.07.2026





ABSTRACT

Based on remote sensing (RS) data, spatiotemporal changes in vegetation cover and degradation hotspots in the Kazaly district were identified for the growing seasons between 2000 and 2025. Statistical analysis was conducted using the Mann-Kendall test and the Getis-Ord Gi local association method. According to the Mann-Kendall test results, despite the absence of a pronounced general trend across the entire district, the application of the Getis-Ord Gi method revealed hidden local hotspots of change. Overall, degradation zones with a 99 % confidence level covered 39,3 % of the district's territory. These areas are predominantly concentrated in the southern and southwestern parts of the region, encompassing natural pastures and territories characterized by high anthropogenic pressure. Furthermore, the identified areas of growth and degradation were correlated with regional productivity indicators. The results established that 38,9 % of the areas showing positive growth dynamics correspond to sections of increased productivity within irrigated croplands.

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



ЕРТІС МАҢЫ ОРМАНДАРЫНЫҢ 2000...2025 ЖЖ. АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ДИНАМИКАСЫН ГЕОКЕҢІСТІКТІК ТАЛДАУ

Гульбаршын Е. Азимбаева^{1*} , Канат Б. Самарханов¹  г.ғ.к, PhD., Аяжан Ұ. Шыныбек^{1,2} 
Марина К. Булатова³ 

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; azimbayeva_gye@enu.kz (ГЕА), samarkhanov_kb@enu.kz (КБС), ayazhan_shynybek@mail.ru (АҰШ)

²РГП «Казгидромет», г. Астана, Қазақстан; ayazhan_shynybek@mail.ru

³«Семей орманы» МОТР» мемлекеттік мекемесі, Семей, Қазақстан; marsi.7@mail.ru (МКБ)

*Автор корреспондент: Гульбаршын Е. Азимбаева, ; azimbayeva_gye@enu.kz (ГЕА)

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Ертіс маңы орманы,
Абай облысы,
геоақпараттық жүйе,
жерді қашықтықтан
зондтау,
NDVI,
Манн-Кендалл тест,
реликті қарағай
ормандары

АБСТРАКТ

Мақалада «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерватының (МОТР) аумағында орналасқан Абай облысының реликті қарағай ормандарының өсімдік жамылғысының динамикасы қарастырылады. Ормандардың қазіргі жағдайы мен өзгерістерді анықтау үшін жерді қашықтықтан зондтау мен геоақпараттық жүйелер қолданылды. Орман экожүйелерінің вегетациялық жай-күйін бағалау үшін 2000 жылдан 2025 жылға дейінгі кезең мен 5 жылдық қадамдармен есептелген медианалық NDVI картасы құрастырылды. Jenks алгоритмі негізінде өсімдік жамылғысы деградацияланған аймақтардан (-0.187...0.291) бастап, өте сирек (0.291...0.373), орташа (0.373...0.448), орташадан жоғары (0.448...0.522), жоғары (0.522...0.614) және максималды (0.614...0.862) биоөнімділік аймақтарына дейінгі 6 санатқа жіктелді. Анықталған үдерістердің статистикалық маңыздылығы Манн-Кендалл тесті мен Сен талдауы арқылы тексеріліп, дәлелденді. Тест нәтижесінде ормандардың барлық бөлімшелері оң динамика көрсетіп ($p < 0.05$), ормандардың табиғи жаңару әлеуеті расталды. Алайда, 2023 жылы болған өрт салдары Жаңа Шүлбі бөлімшесінде өсімдік жамылғысының 24 %-ға (0.50...0.38 дейін) және Бородулихада 13 %-ға (0.61...0.53 дейін) төмендеуі экологиялық құлдыраудың орын алғанын көрсетеді. Өсім қарқыны мен тұрақтылық көрсеткіштері бойынша ең жоғары өсім – Бородулиха мен Бөкебайда, орташа өсім – Долон, Беген, Канонерка және баяу, тұрақты өсім – Жаңасемей мен Морозов бөлімшелерінде анықталды. Алынған нәтижелер аймақтағы аридтену үдерістері мен шекті температуралық ауытқулардың реликті қарағай ормандарының вегетациялық белсенділігіне тікелей әсерін айқындайды. Жүргізілген геокеңістіктік талдау нәтижелері Ертіс маңы ормандарының климаттың жаһандық жылыну жағдайындағы экологиялық тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу жұмысы аймақтық экологиялық саясатты қалыптастыруда, соның ішінде орманды қорғау және климаттық өзгерістерге бейімделу стратегияларын әзірлеуде маңызды практикалық маңызға ие.

1. КІРІСПЕ

Қазіргі таңда жаһандық климаттың өзгеруі аридті және субаридті аймақтардағы экожүйелерге, әсіресе Ертіс маңы реликті қарағайлы ормандарға айтарлықтай қауіп төндіруде. Бұл ормандар – мұз дәуірінен сақталған реликті нысандар болып табылады және Қазақстанның жалпы орман қорының небәрі 5 %-ын ғана құрайды [1].

Аймақтың экологиялық негізі мен биологиялық әралуандылығының тірегі саналатын реликті қарағай алқаптары – әлемде тек Канадада баламасы бар бірегей табиғи кешен. Бұл нысан өзінің климатты қалыптастырушы, топырақты эрозиядан қорғайтын және гидрологиялық режимді реттеуші функцияларына байланысты мемлекеттік маңызы бар стратегиялық нысан ретінде сипатталады [2].

Мақала жайында:

Жіберілді: 07.03.2026
Қайта қаралды: 13.04.2026
Қабылданды: 23.06.2026
Жарияланды: 01.07.2026

Дәйексөз үшін:

Азимбаева Г., Самарханов К., Шыныбек А., Булатова М., Ертіс маңы ормандарының 2000...2025 жж. аралығындағы динамикасын геокеңістіктік талдау// Гидрометеорология және экология, 122 (2), 2026, 125-136.

Соңғы онжылдықта Ертіс алабында орташа жылдық температураның көтерілуі мен жауын-шашын диспропорциясы орман өрттерінің жиіленуіне, зиянкестердің таралуына және табиғи регенерацияны тежеуде [3]. Бұл жағдай ландшафттық құрылымның антропогендік трансформациясы мен климаттық экстремумдардың жиілеуі осы аймақтағы орман ресурстарын басқарудың жаңа ғылыми тәсілдерін қажет етеді.

Ертіс маңы ормандарының экологиялық және географиялық ерекшеліктері қазіргі С.В.Залесов, А.В.Данчева сияқты ғалымдардың зерттеулерінде кеңінен қарастырылған [4, 5]. Климаттың өзгеруі жағдайында Қазақстандағы ормандарды тұрақты басқару және биоәртүрлілікті сақтау тұрғысынан ормандардың климаттық реакцияларын түсіну ерекше маңызды болып келеді. Климаттың ауытқулары мен үрдістерінің ағаш өнімділігі мен орман экожүйесінің динамикасына әсерін түсінуге және болжауға көмектесетін зерттеулердің бір өзекті саласы - ағаш сақиналарына негізделген. Өкінішке орай елімізде дендроклиматологиялық зерттеулер жұмысы мен зерттеу жұмыстары туралы ақпарат жеткіліксіз болғанымен аймақтың дендроклиматологиясындағы осалдықты толтыру басымдыққа ие [6]. Сонымен қатар қазіргі кезеңдегі зерттеулер көбінесе климаттық мониторинг пен ГАЖ технологияларын қолдану арқылы ландшафттық динамиканы модельдеуге бағытталған.

Осы теориялық және әдістемелік негіздерді ескере отырып, бұл мақаланың мақсаты – жерді қашықтықтан зондтау арқылы аймақтың ландшафттық жағдайына ретроспективті талдау жасау және осы зерттеулер негізінде өсімдік жамылғысының өзгерістерін тренд талдауы ретінде көрсету. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

1. «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты» республикалық мемлекеттік мекемесінің бөлімшелер бойынша толық картасын әзірлеу;
2. Жерді қашықтықтан зондтау арқылы территорияның ландшафттық жағдайына ретроспективті талдау жасау;
3. 2000...2025 жж. аралығында аймақтың өсімдік жамылғысының өзгеру динамикасын график түрінде көрсетіп, Mann – Kendall [7] тесті негізінде трендті дәлелдеу.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы келесі нәтижелермен айқындалады:

- «Семей орманы» МОТР-ның барлық бөлімшелерін қамтитын шолу картасы әзірленді;
- 25 жылдық кезеңдегі өсімдік жамылғысының медианалық өзгерістерінің кеңістіктік-уақыттық динамикасы сандық тұрғыдан нақтыланды;
- Зерттеуде арнайы математикалық тренд тестті қолдану арқылы қарағайлы ормандардың деградация және регенерация үдерістері алғаш рет нақтыланып, сенімділігі дәлелденді.

2. ЗЕРТТЕУДІҢ НЫСАНЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу нысаны – Ертіс маңы орман алқабының құрылымдық-тектоникалық негізін кейінгі каледон және герцин кезеңдерінің құрылымдық элементтері құрайды. Бұл қарағайлы ормандар Қазақстанның солтүстігі және Обь – Ертіс өзенаралық аумағының оңтүстік далаларындағы ежелгі аллювийлі құмдар мен гранитті жыныстардың элювийлі топырақтарында шоғырланған [8].

Солтүстік Қазақстан аумағына суықтың енуі мен маусымдық тоңның таралуы соңғы плейстоцен дәуірінің мұздық кезеңімен байланысты. Бұл кезең дала ландшафтарының қалыптасуына ал кей жерде орманды-далаға ауысуына алып келді [9, 11].

Климаты шұғыл континентальды, ылғалы тапшы, құрғақ дала зонасында орналасқан. Жазда ең құрғақ және ыстық ай шілдеде ауа температурасы +45 °С дейін көтерілсе, ал минималды ауа температурасы қаңтар айында – 38 °С. Осындай климаттық

жағдайда аймақтың құмды субстраттарында кәдімгі қарағай (*Pinus Sylvestris*) доминантты рөл атқарып, жусанды және селеулі қауымдастықтармен ұласатын біртұтас фитоценоз құрайды [3].

Геоботаникалық зерттеулерге сәйкес Семей – Ертіс өңірінің қарағай алқаптары жоғары флоралық алуантүрлілігімен ерекшеленетін реликті экожүйе болып табылады. Зерттелетін аумақта алты негізгі өсімдік түрі анықталды: далалық, шалғынды, батпақты, ағашты, бұталы және суға батқан су. Бұл түрлердің ішінде шоқ шөптер мен галофиттерден бастап қияқтарға, қарағай мен тоған шөптеріне дейін әртүрлі түзілімдер сипатталған. Аталған қауымдастықтар тек экологиялық және топырақ қорғау функцияларын ғана емес, бағалы дәрілік, балдық, жемдік өсімдіктердің бай қорын жинақтаған маңызды ресурстық нысан болып саналады. [12].

Табиғат жылнамасы есебін талдау барысында резерват аумағы Шығыс Қазақстан облысында орналасқан. Алайда, қазіргі таңда Қазақстан Республикасы Президентінің 2022 жылғы 3 мамырдағы № 887 Жарлығына сәйкес әкімшілік орталық Семей қаласында орналасқан жаңа Абай ауданы деп белгіленді [13].

Ертіс маңы ормандарының негізгі және құнды бөлігі «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерватының (МОТР) аумағында орналасқан. «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты» республикалық мемлекеттік мекемесінің бес жылдық (2018...2022 жж.) табиғат жылнамасының деректеріне сәйкес қазіргі таңда 656395 га және 10 бөлімшеден тұрады (кесте 1):

Кесте 1

«Семей орманы» МОТР» РММ-нің бөлімшелердің құрылымы мен жер қорының сипаттамасы

№	Бөлімше атауы	Орманшылық саны	Жалпы ауданы, га	Үлесі, %
1	Беген	3	76843	11,7
2	Бородулиха	3	52757	8,0
3	Бөкебай	3	64541	9,8
4	Долон	4	96796	14,7
5	Жаңасемей	4	77746	11,8
6	Канонерка	3	45931	7,0
7	Морозов	2	30507	4,6
8	Жаңа Шүлбі	3	46616	7,1
9	Семей	6	103378	15,8
10	*Тау-Дала	3	61270	9,3
БАРЛЫҒЫ		37	656395	100

Ескерту: * Ертіс маңы аумағынан тыс орналасқан, оқшауланған аймақ

Зерттеу әдістері

Картографиялық негізді қалыптастыру және ГАЗ талдау.

Бөлімшелердің аумақтары мен шекараларын цифрландыру жұмыстары «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерватының орман екпелерінің 1:200000 масштабындағы бөлімшелердің жеке карта-сызбасы негізінде жүргізілді [14]. Зерттеу аумағы бойынша барлық бөлімшелерді қамтитын бірыңғай картаның болмауына

байланысты жеке карталарды біріктіру және жүйелеу арқылы авторлық шолу картасы ретінде қайта құрастырылды (сурет 1).



Сурет 1. «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты бөлімшелерінің әкімшілік-шекаралық карта-сызбасы

Деректерді картографиялық өңдеу және геоақпараттық модельдеу жұмыстары QGIS 3.40.5 – Bratislava бағдарламалық ортасында жүзеге асырылды [15]. Векторлау үдерісінің дәлдігін қамтамасыз ету үшін бастапқы кезеңде растрлық материалдар-EPSSG: 4326 (WGS 84) бірыңғай координаттар жүйесіне сәйкестендірілді.—Келесі кезеңде бөлімшелердің шекаралары векторлау арқылы цифрландырылды. Әрбір кеңістіктік нысан үшін құрылымдалған атрибуттық кесте жасалып, бөлімшелердің атауы беріліп, аумақтық көрсеткіштері жүйеленді. Карта-сызбаны безендіру және визуализациялау барысында шартты белгілер мен классификациялау әдістері қолданылып, зерттеу нысанының толыққанды кеңістіктік-деректер моделі қалыптастырылды.

Ғарыштық мониторинг және вегетациялық индекстерді есептеу

Орман алқаптарының динамикасын зерттеу үшін Google Earth Engine платформасының есептеу мүмкіндіктері пайдаланылды. Қашықтықтан зондтау мәліметтері ретінде кеңістіктік айырымдылығы 250 м болатын MODIS спутниктік деректер жиынтығы таңдап алынды [16]. Арнайы әзірленген алгоритм арқылы зерттеу аумағының шекарасы бойынша 2000...2005...2010...2015...2020 және 2025 жылдардың NDVI индексі есептелінді. 2000...2025 жылдардың әрбір уақыт кезеңі бойынша медианалық мәндер анықталды [17]. Алынған деректер CSV форматында экспортталып, кешенді статистикалық талдау жүргізу үшін Python кодын іске қосатын Google Colab ортасына импортталды.

Статистикалық талдау және трендтерді бағалау

Уақыттық қатарлар деректеріндегі вегетациялық өзгерістердің статистикалық сенімділігін анықтау мақсатында Манн-Кендалл бейпараметрлік тренд тесті қолданылды [7]. Тесттің негізгі көрсеткіші мына формула арқылы есептелінді (1):

$$\tau = \frac{S}{N(N - 1)/2} \tag{1}$$

Мұндағы S – Манн-Кендалл статистикасы барлық мүмкін жұптардың айырмашылықтары ретінде есептеледі (2):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (2)$$

Мұндағы x_i және x_j уақыт қатарындағы деректердің мәндері ($j > i$), ал n – деректер нүктелерінің саны. Статистикалық гипотезаны тексеру p -value көрсеткіші арқылы жүзеге асырылып, маңыздылық деңгейі бағаланды. Ол S статистикасының қалыпты таралуға негізделді.

Трендтің көлбеулігін бағалау үшін Сен көлбеуі [18] арқылы көлбеулердің медианасы ретінде есептелді (3).

$$b_{sen} = \text{median}\left(\frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}\right) \quad (3)$$

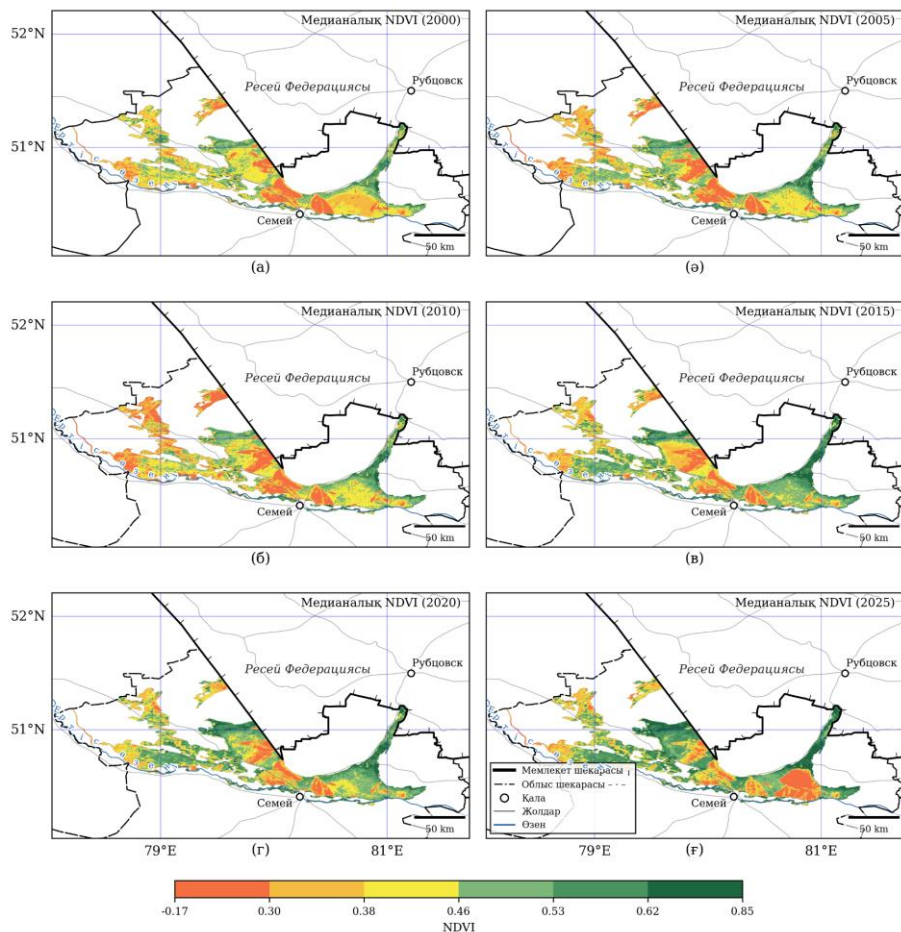
Мұндағы x_i және x_j – уақыт қатарындағы деректердің мәндері, ал y_j және y_i – сәйкес кезеңдегі NDVI мәндері. Бұл әдіс алынған деректердің таралу заңдылығына тәуелсіз және ауытқу мәндерге сезімтал емес болғандықтан талдау үшін сенімді әдіс ретінде таңдалынды. Орман алқаптарының деградациялану немесе регенерациялану үдерістерін объективті түрде пайымдауға мүмкіндік берді.

3. НӘТИЖЕЛЕР МЕН ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Негізгі зерттеу жұмысы Жерді қашықтықтан зондтау арқылы территорияның ландшафттық динамикасын уақыт бойынша бағалауға бағытталды. 2000...2005...2010...2015...2020...2025 жылдарға сәйкес спутниктік деректер негізінде NDVI индексі есептеліп, пайымдау нәтижесінде картографиялық өңдеу жүргізілді (сурет 2).

Резерваттың 2000...2005...2010...2015...2020 және 2025 жылдарында түсірілген ғарыштық суреттерден медианалық NDVI картасы құрастырылды. Картадағы NDVI айырмашылықтардың анық болуы үшін Jenks табиғи шектері бойынша алты жікке топтастырылды:

1. Деградацияланған аймақтар мен сирек өсімдіктер (-0.187...0.291): бұл санатқа ашық құмдар мен тұрақты өсімдіктері жоқ аумақтар жатады.
2. Өте сирек жамылғы (0.291...0.373): өсімдік жамылғысының төмен көрсеткіштеріне ие фитоценоздармен сипатталады.
3. Орташа тығыздық аймағы (0.373...0.448): сирек орман алқаптарын қамтитын өтпелі аймақ.
4. Орташадан жоғары тығыздық аймағы (0.448...0.522): тұрақты өсімдіктер мен жас екпелердің гүлденген аймақтарына сәйкес келеді.
5. Жоғары тығыздық аймағы (0.522...0.614): жетілген, тұрақты өсімі бар орман алқаптары.
6. Максималды биоөнімділік аймағы (0.614...0.862): фитомасса көрсеткіштері ең жоғары және ең тығыз орман алқаптары.



Сурет 2. 2000...2025 жылдар аралығындағы «Семей орманы» МОТР» РММ-нің өсімдік жамылғысының медианалық мәндерінің кеңістіктік-уақыттық динамикасы

Манн-Кендалл тестінің нәтижелері «Семей орманы» резерватының барлық аумағында NDVI тренді айқындалғанын және нәтиженің оң сипатқа ие екендігі дәлелденді (сурет 3).



Сурет 3. Семей орманы бөлімшелер бойынша өсімдік жамылғысының тренді

Талдау нәтижелері көрсеткендей барлық бөлімшелердегі 25 жылдық NDVI динамикасының статистикалық маңыздылығы Манн-Кендалл тесті арқылы расталып, келесі көрсеткіштермен сипатталды (кесте 2):

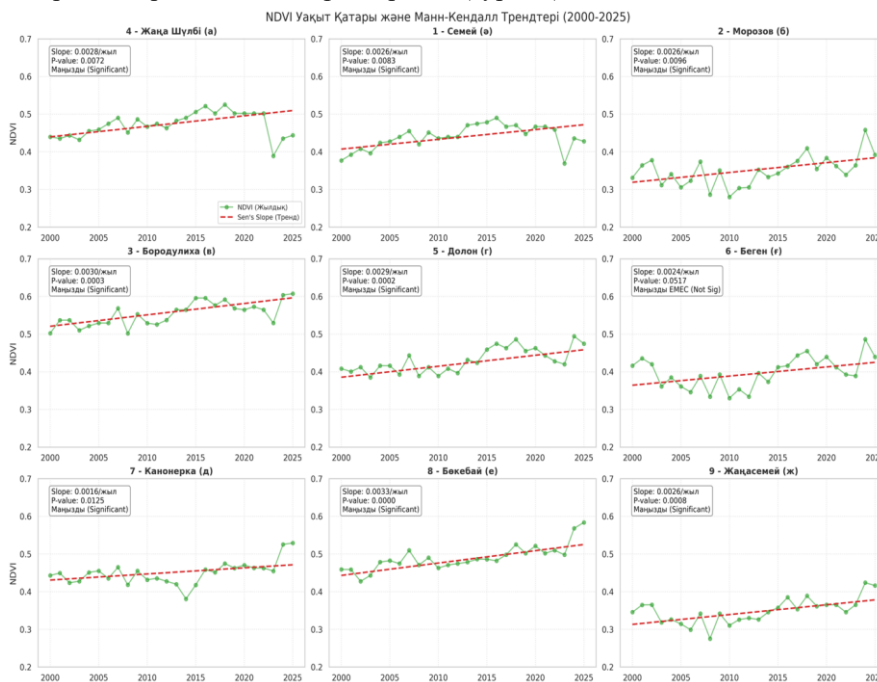
Кесте 2

Орман алқаптарының өсу қарқыны мен тұрақтылық көрсеткіштері

Ең жоғары өсім	Тұрақтылық өсім	Орташа өсім	Баяу, бірақ сенімді өсім
Бородулиха, Бөкебай	Жаңа Шүлбі, Семей	Долон, Беген, Канонерка	Жаңасемей, Морозов

Манн – Кендалл тестінің қорытындысы бойынша NDVI индексінің максимум көрсеткіші Бородулиха бөлімшесінде тіркелді. Бұл аумақта өсімдік жамылғысы өте тығыз және тұрақты дамуы байқалса, ең төменгі көрсеткіш Морозов және Жаңасемей бөлімшелерінде. Аймақтарда құмды топырақтардың басымдығы мен өткен кезеңдердегі өрттен кейінгі табиғи қалпына келу процесінің баяулығы себеп болады. Сонымен қатар 2023 жылы Семей, Жаңа Шүлбі және Бородулиха бөлімшелерінде орын алған ірі өрттің салдарынан 60000 га орман қорының жойылуы вегетациялық динамиканың тежелуіне алып келді. Бұл апат уақыттық қатарлар графигінде айқын көрінетін–теріс ауытқу ретінде көрініс табады (а, э, в графигі).

Морозов және Жаңасемей аймақтарында вегетациялық көрсеткіш бұрын төмен болғанымен 2024 жылы шекті көрсеткішке жетті (б, ж графигі). Бұл деградацияға ұшыраған жерлердің сәтті қалпына келуі мен жас екпелерді отырғызудың нәтижесі. Ал Долон және Беген бөлімшелеріндегі көрсеткіштердің ұқсастығы олардың климаттық жағдайларының ортақтығымен түсіндіріледі (сурет 4).



Сурет 4. «Семей орманы» МОТР» бөлімшелері бойынша NDVI көрсеткіштерінің көпжылдық уақыттық қатарлары мен олардың Манн-Кендалл тестіне сәйкестік графигі (2000...2025 жж.)

2024...2025 жылы Семей бөлімшесінде өртенген жерді қайта қалпына келтіру мақсатында орман ағаштарын отырғызу бойынша кешенді шаралар жүргізілді. 2024 жылы 13,5 га алқапқа 40587 кәдімгі қарағай көшеттері егілді. 2025 жылдың көктемгі ағаш отырғызу кезеңінде ауданы 10 га жер өртенген ағаштардың қалдықтары тазартылып, 29463 дана көшет отырғызылса, сол жылдың күзінде тағы 10 га жерге 29463 көшет егілді. Осылайша екі жыл ішінде жалпы ауданы 33,5 га алқапқа 99513 кәдімгі

қарағай көшеттері отырғызылып, орманды қалпына келтіру шаралары толық көлемде жүзеге асырылды [19]. Өртке оранған қалған екі бөлімшелер бойынша ағаш егу шараларына дайындық жұмыстары жүргізілуде.

Зерттеу мақсаттарына жету үшін барлық қойылған міндеттер орындалды. Манн-Кендалл тестін зерттеуде қолдану алынған ақпараттардың бар-жоғын математикалық тұрғыдан дәлелдеуге мүмкіндік берді. 2023 жылы резерваттың 3 бөлімшесінде: Бородулиха, Жаңа Шүлбі және Семейде орын алған өрт апаты ерекше назар аударуға тұрарлық. Құмды топырақ пен құрғақ климаттың салдарынан бұл аймақтар өртке өте сезімтал болып келеді. Дегенмен, 25 жылдық динамика оң көрсеткішті көрсетуі экожүйенің жоғары экологиялық тұрақтылығын дәлелдейді. Барлық бөлімшелердің ішінде ең төменгі көрсеткіш Жаңасемейге тән. Аталған аумақтағы вегетациялық деңгейдің төмендігі 1997...2000 жылдары болған ірі өрт апатының салдарымен байланысты. Бұл бөлімшеде өсімдіктер динамикасын талдау екінші реттік сукцессияның классикалық сценарийін көрсетеді.

Әдістемелік тұрғыдан алғанда, зерттеу жұмысымызда қолданылған MODIS деректері мен Манн-Кендалл тестінің үйлесімі халықаралық тәжірибеде өсімдік жамылғысының динамикасын бағалаудың ең сенімді тәсілдерінің бірі болып саналады. Дәл осындай кешенді тәсіл Қытай мемлекетіндегі Цзялин және Ханьцзян өзендерінің бассейніндегі вегетациялық өзгерістерді талдауда сәтті қолданған [20, 21]. Зерттеу жұмыстарында вегетациялық индекстің тұрақты өсуіне топографиялық факторлар мен топырақ типі әсер еткенін көрсеткен. Ертіс маңы қарағайлы ормандарының динамикасы да аймақтың рельефтік ерекшеліктеріне, топырақ жамылғысы мен климаттық факторларға тәуелділігі анықталды. Анықталған NDVI көрсеткіштерінің оң динамикасы Еуразия материгінің құрғақ аймақтарындағы жалпы «жасылдану» үрдісіне сәкес келеді [21]. Бұл әдістердің жиынтығы «Семей орманы» МОТР-да регенерациялық үдерістердің тек бағытын ғана емес, математикалық тұрғыдан негізделген статистикалық сенімділігін ашуға мүмкіндік берді.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу жұмыстары Абай облысының 2000... 2025 жылдар аралығындағы реликті қарағай ормандарының жағдайы мен динамикасын кешенді бағалауды қамтамасыз етті. Зерттеу жұмыс нәтижесінде келесі қорытындылар жасалынды:

- Картографиялау: алғаш рет «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерватының бөлімшелер бойынша жаңартылған сандық картасы жасалды.
- Өсімдік динамикасы: 25 жылдық кезеңдегі NDVI есептеулері циклдік өсімдік үлгісін анықтады, ол күрт антропогендік және табиғи факторлармен күрделене түседі. Бақылау жылдарына арналған NDVI карталары (2000... 2005...2010...2015...2020...2025) орман қорының кеңістіктік түрленуін анық көрсетті.
- Статистикалық талдау: Манн-Кендалл тесті үрдістердің болуының ғылыми дәлелдерін ұсынды. Анықталған барлық өзгерістер кездейсоқ ауытқулар емес, өзгермелі климаттағы экожүйе эволюциясының табиғи процесін білдіреді.
- Тәжірибелік маңыздылығы: Тіпті жойқын өрттерден кейін де 2000 жылға дейін де, 2023 жылы да, геологиялық негіз сақталып, қоршаған орта факторлары бақыланған кезде де оң қалпына келу динамикасы байқалатыны дәлелденген.

Бұл зерттеу Қазақстанның бірегей табиғи кешендерінің жедел басқаруы үшін ғарыштық мониторинг пен статистикалық талдауды пайдаланудың тиімділігін растайды.

Жүргізілген зерттеу жұмысының нәтижелері жоғары сенімділікке ие болғанымен, кейбір шектеулерді атап өту қажет. Пайдаланылған MODIS ғарыштық деректерінің кеңістіктік ажыратылымдығы (250 м) ауқымды аймақтардың динамикасын бағалауға мүмкіндік бергенімен, орманның тығыздығы мен құрамындағы микроөзгерістерді толық қамтуда белгілі бір қиындықтар тудыруы мүмкін. Сонымен қатар, NDVI көрсеткіштерінің ауытқуына тек климаттық факторлар ғана емес, сонымен бірге топырақ ылғалдылығы мен жерасты суларының деңгейі де әсер етеді. Бұл факторларды болашақ зерттеулерде кешенді түрде қарастыру жоспарлануда.

Зерттеу барысында «Ертіс маңы ормандары», «геоақпараттық жүйе» кілт сөздері бойынша жарияланған ғылыми мақалаларға ретроспективті талдау жүргізілді.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректерді авторлар «Семей орманы» МОТР» РММ табиғат жылнамасы, 2024 жылғы ресми орман қорының есебі дереккөздерінен алынып, орманды молықтыру мен табиғи кешендер өндірістік бөлімі тарапынан ұсынылды. Картографиялық талдаудың ақпараттық негізі ретінде «Қазақ орман орналастыру кәсіпорны» РМҚК ұсынған «Семей орманы» МОТР-ның 2024 жылғы ресми орман орналастыру материалдары пайдаланылды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау - ГЕА; деректерді басқару - ГЕА; Ресми талдау - ГЕА, КБС; Әдістеме – КБС, МКБ; Қадағалау - КБС; Визуализация - ГЕА; Бастапқы жобаны жазу - ГЕА; Шолу жазу және редакциялау - ГЕА, АҰШ.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Данчева А. В., Залесов С. В. Районирование сосновых лесов Республики Казахстан // Леса России и хозяйство в них. - 2023. - № 1 (88). - С. 4–28.
2. Mazbayev O.B., Belgibaev M.E., Demeuov A.B. The Preservation of the Relict Irtysh Pine Forests // Journal of Ecology and Natural Resources, – 2020. – Vol. 4, Issue 3. – URL: <https://doi.org/10.23880/jenr-16000196>
3. Табиғат жылнама (2018–2022 жж.) / РММ «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты. – Семей, [2023]. – 51 б.
4. Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения. - Екатеринбург: УГЛУТУ, 2015. - 152 с.
5. Данчева А.В., Залесов С.В., Муқанов Б.М. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны в ленточных борах Прииртышья // Лесной вестник / Forestry Bulletin, - 2020. - Т. 24. - № 2. - С. 5–10.
6. Maripov, N.B.; Belokopytova, L.V.; Zhirnova, D.F.; Abilova, S.B.; Ualiyeva, R.M.; Bitkeyeva, A.A.; Babushkina, E.A.; Vaganov, E.A. Factors Limiting Radial Growth of Conifers on Their Semiarid Borders across Kazakhstan. Biology – 2023.- Vol. 12. – Art. 604. <https://doi.org/10.3390/biology12040604>
7. Mann H.B. Nonparametric tests against trend [Электронный ресурс] // Econometrica. – 1945. – Vol. 13. – P. 245–259. – URL: <https://doi.org/10.2307/1907187>
8. Gribanov L. N. Steppe forests of the Altai Territory and Kazakhstan.- М.: Goslesbumizdat, 1960. - 156 p.
9. Грибанов Л. Н. Степные боры Казахстана и пути их восстановления // Труды Института леса АН КазССР. — Алма-Ата, 1957. — Т. 1. — С. 15–40.
10. Грибанов Л. Н. Типы ленточных боров Прииртышья // Лесное хозяйство. — 1965. — № 5. — С. 10–14.
11. Гвоздецкий Н. А., Николаев В. А. Казахстан: Очерк природы. — М.: Мысль, 1971. — 330 с.
12. Елькенова Б.З., Бейсенова Р.Р., Карипбаева Н.Ш., Полевик В.В. Типы растительности и основные формации соснового бора Семипалатинского Прииртышья. Вестник Университета Шакарима. Серия: технические науки. - 2020; – № 4 (92). – С. 232–237.
13. Қазақстан Республикасы Президентінің 2022 жылғы 3 мамырдағы № 887 Жарлығы «Қазақстан Республикасының әкімшілік-аумақтық құрылысының кейбір мәселелері туралы». // Қазақстан Республикасы Президенті мен Үкіметінің актілер жинағы. – 2022. – № 25–26. – 160-құжат.

14. Материалы государственного лесоустройства ГЛПП «Семей орманы» [Картографический материал] / РГКП «Казакское лесостроительное предприятие». – Семей, 2024.
15. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Version 3.40.5-Bratislava [Электронный ресурс]. – QGIS Association, 2024. – Режим доступа: <https://www.qgis.org>.
16. Google Earth Engine Cloud Computing Platform [Software]. – Mountain View, CA : Google, 2024. – URL: <https://earthengine.google.com>.
17. MOD13Q1.061 Terra Vegetation Indices 16-Day Global 250m [Data set]. – NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), 2024. – DOI: 10.5067/MODIS/MOD13Q1.061. – URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v061/>
18. Sen, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, – 1968. – Vol. 63, № 324. – P. 1379–1389.
19. Учет лесного фонда РГУ ГЛПП «Семей орманы» по состоянию на 01.01.2024 г. в разрезе районов [Ведомственный материал]. – Семей : ГЛПП «Семей орманы», 2024.
20. Liu, Y., Tan, M. L., Yaseen, Z. M., & Zhang, F.. Spatiotemporal analysis of long-term vegetation dynamics using KNDVI and machine learning-based multifactor analysis. // *Ecological Informatics*. – 2026. – Vol. 93. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103559>
21. Zhang, Z., Liang, S., & Xiong, Y. Vegetation Dynamics and Their Response to Climate Changes and Human Activities: A Case Study in the Hanjiang River Basin, China. // *Forests*. – 2023. – Vol. 14, № 3. – URL: <https://doi.org/10.3390/f14030509>

REFERENCES

1. Dancheva, A. V., & Zalesov, S. V. (2023). Raionirovanie osnovnykh lesov Respubliki Kazakhstan [Zoning of pine forests of the Republic of Kazakhstan]. *Les Rossii i khozyaistvo v nikh*, (1), 4–28. [in Russian]
2. Mazbayev, O. B., Belgibaev, M. E., & Demeuov, A. B. (2020). The preservation of the relict Irtysh pine forests. *Journal of Ecology and Natural Resources*, 4(3). <https://doi.org/10.23880/jenr-16000196>
3. Tabiğat jylnama (2018–2022 jj.) / RMM «Semei ormany» memlekettik orman tabiği rezervaty. – Semei, [2023]. – 51 b. [in Kazakh]
4. Dancheva, A. V., & Zalesov, S. V. (2015). Ekologicheskii monitoring lesnykh nasazhdenii rekreatsionnogo naznacheniya [Ecological monitoring of recreational forest stands]. 152 s. [in Russian]
5. Dancheva, A. V., Zalesov, S. V., & Mukanov, B. M. (2020). Vliyanie klimaticheskikh faktorov na radialnyi prirost sosny v lentochnykh borakh Priirtyshya [Influence of climatic factors on radial growth of pine in ribbon forests of the Irtysh region]. *Lesnoi Vestnik*, 24(2), 5–10. [in Russian]
6. Mapitov, N. B., Belokopytova, L. V., Zhirnova, D. F., Abilova, S. B., Ualiyeva, R. M., Bitkeyeva, A. A., Babushkina, E. A., & Vaganov, E. A. (2023). Factors limiting radial growth of conifers on their semiarid borders across Kazakhstan. *Biology*, 12, 604. <https://doi.org/10.3390/biology12040604>
7. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
8. Griбанov L. N. (1960) Steppe forests of the Altai Territory and Kazakhstan. M.: Goslesbumizdat, 1960. 156 p.
9. Griбанov L. N. (1957) Stepnye bory Kazahstana i puti ih vosstanovleniya // *Trudy İnstitutа lesа AN KazSSR*. – Alma-Ata., – T. 1. – S. 15–40. [in Russian]
10. Griбанov, L. N. (1965). Tipy lentochnykh borov Priirtyshya [Types of ribbon forests of the Irtysh region]. *Lesnoe Khozyaystvo*, (5), 10–14. [in Russian]
11. Gvozdetskii, N. A., & Nikolaev, V. A. (1971). Kazakhstan: Ocherk prirody [Kazakhstan: A natural overview]. – M.: Mysl, 1971. – 330 s. [in Russian]
12. Elkenova, B. Z., Beisenova, R. R., Karipbaeva, N. Sh., & Polevik, V. V. (2020). Tipy rastitelnosti i osnovnye formatsii osnovnogo bora Semipalatinskogo Priirtyshya [Vegetation types and main formations of pine forests of the Semipalatinsk Irtysh region]. *Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki*, (4), 232–237. [in Russian]
13. Qazaqstan Respublikasy Prezidentiniñ 2022 jylğy 3 мамырдағы № 887 Jarlyғы «Qazaqstan Respublikasyniñ әkimshilik-aumaqtyq qurylysyniñ keibir мәseleleri туралы». // *Qazaqstan Respublikasy Prezidenti men Ükimetiniñ aktiler jinaғы*. – 2022. – № 25–26. – 160-qūjat. [in Kazakh]
14. Materialy gosudarstvennogo lesoustroistva GLPR «Semei ormany» [Kartograficheski material] / RGKP «Kazahskoe lesoustroitelnoe predpriatie». – Semei, 2024. [in Russian]
15. QGIS Development Team. (2024). QGIS Geographic Information System. Version 3.40.5-Bratislava [Электронный ресурс]. – QGIS Association, – Режим доступа: <https://www.qgis.org>.
16. Google Earth Engine Cloud Computing Platform [Software]. (2024) – Mountain View, CA : Google, – URL: <https://earthengine.google.com>.
17. MOD13Q1.061 Terra Vegetation Indices 16-Day Global 250m [Data set]. – NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), 2024. – DOI: 10.5067/MODIS/MOD13Q1.061. – URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v061/>
18. Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.
19. Uchet lesnogo fonda RGU GLPR «Semei ormany» po sostoianiu na 01.01.2024 g. v razreze raionov [Vedomstvennyi material]. – Semei : GLPR «Semei ormany», 2024. [in Russian]

20. Liu, Y., Tan, M. L., Yaseen, Z. M., & Zhang, F. (2026). Spatiotemporal analysis of long-term vegetation dynamics using KNDVI and machine learning-based multifactor analysis. *Ecological Informatics*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103559>
21. Zhang, Z., Liang, S., & Xiong, Y. (2023). Vegetation Dynamics and Their Response to Climate Changes and Human Activities: A Case Study in the Hanjiang River Basin, China. *Forests*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/f14030509>

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЛЕСОВ ПРИИРТЫШЬЯ В ПЕРИОД 2000...2025 ГГ.

Гульбаршын Е. Азимбаева^{1*}, Канат Б. Самарханов¹ к.г.н, PhD, Аяжан Ұ. Шыныбек^{1,2}, Марина К. Булатова³

¹ Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан; azimbayeva_gye@enu.kz, samarkhanov_kb@enu.kz, ayazhan_shynybek@mail.ru

²РМК «Қазгидромет», Астана қ., Қазақстан; ayazhan_shynybek@mail.ru

³ РГУ ГЛПР «Семей орманы», Семей, Казахстан; [mars.7@mail.ru](mailto:marsi.7@mail.ru)

*Автор корреспонденции: Гульбаршын Е. Азимбаева, azimbayeva_gye@enu.kz

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Леса Прииртышья, Абайская область, геоинформационная система, дистанционное зондирование Земли, NDVI, тест Манна – Кендалла, реликтовые сосновые боры

По статье:

Получено: 07.03.2026

Пересмотрено: 13.04.2026

Принято: 23.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

АБСТРАКТ

В статье рассматривается динамика растительного покрова реликтовых сосновых боров Абайской области, расположенных на территории государственного лесного природного резервата ГЛПР «Семей орманы». Для определения современного состояния и анализа изменений лесных массивов использовались методы дистанционного зондирования Земли и геоинформационные системы. Для оценки вегетационного состояния лесных экосистем за период с 2000 по 2025 гг. с 5-летним шагом были рассчитаны и построены карты медианного индекса NDVI. На основе алгоритма Jenks растительный покров был классифицирован на 6 категорий: от зон деградации (-0.187...0.291) до зон максимальной биопродуктивности (0.614...0.862). Статистическая значимость выявленных процессов подтверждена с помощью теста Манна-Кендалла и анализа наклона Сена. Результаты теста показали положительную динамику во всех лесничествах ($p < 0.05$), что подтверждает регенерационный потенциал лесов. Однако последствия пожаров 2023 года привели к снижению вегетационной активности в филиале Новошуйба на 24 % (с 0.50 до 0.38) и в Бородулихе на 13 % (с 0.61 до 0.53), что свидетельствует о локальной экологической регрессии. По темпам роста и показателям устойчивости максимальный прирост зафиксирован в Бородулихинском и Букебаевском филиалах; средний рост — в Долонском, Бегенском и Канонерском; медленный, но стабильный рост — в Жанасемейском и Морозовском филиалах. Полученные результаты подчеркивают прямое влияние процессов аридизации и экстремальных температурных колебаний на вегетационную активность реликтовых боров. Геопространственный анализ позволяет оценить экологическую устойчивость лесов Прииртышья в условиях глобального потепления. Работа имеет практическую значимость для формирования региональной экологической политики, включая разработку стратегий по защите лесов и адаптации к изменениям климата.

GEOSPATIAL ANALYSIS OF FOREST DYNAMICS IN THE IRTYSH REGION FOR THE PERIOD 2000...2025

Gulbarshyn Azimbayeva^{1*}, Kanat Samarkhanov¹, Cand. Geogr. Sc., PhD, Ayazhan Shynybek^{1,2}, Marina Bulatova³

¹ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; azimbayeva_gye@enu.kz, samarkhanov_kb@enu.kz, ayazhan_shynybek@mail.ru

² RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan; ayazhan_shynybek@mail.ru

³ Republican State Institution "Semey Ormany" State Forest Nature Reserve, Semey, Kazakhstan; marsi.7@mail.ru

*Author correspondent: Gulbarshyn Ye. Azimbayeva, ; azimbayeva_gye@enu.kz

KEY WORDS

Irtys region forests,
Abai region,
Geographic Information System
(GIS),
Remote Sensing,
NDVI,
Mann – Kendall test,
relic pine forests

About article:

Received: 07.03.2026

Revised: 13.04.2026

Accepted: 23.06.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT

The article examines the vegetation dynamics of relic pine forests in the Abai region, located within the "Semey Ormany" State Forest Nature Reserve (SFNR). Remote sensing data and Geographic Information Systems (GIS) were employed to assess the current state and analyze temporal changes in the forest massifs. To evaluate the vegetative condition of the forest ecosystems, median NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) maps were calculated and constructed for the period from 2000 to 2025 in 5-year increments. Based on the Jenks natural breaks algorithm, the vegetation cover was classified into six categories: ranging from degraded zones (-0.187...0.291) to zones of maximum bioproductivity (0.614...0.862). The statistical significance of the identified trends was verified and confirmed using the Mann-Kendall test and Sen's slope estimator. The test results revealed a positive dynamic across all forest units ($p < 0.05$), confirming the high regenerative potential of the forests. However, the impact of the 2023 wildfires led to a significant decline in vegetative activity, with a 24% decrease (from 0.50 to 0.38) in the Novoshulba branch and a 13% decrease (from 0.61 to 0.53) in the Borodulikha branch, indicating a localized ecological regression. Regarding growth rates and stability indicators, the highest growth was observed in the Borodulikha and Bukebay branches; average growth was recorded in the Dolon, Begen, and Kanonerka branches; while slow but stable growth was identified in the Zhanasemey and Morozov branches. The findings highlight the direct impact of aridization processes and extreme temperature fluctuations on the vegetative activity of relic pine forests. This geospatial analysis provides a framework for assessing the ecological resilience of Irtys region forests under global warming conditions. The study holds practical significance for the formulation of regional environmental policies, including the development of forest conservation strategies and climate change adaptation plans.

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



Ғылыми мақала

ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫ ОРМАНДАРЫНЫҢ ӨРТ ҚАУІПТІЛІГІНІҢ ТАБИҒИ ФАКТОРЛАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ БАҒАЛАУ

Жанар О. Озгелдинова, PhD 

Л. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан; ozgeldinova@mail.ru (ЖОО)

* Автор корреспондент: Жанар О. Озгелдинова, ozgeldinova@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

орман өрттері, орман, табиғи өрт қауіптілігі, жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ), географиялық ақпараттық жүйелер (ГАЖ), Қостанай облысы

АБСТРАКТ

Орман өрттері климаттық өзгерістер жағдайында жиілігі мен қарқындылығы артып келе жатқан қауіпті табиғи құбылыстардың бірі болып табылады. Қазақстан аумағында табиғи өрт қауіптілігін кеңістіктік тұрғыдан кешенді бағалау жеткіліксіз зерттелген. Осы зерттеуде Қостанай облысы аумағының табиғи өрт қауіптілігін бағалау үшін Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) деректері мен геоақпараттық технологияларға негізделген көпфакторлы интегралды модель ұсынылды. Модель құрамына өсімдік жамылғысының спектралдық индекстері (NDVI, NDMI, EVI), жер бедері параметрлері және метеорологиялық көрсеткіштер енгізілді. Барлық факторлар нормализацияланып, олардың салмақтық коэффициенттері сараптамалық бағалау әдісі арқылы анықталды. Кеңістіктік талдау ArcGIS бағдарламалық ортасында жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде Қостанай облысы аумағы табиғи өрт қауіптілігі деңгейі бойынша аймақтандырылып, аумақтың едәуір бөлігі орташа жоғары және жоғары қауіптілік аймақтарына жататыны анықталды. Өрттердің ең жоғары шоғырлануы аллювиальды жазықтарда және қарағайлы ормандар таралған аумақтарда байқалды. Верификация нәтижелері тіркелген өрттердің 80 %-дан астамы жоғары және өте жоғары қауіптілік аймақтарында шоғырланғанын көрсетті. Алынған нәтижелер табиғи өрт қауіптілігін бағалау, қауіпті аумақтарды айқындау, сондай-ақ орман өрттерін мониторингтеу мен басқару жүйелерін жетілдіру үшін қолданылуы мүмкін.

1. КІРІСПЕ

Орман өрттері орман экожүйелерінің қызметіне, биоалуантүрлілікке және табиғи ландшафттардың тұрақтылығына елеулі әсер ететін маңызды табиғи факторлардың бірі болып табылады. Олар өсімдік жамылғысының құрылымының өзгеруіне, биогеохимиялық циклдердің бұзылуына және топырақ жамылғысының деградациясына әкеліп соғады, сондай-ақ экожүйелердің көміртегік теңгеріміне және жалпы климаттық жүйеге айтарлықтай ықпал етеді [1, 3].

Соңғы онжылдықтарда әлемнің көптеген аймақтарында орман өрттерінің жиілігі, қамтитын аумағы және қарқындылығының артуы үрдісі байқалуда. Бұл жағдай климаттық өзгерістермен, сондай-ақ өрт қауіптілігінің қалыптасуына әсер ететін табиғи және антропогендік факторлардың өзгеруімен байланыстырылады [4, 7].

Қазіргі ғылыми зерттеулер климаттық өзгерістердің орман өрттерінің динамикасына айтарлықтай ықпал ететінін көрсетеді. Ауа температурасының жоғарылауы, құрғақ кезеңдердің ұзақтығының артуы және атмосфералық жауын-шашын режимінің өзгеруі өсімдік жамылғысының құрғауына және жанғыш материалдардың жиналуына әкеледі, бұл өз кезегінде өрттердің пайда болуы және таралуы ықтималдығын арттырады [4, 5, 7].

Мақала жайында:

Жіберілді: 11.03.2026

Қайта қаралды: 10.05.2026

Қабылданды: 02.06.2026

Жарияланды: 01.07.2026

Климаттық факторлармен қатар, өрт қауіптілігінің қалыптасуында өсімдік жамылғысының құрылымы мен жанғыш материалдардың жиналуы маңызды рөл атқарады [8]. Осыған байланысты өсімдік жамылғысының сипаттамаларын зерттеу ерекше маңызға ие, бұл қазіргі заманғы Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) әдістерін пайдалану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін [9].

Дәйексөз үшін:

Озгелдинова Ж., Қостанай облысы ормандарының өрт қауіптілігінің табиғи факторлары және оларды бағалау//Гидрометеорология және экология, 122 (2), 2026, 137-154.

Соңғы жылдары Қазақстан аумағында орман және дала өрттерінің жиілігі мен ауқымының арту үрдісі байқалуда. Сонымен қатар, климаттың құрғақтануы мен температураның жоғарылауы Солтүстік Қазақстан аймақтарында өрт қауіптілігінің артуына ықпал етуде [7, 10].

Қазақстан және Орталық Азия аумағында өрттердің кеңістіктік таралуы мен динамикасын бағалауға бағытталған бірқатар зерттеулер жүргізілген. Қазақстан аумағында өрт қауіптілігін бағалау үшін ЖҚЗ деректері мен машиналық оқыту әдістерін қолдануға бағытталған зерттеулер ұсынылған [10, 11]. Спутниктік деректер негізінде күйген аумақтардың уақыт бойынша өзгерісі мен олардың климаттық факторлармен байланысы анықталған, бұл Орталық Азия өңірінде өрттердің кең таралғанын көрсетеді [12].

Өрттердің салдарын бағалауға арналған зерттеулерде ірі орман өрттерінен кейінгі экожүйелік өзгерістер мен қалпына келу үдерістері қарастырылған [13]. Сонымен қатар, Қазақстан аумағындағы өрттердің көпжылдық динамикасы мен олардың климаттық факторлармен байланысы бұрынғы зерттеулерде көрсетілген [12, 14]. Бұл өңірде өрттердің жиілігі мен ауқымының жоғары өзгергіштігін және жекелеген жылдары олардың кең аумақтарды қамтитынын көрсетеді [12, 14].

Соған қарамастан, Қазақстан аумағында табиғи өрт қауіптілігін кешенді бағалауға арналған зерттеулер жеткіліксіз деңгейде дамыған. Қолданыстағы зерттеулерде ЖҚЗ деректерін пайдалану мүмкіндіктері қарастырылғанымен, олардың көпшілігі жекелеген факторларды талдаумен шектеледі және кеңістіктік интегралды модельдер жеткіліксіз қолданылған [10, 12, 15].

Осылайша, табиғи өрт қауіптілігін бағалаудың кешенді әдістерінің жеткіліксіздігі, сондай-ақ Қазақстан аумағы үшін аймақтық деңгейде кеңістіктік талдаудың шектеулі болуы зерттеудің негізгі ғылыми проблемасын айқындайды.

Осыған байланысты зерттеудің мақсаты – Жерді қашықтан зондтау деректері мен географиялық ақпараттық технологияларды пайдалана отырып Қостанай облысы аумағында орман өрттерінің пайда болуына әсер ететін табиғи факторларға алғаш рет кешенді баға беру және аумақты табиғи өрт қауіптілігі деңгейі бойынша аймақтандыру.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Қостанай облысы аумағында орман өрттерінің пайда болуына әсер ететін табиғи факторларды бағалау үшін Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) деректері, метеорологиялық бақылау материалдары және геоақпараттық кеңістіктік талдау әдістері пайдаланылды. Зерттеудің дереккөздік негізін Landsat 9 спутниктік суреттері, сондай-ақ 2013...2023 жылдар аралығындағы «Қазгидромет» РМК ұсынған статистикалық және метеорологиялық мәліметтер құрады. Кеңістіктік деректерді өңдеу мен талдау ArcGIS 10.8 бағдарламалық ортасында Spatial Analyst модулін пайдалану арқылы жүзеге асырылды.

Зерттеуде Landsat 8 және Landsat 9 спутниктерінің 30 м кеңістіктік ажыратымдылықтағы көпспектрлі суреттері пайдаланылды. Зерттеу үшін өрт қауіпті кезеңге (сәуір–қыркүйек) сәйкес келетін 2018...2023 жылдар аралығындағы бұлттылығы 10 %-дан аспайтын 24 спутниктік көрініс (scene) іріктелді. Суреттер USGS Earth Explorer платформасынан алынды [16, 17].

Зерттеу барысында орман өрттерінің пайда болуы мен таралуына әсер ететін негізгі табиғи факторлар анықталып, жүйелендірілді. Бұл факторлар үш негізгі топқа бөлінді: отындық, геоморфологиялық және метеорологиялық факторлар. Аталған факторлардың

басым бөлігі кумулятивтік әсерге ие, себебі өрттердің пайда болуы көбінесе бірнеше табиғи жағдайлардың қоршаған ортаға бірлескен ықпалының нәтижесінде қалыптасады. Зерттеу әдістемесі бірнеше кезеңнен тұрды: бастапқы деректерді жинау және алдын ала өңдеу, спутниктік суреттер негізінде өсімдік жамылғысының спектралдық индекстерін есептеу, жер бедері параметрлерін талдау, метеорологиялық көрсеткіштерді өңдеу, сондай-ақ аумақтың табиғи өрт қауіптілігін интегралды бағалау.

Спутниктік деректер алдын ала өңдеуден өтті: атмосфералық түзету (DOS1 әдісі), бұлттарды маскалау (QA band негізінде), геометриялық түзету және барлық қабаттарды бір координаттық жүйеге келтіру (WGS 84 / UTM zone 42N).

Табиғи факторларды кешенді бағалаудың негізгі кезеңдері 1-суретте көрсетілген. Зерттеу барысында табиғи өрт қауіптілігіне әсер ететін факторлар жинақталып, жүйелендірілді (1-кесте).



Сурет 1. Табиғи өрт қауіптілігін интегралды бағалаудың негізгі кезеңдері

Табиғи өрт қауіптілігін интегралды бағалау үшін салмақтық коэффициенттер әдісіне негізделген көпфакторлы модель қолданылды (формула 1):

$$F = \sum_{i=1}^n w_i x_i \tag{1}$$

мұндағы:

F – табиғи өрт қауіптілігінің интегралды көрсеткіші;

w_i – i-фактордың салмақтық коэффициенті;

x_i – фактордың нормаланған мәні.

Барлық факторлар 0...1 аралығында нормализацияланды [18]. Салмақтық коэффициенттер сараптамалық бағалау әдісі негізінде анықталды [19].

Салмақтық коэффициенттер сараптамалық бағалау әдісі негізінде анықталды. Бағалау орман шаруашылығы және геоэкология саласындағы 5 сарапшының қатысуымен жүргізілді. Әр фактордың маңыздылығы 1-ден 10-ға дейінгі шкала бойынша бағаланып, кейін орташа мәні алынды.

Бұл әртүрлі өлшем бірліктеріндегі көрсеткіштерді бір модельде біріктіруге мүмкіндік берді.

Отындық фактор орман өрттерінің пайда болуы мен таралу ықтималдығын айқындайтын негізгі табиғи факторлардың бірі болып табылады. Бұл факторды бағалау өсімдік жамылғысының үш спектралдық индексі негізінде жүргізілді: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDVI, NDMI және EVI спектралдық индекстері қашықтан зондтау деректерін талдауда кеңінен қолданылатын әдістемелерге сәйкес келесі формулалар 2, 3, 4 бойынша есептелді [20, 22].

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \tag{2}$$

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \tag{3}$$

$$EVI = \frac{2.5 * (NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)} \tag{4}$$

NDVI индексі өсімдік жамылғысының өнімділік деңгейін және биомасса көлемін сипаттайды [11, 12].

NDVI мәндерінің артуы, әдетте, өсімдік биомассасының көбеюін көрсетеді. Орман екпелерінің жасы ұлғайған сайын өсімдік материалдарының жинақталуы байқалады, бұл жанғыш материалдардың мөлшерінің артуына алып келеді. Осыған байланысты NDVI мәндері мен тіркелген өрттер саны арасында оң корреляциялық байланыс байқалады, бұл жетілген орман алқаптарында өрттердің пайда болу қаупінің жоғары екенін көрсетеді.

NDMI индексі өсімдік жамылғысы мен топырақтың ылғалдылық деңгейін бағалау үшін қолданылады және табиғи өрт қауіптілігін анықтауда маңызды көрсеткіштердің бірі болып табылады [22, 23].

Өсімдіктер мен топырақтағы ылғалдың болуы табиғи өрттердің пайда болу ықтималдығын төмендетеді, сондай-ақ өрт туындаған жағдайда жану қарқындылығын азайтады. Бұл ретте ылғал деңгейіне топырақтың ылғал сақтау қабілеті, булану қарқындылығы және атмосфералық жауын-шашын мөлшері сияқты факторлар елеулі әсер етеді.

EVI индексі өсімдік жамылғысының өнімділігі мен құрылымдық ерекшеліктерін сипаттайды. Ол жапырақ бетінің индексі, өсімдік типі және өсімдік қауымдастықтарының кеңістіктік құрылымы сияқты көрсеткіштерді қамтиды [22, 24].

Бұл индекс орман аумақтарын талдауда ерекше тиімді болып табылады. Өсімдік жамылғысының өсуіне және құрғақшылық жағдайларына байланысты жанғыш материалдардың мөлшері мен кеңістіктік таралуындағы өзгерістер аталған индекстің мәндеріне айтарлықтай ықпал етеді.

Кесте 1

Табиғи өрт қауіптілігі факторларын бағалау шкаласы

Көрсеткіш	Көрсеткіштің салмақтық коэффициенті	Табиғи өрт қауіптілігі деңгейі				
		Экстремальды	Жоғары	Орташа жоғары	Орташа төмен	Төмен
Отындық факторлар						
NDVI	10	0,6 ... 0,5	0,5 ... 0,4	0,4 ... 0,3	0,3 ... 0,2	0,2 ... 0,1
EVI	10	0,6 ... 0,5	0,5 ... 0,4	0,4 ... 0,3	0,3 ... 0,2	0,2 ... 0,1
NDMI	10	-0,3 ... 0,2	-0,2 ... 0,0	0,0 ... 0,2	0,2 ... 0,4	0,4 ... 0,6
Орманды формациялар	10	Ашыққыл қанды ормандар	Жапырақты ормандар	Сирек жапырақты ормандар	Бұталы	Сирек Бұталы ормандар
Геоморфологиялық факторлар						
Жер бедерінің сандық моделі (ЖБСМ), м	8	200 ... 500	500 ... 700	700 ... 1000	< 200	> 1000
Жер бедерінің тілімденуі, м	8	0,6 ... 0,4	0,4 ... 0,2	0,6 ... 1	0 ... 0,2	...
Беткей экспозициясы, румб	7	Оңтүстік, Батыс	Оңтүстік-шығыс, оңтүстік-батыс	Шығыс	Солтүстік-шығыс, солтүстік-батыс	Солтүстік
Еңістік, градус	8	0 ... 4	4 ... 6	6 ... 9	9 ... 13	13 ... 40
Метеорологиялық факторлар						
Өрт қауіпті кезеңіндегі (сәуір-қыркүйек) тікелей	8	> 3,4	3,4 ... 3,2	3,2 ... 3,0	3,0 ... 2,8	< 2,8

күн радиациясының орташа тәуліктік мөлшері, кВт/м ² /күн						
Өрт қауіпті кезеңіндегі (сәуір–қыркүйек) топырақ бетінен булану коэффициенті, мм	7	> 150	150... 140	140... 130	130... 120	< 120
Өрт қауіпті кезеңіндегі (сәуір–қыркүйек) орташа ауа температурасы, °С	8	> 21	21 ... 19	19 ... 17	17 ... 15	< 15
Өрт қауіпті кезеңіндегі (сәуір–қыркүйек) жауын-шашынның орташа мөлшері, мм	6	> 15	15... 20	20...25	25... 30	> 30
Барлығы:	100					

Жер бедерінің орман өрттерінің дамуы мен таралуына әсері тікелей де, жанама түрде де байқалады, өйткені ол жергілікті климаттық жағдайлардың қалыптасуына және өсімдік жамылғысының кеңістіктік таралуына ықпал етеді. Табиғи өрт қауіптілігін бағалау кезінде ескерілетін жер бедерінің негізгі параметрлеріне абсолюттік биіктік, беткейдің еңістігі, беткей экспозициясы және жер бедерінің тілімдену дәрежесі жатады. Бұл зерттеуде аталған көрсеткіштер кеңістіктік ажыратымдылығы 30 м болатын сандық жер бедері моделінің (СЖБМ) негізінде есептелді. Есептеулер ArcGIS 10.8 бағдарламалық кешенінің Spatial Analyst модулінің құралдарын пайдалану арқылы жүргізілді.

Жер бедерінің маңызды көрсеткіштерінің бірі – абсолюттік биіктік. Зерттелетін аумақта теңіз деңгейінен биіктік артқан сайын өрттердің санының азаю үрдісі байқалады. Бұл құбылыс биіктік өскен сайын ауа температурасының төмендеуімен және жанғыш биомасса көлемінің азаюымен түсіндіріледі. Таулы аймақтарда өрттер ауа ағындарының циркуляция ерекшеліктері мен жер бедерінің ықпалына байланысты салыстырмалы түрде жылдам таралуы мүмкін, ал жазық аумақтарда олардың таралу қарқыны әдетте баяу болады [25, 26].

Өрттердің биіктік белдеулер бойынша таралуын талдау нәтижесінде теңіз деңгейінен 200... 1000 м аралығында өрттердің жиілігі жоғары екендігі анықталды. Ең көп өрт жағдайлары 200... 500 м биіктік аралығында тіркелген. Ал теңіз деңгейінен 200 м-ден төмен және 1000 м-ден жоғары орналасқан аумақтарда өрттердің саны айтарлықтай аз.

Беткейдің еңістігі де аумақтың өрт қауіптілігінің қалыптасуына елеулі әсер етеді. Еңістік ұлғайған сайын өрттердің саны, әдетте, азаяды, өйткені тік беткейлерде өсімдіктердің өсуіне қолайсыз жағдайлар қалыптасады және жанғыш материалдардың жиналуы төмендейді. Сонымен қатар, ауырлық күшінің әсерінен өсімдік қалдықтары беткейдің төменгі бөліктеріне қарай жылжиды. Ал жазық немесе аз еңісті аумақтарда биомассаның жиналуына қолайлы жағдай қалыптасады, бұл өрттердің тез таралуына ықпал етеді [27, 28].

Беткей экспозициясы микроклиматтық жағдайларға және өсімдік жамылғысының құрылымына айтарлықтай ықпал етеді. Өртүрлі бағыттағы беткейлерге түсетін күн радиациясының қарқындылығы әртүрлі температуралық және ылғалдық жағдайлардың қалыптасуына әкеледі. Бұл өз кезегінде жанғыш материалдардың ылғалдылығына және жергілікті жел режиміне әсер етеді. Оңтүстік және батыс бағыттағы беткейлер солтүстік және шығыс бағыттағы беткейлерге қарағанда күн радиациясын көбірек қабылдайды. Нәтижесінде бұл беткейлерде өсімдік жамылғысының дамуы қарқынды болып, биомасса көбірек жиналады және жанғыш материалдардың тез кебуі байқалады. Мұндай жағдайлар өрттердің пайда болу және таралу ықтималдығын арттырады [27].

2018...2022 жылдар аралығындағы орман өрттері бойынша статистикалық деректерді талдау негізінде беткей экспозициялары өрт қауіптілігінің бес класына жіктелді. Өрттердің ең көп саны оңтүстік және батыс бағыттағы беткейлерде тіркелген, одан кейін оңтүстік-батыс және оңтүстік-шығыс бағыттағы беткейлер орналасқан.

Шығыс, солтүстік-шығыс және солтүстік-батыс бағыттағы беткейлер өрт қауіптілігінің екінші және үшінші кластарына жатқызылды. Ал солтүстік бағыттағы беткейлерде өрттердің үлесі ең төмен болғандықтан, олар төмен өрт қауіптілігі санатына енгізілді.

Жер бедерінің тілімдену дәрежесі эрозиялық процестердің нәтижесінде қалыптасқан аумақтың сызықтық тілімдену қарқындылығын сипаттайды. Төбелі үстірттер бетінде өрттің таралуы жыралардың табанымен салыстырғанда жылдамырақ жүреді. Бұл орман жамылғысында жел жылдамдығының өзгеруімен және жер бедерін айналып өтуге байланысты аэродинамикалық әсерлермен түсіндіріледі. Жыралардан шыққан кезде өрттің таралуы жалын факелінің еңкею бұрышының ұлғаюына байланысты күшеюі мүмкін [27].

Геоморфологиялық факторлармен қатар табиғи өрт қауіптілігінің қалыптасуында метеорологиялық жағдайлар да маңызды рөл атқарады. Ауа температурасы, атмосфералық жауын-шашын мөлшері, салыстырмалы ауа ылғалдылығы және күн радиациясының деңгейі орман өрттерінің пайда болуы мен таралу қарқындылығына елеулі әсер етеді [30, 32].

Метеорологиялық факторларды талдау үшін «Қазгидромет» РМК метеостанцияларында жүргізілген бақылаулардың статистикалық деректері пайдаланылды [33]. Өрт қауіпті кезең ретінде сәуір–қыркүйек айлары қарастырылды. Негізгі көрсеткіштер ретінде ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері және салыстырмалы ауа ылғалдылығының деректері алынды. Алынған мәліметтер ArcGIS 10.8 бағдарламалық ортасында Spatial Analyst модулінің көмегімен өңделіп, кеңістіктік интерполяция әдісі (Inverse Distance Weighting – IDW) арқылы талданды. Бұл әдіс жақын орналасқан нүктелердің әсері жоғары болатынын ескеруге мүмкіндік береді.

Ауа температурасы өрт қауіпті жағдайлардың қалыптасуына әсер ететін маңызды факторлардың бірі болып табылады. Температура жоғарылаған сайын өсімдік жамылғысы мен жанғыш материалдардың кебуі күшейеді, бұл өрттердің пайда болу ықтималдығын арттырады. Сонымен қатар орташа ауа температурасы мен вегетациялық кезеңнің ұзақтығы арасында тығыз байланыс байқалады. Көптеген өңірлерде өрт қауіпті кезең вегетациялық кезеңмен сәйкес келеді [5, 34].

Күн радиациясы орман төсенішінен ылғалдың булану процесінде маңызды рөл атқарады. Булану қарқындылығы сіңірілген күн энергиясының мөлшеріне және өсімдік жамылғысының ылғалдылық деңгейіне байланысты болады. Күн радиациясының жоғарылауы жанғыш материалдардың тез кебуіне және олардың тұтану ықтималдығының артуына әкеледі [35, 36].

Атмосфералық жауын-шашын мөлшерінің артуы, керісінше, өрттердің пайда болуын тежейтін фактор болып табылады. Жауын-шашынның көбеюі топырақ пен өсімдік жамылғысының ылғалдылығын арттырып, өрттің пайда болу ықтималдығын төмендетеді. Ал ауа температурасының жоғарылауы жағдайында жазғы жауын-шашын мөлшерінің азаюы ылғал тапшылығының күшеюіне және өрт қауіптілігінің артуына әкеледі [5, 37].

Ауа ылғалдылығының тапшылығы топырақ пен өсімдік жамылғысынан ылғалдың булануын күшейтеді, бұл жанғыш материалдардың тұтанғыштығын арттырады. Зерттеулер көрсеткендей, салыстырмалы ауа ылғалдылығы орман аймақтарының көпшілігінде мамыр айында (45...50 %) және қыркүйекте ең төмен мәндерге жетеді, бұл көктемгі және күзгі кезеңдерде өрттердің пайда болуына қолайлы жағдай туғызады.

Өрт қауіпті кезеңде топырақ бетінен булануды бағалау үшін физикалық-географиялық жағдайларды ескере отырып Н. Н. Иванов [38]. ұсынған жеткіліксіз ылғалдану жағдайындағы жиынтық булануды есептеу әдісі қолданылды. Бұл формула булану қарқындылығын температура мен ауа ылғалдылығы негізінде бағалауға мүмкіндік береді.

$$E_0 = 0,0018 \times (100 - f) \times (25 + t)^2 \times 0,8, \tag{5}$$

мұндағы:

E_0 – айлық буланғыштық мөлшері, мм;

f – өрт қауіпті кезеңдегі ауаның орташа айлық салыстырмалы ылғалдылығы, %;

t – өрт қауіпті кезеңдегі ауаның орташа айлық температурасы, °C.

Модель нәтижелері 2018...2022 жылдар аралығында тіркелген нақты өрт ошақтарының деректерімен салыстыру арқылы тексерілді. Верификация үшін жоғары және өте жоғары қауіптілік аймақтарына сәйкес келетін өрт ошақтарының үлесі есептелді.

Модельдің дәлдігі дәлдік коэффициенті (Accuracy) арқылы бағаланды [39]:

$$Accuracy = \frac{N_{correct}}{N_{total}}$$

мұндағы:

$N_{correct}$ – жоғары және өте жоғары қауіптілік аймақтарына сәйкес келген өрттер саны;

N_{total} – талдауға алынған өрт ошақтарының жалпы саны.

Қостанай облысы аумағының табиғи өрт қауіптілігі деңгейін интегралды бағалау үшін 2-суретте көрсетілген алгоритм қолданылды.



Сурет 2. ArcGIS бағдарламалық қамтамасыз етуін қолдану арқылы табиғи өрт қауіптілігін интегралды бағалау алгоритмі

4. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттелетін аумақтың өсімдік жамылғысы орман және дала өсімдік қауымдастықтарының үйлесуімен сипатталады. Негізгі орман түзуші түр – кәдімгі қарағай (*Pinus sylvestris*), ол таза қарағайлы ормандарды да, аралас ағашты екпелерді де қалыптастырады. Ілеспе ағаш және бұта түрлерінің ішінде қайың (*Betula*), көктерек (*Populus tremula*), талдың әртүрлі түрлері (*Salix*), үшқат (*Lonicera*), итмұрын (*Rosa*) және тобылғы (*Spiraea*) кең таралған. Өсімдік жамылғысының кеңістіктік таралуы жер бедері мен топырақ жамылғысының ерекшеліктерімен тығыз байланысты.

Қарағайлы ормандар негізінен ежелгі аллювиальды құмды шөгінділерде қалыптасып, ежелгі құмды дюналардың жоталарында және олардың беткейлерінің жоғарғы бөліктерінде орналасады. Қайың және көктерек екпелері көбінесе құмды жоталардың төменгі бөліктерінде таралған және жиі тұзды сор көлдердің жағалауларына жақын орналасады. Тал мен үшқаттан тұратын бұталы қауымдастықтар өзен аңғарлары мен көл жағалауларына тән. Итмұрын мен тобылғы көбінесе беткейлерде және жер бедерінің ойпаң учаскелерінде кездеседі. Ағаш кесілген аумақтар мен орман алаңқайларында селеу түрлері басым болатын дала фитоценоздары қалыптасады.

Аймақтың дала өсімдіктері қауырсынды селеу (*Stipa pennata*), Беккер бетегесі (*Festuca beckeri*), көгілдір тонконог (*Koeleria glauca*), сібірлік бидайық (*Agropyron sibiricum*) және жусанның (*Artemisia*) әртүрлі түрлерімен сипатталады. Аумақтың

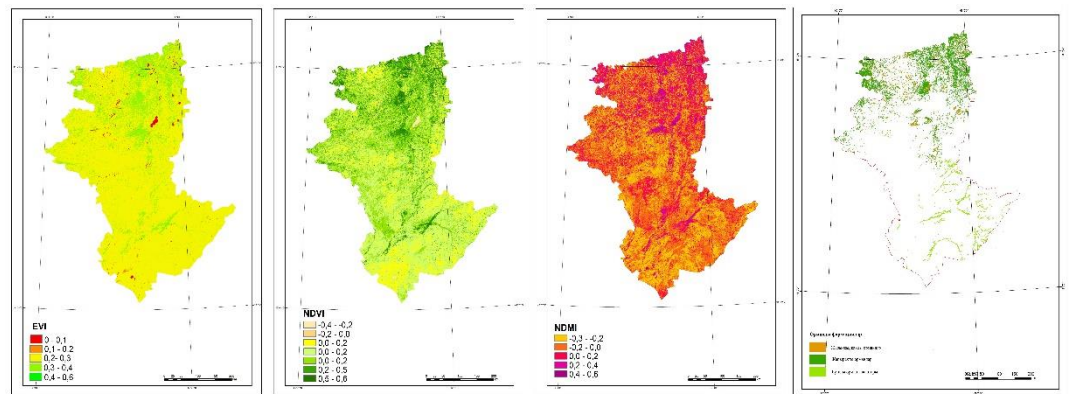
оңтүстік бөлігінде өсімдік жамылғысы негізінен астық тұқымдас–жусанды және жусанды–соранды қауымдастықтардан тұрады.

Зерттелетін аумақтың климаты ірі су айдындарынан алыс орналасуына байланысты шұғыл континенттік сипатқа ие. Аймаққа жазы ыстық әрі құрғақ, ал қысы суық және қар жамылғысы жұқа болатын климат тән. Жаз мезгіліндегі жоғары температура, ауаның төмен ылғалдылығы, құрғақ желдер мен шанды дауылдар ағаш-бұталы өсімдіктердің өсуі мен дамуына кері әсерін тигізеді. Сонымен қатар, аймақ күн радиациясының жоғары мөлшерімен және салыстырмалы түрде ұзақ аязсыз кезеңмен сипатталады, бұл қолайлы жылдары өсімдік жамылғысының дамуына мүмкіндік береді [40].

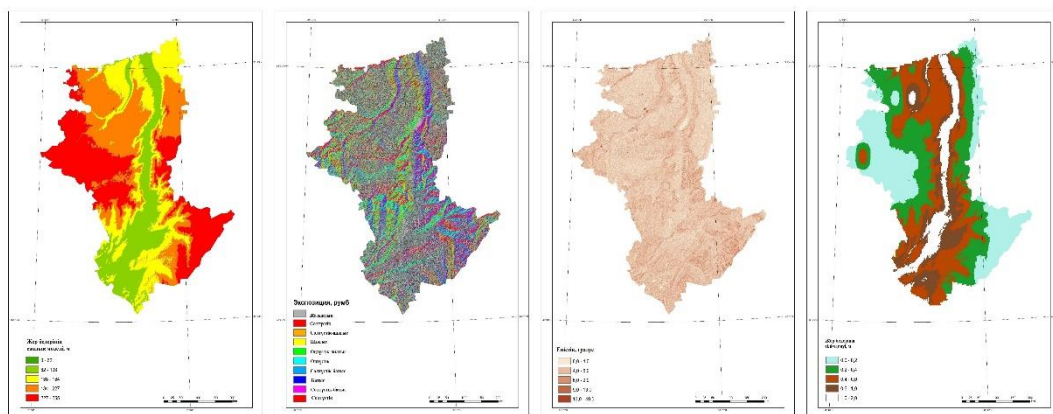
Қолайсыз климаттық факторларға құрғақшылық, күшті желдер, атмосфералық жауын-шашынның аз мөлшері, сондай-ақ көктемгі кеш және күзгі ерте үсіктер жатады. Ауа температурасының жоғары болуы, салыстырмалы ауа ылғалдылығының төмендігі және жел режимінің күшеюі атмосфералық құрғақшылықтың қалыптасуына және топырақтағы ылғал қорының азаюына әкеледі. Мұндай жағдайлар табиғи өрттердің пайда болу ықтималдығын едәуір арттырады. Ұқсас нәтижелер [5], [7], сондай-ақ [4] зерттеулерінде келтіріліп, температураның жоғарылауы мен құрғақшылықтың күшеюі өрт белсенділігінің артуының негізгі факторлары екендігі көрсетілген..

Зерттелетін аумақтың жер бедері аллювиальды және кейінгі эолдық процестердің әсерінен қалыптасқан. Оның құрылымында құмды жоталар, бұйратты көтерілімдер және олардың арасындағы ойпаң учаскелер кезектесіп орналасқан. Кейбір төмен орналасқан учаскелер көктем мезгілінде еріген қар суларының әсерінен уақытша су басатын шалғынды жазықтар сипатында болады. Мұндай жер бедері морфологиясы өсімдік жамылғысының таралуына және орман экожүйелерінің қалыптасу жағдайларына айтарлықтай әсер етеді.

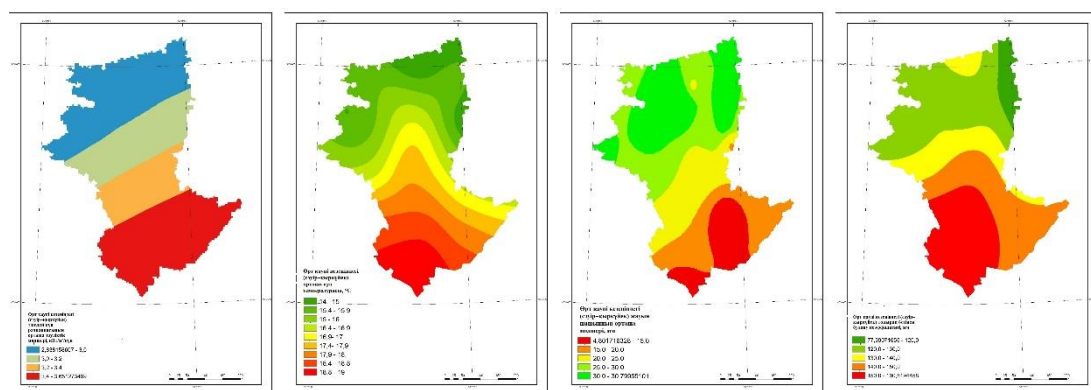
Спутниктік деректерді өңдеу және геоақпараттық талдау әдістерін қолдану негізінде Қостанай облысы аумағындағы табиғи өрт қауіптілігінің факторлық карталары жасалды (3-сурет). Негізгі факторлар ретінде аумақтың отындық, геоморфологиялық және метеорологиялық сипаттамалары қарастырылды.



Отындық факторлар



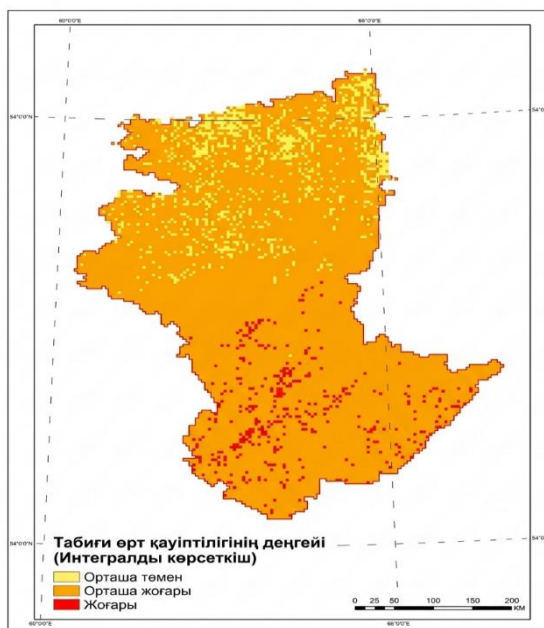
Геоморфологиялық факторлар



Метеорологиялық факторлар

Сурет 3. Қостанай облысының табиғи өрт қауіптілігінің факторлары

Аталған факторларды интегралды бағалау нәтижелері зерттелетін аумақтың едәуір бөлігі табиғи өрт қауіптілігінің орташа жоғары аймағына жататынын көрсетті (сурет 4).

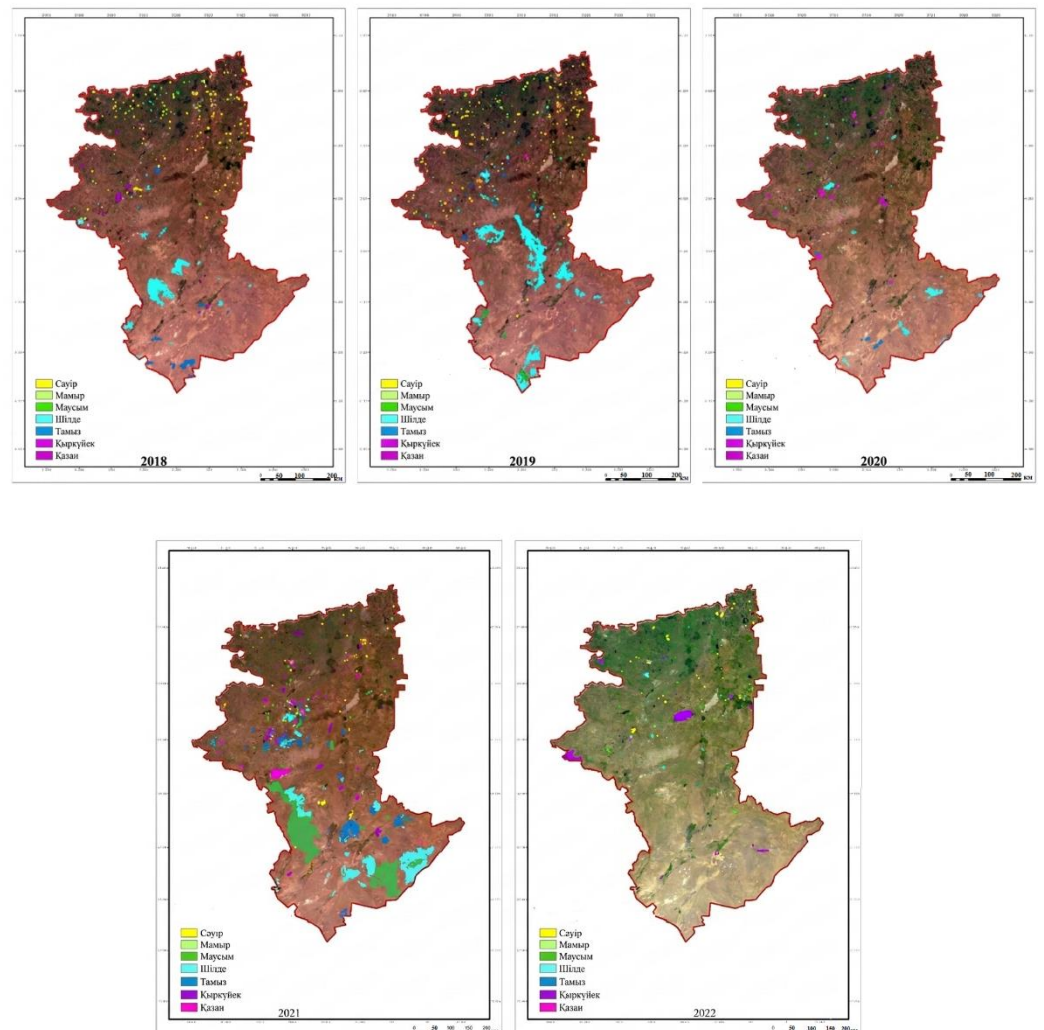


Сурет 4. Қостанай облысы аумағын табиғи өрт қауіптілігі деңгейі бойынша аймақтандыру

Өрт ошақтарының кеңістіктік таралуын талдау нәтижесінде өрттердің ең жоғары шоғырлануы ашық қылқанжапырақты және жапырақты орман формациялары таралған аумақтарда байқалатыны анықталды. Ал бұталы сирек ормандар салыстырмалы түрде төмен табиғи өрт қауіптілігімен сипатталады. Ұқсас заңдылықтар [8] жүргізген зерттеулерде де көрсетілген, онда өрт режимінің қалыптасуында өсімдік жамылғысының құрылымы мен жанғыш материалдардың жинақталуының шешуші рөл атқаратыны атап өтіледі.

Өрттердің пайда болу қаупінің ең жоғары деңгейі өзен аңғарларының аллювиальды жазықтарында және төменгі өзен террасаларында орналасқан орман алқаптарында байқалады. Бұл аумақтар құмды топырақтарда орналасқан аралдық қарағайлы ормандармен сипатталады. Аталған аумақтарға Торғай қолатының негізінен жазық рельефі тән, мұнда беткей еңістігі 0,5...5° аралығында өзгереді. Өрт қауіпті кезеңде тікелей күн радиациясының орташа тәуліктік мөлшері 3,23...3,65 кВт/м² құрайды, ал топырақ бетінен жиынтық булану мөлшері 118,8...160,6 мм-ге жетеді.

Статистикалық деректерді талдау соңғы жылдары орман өрттерінің жиілігі мен ауқымының арту үрдісін көрсетеді. Мәселен, 2018...2022 жылдар аралығында өңір аумағында жалпы ауданы 2 млн гектардан асатын өрттер тіркелген [41]. Өрттердің кеңістіктік таралуы 5-суретте көрсетілген.



Сурет 5. 2018...2022 жж. Қостанай облысы аумағында өрттердің таралуы

Нақты тіркелген өрттердің таралу картасын табиғи өрт қауіптілігі картасымен салыстыру нәтижелері өрт ошақтарының басым бөлігі орташа жоғары және жоғары тәуекел аймақтарының шегінде шоғырланғанын көрсетті.

Аймақтандыру нәтижелерін тексеру барысында тіркелген өрттердің 87 %-дан астамы дәл осы аймақтарға сәйкес келетіні анықталды, ал шамамен 13 %-ы өрт қауіптілігі салыстырмалы түрде төмен аумақтарға тиесілі. Бұл нәтижелер орман өрттерінің кеңістіктік таралуының қалыптасуында табиғи факторлардың маңызды рөл атқаратынын көрсетеді.

Аймақта 2022 жылы ірі орман өрттері тіркеліп, олардың ауқымы ондаған мың гектарды қамтыды. Бұл деректер NASA FIRMS спутниктік бақылау жүйесінің мәліметтерімен расталады [<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>]. Өрттің кең ауқымда таралуына жаз мезгіліндегі ауа температурасының аномальды жоғары болуы және жауын-шашын мөлшерінің аздығы ықпал етті. Мұндай экстремалды құбылыстар қазіргі климаттық өзгерістер жағдайында жиілеп отырғаны [7], сондай-ақ [42] зерттеулерде де атап көрсетілген.

Далалық бақылаулар өрттен кейін қолайлы табиғи жағдайларда кәдімгі қарағайдың табиғи жаңару үрдісі байқалатынын көрсетті. 2023 жылдың жаз мезгілінің соңында мол жауын-шашыннан кейін кейбір учаскелерде жасы шамамен 20...30 күн болатын қарағай көшеттерінің жаппай пайда болуы тіркелді. Табиғи жаңарудың орташа тығыздығы 1 м² аумақта 1...2 көшетті құрайды. Бұл үрдіс әсіресе жер бедерінің ойпаң учаскелерінде және топырақ жамылғысы бұзылған аумақтарда анағұрлым қарқынды жүреді (сурет 6).



Сурет 6. Кәдімгі қарағайдың табиғи жаңаруы

Күйген топырақтарда, от орындарында және өртенген аумақтарда толқынды ризина саңырауқұлағы (*Rhizina undulata*) кездеседі. Ол 20...50 жастағы қылқанжапырақты ағаштардың тамырын зақымдап, көшеттер үшін қолайсыз фактор болып табылады. Негізінен қылқанжапырақты түрлер зардап шегеді, ал жапырақты ағаштардың тамырлары зақымданбайды (сурет 7).



Сурет 7. Толқынды ризина саңырауқұлағы (*Rhizina undulata*).

Алынған нәтижелер Жерді қашықтан зондтау деректерін пайдалану негізінде өрт қауіптілігін бағалауға арналған шетелдік зерттеулердің қорытындыларымен сәйкес келеді. Атап айтқанда, [9] мен [12] жұмыстарда жүргізген зерттеулерде өсімдік жамылғысының спектралдық индекстері мен климаттық көрсеткіштер табиғи өрт қауіптілігінің маңызды индикаторлары болып табылатыны көрсетілген. Сонымен қатар, қазіргі зерттеулерде спутниктік деректерді машиналық оқыту әдістерімен біріктіріп пайдалану орман өрттерінің пайда болуын болжауда жоғары тиімділік көрсететіні атап өтіледі [10...12].

Осылайша, жүргізілген зерттеу Жерді қашықтан зондтау деректері мен геоақпараттық технологияларды пайдалана отырып отындық, геоморфологиялық және метеорологиялық факторларды кешенді талдау табиғи өрт қауіптілігін тиімді бағалауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Сонымен қатар, алынған нәтижелер орман өрттерінің пайда болу қаупі деңгейіне сәйкес аумақты аймақтандыруды жүзеге асыруға және өрт қауіпті аумақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде Жерді қашықтан зондтау (ЖКЗ) деректері мен геоақпараттық технологияларды пайдалану негізінде Қостанай облысының орман аумақтарының табиғи өрт қауіптілігін бағалау әдістемесі әзірленді. Зерттеу барысында орман өрттерінің пайда болуы мен таралуына әсер ететін негізгі табиғи факторлар анықталып, жүйелендірілді. Негізгі факторлар ретінде отындық, геоморфологиялық және метеорологиялық көрсеткіштер қарастырылды.

Өсімдік жамылғысының спектралдық индекстерін (NDVI, NDMI, EVI), жер бедері параметрлерін және климаттық көрсеткіштерді талдау негізінде табиғи факторларды бағалау шкаласы қалыптастырылып, олардың салыстырмалы маңыздылығын сипаттайтын салмақтық коэффициенттер анықталды. Зерттеу барысында өңір аумағында өрт қауіпті жағдайлардың қалыптасуына әсер ететін табиғи өрт қауіптілігінің 12 негізгі факторы анықталып, олардың кеңістіктік таралуы картографиялық түрде бейнеленді.

Жүргізілген интегралды бағалау Қостанай облысы аумағын табиғи өрт қауіптілігі деңгейі бойынша аймақтандыруға мүмкіндік берді. Нәтижелер зерттелетін аумақтың едәуір бөлігі табиғи өрт қауіптілігінің орташа жоғары аймағына жататынын көрсетті. Орман өрттерінің пайда болу қаупінің ең жоғары деңгейі өзен аңғарларының аллювиальды жазықтарында, төменгі өзен террасаларында және беткейлік-аңғарлық жер бедері формаларында орналасқан орман алқаптарына тән. Бұл аумақтар құмды топырақтарда қалыптасқан қарағайлы ормандармен сипатталады және жазық рельеф,

жоғары күн радиациясы, буланудың жоғары қарқындылығы мен жанғыш өсімдік биомассасының мол жиналуы сияқты табиғи жағдайлардың үйлесуімен ерекшеленеді.

Аймақтандыру нәтижелерін 2018...2022 жылдар аралығында тіркелген орман өрттері туралы нақты деректермен салыстыру әзірленген модельдің өрт ошақтарының нақты таралуымен жоғары деңгейде сәйкес келетінін көрсетті. Жүргізілген верификация нәтижесінде тіркелген өрттердің шамамен 87 %-ы табиғи өрт қауіптілігінің орташа жоғары және жоғары деңгейлі аймақтарында орын алғаны анықталды.

Сонымен қатар, зерттеу барысында орман өрттерінен кейін қарағайлы ормандардың табиғи жаңаруын шектейтін бірқатар факторлар анықталды. Оларға орман төсенішінің және топырақ жамылғысының терең жануы, өртенген аумақтарын игеру кезінде орман шаруашылығы техникасының механикалық әсері, сондай-ақ қылқанжапырақты ағаштардың тамыр жүйесін зақымдайтын *Rhizina undulata* саңырауқұлағының таралуы жатады.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер Қостанай облысы аумағы табиғи өрт қауіптілігінің жоғары деңгейімен сипатталатынын көрсетеді. Ұсынылған әдістемелік тәсіл орман экожүйелерін мониторингтеу, өрттердің пайда болу қаупін болжау және климаттық өзгерістер жағдайында орман өрттерінің алдын алу мен оларды басқарудың тиімді шараларын әзірлеу барысында қолданылуы мүмкін.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректерді автор ашық дереккөздерден алды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Goldammer J.G. (ed.). *Vegetation Fires and Global Change: Challenges for Concerted International Action*. – Remagen-Oberwinter: Kessel Publishing House, 2013. – 398 p.
2. van der Werf G.R., Randerson J.T., Giglio L., Collatz G.J., Mu M., Kasibhatla P.S., Morton D.C., DeFries R.S., Jin Y., van Leeuwen T.T. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2010. – Vol. 10. – P. 11707–11735. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>
3. Bowman D.M.J.S., Balch J.K., Artaxo P., Bond W.J., Carlson J.M., Cochrane M.A., D’Antonio C.M., DeFries R.S., Doyle J.C., Harrison S.P., Johnston F.H., Keeley J.E., Krawchuk M.A., Kull C.A., Marston J.B., Moritz M.A., Prentice I.C., Roos C.I., Scott A.C., Swetnam T.W., van der Werf G.R., Pyne S.J. Fire in the Earth system // *Science*. – 2009. – Vol. 324. – P. 481–484. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
4. Jolly W.M., Cochrane M.A., Freeborn P.H., Holden Z.A., Brown T.J., Williamson G.J., Bowman D.M.J.S. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013 // *Nature Communications*. – 2015. – Vol. 6. – Article 7537. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
5. Abatzoglou J.T., Williams A.P. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2016. – Vol. 113. – No. 42. – P. 11770–11775. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>
6. Morton D.C., DeFries R.S., Shimabukuro Y.E., Anderson L.O., Arai E., Espirito-Santo F.D.B., Freitas R., Morissette J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2006. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0606377103>
7. Jones M.W., Abatzoglou J.T., Veraverbeke S., Andela N., Lasslop G., Forkel M., Smith A.J.P., Burton C., Betts R.A., van der Werf G.R., Sitch S., Canadell J.G., Santín C., Kolden C., Doerr S.H., Le Quéré C. Global and regional trends and drivers of fire under climate change // *Reviews of Geophysics*. – 2022. – Vol. 60. – Article e2020RG000726. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>
8. Pausas J.G., Keeley J.E. Wildfires as an ecosystem service // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2019. – Vol. 17. – No. 5. – P. 289–295. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.2044>
9. Chuvieco E., Salas J., Aguado I., Yebra M., Nieto H., Martín M.P., Vilar L., Martínez J., Martín S., Ibarra P., de la Riva J., Baeza J., Rodriguez F., Molina J.R., Herrera M.A., Zamora R. Towards an integrated approach to wildfire risk assessment // *Fire*. – 2023. – Vol. 6. – No. 5. – Article 215. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6050215>
10. Chepashev A. et al. Mapping fire hazard potential in Kazakhstan using remote sensing and machine learning // *International Journal of Wildland Fire*. – 2024. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF24232>
11. Babu K.V.S. et al. Burned area mapping and wildfire analysis in Kazakhstan using satellite data // *Frontiers in Forests and Global Change*. – 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1296100>
12. Zhang Y., Xiao X., Jin C., Dong J., Zhou Y., Wagle P., Joiner J., Zhang Y., Qin Y., Wang J., Moore B. Spatiotemporal variation of burned area in Central Asia // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13. – No. 2. – Article 313. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13020313>

13. Шогелова Н., Сартин С.А. Оценка ущерба и восстановление экосистемы резервата «Семей орманы» после катастрофического пожара 2023 года на основе дистанционного зондирования // *Гидрометеорология и экология*. – 2025. DOI: <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2025-118-3-141-151>
14. Arkhipov V., Moukanov M., Khaidarov K., Goldammer J.G. Overview on forest fires in Kazakhstan // *International Forest Fire News*. – 2000. – No. 22. – P. 40–48. URL: https://www.researchgate.net/publication/44159706_Overview_on_forest_fires_in_Kazakhstan
15. Tussupova K., Berndtsson R., Sharapatova K., Aryngazin K., Zhanasova M. Assessment of wildfire hazard on the territory of Kazakhstan // *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*. – 2015. – No. 8. – P. 55–66. URL: <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/1140>
16. United States Geological Survey (USGS). Earth Explorer – Landsat Data Access System. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
17. Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R., et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research // *Remote Sensing of Environment*. – 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
18. Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature // *International Journal of Geographical Information Science*. – 2006. – Vol. 20. – No. 7. – P. 703–726. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
19. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process // *International Journal of Services Sciences*. – 2008. – Vol. 1. – No. 1. – P. 83–98. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
20. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS // NASA. – 1974. URL: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
21. Gao B.C. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // *Remote Sensing of Environment*. – 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
22. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // *Remote Sensing of Environment*. – 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
23. Allison, R.S., Johnston, J.M., Craig, G., Jennings, S. Airborne optical and thermal remote sensing for wildfire detection and monitoring // *Sensors*. – 2016. – Vol. 16. – No. 8. – P. 1310. <https://doi.org/10.3390/s16081310>
24. Huete, A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS // *Remote Sensing of Environment*. – 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
25. Dillon, G.K., Holden, Z.A., Morgan, P., Crimmins, M.A., Heyerdahl, E.K., Luce, C.H. Both topography and climate affected forest and woodland burn severity in two regions of the western US, 1984–2006 // *Ecosphere*. – 2011. – Vol. 2. – No. 12. – Article 130. DOI: <https://doi.org/10.1890/ES11-00271.1>
26. Holden Z.A., Morgan P., Evans J.S., Hudak A.T. A predictive model of burn severity based on 20-year satellite-inferred burn severity data in a large southwestern US wilderness area // *Forest Ecology and Management*. – 2009. – Vol. 258. – No. 11. – P. 2399–2406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.017>
27. Постнов А.Д., Масленников Д.А., Катаева Л.Ю., Лошилов С.А. Влияние эффектов обтекания на динамику природного пожара в условиях неоднородности рельефа // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 6. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=10817>
28. Finney M.A. FARSITE: Fire Area Simulator – model development and evaluation // *Research Paper RMRS-RP-4*. – Ogden, UT: U.S. Forest Service, 1998. DOI: <https://doi.org/10.2737/RMRS-RP-4>
29. Yebra M., Dennison P.E., Chuvieco E., Riaño D., Zylstra P., Hunt E.R., Danson F.M., Qi Y., Jurdao S. A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment: Moving towards operational products // *Remote Sensing of Environment*. – 2013. – Vol. 136. – P. 455–468. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.029>
30. Parks S.A., Dillon G.K., Miller C. A new metric for quantifying burn severity: the relativized burn ratio // *Remote Sensing*. – 2014. – Vol. 6. – No. 3. – P. 1827–1844. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6031827>
31. Parks S.A., Holsinger L.M., Panunto M.H., Jolly W.M., Dobrowski S.Z., Dillon G.K. High-severity fire: evaluating its key drivers and mapping its probability across western US forests // *Environmental Research Letters*. – 2018. – Vol. 13. – Article 044037. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab791>
32. Kane V.R., Cansler C.A., Povak N.A., Kane J.T., McGaughey R.J., Lutz J.A., Churchill D.J., North M.P. Mixed severity fire effects within the Rim Fire: relative importance of local climate, fire weather, topography and forest structure // *Forest Ecology and Management*. – 2015. – Vol. 358. – P. 62–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.001>
33. Официальный сайт РГП «Казгидромет». – URL: <https://www.kazhydromet.kz> (дата обращения: 20.11.2024).
34. Flannigan M.G., Stocks B.J., Wotton B.M. Climate change and forest fires // *Science of the Total Environment*. – 2000. – Vol. 262. – P. 221–229. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00524-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00524-6)
35. Flannigan M.D., Stocks B.J., Turetsky M.R., Wotton B.M. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest // *Global Change Biology*. – 2009. – Vol. 15. – No. 3. – P. 549–560. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01660.x>
36. Wotton M.D., Martell D.L. A lightning fire occurrence model for Ontario // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2005. – Vol. 35. – P. 1389–1401. DOI: <https://doi.org/10.1139/x05-071>
37. Schoennagel T., Veblen T.T., Romme W.H. The interaction of fire, fuels, and climate across Rocky Mountain forests // *BioScience*. – 2004. – Vol. 54. – No. 7. – P. 661–676. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0661:TIOFFA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0661:TIOFFA]2.0.CO;2)

38. Иванов Б.Г. «Испарение в естественных условиях». — Л.: Гидрометеоздат, 1954.
39. Stehman S.V. Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy // *Remote Sensing of Environment*. – 1997. – Vol. 62. – P. 77–89. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00083-7)
40. Turyuzhanova A.T., Nurmagambetova A.M. Comprehensive socio-economic analysis of the Kostanay region // *Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*. – 2021. – № 3(136). – P. 63–72.
41. Fire Information for Resource Management System (FIRMS). – URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (дата обращения: 20.04.2024).
42. Veraverbeke S., Rogers B.M., Goulden M.L., Jandt R.R., Miller C.E., Wiggins E.B., Randerson J.T. Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests // *Nature Climate Change*. – 2017. – Vol. 7. – P. 529–534. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate3329>

REFERENCES

1. Goldammer J.G. (ed.). (2013) *Vegetation Fires and Global Change: Challenges for Concerted International Action*. – Remagen-Oberwinter: Kessel Publishing House, 398 .
2. van der Werf G.R., Randerson J.T., Giglio L., Collatz G.J., Mu M., Kasibhatla P.S., Morton D.C., DeFries R.S., Jin Y., van Leeuwen T.T. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10. 11707–11735. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>
3. Bowman D.M.J.S., Balch J.K., Artaxo P., Bond W.J., Carlson J.M., Cochrane M.A., D’Antonio C.M., DeFries R.S., Doyle J.C., Harrison S.P., Johnston F.H., Keeley J.E., Krawchuk M.A., Kull C.A., Marston J.B., Moritz M.A., Prentice I.C., Roos C.I., Scott A.C., Swetnam T.W., van der Werf G.R., Pyne S.J. Fire in the Earth system (2009). *Science*. 324. 481–484. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
4. Jolly W.M., Cochrane M.A., Freeborn P.H., Holden Z.A., Brown T.J., Williamson G.J., Bowman D.M.J.S. (2015) Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013(2022). *Nature Communications*. 6. – Article 7537. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
5. Abatzoglou J.T., Williams A.P. (2016) .Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 113.42.11770–11775. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>
6. Morton D.C., DeFries R.S., Shimabukuro Y.E., Anderson L.O., Arai E., Espirito-Santo F.D.B., Freitas R., (2006). Morisette J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon . *Proceedings of the National Academy of Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0606377103>
7. Jones M.W., Abatzoglou J.T., Veraverbeke S., Andela N., Lasslop G., Forkel M., Smith A.J.P., Burton C., Betts R.A., van der Werf G.R., Sitch S., Canadell J.G., Santin C., Kolden C., Doerr S.H., (2022). Le Quéré C. Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics*. 60. Article e2020RG000726. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>
8. Pausas J.G., Keeley J.E. (2019). Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 17 (5). 289–295. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.2044>
9. Chuvieco E., Salas J., Aguado I., Yebra M., Nieto H., Martín M.P., Vilar L., Martínez J., Martín S., Ibarra P., de la Riva J., Baeza J., Rodríguez F., Molina J.R., Herrera M.A., Zamora R. (2023). Towards an integrated approach to wildfire risk assessment. *Fire*. 6 (5). – Article 215. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6050215>
10. Chepashev A. et al. (2024) .Mapping fire hazard potential in Kazakhstan using remote sensing and machine learning. *International Journal of Wildland Fire*. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF24232>
11. Babu K.V.S. et al. (2024). Burned area mapping and wildfire analysis in Kazakhstan using satellite data. *Frontiers in Forests and Global Change*. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1296100>
12. Zhang Y., Xiao X., Jin C., Dong J., Zhou Y., Wagle P., Joiner J., Zhang Y., Qin Y., Wang J., Moore B. (2021). Spatiotemporal variation of burned area in Central Asia. *Remote Sensing*. 13(2). Article 313. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13020313>
13. Shogelova N., Sartin S.A. (2025) Otsenka ushcherba i vosstanovlenie ekosistemy rezervata «Semei ormany» posle katastroficheskogo pozhara 2023 goda na osnove distantsionnogo zondirovaniya. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. DOI: <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2025-118-3-141-151>
14. Arkhipov, V., Moukanov, M., Khaidarov, K., & Goldammer, J. G. (2000). Overview on forest fires in Kazakhstan. *International Forest Fire News*, 22, 40–48. https://www.researchgate.net/publication/44159706_Overview_on_forest_fires_in_Kazakhstan
15. Tussupova, K., Berndtsson, R., Sharapatova, K., Aryngazin, K., & Zhanasova, M. (2015). Assessment of wildfire hazard on the territory of Kazakhstan. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 8, 55–66. <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/1140>
16. United States Geological Survey (USGS). Earth Explorer – Landsat Data Access System. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
17. Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., et al. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
18. Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>

19. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
20. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. NASA. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
21. Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
22. Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
23. Allison, R. S., Johnston, J. M., Craig, G., & Jennings, S. (2016). Airborne optical and thermal remote sensing for wildfire detection and monitoring. *Sensors*, 16(8), Article 1310. <https://doi.org/10.3390/s16081310>
24. Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., & van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440–451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
25. Dillon, G. K., Holden, Z. A., Morgan, P., Crimmins, M. A., Heyerdahl, E. K., & Luce, C. H. (2011). Both topography and climate affected forest and woodland burn severity in two regions of the western United States, 1984–2006. *Ecosphere*, 2(12), Article 130. <https://doi.org/10.1890/ES11-00271.1>
26. Holden, Z. A., Morgan, P., Evans, J. S., & Hudak, A. T. (2009). A predictive model of burn severity based on 20-year satellite-inferred burn severity data in a large southwestern United States wilderness area. *Forest Ecology and Management*, 258(11), 2399–2406. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.017>
27. Postnov, A. D., Maslennikov, D. A., Kataeva, L. Yu., & Loshchilov, S. A. (2013). Vliyaniye effektivov obtekaniya na dinamiku prirodnogo pozhara v usloviyakh neodnorodnosti rel'efa. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, (6). <https://science-education.ru/article/view?id=10817>
28. Finney, M. A. (1998). *FARSITE: Fire area simulator—Model development and evaluation* (Research Paper RMRS-RP-4). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. <https://doi.org/10.2737/RMRS-RP-4>
29. Yebra, M., Dennison, P. E., Chuvieco, E., Riaño, D., Zylstra, P., Hunt, E. R., Danson, F. M., Qi, Y., & Jurdao, S. (2013). A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment: Moving towards operational products. *Remote Sensing of Environment*, 136, 455–468. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.029>
30. Parks, S. A., Dillon, G. K., & Miller, C. (2014). A new metric for quantifying burn severity: The relativized burn ratio. *Remote Sensing*, 6(3), 1827–1844. <https://doi.org/10.3390/rs6031827>
31. Parks, S. A., Holsinger, L. M., Panunto, M. H., Jolly, W. M., Dobrowski, S. Z., & Dillon, G. K. (2018). High-severity fire: Evaluating its key drivers and mapping its probability across western U.S. forests. *Environmental Research Letters*, 13(4), Article 044037. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab791>
32. Kane, V. R., Cansler, C. A., Povak, N. A., Kane, J. T., McGaughey, R. J., Lutz, J. A., Churchill, D. J., & North, M. P. (2015). Mixed severity fire effects within the Rim Fire: Relative importance of local climate, fire weather, topography and forest structure. *Forest Ecology and Management*, 358, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.001>
33. Ofitsial'nyi sait RGP «Kazgidromet». – URL: <https://www.kazhydromet.kz> (data obrashcheniya: 20.11.2024).
34. Flannigan, M. G., Stocks, B. J., & Wotton, B. M. (2000). Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*, 262(3), 221–229. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00524-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00524-6)
35. Flannigan, M. D., Stocks, B. J., Turetsky, M. R., & Wotton, B. M. (2009). Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest. *Global Change Biology*, 15(3), 549–560. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01660.x>
36. Wotton, M. D., & Martell, D. L. (2005). A lightning fire occurrence model for Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(6), 1389–1401. <https://doi.org/10.1139/x05-071>
37. Schoennagel, T., Veblen, T. T., & Romme, W. H. (2004). The interaction of fire, fuels, and climate across Rocky Mountain forests. *BioScience*, 54(7), 661–676. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0661:TIOFFA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0661:TIOFFA]2.0.CO;2)
38. Ivanov, B. G. (1954). *Isparenie v estestvennykh usloviyakh* [Evaporation under natural conditions]. Gidrometeoizdat.
39. Stehman, S. V. (1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 62(1), 77–89. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00083-7)
40. Turyuzhanova, A. T., & Nurmagambetova, A. M. (2021). Comprehensive socio-economic analysis of the Kostanay region. *Bulletin of L. N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*, 136(3), 63–72.
41. Fire Information for Resource Management System (FIRMS). – URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (data obrashcheniya: 20.04.2024).
42. Veraverbeke, S., Rogers, B. M., Goulden, M. L., Jandt, R. R., Miller, C. E., Wiggins, E. B., & Randerson, J. T. (2017). Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests. *Nature Climate Change*, 7(7), 529–534. <https://doi.org/10.1038/nclimate3329>

ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛЕСОВ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ОЦЕНКА

Жанар О. Озгелдинова*, PhD

ЕНУ имени Л. Гумилева, Астана, Казахстан; ozgeldinova@mail.ru (ЖОО)

*Автор корреспонденции: Жанар О. Озгелдинова, ozgeldinova@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

лесные пожары, лес, природная пожарная опасность, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), географические информационные системы (ГИС), Костанайская область

По статье:

Получено: 11.03.2026

Пересмотрено: 10.05.2026

Принято: 02.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

АБСТРАКТ

Лесные пожары являются одним из наиболее опасных природных явлений, частота и интенсивность которых увеличиваются в условиях климатических изменений. В Казахстане вопросы комплексной пространственной оценки природной пожарной опасности остаются недостаточно изученными.

В данном исследовании предложена многофакторная интегральная модель оценки природной пожарной опасности территории Костанайской области на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных технологий. В модель включены спектральные индексы растительности (NDVI, NDMI, EVI), параметры рельефа и метеорологические показатели. Все факторы нормализованы, а их весовые коэффициенты определены методом экспертной оценки. Пространственный анализ выполнен в программной среде ArcGIS.

В результате территория Костанайской области зонирована по уровням природной пожарной опасности. Установлено, что значительная часть региона относится к зонам среднего высокого и высокого риска. Наибольшая концентрация пожаров наблюдается в аллювиальных равнинах и районах распространения сосновых лесов. Результаты верификации показали, что более 80 % зарегистрированных пожаров приходится на зоны высокого и очень высокого уровня опасности.

Полученные результаты могут быть использованы для оценки риска возникновения лесных пожаров, выявления наиболее опасных территорий, а также для совершенствования систем мониторинга и управления пожарами.

NATURAL FACTORS OF FOREST FIRE HAZARD IN THE KOSTANAY REGION AND THEIR ASSESSMENT

Zhanar Ozgeldinova*, PhD

L.N Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; ozgeldinova@mail.ru

*Corresponding author: Zhanar Ozgeldinova, ozgeldinova@mail.ru

KEY WORDS

Forest fires, forest, natural fire hazard, remote sensing (RS), geographic information systems (GIS), Kostanay region

About article:

Received: 11.03.2026

Revised: 10.05.2026

Accepted: 02.06.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT

Forest fires are among the most hazardous natural phenomena, with their frequency and intensity increasing under current climate change conditions. In Kazakhstan, comprehensive spatial assessment of natural fire hazard remains insufficiently studied. This study proposes a multi-factor integrated model for assessing natural fire hazard in the Kostanay region based on remote sensing (RS) data and geographic information system (GIS) technologies. The model incorporates vegetation spectral indices (NDVI, NDMI, EVI), topographic parameters, and meteorological variables. All factors were normalized, and their weights were determined using an expert-based approach. Spatial analysis was performed in the ArcGIS environment.

The results allowed for zoning the territory of the Kostanay region according to levels of natural fire hazard. It was found that a significant portion of the area falls within moderate-high and high-risk zones. The highest concentration of fire occurrences was observed in alluvial plains and areas dominated by pine forests. Verification results

showed that more than 80 % of recorded fires are located within high and very high hazard zones.





The findings can be used for wildfire risk assessment, identification of high-risk areas, and improvement of fire monitoring and management systems.

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



Ғылыми мақала

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ӨНІРІНІҢ ТОПЫРАҚ-МЕЛИОРАТИВТІК ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫН БАҒАЛАУ

Раушан А. Джайсамбекова к.т.н. , Сымбат С. Ақболатова , Айжан Н. Шералы ,
Гулзина С. Алимбаева 

"Қазақ су шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты" ЖШС, Тараз қ., Қазақстан; dzhaisanbekova.1967@mail.ru (РАД), akbolatova18@mail.ru (ССА), aizzhansheraly02@gmail.com (АНШ), gulzinaalimbaeva8@gmail.com (ГСА)

*Автор корреспондент: Айжан Н. Шералы, aizzhansheraly02@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Суармалы жер, топырақ-мелиоративтік жағдай, су ресурстары, химиялық құрам, тұздану деңгейі

АБСТРАКТ

Мақалада Оңтүстік Қазақстан өңіріндегі суармалы жерлердің топырақ-мелиоративтік жағдайы мен су ресурстарының химиялық құрамы зерттелді. Зерттеу барысында титриметриялық, фотометриялық, физикалық әдістер қолданылды. Бұл әдістер қазіргі уақытта химия ғылымында кеңінен қолданылатын, жоғары сенімділік пен дәлдікке ие, сапалы нәтижелер беретін заманауи әдістер қатарына жатады. Осыған орай топырақ үлгілерінің негізгі химиялық элементтерінің мөлшері, механикалық құрамы, қарашірік көлемі анықталды. Әртүрлі аймақтардың топырақ және су ресурстарының құрамындағы тұздану деңгейінің жағдайы бағаланды. Нәтижелер суармалы егіншіліктің өнімділігін арттыруға, жер ресурстарын тиімді пайдалануға және табиғи ортаның деградациясын болдырмауға бағытталған ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей әр аймақтың топырақ және су ресурстары өзіне тән қасиеттермен ерекшеленеді. Сол себептен болашақ зерттеулерде ауыл шаруашылығынан жоғары өнім алу мақсатында әрбір топырақ және су үлгісінің өзіне сай зерттеу жұмыстарын жүргізу талап етіледі.

1. КІРІСПЕ

Оңтүстік Қазақстан өңірі ең ірі суармалы егіншілік аймағы. Бұл өңірде мақта, көкөніс, бақша дақылдары, мал азығы өсіріледі. Климаттың құрғақ әрі ыстық болуы суармалы егіншілікті тұрақты дамытуды талап етеді. Соңғы он жылдықтарда суармалы жерлердің топырақ құнарлылығы мен мелиоративтік жағдайы нашарлап, екінші реттік тұздану процестері жиілеп келеді [1]. Жер асты сулары деңгейінің көтерілуі, суландыру жүйелерінің тозуы, агротехникалық шаралардың жеткіліксіздігі – басты себептердің бірі.

Соңғы жылдары ауыл шаруашылығы салаларында айтарлықтай өзгерістер орын алып, суармалы егіншілік пен жайылымдарды суландыруға қатысты су пайдалану мәселелері басым бағыттардың біріне айналды. Өндіріс көлемінің артуы және халық санының өсуі жағдайында су ресурстары тапшылығы барған сайын күшейе түсуде. Бұл тапшылық су тұтынудың ұлғаюымен қатар, табиғи су көздерінің ластануына байланысты олардың сапасының төмендеуімен күрделене түседі. Осыған байланысты жерасты сулары, коллектор-дренаждық сулар және қайта пайдаланылатын ағын сулар сияқты балама су көздерін пайдалану қажеттілігі туындап отыр. Мұндай суларды тазарту, ауыл шаруашылығында тиімді қолдану, су үнемдеу технологияларын кеңінен енгізу, сонымен

Мақала жайында:

Жіберілді: 19.12.2025

Қайта қаралды: 23.12.2025

Қабылданды: 18.05.2026

Жарияланды: 01.07.2026

Дәйексөз үшін:

Джайсамбекова Р.,
Ақболатова С., Шералы
А., Алимбаева Г.,
Оңтүстік Қазақстан өңірінің
топырақ-мелиоративтік
жағдайы және су
ресурстарының химиялық
құрамын бағалау//
Гидрометеорология және
экология, 122 (2), 2026, 155-
169.

бірге суармалы жерлер мен жайылымдарды суландыру мәселелері ерекше өзектілікке ие [2, 3].

Жұмыстың мақсаты Оңтүстік Қазақстан өңіріндегі аудандардың топырағының мелиоративтік жағдайы мен су ресурстарының құрамы мен сапасын қарастыру болып табылады. Зерттеу жұмысының негізі таңдалынып алынған үлгілерді зертханалық жағдайда мүмкін болатын химиялық сараптамалар жасау арқылы зерттеп, бір-бірімен айырмашылықтары мен ұқсастықтарын салыстырып, кішігірім қорытынды шығару. Судың табиғи режимдерін зерттеу, субиригацияны дамыту, су ресурстарын ұтымды пайдалану және химимелиорация саласындағы ғылыми ізденістердің рөлі жылдан-жылға артып келеді. Сондықтан суармалы жерлердің топырақ-мелиоративтік жағдайын жан-жақты зерттеу, химиялық құрамын талдау және дер кезінде мелиорациялық шаралар қолдану өзекті болып отыр. Топырақ пен судың сапасы тұрақты ауыл шаруашылығының негізі болып табылады және ауылшаруашылық өндірісінің болашағы олардың тұзы мен қоректік заттарын қаншалықты жақсы басқара алатынымызға байланысты. Топырақтың құнарлы және суару үшін қауіпсіз болуын қамтамасыз ету үшін тұздардың табиғи жүйелерге қалай енетінін және бұл процесті қалай басқаруға болатынын түсіну маңызды [4]. Су мөлдір және таза болып көрінуі мүмкін, бірақ оның минералдануы да жоғары. Егер мұндай су өсімдіктерге жылдар бойы суарылса, тұздар сөзсіз топырақтың жоғарғы қабаттарында жиналады. Мұндай булану процесі әсіресе топырақ жамылғысы қатты құрғақ аймақтарда тез жүреді [5]. Сондықтан болашақ тәсілдер артық мөлшерде тұздандуды азайтуға және сонымен бірге топырақтың құрамындағы тұздармен күресу қабілетін арттыруға бағытталуы керек. Бұл зерттеу нәтижелері ауыл шаруашылығы өндірісінің өнімділігін арттыруға, топырақ және су ресурстарын тиімді басқаруға, экологиялық жағдайды жақсартуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар болашақта топырақ пен судың құрамына, тұздандуына байланысты мәселелерді шешуде өз көмегін тигізеді.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу нысаны ретінде Түркістан, Жамбыл, Қызылорда облыстарының аумағындағы (Жетісай және Байзақ аудандары, Баймұрат Батыр ауылы) суармалы жерлер таңдалды. Осы аталған аудандардан топырақ және су үлгілері таңдалып алынып, химиялық сараптама жұмыстары жүргізілді.



Сурет 1. Топырақ үлгілерін алу сәті

Топырақ үлгілері 0...20 см, 20...40 см, 40...60 см тереңдіктен шамамен 100 грамм мөлшерде алынды. Әр аймақтан өз тереңдіктері бойынша 2 үлгіден алынды. Сәйкесінше су сынамалары да алынды (Сурет 1...2). Бөлме температурасында толықтай кептіріліп,

үгітілді. Талдау нәтижелері нақты болуы үшін химиялық сараптама 2 рет қайталанып жасалынып, орташа мәні нәтиже ретінде алынды.



Сурет 2. Су сынамаларын алу барысы

Сараптамада қолданылған аналитикалық әдістер:

- Топырақтың су сығындысындағы карбонат және бикарбонат иондарын анықтау (ГОСТ 26424-85), хлорид ионын анықтау (ГОСТ 26425-85), сульфат ионын анықтау (ГОСТ 26426-85), натрий мен калийді анықтау (ГОСТ 26427-85), кальций мен магнийді анықтау (ГОСТ 26428-85);
- Топырақтың механикалық құрамын пипеткалық әдіспен анықтау (ГОСТ 12536-2014)
- Топырақтағы сіңірілген негіздердің жиынтығын Каппен әдісімен анықтау (ГОСТ 27821-88);
- Топырақ құрамындағы фосфор мен калийдің жылжымалы түрлерін Мачигин әдісімен анықтау (ГОСТ 26205-91);
- Топырақтағы органикалық құрам мөлшерін анықтау (ГОСТ 26213-91);
- Судың құрамындағы гидроксидтер, карбонаттар және гидрокарбонат иондарын анықтау (СТ РК ИСО 2726-2015), хлорид ионын анықтау (СТ РК ИСО 9297-2008), сульфат ионын анықтау (ГОСТ 31940-2012), кальций, магний ионын анықтау (СТ РК ИСО 6058-2014);
- Су тектік көрсеткішті (рН) потенциометриялық әдіспен анықтау (СТ РК ИСО 10523-2013).

Химиялық сараптамаларды жүргізу барысында топырақтағы сіңірілген негіздердің жиынтығын Каппен әдісімен және фосфордың жылжымалы түрін Мачигин әдісімен анықтау жасалған автоматтандырылған жалынды фотометр ФПА-2-01 мен КФК-3 фотоэлектрлік фотометрінде (АО «Загорский оптико-механикалық зауытында», Сергиев Посад қ., Ресей) жүзеге асырылды. Су тектік көрсеткішті И-160МИ зертханалық иономерінде жүргізілді («Өлшеу техникасы» ЖШҚ, Мәскеу қ., Ресей). Ал қалған талдау түрлері титрлеу әдісімен жасалынды.



Сурет 3. Топырақ үлгілерінің механикалық құрамын анықтау

Топырақтың механикалық құрамы оның әртүрлі мөлшердегі түйіршікті бөлшектерден тұратынын білдіреді. Топырақ бөлшектері кішірейген сайын топырақ сазды болады (Сурет-3). Құмды-сазды топырақ аралас болып саналады. Топырактану саласындағы іргелі ғалым профессор Н.А. Качинскийдің зерттеулеріне сәйкес, топырақтағы түйіршіктердің мөлшеріне байланысты: ірі түйіршікті-диаметрі 3 мм-ден, ірі түйіршікті - 1 мм-ден 3 мм-ге дейін, ірі түйіршікті - 0,25 мм-ден 1 мм-ге дейін, орташа құмды - 0,05 мм-ден 0,25 мм-ге дейін-ұсақ құм, 0,01-ірі түйіршікті шаңға 0,05-ке дейін бөлінеді, 0,001-ден 0,005-ке дейінгі ұсақ дисперсті шаң, диаметрі 0,001 мм-ден аз ұсақ дисперсті шаң, түйіршікті шаң, коллоидтар 0,0001 мм-ден аз [6].

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Топырақтың химиялық құрамы – топырақ құнарлылығының маңызды факторы, себебі өсімдік қорегінің көптеген элементтері минералды тыңайтқыштардың құрамына кірмейді. Қазіргі кезде өсімдіктің қоректенуіне қажетті элементтер қатарына 20 химиялық элементтер (азот, фосфор, калий, көміртегі, күкірт, кальций, магний, натрий, темір, оттегі, сутегі, хлор, мыс, мырыш, бор, молибден, йод, марганец, кобальт, ванадий) жатады [7].

Әрбір элемент өсімдікте белгілі бір физиологиялық қызметтерді орындайды. Қандай да бір элемент жетіспеген немесе артық болған кезде өсімдік нашар өсіп, нашар дамиды. Бір элементтің өзі ғана ерігіштігі және жылжымалылығы бойынша әр түрлі қосылыстар түзеді, өсімдіктерге олардың қол жетімдігі де, көшу қабілеттілігі де, орта реакциясы да осыған байланысты. Топырақтағы химиялық элементтер құрылысы, құрамы, үгілуге төзімділік дәрежесі, ерігіштігі және тағы басқалар бойынша өзгешеленетін әр түрлі қосылыстар түрінде болады [8, 9].

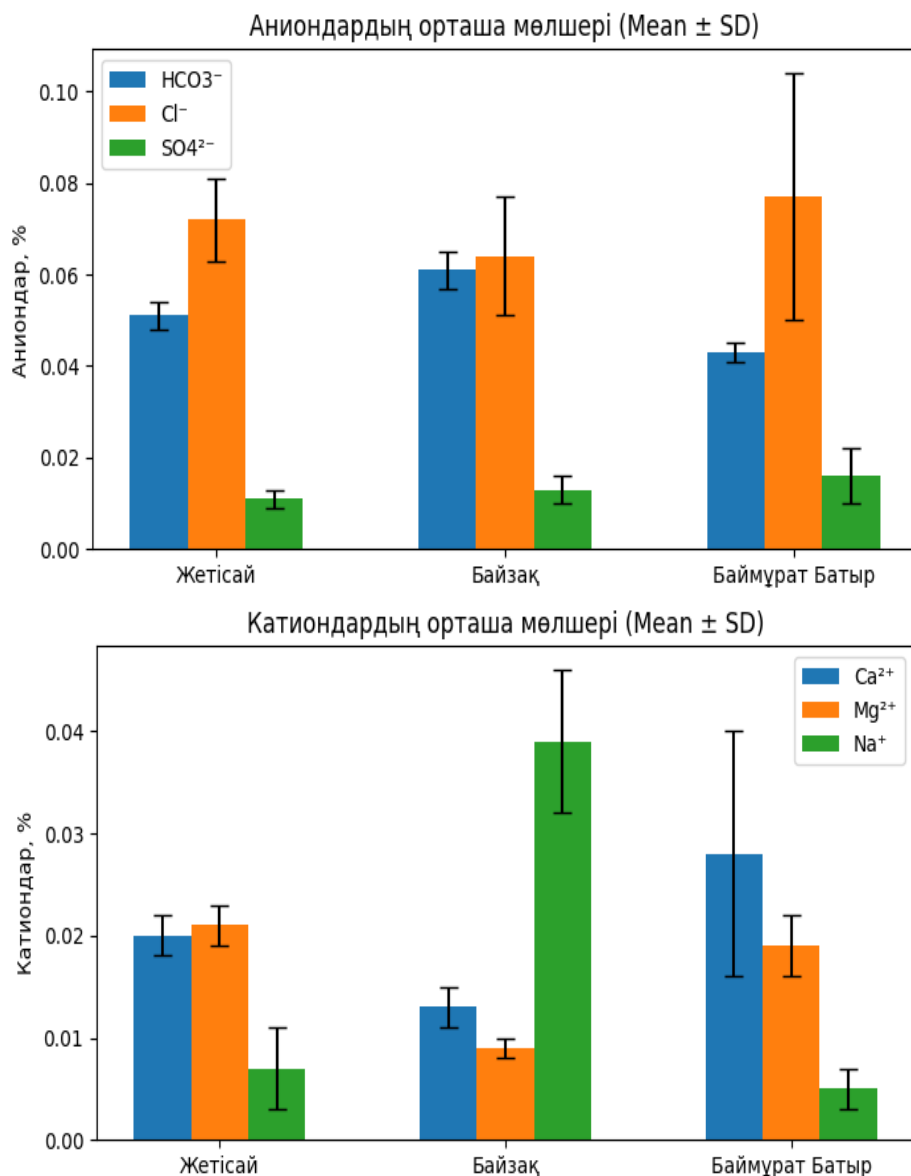
Кесте 1

Топырақ үлгілерінің иондық құрамы, %/(моль/м³)

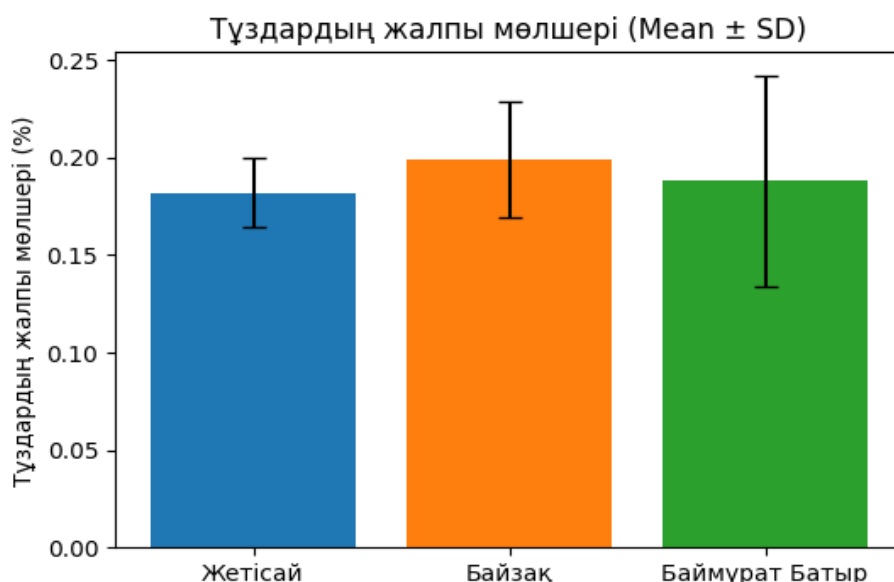
№	Топырақ алынған жер	Горизонт, см	Тұздардың жалпы мөлшері	Аниондар				Катиондар		
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
1		0...20	0,166	-	$\frac{0,049}{0,80}$	$\frac{0,064}{1,80}$	$\frac{0,010}{0,20}$	$\frac{0,022}{1,10}$	$\frac{0,019}{1,60}$	$\frac{0,002}{0,10}$
2	Жетісай	20...40	0,179	-	$\frac{0,054}{0,88}$	$\frac{0,070}{1,96}$	$\frac{0,008}{0,16}$	$\frac{0,020}{1,0}$	$\frac{0,022}{1,80}$	$\frac{0,005}{0,20}$
3		40...60	0,202	-	$\frac{0,051}{0,84}$	$\frac{0,081}{2,28}$	$\frac{0,014}{0,28}$	$\frac{0,018}{0,90}$	$\frac{0,022}{1,80}$	$\frac{0,016}{0,70}$
4		0...20	0,232	-	$\frac{0,063}{1,04}$	$\frac{0,078}{2,20}$	$\frac{0,019}{0,40}$	$\frac{0,014}{0,70}$	$\frac{0,011}{0,90}$	$\frac{0,047}{2,04}$
5	Байзақ	20...40	0,191	-	$\frac{0,063}{1,04}$	$\frac{0,062}{1,76}$	$\frac{0,008}{0,16}$	$\frac{0,014}{0,70}$	$\frac{0,008}{0,70}$	$\frac{0,036}{1,56}$
6		40...60	0,173	-	$\frac{0,056}{0,92}$	$\frac{0,052}{1,48}$	$\frac{0,013}{0,28}$	$\frac{0,010}{0,50}$	$\frac{0,008}{0,70}$	$\frac{0,034}{1,48}$
7	Баймұрат	0...20	0,250	-	$\frac{0,044}{0,72}$	$\frac{0,108}{3,04}$	$\frac{0,027}{0,56}$	$\frac{0,040}{2,0}$	$\frac{0,024}{2,0}$	$\frac{0,007}{0,32}$
8	Батыр	20...40	0,165	-	$\frac{0,044}{0,72}$	$\frac{0,061}{1,72}$	$\frac{0,014}{0,28}$	$\frac{0,028}{1,40}$	$\frac{0,013}{1,10}$	$\frac{0,005}{0,22}$

9	40...60	0,150	-	$\frac{0,041}{0,68}$	$\frac{0,062}{1,76}$	$\frac{0,008}{0,16}$	$\frac{0,016}{0,80}$	$\frac{0,019}{1,60}$	$\frac{0,004}{0,20}$
---	---------	-------	---	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Топырақтардың тұздану мәселесі сонымен бірге әлеуметтік маңызды мәселе болып табылады, өйткені ол мал шаруашылығы мен өсімдік шаруашылығы өнімдерін өндіру мүмкіндігімен және осының негізінде өңірлер тұрғындарын азық-түлікпен қамтамасыз ету мүмкіндігімен байланысты. Топырақтың екінші реттік тұздануы, яғни антропогендік факторлардың әсерінен пайда болған егістік жерлердің тұздануы, суармалы және шөлді аймақтарда жауын-шашынның аз түсуіне байланысты ауыл шаруашылық дақылдардың өсуін тежейтін және егістік мөлшерін төмендететін қауіпті факторлардың бірі [10, 11].



Сурет 4. Топырақ үлгілерінің құрамындағы аниондар мен катиондардың орташа мөлшері



Сурет 5. Топырақ үлгілерінің құрамындағы тұздардың жалпы мөлшері

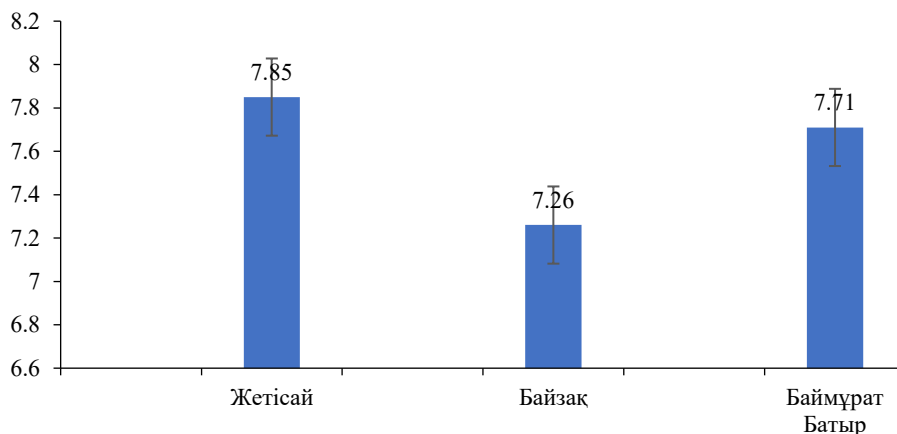
Тұз мөлшері – 0,2 % төмен – әлсіз тұзданған, 0,2...0,5 % орташа, 0,5 % жоғары – күшті тұзданған болып бөлінеді. 1-ші кестеден байқалғандай, барлық топырақ үлгілері әлсіз және орташа тұзданған [12]. Осы тұста Байзақ ауданы мен Баймұрат Батыр ауылының топырақтары горизонт төмендеген сайын азайғаны байқалады. Тек Жетісай ауданының топырағы керісінше көбейді (Сурет 4, 5, 6). Бұл әр аймақ топырақтарының өзіне тән мелиоративтік қасиеттеріне байланысты өзгергенін көрсетеді (Кесте-1).

Су ресурстарының тұздану көрсеткіші де су сапасын, ауыл шаруашылығына жарамдылығын, аймақтың экологиясын бағалау үшін өте маңызды. Судың тұздануы оның құрамындағы еріген тұздардың мөлшерінің артуын білдіреді (Кесте-2).

Кесте 2.

Су үлгілерінің иондық құрамы, %/(моль/м³)

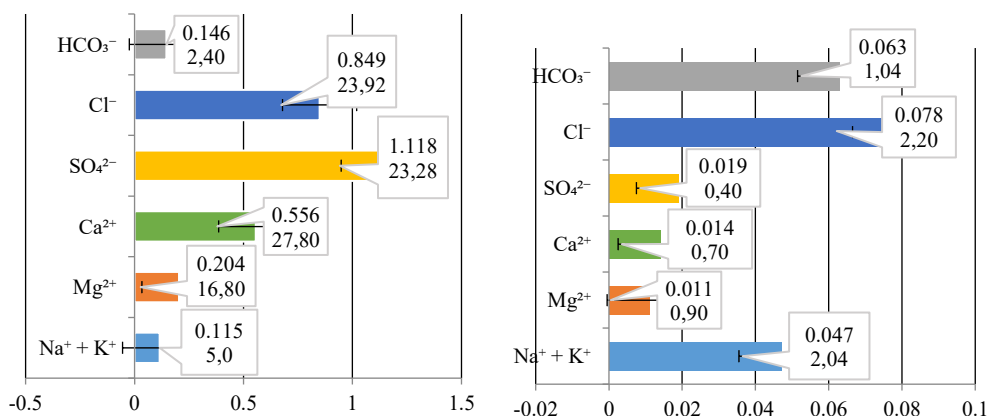
№	Суару каналдары орналасқан жерлер	Тұздардың жалпы мөлшері	Аниондар				Катиондар		
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
1	Жетісай	2,988	-	0,146 2,40	0,849 23,92	1,118 23,28	0,556 27,80	0,204 16,80	0,115 5,0
2	Байзақ	0,232	-	0,063 1,04	0,078 2,20	0,019 0,40	0,014 0,70	0,011 0,90	0,047 2,04
3	Баймұрат Батыр	1,631	-	0,415 6,80	0,523 14,72	0,215 4,48	0,192 9,60	0,102 8,40	0,184 8,0



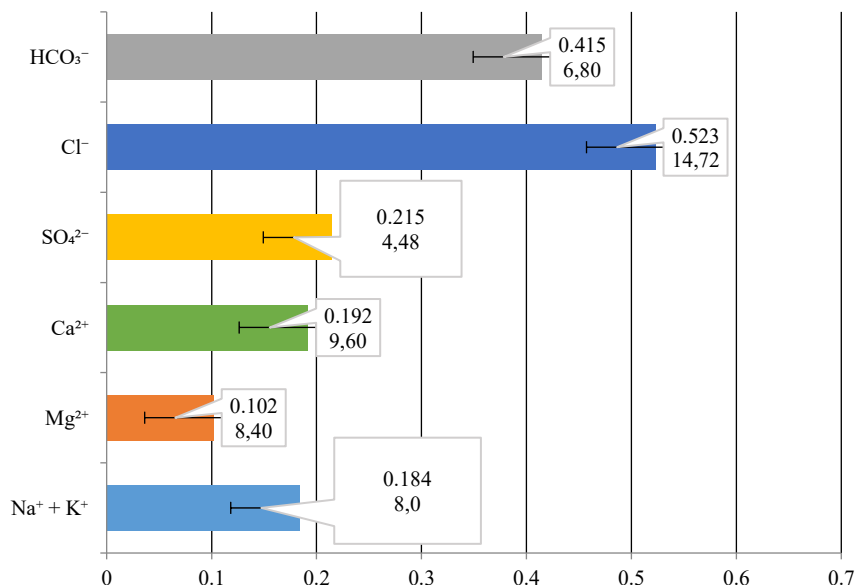
Сурет 6. Топырақ үлгілерінің құрамындағы тұздардың жалпы мөлшері

Зерттеу барысында Түркістан мен Жамбыл облыстарының аудандары мен Қызылорда облысына қарасты ауылдан алынған су үлгілерінің сутектік көрсеткіштері (рН) анықталды. Зерттеу нәтижелері бойынша су үлгілерінің сутектік көрсеткіші бейтарап ортаға жақын мән көрсетті. Жетісай ауданында рН – 7,85, Байзақ ауданында – 7,26, ал Баймұрат Батыр ауылында – 7,71 болды. Ең төменгі мән Байзақ ауданында тіркелсе, ең жоғары көрсеткіш Жетісай ауданында анықталды. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер су үлгілерінің әлсіз сілтілі ортаға жақын екенін және зерттелген аймақтарда сутектік көрсеткіштің айтарлықтай ауытқуы байқалмағанын көрсетеді.

Судағы тұздардың мөлшерін білу дұрыс суарудың негізі болып табылады. Егер судың минералдануы мен химиясы бақыланбаса, топырақты тез бұзып, өнімділікті төмендетіп, жерді қалпына келтіру шығындары көбейеді. Бұл өз алдына бұдан да үлкен мәселелерді тудыруы мүмкін. Сол себептен химиялық талдау жасау арқылы судың қауіпсіздігін бағалауға, топыраққа әсерін болжауға және судың сапасын сақтау мәселелерін шешуге болады [13].



Сурет 7. Жетісай және Байзақ аудандарының су үлгілерінің тұздарының қосындысы



Сурет 8. Баймұрат Батыр ауылының су үлгісінің тұздарының қосындысы

Су үлгілерінің химиялық қасиеттері, оның ішінде құрамындағы тұздардың мөлшері анықталды. Хлорид тұзы, сульфат, гидрокарбонат, кальций және магний тұздары қарастырылды. Түркістан, Жамбыл, Қызылорда облыстарының су үлгілері әрқайсысы өзінің химиялық құрамына қарай түрлі нәтижелерді көрсетті. Баймұрат Батыр ауылының су үлгісінде хлорид көп болса, басқа су үлгілерінде сульфат көп мөлшерде екені анықталды. Байзақ ауданынан алынған су үлгісі әлсіз тұзданған болса, Жетісай ауданы мен Баймұрат Батыр ауылының су үлгілері айтарлықтай тұзды екені анықталды (Сурет-7,8). Бұл өз алдына болашақта бұл су ресурстарын жаңа технологияларды пайдалана отырып, тазарту жұмыстарын жүргізу қажеттілігін көрсетеді.

Топырақ үлгілерінің физикалық қасиеттерін анықтау мақсатында механикалық талдау жүргізілді (Кесте-3). Негізінен өсімдіктердің өсуіне ең қолайлы топырақ түрлері саздақ және жеңіл балшық болып келеді. Себебі мұндай топырақ түрлері қажетті мөлшерде ылғалданған болады. Ал құм және ауыр балшық топырақ түрлерінде керісінше ылғал аз, не болмаса шамадан тыс көп болып келеді. Көрсетілген барлық үлгілер ауыр саздақ, орташа саздақ және жеңіл балшық түрлерін көрсетті. Бұл өз кезегінде топырақ үлгілері жақсы ылғалданғанын білдіреді.

Кесте 3.

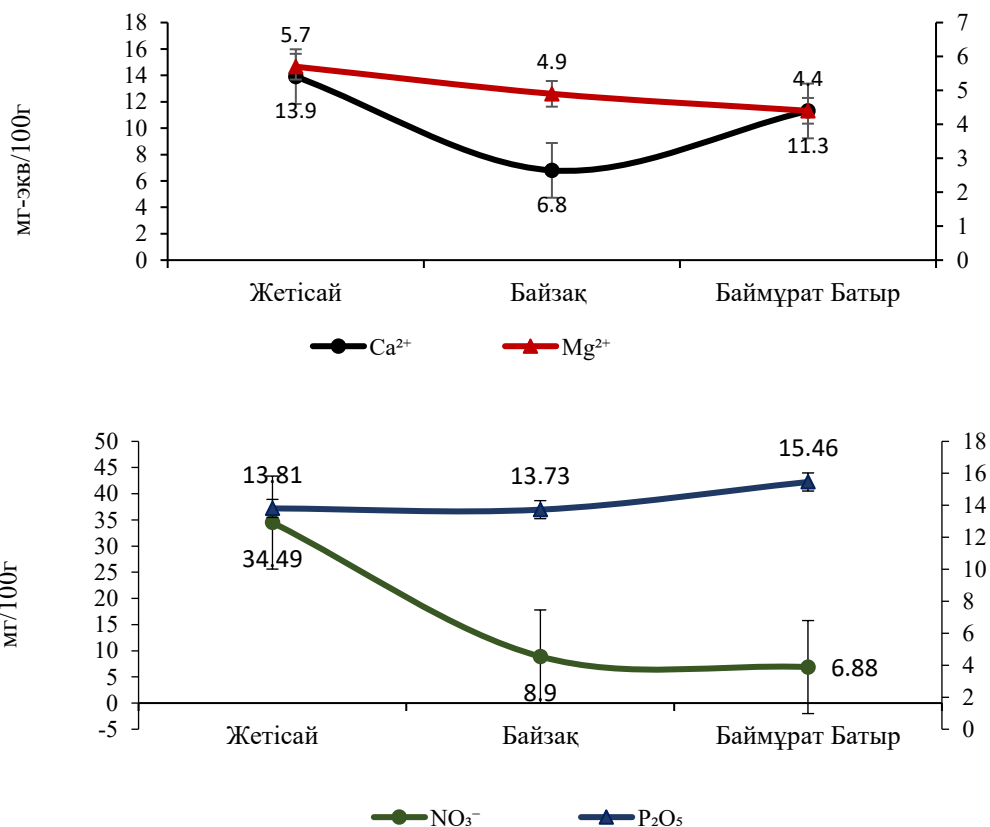
Топырақ үлгілерінің механикалық құрамы

№	Топырақ үлгілері	Горизонт, см	Фракция өлшемдері, мм						Гранулометриялық құрамы бойынша жіктелуі
			1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	0,001	
			құм		шаң		саз		
1		0...20	0,68	55,2	9,2	18,4	26,8	10,28	55,48 ауыр саздақ
2	Жетісай	20...40	0,56	48,8	10,0	19,2	30,8	9,36	59,36 ауыр саздақ
3		40...60	0,64	48,0	12,8	18,4	30,8	10,64	59,84 ауыр саздақ
4		0...20	20,76	18,8	6,0	8,0	14,8	31,64	54,44 ауыр саздақ
5	Байзақ	20...40	31,16	12,8	4,4	6,0	15,2	30,44	51,64 ауыр саздақ

6		40...-60	27,14	6,0	3,6	8,4	15,2	39,66	63,26 жеңіл балшық
7	Баймұрат	0...20	0,74	66,0	12,8	18,4	15,6	13,54	47,54 ауыр саздақ
8	Батыр	20...40	0,40	56,8	18,4	12,0	18,0	5,6	35,6 орташа саздақ
9		40...60	0,14	84,0	8,8	10,0	13,6	16,54	40,14 орташа саздақ

Зертханалық жағдайда жүргізілген тәжірибе жұмыстарының нәтижелерін талдау негізінде оңтүстік өңір топырағы мен су ресурстарының құрамындағы тұздардың деңгейін, топырақтың механикалық құрамын, химиялық құрамын, қарашірік мөлшерін анықтау бойынша алынған зертханалық жұмыстардың сандық мәндерінен табылған есептеулер жүргізілді. Нәтижесінде жұмыста көрсетілген суреттерге түсіндірме жұмыстары жүргізілді (Сурет-9, 10).

Азот өсімдіктің өсуі үшін, нәруыз, нуклеин қышқылдары, хлорофилл және басқа да органикалық заттар түзілу үшін қажет. Топырақта азот жетіспеген кезде өсімдік сарғаяды, өніп-өсуі баяулайды. Топырақтағы фосфордың тұрақтылығының жоғарылығы (ерігіштігінің төмендігі) өсімдік үшін топырақ фосфорының жетіспеушілігінің тікелей себебі болып табылады [14, 15]. Егер фосфордың ерігіштігін арттыруға мүмкін болатын болса, онда топырақтағы фосфордың аздаған мөлшері бірінші дәрежедегі мәнге ие болар еді. Сондықтан топырақтың органикалық заты – жылжымалы фосфор қоры болып табылады.

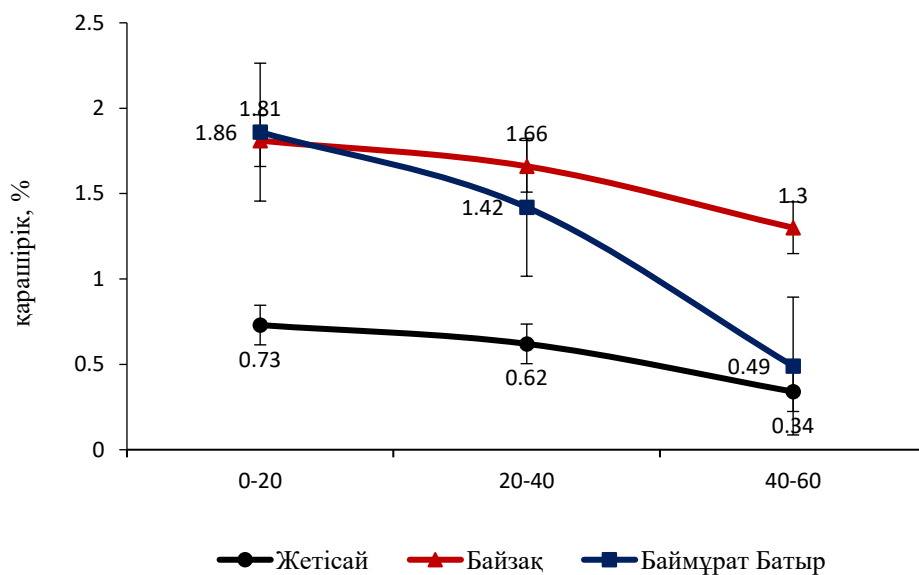


Сурет 9. Топырақ үлгілерінің химиялық құрамы

Топырақтағы сіңірілген негіздердің жиынтығын Каппен әдісімен анықтау автоматтандырылған жалынды фотометр ФПА-2-01 көмегімен жүргізілді. Топырақ үлгілеріндегі сіңірілген негіздік Mg мөлшері барлығында шамамен ұқсас болса, Ca мөлшері Жетісай топырағында жоғары, ал Байзақ топырағында төмен екендігі анықталды. Баймұрат Батыр ауылы мен Байзақ ауданының топырақ үлгілерінің

құрамында жылжымалы нитрат аз, ал Жетісай топырағында өте жоғары мөлшерде екендігі зерттелді. Жылжымалы фосфор КФК-3 фотометрінде анықталды. Жылжымалы фосфордың мөлшері Жетісай мен Байзақ үлгілерінде орташа болса, Баймұрат Батыр топырақ үлгісінде көп екендігі анықталды.

Топырақ құрамындағы гумустың көрсеткіші жоғары болғандығы өсімдіктердің өнімділігі мен сапасына оңтайлы әсер етеді. Сол үшін зерттеу нысаны ретінде таңдалған үлгілердің гумустық құрамдары пайыздық (%) көрсеткішпен анықталды. Қарашірік өсімдіктекті және жануартекті қалдықтардың биохимиялық ыдырауы нәтижесінде түзілетін, топырақтың жоғары қабатында жиналатын топырақтың қарақоңыр түсті органикалық заттегі болғандықтан, топырақтың құнарлылығы қарашірікке тікелей байланысты болып келеді [16, 17]. Гумус заттарының жаңадан түзілу үрдісінде азоттың маңызы зор. Топырақта азоттың жиналуы топырақ түзілуге тән белгі болып табылады, ал жалпы азот қоры потенциалдық құнарлылықты айқындайды [18].



Сурет 10. Топырақ үлгілерінің қарашірік мөлшері

Осы тұста Оңтүстік өңірі топырақ үлгілерінің әртүрлі горизонттағы қарашірік мөлшері анықталды. Ең көп гумусы бар топырақ үлгісіне Байзақ ауданы жатса, ал ең азына Жетісай ауданының топырақ үлгісі ие екендігі анықталды. Баймұрат Батыр ауылының топырағы шамамен орташа мәнге ие болды. Дегенмен бұл көрсеткіш құнарлы қара топырақ үшін аз екендігі белгілі. Сонымен қатар суреттен байқалғандай, топырақ қабатының төмендегені сайын қарашірік мөлшерінің азайғаны байқалады. Бұл топырақ жамылғысының жоғарғы бөлігі көптеген пайдалы органикалық минералдарға бай екендігіне байланысты.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, Оңтүстік Қазақстан өңірінде суармалы жерлердің топырақ-мелиоративтік жағдайы күрделенген. Суару жүйелерінің ескіруі, дренаждың тиімсіздігі жер асты суларының деңгейін көтеріп, екінші реттік тұздану процестерін күшейтуде. Химиялық құрамдағы натрий мен сульфат мөлшерінің жоғары болуы топырақтың құрылымына кері әсерін тигізеді. Сондықтан кешенді мелиорациялық шаралар мен агротехникалық әдістерді қолдану қажет [19]. Сонымен қатар Оңтүстік өңірдің біраз аудандарындағы су үлгілерінің құрамындағы тұз мөлшері көп мөлшерде болуы, бұл өңірлердің де болашақта көптеген зерттеулер мен жаңа технологияларға зәру екендігін көрсетеді.

Судың сапасы топырақтың физикалық және химиялық қасиеттеріне тікелей әсер етеді. Суда еріген тұздар мен иондар (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) тұздану дәрежесін, реакциялық ортаны (pH) және топырақтың құрылымдық тұрақтылығын

өзгертеді. Әсіресе минералданған су немесе натрий иондары басым су топырақтың тұздануына, оның өткізгіштігі мен құнарлылығының төмендеуіне әкелуі мүмкін. Су сынамаларындағы сәл сілтілі рН мәндері ұзақ суару кезінде топырақ реакциясының сілтілік жағына да өзгеру ықтималдығын көрсетеді. Бұл өз кезегінде өсімдіктердің қоректік заттардың сіңуіне әсер етеді.

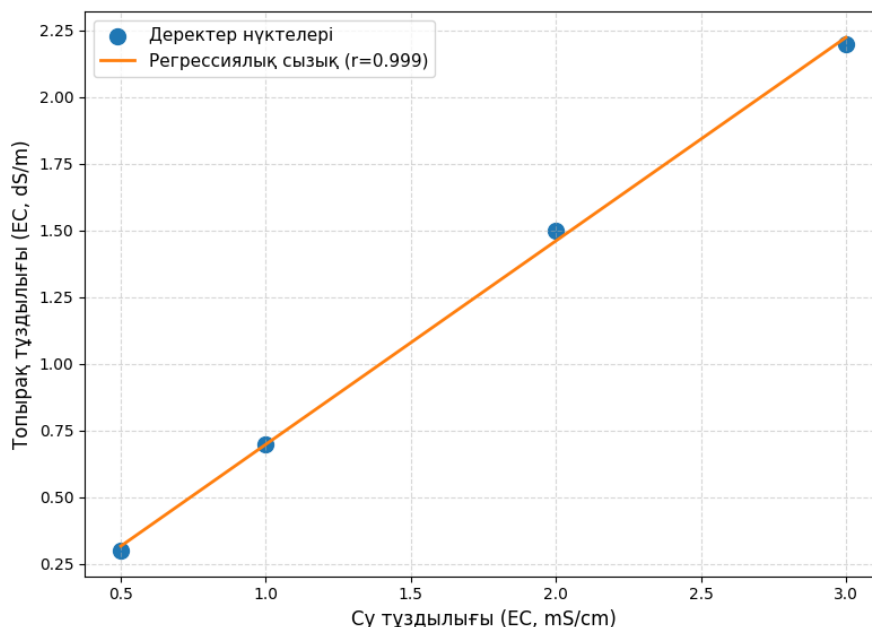
Судың минералдық құрамы (электролиттердің концентрациясы) топыраққа түскен кезде оның электр өткізгіштігі (ЕС) мен иондық балансын өзгертеді. ЕС көрсеткіші >4 dS/m болса — егін үшін өте жоғары тұздылық деп есептеледі. Көптеген өсімдіктердің өсуіне қолайсыз болып келеді (Кесте 4).

Кесте 4.

Су мен топырақ тұздануының байланысы

Көрсеткіш	Таза су	Тұзды су	Тұзданған топырақ
ЕС (dS/m)	0,2...0,5	2,0...8,0	$> 8,0$
Na ⁺ (моль/м ³)	< 10	30...60	> 60
Cl ⁻ (моль/м ³)	< 10	40...80	> 80
SO ₄ ²⁻ (моль/м ³)	< 5	10...30	> 30

Судың тұздылығы мен топырақ тұздылығы арасында оң корреляция бар. Ол дегеніміз судың тұздылығы артқан сайын топырақтағы тұз да көбейеді. Тұздылығы жоғары сумен суару кезінде топырақтың жоғарғы қабаттарында тұздар жиналады, бұл топырақтың электр өткізгіштігінің жоғарылауына әкеледі. Атап өтетін жайт судың тұздылығы неғұрлым жоғары болса, топырақта соғұрлым көп тұз қалады. Тұздың жиналуы сазды топырақтарда байқалады (Сурет-11).



Сурет 11. Су тұздылығы мен топырақ тұздылығы арасындағы корреляция

Топырақ құрамындағы тұздың жоғары мөлшері өсімдік тамырының суды сіңіруін нашарлатады, өсуін баяулатады және өнімділікті төмендетеді. Тұздануды төмендететін факторлар: жақсы дренаж, тұзды судан кейін таза сумен суару, климаттық жағдайлар (жауын-шашын тұздың жиналуын азайтады). Осылайша, суару кезінде судың тұздылығын бақылау топырақтың оңтайлы күйін және өсімдіктердің өнімділігін сақтау үшін өте маңызды [20].

Топырақ пен судың сапасы тұрақты ауыл шаруашылығының негізі болып табылады және ауылшаруашылық өндірісінің болашағы олардың тұзы мен коректік заттарын қаншалықты жақсы басқара алатынымызға байланысты. Топырақтың құнарлы және суару үшін қауіпсіз болуын қамтамасыз ету үшін тұздардың табиғи жүйелерге қалай енетінін және бұл процесті қалай басқаруға болатынын түсіну маңызды. Су мөлдір және таза болып көрінуі мүмкін, бірақ оның минералдануы да жоғары. Егер мұндай су өсімдіктерге жылдар бойы суарылса, тұздар сөзсіз топырақтың жоғарғы қабаттарында жиналады. Мұндай булану әсіресе топырақ жамылғысы қатты құрғақ аймақтарда жылдам жүреді [21...22]. Сондықтан болашақ тәсілдер артық тұздардың түсуін азайтуға және сонымен бірге топырақтың оған түсетін тұздармен күресу қабілетін арттыруға бағытталуы керек.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Қорытындылай келе, зертханалық жағдайда мүмкін болатын бірнеше талдау жұмыстары жүргізілді:

1. Зерттеу нысаны ретінде алынған су ресурстары мен топырақ үлгілерінің көрсеткен нәтижелеріне келер болсақ, Байзақ ауданынан алынған су үлгісі әлсіз тұзданған болса, Жетісай ауданы мен Баймұрат Батыр ауылының су үлгілері айтарлықтай тұзды екені анықталды. Бұл өз алдына болашақта бұл су ресурстарын жаңа технологияларды пайдалана отырып, тазарту жұмыстарын жүргізу қажеттілігін көрсетеді.

2. Топырақтың құнарлылығы, оның негізгі және ерекше қасиеті болып саналады. Осы тұста Оңтүстік өңірі топырақ үлгілерінің әртүрлі горизонттағы қарашірік мөлшері анықталды. Байзақ ауданы мен Баймұрат Батыр ауылының топырақтарындағы қарашірік мөлшері Жетісай ауданына қарағанда әлдеқайда көп екендігі байқалды. Бұл өз кезегінде вегетация маусымында топырақты қоректендіруді талап етеді. Топырақ қаншалықты қарашірікке бай болса, соншалықты сапалы өнім алуға мүмкіндік туады.

3. Топырақ үлгілерінің механикалық құрамы мен түрі анықталды. Аудандардың әртүрлі нәтиже көрсетуі әр облыстың өзіне тән климаты мен табиғатына, орналасқан белдеуіне байланысты.

Осылайша, жүргізілген зерттеулер нәтижесінде Түркістан, Жамбыл және Қызылорда облыстарының су ресурстары мен суармалы егістік жерлерінің мелиоративтік жағдайының бірдей емес екендігі байқалады. Сол себептен болашақ зерттеулерде ауыл шаруашылығынан жоғары өнім алу мақсатында әрбір топырақ және су үлгісінің өзіне сай зерттеу жұмыстарын жүргізу талап етіледі. Бұл өз кезегінде ауыл шаруашылығының дамуына, топырақ жамылғысы мен су ресурстарының сапасының жақсаруына өз көмегін тигізеді.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректерді авторлар «ҚазСНФЗИ» есептерінен алды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау – РАД; деректерді басқару -АНШ; Ресми талдау – РАД, ССА, АНШ; Әдістеме – ССА, АНШ, ГСА; Визуализация - АНШ; Бастапқы жобаны жазу – ССА, АНШ, ГСА; Шолу жазу және редакциялау – РАД, ССА, ГСА.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Ғылыми зерттеу 2024...2026 жылдарға арналған 254 БМҚ бюджеттік бағдарламасын іске асыру шеңберінде қолданбалы ғылыми зерттеулерді орындау барысында, «Қазақстан Республикасының су қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін су ресурстарын сақтау, молайту және тиімді бөлу бойынша ғылыми-техникалық қамтамасыз ету» (ИРН BR23791322) жобасы бойынша орындалды. Қаржыландыру көзі - Қазақстан Республикасының Су ресурстары және ирригация министрлігі.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Балгабаев Н.Н., Гранкин Ю.Я., Мухамеджанов В.Н., Жданов Г.Н., Магай С.Д., Кромер Р.К. Научные исследования в мелиорации и водном хозяйстве: Сборник научных трудов. Том 49. Вып. 1. – Тараз: КазНИИВХ, 2012. – 77 с.

2. Асанов А., Шералы А.Н., Мамешова С.А., Калмаханова М.С., Әлімбек І.Т. Оңтүстік өңірі топырақ үлгілерінің кейбір физикалық, коллоидтық-химиялық қасиеттерін зерттеу. Квебек конференциясының жинағы (Канада) II Том қазан, 2024. 195–201 б.
3. Мазиров М.А. Современные проблемы почвоведения, агрохимии и агроэкологии в XXI веке: материалы Международной научно-практической конференции, 12 апреля 2024 г. – Владимир: Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2024. – С. 180–182.
4. Amanbayeva K., Józef Mosiej, Zhaparkulova E. D., Zhanumkhan K., Measures for increasing productivity of water and agricultural land resources in south Kazakhstan – Maktaaral district case study, *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus* 21 (1) 2022, P. 49–55.
5. Agricultural Water Efficiency and Salinity Research Unit. Salt Model [Electronic resource]. Riverside, CA, 2022. URL: <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8966> (Access date: 12-September-2023).
6. Основы почвоведения: учебное пособие / Б.Ф. Пшеничников, Н.Ф. Пшеничникова, В.Г. Трегубова, А.В. Брикманс; – Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2021. – 69 с.
7. Қозыбаева Ф.Е., Бейсеева Г.Б., Өнербаева З.О. / Топырақтану: оқу құралы (2-ші бас.). Алматы: «LP-Zhasulan» ЖК. 2021. – 99–104 б.
8. Webster, R. (2001). Statistics to support soil research and their presentation. *European journal of soil science*, 52(2), P. 331–340.
9. Semina S.A. Kshnikatkin S.A., Zheryakov E.V., Gavryushina I.V., Sharunov O.A. Fertilizers, growth regulators and biochemical composition of plant // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. Т. 8. № 6. С. 775 – 777.
10. Панкова. Е. И, Конюшкова М. В. История изучения и основные направления развития методов оценки и картографирования засоленности почв аридных и семиаридных территории // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева -2016.- Вып. 82. - С. 122-138.*
11. Munns R., James R. A., Lauchli, A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. // *Exp. J. Bot.* 2006. - №57. – P. 1025–1043.
12. Пошанов М.Н., Жүгерінің өнімділігіне биопрепараттарды қолдану мен топырақтардың тұздану деңгейлерінің әсері (Шәуілдір суармалы алқабы мысалында), Алматы, 2024. – 12-16 б.
13. Барабанов А.Т., Шайфуллин М.Р., Кулик А.В., Гордиенко О.А. Влияние низкорослого кустарника в стокорегулирующих лесополосах на факторы формирования стока талых вод // *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение.* – 2024. – Т. 79. – № 3. – С. 72–79.
14. Hu Y., Schmidhalter U. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2005. - № 168. – P. 541–549.
15. Сингх М., Саркар Б., Бисвас Б., Болан Н.С., Черчман Г.Дж. Связь между минералогией почвенной глины и способностью защищать углерод под влиянием температуры и влажности // *Soil Biology and Biochemistry.* – Амстердам : Elsevier BV, 2017. – Т. 109. – С. 95–106.
16. Otarov A., Duisekov S., Poshanov M., Smanov G. The results of the works on development of the method for biological reclamation of saline soils by planting *Glycyrrhiza glabra* L. // *Abstracts of the 3rd International Workshop – 2017. “Eco- Environment Safety along the Silk-Road”.* Issyk-Kul region, Kyrgyzstan. Boz-Beshik-2017.- P. 30-33.
17. Dottori F., Szewczyk W., Ciscar J.-C., Zhao F., Alfieri L., Hirabayashi Y. (2018). Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming. *Nature Climate Change*. Vol. 8, No 9. P. 781–786.
18. Helsel D. R., Hirsch R. M. (2020). *Statistical Methods in Water Resources* (U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 4, chap. A3). Reston, VA: U.S. Geological Survey., P. 120-123.
19. Джайсамбекова Р.А., Ултанбаева А.Б., Акболатова С.С., Шералы А.Н., Емисбек Д.Г. Мелиоративное состояние орошаемых земель Жамбылской области // *В мире науки и образования: международный научно-практический журнал.* – Алматы, 2025. – № 15 июня. – С. 9–14.
20. Zhaparkulova, E.D., Amanbayeva, B.Sh., Dzhaisambekova, R.A., Mirdadayev, M.S., Mosiej, J. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2021, 4(448)., P. 130–137. GEOLOGICAL STRUCTURE OF SOILS AND METHODS OF WATER RESOURCES MANAGEMENT OF THE ASA RIVER.
21. Джайсамбекова Р.А., Аманбаева Б.Ш., Шайдуллина Е.Г., Салимбаев Р.Р., Басманов А.В., Балгабаев Н.Н., Кабыл Т.М., Assessment of the impact of surface and collector drainage water quality on the ecosystem, ISSN 2305-9397, *Научно-практический журнал Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана «Наука и образование»*, 2025, № 2-3 (79), С. 152-161.
22. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), P. 185–212.

REFERENCES

1. Balgabaev N.N., Grankin Yu.Ya., Mukhamedzhanov V.N., Zhdanov G.N., Magai S.D., & Kromer, R. K. (2012). Scientific Research in Land Reclamation and Water Management. Vol. 49, Issue 1. Taraz. P. 77. (In Russian).
2. Asanov A., Sheraly A.N., Mameshova S.A., Kalmakhanova M.S., & Alimbek I.T (2024). Study of Some Physical and Colloid-Chemical Properties of Soil Samples of the Southern Region. *Proceedings of the Quebec Conference (Canada)*, Vol. II, P. 195–201. (In Kazakh).
3. Mazirov M.A. (2024) Modern Problems of Soil Science, Agrochemistry and Agroecology in the XXI Century: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Vladimir: Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs., P. 180–182.

4. Amanbayeva K., Mosiej J., Zhaparkulova E.D., & Zhanumkhan K. (2022). Measures for Increasing Productivity of Water and Agricultural Land Resources in South Kazakhstan – Maktaaral District Case Study. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus.* Vol. 21(1). P. 49–55. (In English).
5. Agricultural Water Efficiency and Salinity Research Unit. Salt Model (19 July 2022). Riverside, CA. Available at: <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8966> (accessed 12 September 2023). (In English).
6. Pshenichnikov B.F., Pshenichnikova N.F., Tregubova V.G., & Brikmans A.V. (2021). *Fundamentals of Soil Science: Textbook.* Vladivostok: Far Eastern Federal University Publishing House,. 69 p. (In Russian).
7. Kozybayeva F.E., Beiseeva G.B., Onerbayeva Z.O. *Soil Science: Textbook (2nd ed.).* Almaty: LP-Zhasulan, 2021. P. 99–104. (In Kazakh).
8. Webster R. (2001). Statistics to Support Soil Research and Their Presentation. *European Journal of Soil Science.* Vol. 52(2). P. 331–340. (In English).
9. Semina S.A., Kshnikatkin S.A., Zheryakov E.V., Gavryushina I.V., & Sharunov O.A. (2018). Fertilizers, Growth Regulators and Biochemical Composition of Plants. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.* Vol. 8(6). P. 775–777. (In English).
10. Pankova E.I., & Konyushkova M.V. (2016). History of Study and Main Directions of Development of Methods for Assessment and Mapping of Soil Salinity in Arid and Semiarid Territories. *Dokuchaev Soil Bulletin.* No. 82. P. 122–138. (In English).
11. Munns R., James R.A., & Läuchli A. (2006.) Approaches to Increasing the Salt Tolerance of Wheat and Other Cereals. *Journal of Experimental Botany.* Vol. 57. P. 1025–1043. (In English).
12. Poshanov M.N. (2024). The Effect of Biopreparations and Soil Salinity Levels on Corn Productivity (Case Study of the Shauldir Irrigated Area). Almaty,. P. 12–16. (In Kazakh).
13. Barabanov A.T., Shaifullin M.R., Kulik A.V., & Gordienko O.A. (2024) Influence of Low-Growing Shrubs in Runoff-Regulating Shelterbelts on Snowmelt Runoff Formation Factors. *Moscow University Soil Science Bulletin.* Vol. 79(3). P. 72–79. (In Russian).
14. Hu Y., & Schmidhalter U. (2005) Drought and Salinity: A Comparison of Their Effects on Mineral Nutrition of Plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 168. P. 541–549. (In English).
15. Singh M., Sarkar B., Biswas B., Bolan N.S., & Churchman G.J. (2017) Relationship Between Soil Clay Mineralogy and Carbon Protection Capacity as Influenced by Temperature and Moisture. *Soil Biology and Biochemistry.* Vol. 109. P. 95–106. (In English).
16. Otarov A., Duisekov S., Poshanov M., & Smanov G. (2017) The Results of the Development of a Method for Biological Reclamation of Saline Soils by Planting *Glycyrrhiza glabra* L. Abstracts of the 3rd International Workshop “Eco-Environmental Safety along the Silk Road”. Issyk-Kul region, Kyrgyzstan, 2017. P. 30–33. (In English).
17. Dottori F., Szezyzyk W., Ciscar J.-C., Zhao F., Alfieri L., & Hirabayashi Y. (2018) Increased Human and Economic Losses from River Flooding with Anthropogenic Warming. *Nature Climate Change.* Vol. 8(9). P. 781–786. (In English).
18. Helsel D.R., & Hirsch R.M. (2020). *Statistical Methods in Water Resources.* U.S. Geological Survey Techniques and Methods, Book 4, Chapter A3. Reston, VA: USGS, P. 120–123. (In English).
19. Dzhaisambekova R.A., Ultanbayeva A.B., Akbolatova S.S., Sheraly A.N., & Emisbek D.G. (2025) Reclamation Status of Irrigated Lands of Zhambyl Region. In *the World of Science and Education: International Scientific and Practical Journal.* P. 9–14. (In English).
20. Zhaparkulova E.D., Amanbayeva B.Sh., Dzhaisambekova R.A., Mirdadayev M.S., & Mosiej J. (2021) .Geological Structure of Soils and Methods of Water Resources Management of the Asa River. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences.* Vol. 4(448). P. 130–137. (In English).
21. Dzhaisambekova R.A., Amanbayeva B.Sh., Shaidullina E.G., Salimbayev R.R., Basmanov A.V., Balgabaev N.N., & Kabyl T.M. (2025) Assessment of the Impact of Surface and Collector Drainage Water Quality on the Ecosystem. *Science and Education.* No. 2–3(79). P. 152–161. (In English).
22. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., & Basra S.M.A. (2009) .Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. *Agronomy for Sustainable Development.* Vol. 29(1). P. 185–212. (In English).

ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ И ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА

Раушан А. Джайсамбекова к.т.н. , Сымбат С. Акболатова , Айжан Н. Шералы , Гулзина С. Алимбаева

ТОО «Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства», Тараз, Казахстан; dzhaisambekova.1967@mail.ru (РАД), akbolatova18@mail.ru (ССА), aizzhansheraly02@gmail.com (АНШ), gulzinaalimbaeva8@gmail.com (ГСА)

*Автор корреспонденции: Айжан Н. Шералы, aizzhansheraly02@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Орошаемые земли, почвенно-мелиоративное состояние, водные ресурсы, химический состав, уровень засоления

По статье:

Получено: 19.12.2025

Пересмотрено: 23.12.2025

Принято: 18.05.2026

Опубликовано: 01.07.2026

АБСТРАКТ

В статье исследовано почвенно-мелиоративное состояние орошаемых земель и химический состав водных ресурсов Южно-Казахстанского региона. В ходе исследования использовались титриметрические, фотометрические, физические методы. Эти методы относятся к методам, которые на сегодняшний день выделены из химической науки, дают надежные и качественные результаты. В связи с этим были определены размеры основных химических элементов образцов почв, механический состав, объем гумуса. Оценивалось состояние уровней засоления в составе почвенных и водных ресурсов различных регионов. Результаты позволят разработать рекомендации, направленные на повышение продуктивности орошаемого земледелия, рациональное использование земельных ресурсов и предотвращение деградации природной среды. Результаты исследования показывают, что почвенные и водные ресурсы каждого региона отличаются характерными свойствами. Поэтому в будущих исследованиях необходимо проводить исследования, соответствующие каждому почвенному и водному образцу, с целью получения высоких урожаев в сельском хозяйстве.

SOIL RECLAMATION STATUS AND ASSESSMENT OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF WATER RESOURCES IN THE SOUTH KAZAKHSTAN REGION

Raushan Dzhaisambekova, candidate of technical sciences, Aizhan Sheraly, Symbat Akbolatova, Gulzina Alimbaeva

LLP "Kazakh Scientific Research Institute of Water Economy", Taraz, Kazakhstan; dzhaisambekova.1967@mail.ru (RD), akbolatova18@mail.ru (CA), aizzhansheraly02@gmail.com (AS), gulzinaalimbaeva8@gmail.com (GA)

*Author correspondent: Sheraly Aizhan, aizzhansheraly02@gmail.com

KEY WORDS

Irrigated lands, soil-reclamation condition, water resources, chemical composition, salinity level

About article:

Received: 19.12.2025

Revised: 23.12.2025

Accepted: 18.05.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT




The article examines the soil-reclamation condition of irrigated lands and the chemical composition of water resources in the South Kazakhstan region. The study used titrimetric, photometric, and physical methods. These methods are among the methods that have been isolated from chemical science to date and provide reliable and high-quality results. In this regard, the sizes of the main chemical elements of the soil samples, the mechanical composition, and the volume of humus were determined. The state of salinity levels in the composition of soil and water resources of various regions was assessed. The results will make it possible to develop recommendations aimed at increasing the productivity of irrigated agriculture, rational use of land resources and prevention of environmental degradation. The results of the study show that the soil and water resources of each region differ in their characteristic properties. Therefore, in future studies, it is necessary to conduct studies corresponding to each soil and water sample in order to obtain high yields in agriculture.

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



Ғылыми мақала

АҚМОЛА ОБЛЫСЫ АУМАҒЫНДАҒЫ РЕКУЛЬТИВАЦИЯЛАНҒАН УРАН КЕН ОРЫНДАРЫНА ЖАҚЫН ОРНАЛАСҚАН БЕТКЕЙ СУ НЫСАНДАРЫН РЕКОГНОСЦИРОВКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ

Айқын А. Нұрахмет^{1*}, Аманбек Зандыбай¹ б.ғ.к., қауымдастырылған профессор,
Гульнур С. Нурахметова²

¹ Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан; aikyn1117@gmail.com (ААН); amanbek_z@mail.ru, (АЗ)

² «Қазгидромет» РМК, Астана, Қазақстан; nurakhmetova_g@meteo.kz (ГСН)

* Автор корреспондент: aikyn1117@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

рекультивация,
уран өндіру,
ионданушы сәулелену
көздері,
радиоэкологиялық әсер,
беткей су нысандары

АБСТРАКТ

Мақалада Ақмола облысы аумағындағы рекультивацияланған және консервацияланған уран кен орындарына жақын орналасқан табиғи беткей және техногендік су нысандарын алдын ала барлап, зерттеу деректері келтірілген. Гамма сәулелену қуатының мәні халықтың осы аумақтарда болуына радиациялық қауіп төндірмейді, ерекшеліктер тек шахта оқпандары жанында және карьерлерге түсу кезінде байқалады және бұл жерлерде гамма сәулелену 1,0 мкЗв/сағатқа жетеді. Табиғи беткей сулардағы альфа белсенділік ауыз суға арналған скринингтік деңгейден 3,3 еседен (Кутунгуз өзені) 12,5 есеге (Көксор көлі) өзгерсе, техногендік карьерлерде 22,5 еседен (Балкашин карьері) 49 есеге (№ 9 шахта, № 5 карьері) дейін өзгереді. Рекультивацияланған уран кен орындарының жанындағы табиғи суларды рекогносцировкалық (алдын ала) зерттеу нәтижелері бойынша, жан-жақты тексеру үшін (изотоптық құрамын анықтау, түзілу формаларын талдауды т.б.) Кутунгуз өзені және оның төменгі ағысындағы Жабай, Жыланды өзендері, Балкашин карьері, Көксор, Тастыкөл көлдері және № 9 шахтаның (Тастыкөл кен орны) № 5 карьері таңдалып алынды.

Мақала жайында:

Жіберілді: 08.01.2026
Қайта қаралды: 09.02.2026
Қабылданды: 17.04.2026
Жарияланды: 01.07.2026

1. КІРІСПЕ

Кен орындарын игеру - қоршаған ортаның тепе-теңдік жағдайын бұзады. Уранды өндіру және өңдеу бұл көп жағдайда жер үсті сулары мен жер асты суларының ластануына алып келеді. Ластаушы заттар беткей су объектілері мен жер асты суларына жеткенде, оларды пайдалануға кедергі келтіріп, су флорасы мен фаунасын өзгерте отырып, су сапасын нашарлатып оларды пайдалануды шектейді. Уран кенін өндіру әдетте қоршаған ортада радионуклидтердің концентрациясының артуына әкеледі, бұл радиациялық сәулеленуінің халыққа әсерінің жоғарылауына себеп болуы мүмкін [1]. Атом электр станцияларының радиоактивті қалдықтарымен салыстырғанда, уран өндіруден қалған қалдықтар айтарлықтай төмен радиоактивтілік деңгейімен сипатталады, алайда табиғи радиоактивті қалдықтардың үлкен көлемі жағдайында жергілікті халықтың радиациялық сәулелену қаупінің артуы мүмкін [2].

Уран кеніштері аймағындағы тау жыныстарының, топырақтың, судың және ауаның барлық түрлерінде кездесетін радионуклидтер негізінен ²³⁸U, ²³²Th және ⁴⁰K табиғи

Дәйексөз үшін:

Нұрахмет А., Зандыбай А.,
Нұрахметова Г., Ақмола
облысы аумағындағы
рекультивацияланған уран
кен орындарына жақын
орналасқан беткей су
нысандарын
рекогносцировкалық
зерттеу//

Гидрометеорология және
экология, 122 (2), 2026, 170-
186.

радиоактивті ыдырау қатарларынан тұрады [3, 4]. Уран бірнеше минералдардың маңызды құрамдас бөлігі болып табылады, олардың ішіндегі ең танымалдары – уранинит,

браннерит және карнотит. Торий әртүрлі минералдарда, соның ішінде торит пен торианитте болуы мүмкін [5]. Калий құрамында калий бар барлық минералдарда аз мөлшерде болатын табиғи түрде кездесетін радиоактивті изотопы.

Қазақстан Республикасы – радиоэкологиялық жағдайы шиеленіскен елдердің қатарына жатады. Қазақстан аумағының шамамен 13 %-ы (350 мың км²) радиациялық әсері бар аймақтарында орналасқан, бұл өңірлерде 1 миллионнан астам адам тұрады. Біріншіден, Қазақстан уранның әлемдегі ең ірі шикізаттық қорларының біріне ие және 1956 жылдан бастап 1990 жылдардың басына дейін уран шикізаты өндірілді, екіншіден, 40 жыл бойы (1949...1989 жж.) КСРО-ның негізгі ядролық сынақ полигоны болып келді, сол себепті бұл, қоршаған ортаға елеулі теріс әсерін тигізді [6].

Халықтың және қоршаған ортаның қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында елімізде, басқа Орталық Азия елдерімен салыстырғанда «уран мұраларын» консервациялау және рекультивациялау бағдарламасы ертерек қолға алынып 2001...2010 жылдары «Уран кеніштерін консервациялау және кен орындарын игергеннен кейін аумақтарды рекультивациялау» бағдарламасы іске асырылды және жұмыстарды жүзеге асыру үшін республикалық бюджеттен 4,2 млрд.теңге сомасында қаражат бөлінді [7]. Алайда, 2010 жылы кәсіпорын тоқтатылғаннан кейін радиациялық жағдайды бақылау және объектілерді техникалық бақылау тоқтатылды. Бүгінгі таңда Ақмола облысы аумағындағы уран шахталарының көпшілігі ашық күйінде қалып, ескерту белгілерімен қоршалмаған. Аталған жайттар қоршаған ортаның ластану қаупін, оның ішінде жер асты және беткей сулардың ластану қаупін тудырады.

Бұл уран кеніштерінің аумағында жергілікті тұрғындар рекультивация кезінде пайдаланылған материалдарды бөлшектеп, құрылыс материалдарына пайдаланады, ауыл шаруашылығы малдарын жаяды, малдар беткей су нысандарын пайдаланады. Сонымен қатар, қазіргі уақыттағы мемлекеттік деңгейдегі басқару мен бақылаудың жоқтығы беткей суларымен жер асты суларын ластану қаупі жоғары.

Солтүстік Қазақстанда эндогендік (гидротермиялық) кен орындарының уран қорлары 90-жылдардың ортасына дейін 12 уран кен орнында өндірілді. Уран өндіру тоқтағаннан кейін жиынтық белсенділігі шамамен 251 мың Кюри құрайтын 222 млн тоннаны құрайтын радиоактивті қалдық қалыптасты.

Аймақта радиоактивті қалдықтарының мөлшері көп болуына байланысты олардың қоршаған ортаға теріс әсері ол екі негізгі формада көрінеді:

Жүйелі және ұзақ қоршаған ортаның әртүрлі компоненттерін, әсіресе гидрографиялық желілердің радионуклидтерімен және басқа да улы заттармен ластану қаупі;

Радиоактивті қалдықтарды жинақтау аумақтарында табиғи процестер мен құбылыстар (жер сілкінісі көшкіндер мен көшкіндер, селдер мен су тасқыны) туындауы жағдайында апатты, экологиялық қауіпті туындыруы мүмкін [8].

Беткей суларына әсер ететін рекультивацияланған және консервацияланған уран кен орындарының қалдық қоймалары, шахта суларының төгу орындары, бос жыныстар үйіндісі, биоплата, үйінділерді шаймалау штабелі және т.б. Рекультивациялау барысында төмен радиоактивті қалдықтар олардың қалыптасу орындарында қалдырылып, беттері

30...50 см болатын топырақ жамылғысымен жабылды және топырақ үстінен көпжылдық шөптесін өсімдіктер отырғызылды. Рекультивация жұмыстарының өткізілгеніне 15...20 жыл өткенін ескерсек, кей қалдық сақтау орындарында жарықшақтардың пайда болғаны байқалады. Жауын шашын, қар суының еруі кездерінде шайылған қалдықтар кен орындарына жақын орналасқан беткей су нысандарына әсер ету қаупі жоғары. Сонымен қатар, рекультивацияланған және консервацияланған уран кен орындарының қалдық қоймалары, шахта суларының төгу орындары, бос жыныстар үйіндісі, радиусы кемі 5 шақырымдық аумақ беткей су нысандарын анықтап, кеніштердің радиоэкологиялық әсер ету деңгейін анықтау зерттеудің маңызды саласы болып саналды.

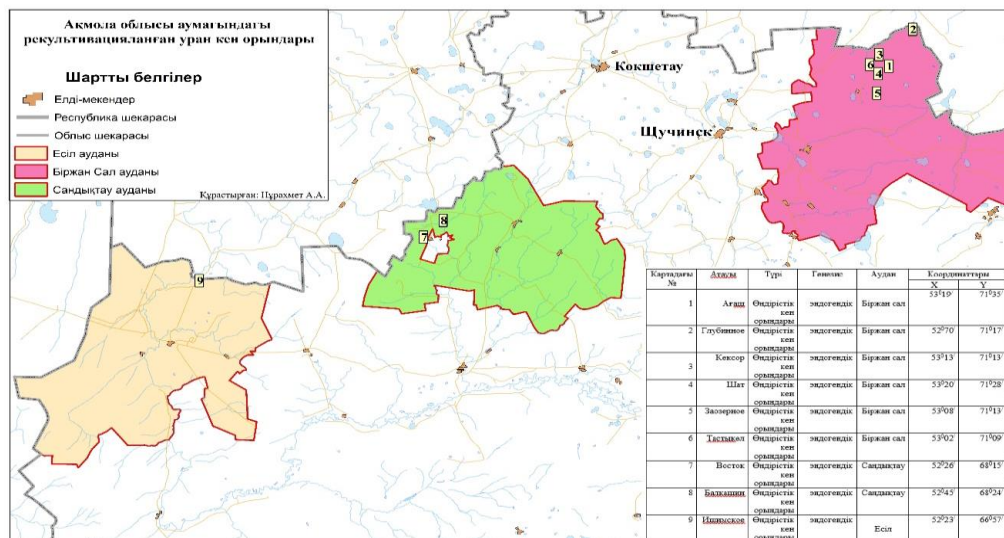
Бұл зерттеудің негізгі мақсаты Ақмола облысы аумағындағы рекультивацияланған және консервацияланған уран кен орындарының беткей су нысандарына ықтимал радиоэкологиялық әсерін бағалау нәтижелері бойынша егжей-тегжейлі, нақты зерттеуді қажет ететін беткей су нысандарын анықтау және таңдау болып табылады.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу ауданы

Барлап тексеру жүргізу үшін Ақмола облысы аумағындағы рекультивацияланған және консервацияланған уран кен орындарына (№ 8 кеніш Заозорное, № 9 кеніш Тастыкөл, № 1 Ишимское кен орны, Балкашин кен торабындағы Балкашин, Звездное, Восток, Шат кен торабының № 14 кеніштері: Глубинное, Шатское, Көксор, Ағаш) іргелес, жақын орналасқан беткей су нысандары таңдалды. Кен орындарының орналасу схемасы 1-суретте көрсетілген.

Зерттеу аймағы Солтүстік Қазақстан уран провинциясы аумағында, Ақмола облысында орналасқан. Ақмола облысы батысында Қостанай, солтүстігінде Солтүстік Қазақстан, шығысында Павлодар және оңтүстігінде Қарағанды облыстарымен шектеседі. Жер аумағы – 146,2 мың км². Климаты континенттік, қысы ұзақ, суық, жазы қоңыржай. Қаңтардың орташа температурасы –16...18°С, шілдеде 19...21°С. Солтүстігінде жауын-шашынның жылдық орташа мөлшері 400 мм, оңтүстігінде 250 мм. Ірі өзендері Есіл, оның салалары – Қалқұтан, Жабай, Терісаққан, Нұра, Сілеті, Өлеңті, Құланөтпес. Облыста көлдер көп, оның 94-і тұщы көлдер [9]. Зерттеу аумақтары Ақмола облысының Біржан сал, Сандықтау, Есіл аудандары аумағында орналасқан.



Сурет 1. Ақмола облысы аумағындағы рекультивацияланған уран кен орындары

Ақмола облысы аумағында келесі кеніштерде уран өндірісі жүргізілді:

1. 4 кен басқармасы, № 1 кеніш: Ишимское кен орны (Есіл ауданы);
2. 3 кен басқармасы, № 8 кеніш: Заозерное кен орны (Біржан-сал ауданы);
3. 3 кен басқармасы, № 9 кеніш: Тастыкөл кен орны (Біржан-сал ауданы);
4. 3,1 кен басқармасы, № 14 кеніш: Глубинное, Шатское, Көксор, Ағаш (Біржан-сал ауданы); Балкашин, Восток кен орындары (Сандықтау ауданы).

Ишимское кен орны – Солтүстік Қазақстан уран кенді провинциясының батыс ауданындағы Есіл өзенінің оң жағалауындағы аттас кен торабында орналасқан. Кен торабына Ишимское, Камышовое, Шокпак және басқа кен көріністері кіреді [10]. Ордовик шөгінділері (кұмтастар, аргиллиттер, алевролиттер) аумағында орналасқан, Есіл синклиналін құрайтын және солтүстікте D2-3 қызыл түсті молассоидтармен жабылған Қайрақ мұльдасында орналасқан. Кен орынның оңтүстік батысынан 1,5 шақырым қашықтықта Калачи ауылы және Красногорский кенті орналасқан және 1 шақырым қашықтықта Есіл өзені ағып өтеді. № 4 кен басқармасының № 1 кеніші 1968 жылы құрылып, 1983 жылға дейін жұмыс істеді. Кен орнын толық игергеннен кейін «№ 1, № 2 кеніштердің өндірістік алаңдарын рекультивациялау» жобасына сай рекультивациялануы тиіс болатын, бірақ белгілі бір жағдайларға байланысты тек жер асты кендерді жою, құрал жабдықтарды демонтаждау тәрізді жұмыстармен шектелді. «Уранликвидрудник» РМК рекультивациялау жұмыстарын 2001 жылы бастап 2003 аяқтады [11].

Балкашин кен орны – Балкашин, Восток, Звездное, Тушинское, Дергачев кен орындары кіретін өзімен аттас кен торабын түзеді. Арасындағы Восток кен орны үлкен, қалғандары ұсақ кен орындарына жатады. Рудатүзілу процесі екі негізгі сатыға бөлінеді. Бірінші сатыда пирит, галенит, арсенопирит, молибденит және настуранмен ассоциацияланған анкерит пен хлориттің (рипидолиттің) желілері қалыптасады. Ал екінші сатыда бірінші генерациядағы рудаларды кесіп өтетін настуран-гидрослюдалы-гематитті желілер түзіледі. Рудалар таза уранды, кедей (уранның мөлшері 0,1 %) кен орны шағын, толық игерілген. Рекультивация жұмыстары 2005 жылы басталып 2007 аяқталды. Рекультивация барысында шахта оқпандары консервацияланды, барлық желдеткіш ұңғымалар жойылды, тау жыныстары үйіндісі жабылды.

Заозерное кен орны – кен орнының кендері уран-фосфор, карбонатты жыныстарда жатыр және апатитпен байытылған. Уран бір бөлігі апатитпен (франколит), ал бір бөлігі уран минералдарымен байланысты. Уран негізінен настуранмен ұсынылған. Уран сиясы фосфориттердің, настуранның жарықтары мен микрожарықтары бойынша таралады. Кен өндіру жұмыстары 1956 жылдан бастап 1996 жылға дейін жүргізілді. Заозерное кен орнындағы № 8 кенішінде 2,24 млн.м³ жер қойнауы өңделді, жер бетінде 536 мың.м³ баланстан тыс кендер және 79,705 мың.м³ баланстық кендер сақталады, 2,75 мың.м³ тауарлық кендер жер үсті қабаттарында көмілді. Заозерное және Тастыкөл кен орындарында (№ 8 және № 9 шахталар) рекультивация жұмыстары 2004 жылы жүргізілді. Рекультивация барысында тау-кен жабдықтары мен кеніштер мен камералардың материалдары бөлшектелді, жерасты тау-кен жабдықтары бөлшектеліп, жер бетіне көтерілді, шахта оқпандары консервацияланды.

Тастыкөл кен орны – Заозерный кентінен оңтүстік шығысқа қарай 5 км жерде орналасқан. Кен орындары бірыңғай кен алқабын құрайды, Тастыкөл

горстантиклиналінің Батыс (Тастыкөл) және Шығыс (шығыс Тастыкөл) қанаттарына ұштастырылған. Кен орны изоклиналды құрылымдармен, ал өз кезегінде олар одан да ұсақ қатпарлармен түзілген. Ең ірілері Шығыс және Батыс шоғыры, созылу бойынша тиісінше 300 және 80 м, тереңдігі бойынша – 450 және 150 м, олардың максималды қуаты 15 м дейін. Бұл жерде негізінен қосалқы келісілген шоғырлар – оңтүстік бөлігінде линза тәрізді және солтүстік қапталда, қатпарлаудың қисық тұйықталу учаскесінде орналасқан. Көлемі 1 246 мың.м³ теңгерімдік және баланстан тыс кендердің 4 үйіндісі негізгі ластаушы радиоактивті объектілер болып табылады. Сонымен қатар, ауданы 15 гектарды құрайтын қоршалмаған карьер орналасқан. 1986 жылы № 9 шахта консервацияланды, ал № 5 карьерінің баланстан тыс үйіндісін қалпына келтіру жұмыстары 1989 жылы орындалды.

Кен орындарының Шат торабы – кен торабына Ағаш, Глубинное, Шат, Көксор кен орындары кіреді. Кен орындары Біржан сал ауданы, Дальний (қазіргі кезде таратылған) ауылынан шамамен 1,3,6 шақырымдағы қашықтықтарда орналасқан. 1953 жылы Көкшетау массивінің шығыс жақтауындағы аэrorадиометриялық ауытқулар Шат кен орынын ашуға әкелді. 1968 жылы Біржан-сал ауданы аумағындағы Глубинное кен орыны ашылды. Кен бірыңғай кен объектісінің учаскелері ретінде қарастырылады (бір-бірінен 2 км қашықтықта орналасқан). Басты кенді аймақтары № 1 бөлігінде шоғырланған, созылу ұзындығы 2 км, құлауы 100...200 м, басқа денелер шоғыры аз. Тереңдік кен денелері 280...700 м тереңдікте, Шат учаскесінде 30...450 м. Кендерде – уран молибденді, алюмосиликатты, цирконий карбонаты бар (зиянды қоспа). Уранның орташа құрамы 0,091 %, молибден-0,021 %, цирконий-0,169 %. Негізгі уран минералы – коффинит, настуран және браннерит. 1982 жылы аталған кен орынының дәлелденген қоры № 4 тау-кен комбинатына берілді, дегенмен әртүрлі себептермен кен орыны өндірістік игеруде пайдаланылмады.

Зерттеу әдістері

Рекогносцировкалық (алдын-ала) зерттеудің әдістемесі радиометриялық өлшеулер жүргізуден, қоршаған ортаның (түптік шөгінділер, су) сынамаларын алудан және олардың химиялық құрамын, табиғи радионуклидтерді анықтау бойынша зертханалық талдаудан тұрды. Ишимское кен орынын тексеру 2023 жылдың жаз айында, қалған кен орындарын 2025 жылдың көктемгі және жазғы кезеңдерінде жүргізілді. Зерттелетін компоненттердің мазмұнын анықтау зертханалық жағдайда жүргізілді. Аумақтағы гамма-сәулелену дозасының қуатын өлшеу су және түптік шөгінділер алынған аумақтарды қамтыды. Өлшеу жұмыстары «РКС-01-СОЛО» («Соло-ЛТД» ЖШС, Алматы, Қазақстан) радиометр-дозиметрі көмегімен жүргізілді. Өлшеу жұмыстары мемлекеттік санитариялық-эпидемиологиялық қадағалау комитеті төрағасының 2011 жылғы 8 қыркүйектегі № 194 «Радиациялық гигиена бойынша ұсыныстар» әдістемелік құралдарды бекіту туралы бұйрығына № 4 қосымшаға сәйкес жүргізілді [12]. Ашық гамма-сәулелену дозасының қуаты қоршаған ауаның эквивалентті дозасының қуат бірліктерімен өлшенді. Өлшеу жерден 1 м биіктікте жүргізілді.

Су сынамаларын іріктеу «Радиациялық бақылау. Жер үсті және ағынды сулардың сынамаларын алу» ҚР СТ 1545-2006» сәйкес жүргізілді [13]. Түптік шөгінділердің сынамаларын алу «Гидросфера. Ластануға талдау жасау үшін су объектілерінің түптік

шөгінділерін іріктеуге қойылатын жалпы талаптарға» МемСТ 17.1.5.01-80 сәйкес таңдалды [14].

Түптік шөгінділер сынамаларындағы ^{226}Ra , ^{232}Th және ^{40}K радионуклидтердің концентрациясы NaI(Tl) -6,3 см × 6,3 см детектормен жабдықталған «МКС-АТ1315» бета-гамма-спектрометрдің көмегімен анықталды (УП «Атомтех», Минск, Беларусь). Рұқсат етілген негізгі салыстырмалы қателік шектері ±15 % құрайды. Гамма-сәуле шығаратын радионуклидтердің деректерін жинау және талдау көп арналы анализатор (МКА) және РСА бағдарламалық жасақтамасы арқылы жүргізілді. Зерттеу әдісіне нормативтік құжаттар- №KZ.07.00.03310-2016 «МКС-АТ 1315» гамма-бета-спектрометрлерде радий-226, торий-232, калий-40 табиғи радионуклидтерінің меншікті үлестік белсенділігін өлшеуді орындау әдістемесі». Түптік шөгінділердің сынамаларында уран изотоптарын - ^{234}U және ^{238}U өлшеу «Мультирад» МКС-01А құралын («Амплитуда» ЖШҚ, Зеленоград, Ресей) қолдана отырып жүргізілді. Зерттеу әдісіне нормативтік құжаттар - №KZ.07.00.03550-2017 «Уран изотоптарының (^{238}U , ^{234}U , ^{235}U) топырақ, түптік шөгінділер, тау жыныстары мен құрылыс материалдарының сынамаларында олардың негізінде радиохимиялық дайындығы бар альфа - спектрометриялық әдіспен үлестік белсенділігін өлшеу әдістемесі». Табиғи судағы альфа және бета сәуле шығаратын радионуклидтердің жиынтық белсенділігін және ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb изотоптарының көлемдік белсенділігін өлшеу «УМФ-2000» («Доза» ғылыми-өндірістік кәсіпорны, Мәскеу, Ресей) альфа-бета радиометрінің көмегімен жүргізілді. Сынақты жүргізу «Радиациялық гигиена бойынша әдістемелік ұсыныстар» ҚР Бас санитарлық дәрігерінің 08.09.2011 жылғы №194 бұйрығына сай жүргізілді. Полоний (^{210}Po) және қорғасынның (^{210}Pb) көлемдік белсенділігін анықтау әдістемесі – №KZ.07.00.03146-2015 «Табиғи және саркынды технологиялық сулардағы полоний-210 (^{210}Po) және қорғасын-210 (^{210}Pb) радионуклидтерінің көлемдік белсенділігін (КБ) сынамаларды алдын ала радиохимиялық дайындаумен альфа-бета радиологиялық әдіспен анықтау әдістемесі». Аталған зерттеу әдістемелері Қазақстан Республикасының өлшем бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесіне енгізілген.

Үлгілердің зертханалық радиохимиялық және радиоспектрометриялық талдаулары Астана медициналық университеті Радиобиология және радиациялық қорғау институты сынақ зертханасы (аккредиттеу аттестаты 20.08.2024ж. KZ.Т.01.1431), «Эко-ЛюксАс» ЖШС (аккредиттеу аттестаты 05.06.2024 ж. KZ.Т.03.1460) жүргізілді. Зертханалар сынақ және калибрлеу зертханаларының құзыреттілігіне қойылатын жалпы талаптар МЕМСТ ИСО/МЭК 17025-2009 [15] талаптарына сәйкестігіне Қазақстан Республикасының аккредиттеу жүйесінде аккредиттелген.

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

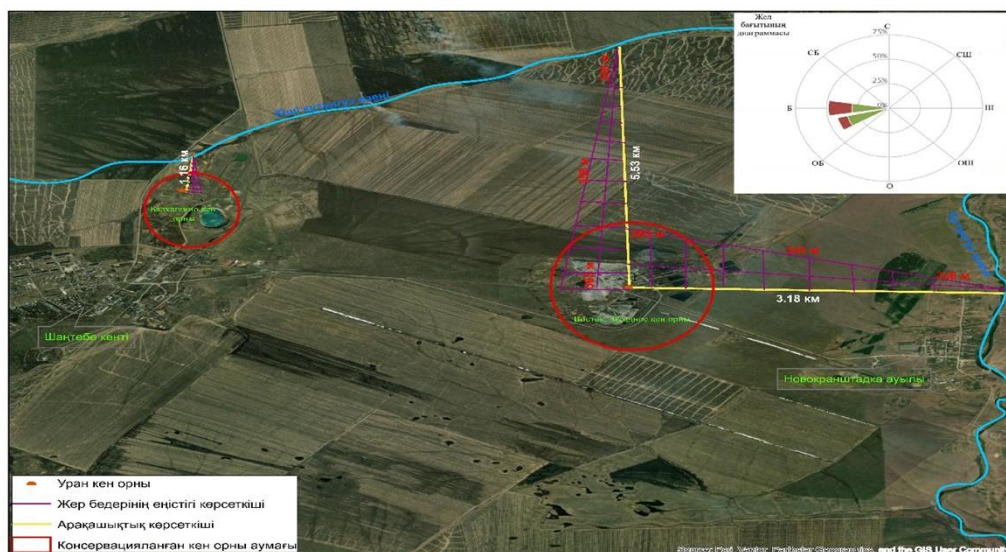
Балкашин кен орны

Балкашин кен орны – барлау жұмысының аумағы – 0,5 км² құрады. Уран өндіру тәсілі карьерлік түрде жүргізілген, рекультивацияланған. Кен қалдықтары үйіндісі және карьерден тұрады. Шахта оқпандары жоқ. Гамма сәулеленудің орташа қуаты – 0,2 мкЗв/сағат, карьерге түсу кезінде 0,6 мкЗв/сағатқа тең участкелер кездеседі. Кен қалдықтарын сақтау орны биіктігі 30...50 см болатын тығыз өсімдіктермен жабылған. Ең

жақын су нысаны рекультивацияланған кен орнынан солтүстікте Кіші Кутунгуз өзені, өзен төменгі ағысына қарай Кутунгуз өзеніне құяды.

2007 жылы жүргізілген рекультивация жұмыстары барысында шахта оқпандары консервацияланып, барлық желдеткіш ұңғымалар жойылды, тау жыныстарының үйіндісі жабылды.

Рекультивацияланған Балқашин кен орны аумағының жер бедері солтүстікке қарай еңкіш болып келеді, осыған байланысты атмосфералық жауын-шашынмен шайылу бағыты солтүстікке, Кіші Кутунгуз өзенінің деңгейі бағытында қалыптасқан. Консервацияланған Восток және Звездное кен орындары теңіз деңгейінен 363 м биіктікте, ал Кутунгуз өзені 336 м деңгейінде орналасқан, соған сәйкес жер бедерінің еңкіштігі шығыс бағытта, Кутунгуз өзені деңгейіне қарай қалыптасқан (Сурет 2).

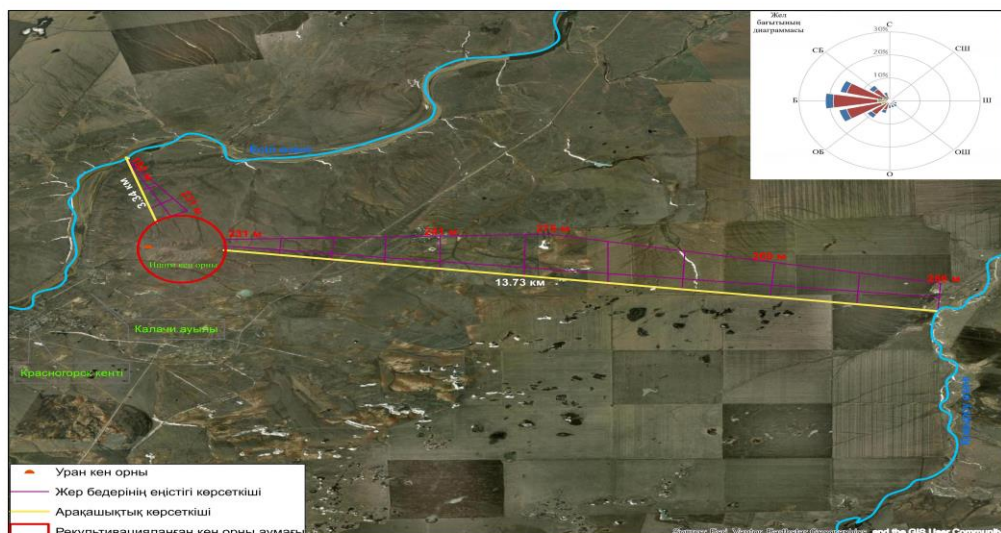


Сурет 2. Балқашин кен торабының беткей су нысандарына қатысты орналасу картасы. 1 – Балқашин, 2 – Шаңтөбе (Восток, Звездное) уран кен орындары

Жел бағыты негізінен батыс және солтүстік батыс бағыттан басым соғады. Осылайша, су және түптік шөгінділер сынамалары Балқашин карьерінен 1 нүктеден, Кутунгуз өзенінен 3 нүктеден (шахта суларының төгілу орнынан жоғары 500 метр, Навокранштадка ауылы тұрысында, шахта суларының төгілу орнынан 3 шақырым төмен) алынды. Гамма сәулеленуді өлшеу сынамалар алынған жерлерде жүргізілді.

Ишимское кен орны. Барлап тексеру аумағы – 0,42 км² құрады. Рекультивацияланған Аумағында 5 кен үйіндісі және үйінділер аумағында орналасқан екі шахта бар. Рекультивацияланған учаскелерде ұсақ өсімдіктер жамылғысы бар. Өсімдіктердің ең қалың жамылғысы Шығыс және Оңтүстік үйінділерде байқалады (90 %-ға дейін), ал Солтүстік және Батыс үйінділер 50...70 % аралығында өсімдікпен жабылған. Өсімдіктердің биіктігі 20 см-ден 50 см-ге дейін. Кен орны аумағынан 3,5 шақырым қашықтықта Калачи аулы мен Красногроск кенті орналасқан. Есіл өзені солтүстік бағытта 3,34 км қашықтықта, Қоңырсу өзені 13,73 км қашықтықта орналасқан. Жер бедерінің еңкіштігі Есіл өзені деңгейінде, рекультивацияланған кен орны теңіз деңгейінен 231 метрде орналасса, Есіл өзені 192 метрде орналасқан. Сәйкесінше, кен орнының әсері тек Есіл өзеніне ғана тиеді, қалған су нысандары алшақта орналасқандықтан тиісінше әсері

жоқ (Сурет 3). Есіл өзенінен су сынамалары кен орындарының әсер ету тұсынан жоғары 500 метр және төменгі нүктеде 500 метрден алынды.



Сурет 3. Ишимское кен орнының беткей су нысандарына қатысты орналасу картасы

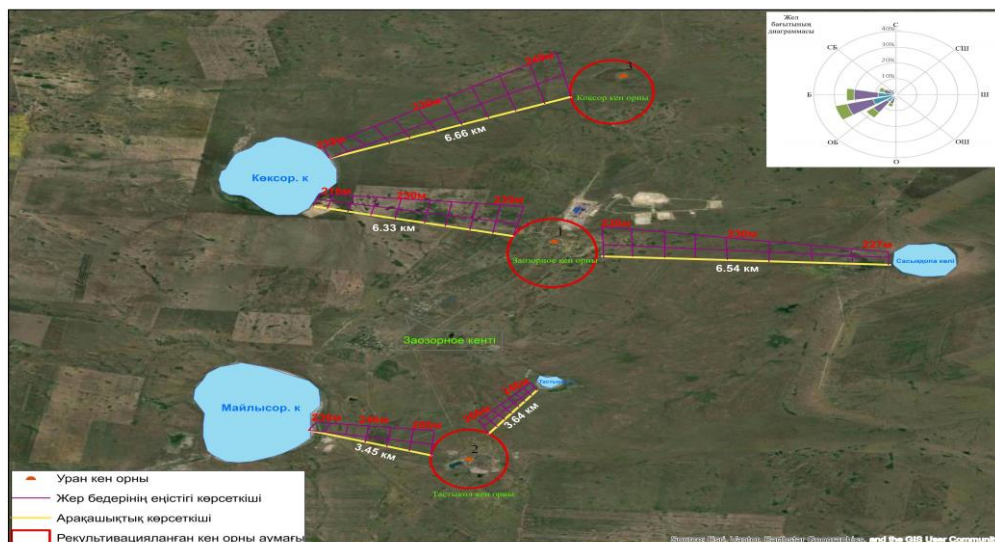
Заозорное, Көксор және Тастыкөл кен орындары

Заозорное кен орны. Барлап тексеру аумағы $0,6 \text{ км}^2$ құрады. Рекультивацияланған. Аумағында екі үйінді және екі шахта бар. Гамма сәулелену қуатының орташа мәні $-0,18 \text{ мкЗв/сағат}$. Рекультивацияланған аумақта биіктігі $20...50 \text{ см}$ болатын қалың шөптесін өсімдіктер жамылғысы бар, ол үйіндінің бүкіл аумағын толық камтиды.

Көксор кен орны. Барлап тексеру аумағы – $0,01 \text{ км}^2$ құрады. Рекультивацияланған. Бір кен үйіндісі және бір шахтадан тұрады. Гамма сәулеленудің орташа қуаты $-0,16 \text{ мкЗв/сағат}$ құрады. Кен үйінділері $70...80\%$ мөлшерінде ұсақ өсімдіктермен жабылған. Өсімдіктердің биіктігі $20...30 \text{ см}$ құрайды. Үйіндінің беткейі бойынша ұсақ жырашықтар (шағын шайылулар) бар.

Тастыкөл кен орны. Барлап тексеру аумағы $0,9 \text{ км}^2$ құрады. Рекультивацияланған. Біріктірілген 3 кен үйіндісі, 1 шахта және № 5 карьер бар. Орташа гамма сәулелену қуаты $0,17 \text{ мкЗв/сағат}$ құрады. Солтүстік-шығыс беткейінде жыныстардың бірнеше шайылу іздері бар. Кен үйінді қалың өсімдік жамылғысымен толық жабылған, тек оңтүстік беткейінде өсімдіктер жоқ. Өсімдіктердің биіктігі 50 см -ге дейін жетеді.

Заозорное және Көксор кен орындарына Көксор көлі және Сасыққопа көлдері жақын орналасқан, сәйкесінше $6,54$ және $6,33 \text{ км}$ қашықтықта орналасқан. Көксор көлі Заозорное кен орнының шахта сулары төгілу-жинақталу орны болды. Тастыкөл кен орнына Тастыкөл көлі және Майлысор көлі $3,64$ және $3,45$ шақырым қашықтықта орналасқан. Аумақтан ағып өтетін тұрақты өзендер жоқ.



Сурет 4. Шат кен торбының беткей су нысандарына қатысты орналасу картасы.

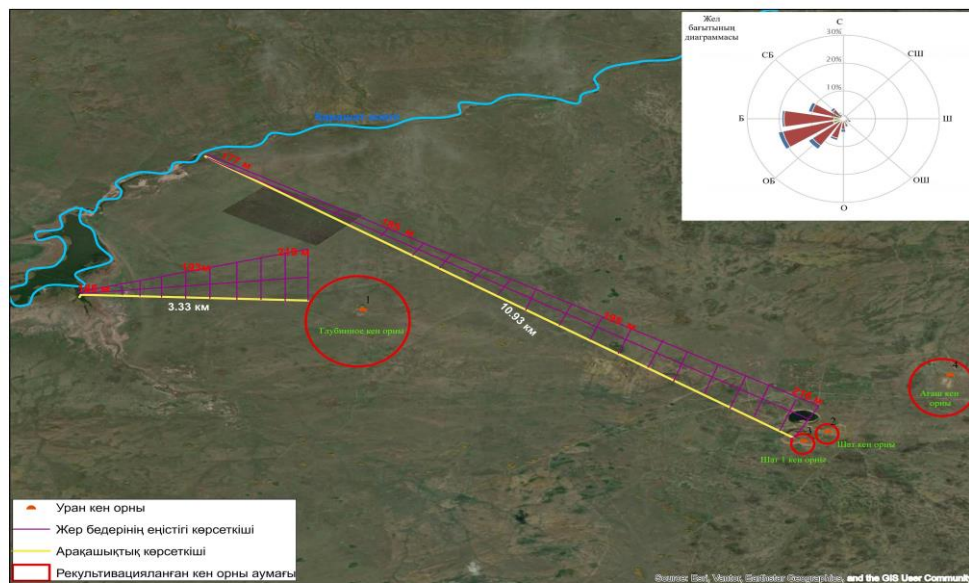
1 – Заозорное, 2 – Тастыкөл, 3 – Көксор кен орындары

Ағаш, Глубинное, Шат кен орындары.

Ағаш кен орны. Барлап тексеру аумағы – 0,015 км² құрады. Рекультивацияланған. 1 кен үйіндісі және 2 шахтадан тұрады. Орташа гамма сәулелену қуаты 0,28 мкЗв/сағат құрады. Биіктігі 20...50 см болатын қалың өсімдік жамылғысы рекультивацияланған аумақты толық қамтиды. Шахта оқпандары жабылған.

Глубинное кен орны. Барлап тексеру аумағы – 0,1 км² құрады. Рекультивацияланған. 1 кен үйіндісі және 2 шахта бар. Үйінді қоршалмаған. Шахталар қоршалған. Орташа гамма сәулелену қуаты 0,15 мкЗв/сағат құрады. Биіктігі 20...30 см болатын қалың өсімдік жамылғысы рекультивацияланған аумақты толық қамтиды. Шахта оқпандары жабылған.

Шат кен орны. Барлап тексеру аумағы – 0,6 км² құрады. Рекультивацияланған. Кен орнында 1 карьер және 3 кен үйіндісі бар. Оңтүстік карьер ішінара рекультивацияланған. Орташа гамма сәулелену қуаты 0,24 мкЗв/сағатты құрады. Кен үйінділері биіктігі 50 см-ге дейін жететін қалың өсімдік жамылғысымен толық жабылған. Шахта оқпандары жоқ. Кен орындарының жақын аумағында тек Қарашат өзені ағып өтеді, сортаң аумақта орналасқандықтан тұрақты көлдер жоқ. Шат және Ағаш кен орындарынан Қарашат өзені шамамен 11 шақырымда, Глубинное кен орны 3,3 шақырымда орналасқан, еңкіштігі өзенге қарай. Глубинное кен орны теңіз деңгейінен 219 метрде орналасса, Қарашат өзені 185 метр деңгейінде. Сәйкесінше кен орнының әсер етуі Қарашат өзеніне тікелей байланысты (Сурет 5).



Сурет 5. Шат кен торбының беткей су нысандарына қатысты орналасу картасы.

1 – Глубинное, 2 – Шат, 3- Шат-1, 4 – Ағаш кен орындары

Беткей су нысандарын далалық радиациялық зерттеу барысында радиометриялық өлшеулер сынама алынған жерлерде, карьер, шахта оқпандары аумақтарында, кен үйінділер аумақтарында жүргізілді. Далалық радиациялық зерттеу нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1

Далалық радиациялық зерттеу нәтижелері.

Кен орындарының атауы	Сынама алу орны	МЭД, мкЗв/сағат, орташа
Балкашин Восток, Звездное	Балкашин карьері	0,27
	Рекультивацияланған аумақ	0,15...0,25
	Кұтынгөз өзені	0,19
	Жаксы-Жаңғызтау өзені	0,16
Заозорное, Тастыкөл, Көксор	Көксор көлі	0,21
	Майлысор көлі	0,16
	Тастыкөл көлі	0,14
	Рекультивацияланған аумақ	0,16...0,18
	№5 карьер	0,25
Ишимское	Рекультивацияланған аумақ	0,19
	Есіл өзені	0,15
	Калачи ауылы	0,18
Глубинное, Шат, Ағаш	Рекультивацияланған аумақ	0,15...0,28
	Қарашат өзені	0,16

Өлшенген гамма сәулелену қуаты мәндерін талдау көрсеткендей, олар 0,1...0,6 мкЗв/сағат шегінде орналасқан. Мәндердің жоғарылауы негізінен карьерлерге түсу кезінде, ашық шахта оқпандарының жанында 1,0 мкЗв/сағат тіркелді.

Жиналған деректерді талдау альфа-радиоактивтіліктің жиындық белсенділігі жалпы бета-радиоактивтілікпен салыстырғанда айтарлықтай жоғары екенін көрсетеді. Зерттелген аймақтардағы су нысандарынан алынған сынамалар бойынша жиынтық альфа және бета белсенділіктің мәндері 0,08...9,8 Бк/л және 0,1...2,7 Бк/л аралығында өзгерді.

Ишимское кен орны бойынша Есіл өзенінде альфа және бета белсенділік анықтау деңгейінен төмен көрсетті, Балкашин карьерінде альфа белсенділік 4,5 Бк/л, бета белсенділік 1,1 Бк/л, Құтынкөз өзенінің бойында жиынтық альфа және бета белсенділік көрсеткіштері өзеннің төменгі ағысына қарай біртіндеп артады. №1 нүктеде (болжалды шахта суларының төгілу нүктесіне дейін 500 метр) альфа-белсенділік 0,2 Бк/л, бета-белсенділік 0,27 Бк/л болса, №3 нүктеде бұл мәндер сәйкесінше 1,81 және 0,79 Бк/л-ге дейін жоғарылаған. Мұндай динамика өзеннің төменгі бөлігіне қарай радионуклидтердің жинақталу үрдісін немесе кеніштер орналасқан аймақтардан келетін ықпалды ластануын көрсетеді. Негізгі әсер консервацияланған Шаңтөбе (Звездное, Восток) кен орындарынан болып отыр. Балкашин карьерінде жоғары мәндер судағы радионуклидтердің жинақталуын білдіреді және де халықтың карьер суын қандай да шаруашылық мақсатта пайдалануына шектеу қажет.

Заозорное, Тастыкөл кен орындарында альфа және бета белсенділік Көксор көлінде 1,7...2,5 Бк/л және 0,20...1,2 Бк/л көлемінде, Тастыкөл көлінде 1,2 Бк/л және 0,4 Бк/л, №5 карьер суында 9,8 Бк/л және 2,7 Бк/л мәндерін көрсетті.

Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының [16] судың сапасын алдын ала бағалауға арналған скрининг деңгейі 0,55 Бк/л және 1,0 Бк/л ұсынады, Қазақстан Республикасының санитарлық нормаларына сәйкес, ауыз судағы жиынтық альфа-белсенділіктің скринингтік деңгейі 0,2 Бк/л, ал жиынтық бета-белсенділіктің шекті деңгейі 1,0 Бк/л болып табылады [17]. Осы скринингтік деңгейлермен салыстырғанда қалған су нысандары ауыз суға арналған гигиеналық талаптарға сәйкес келеді (Кесте 2).

Кесте 2

Су сынамаларының радиациялық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері, Бк/л.

Сынама алу орны	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	²¹⁰ Po	²¹⁰ Pb	²³⁴ U	²³⁸ U	Жиынтық - белсенділік	
							альфа	бета
Ишимское кен орны								
Есіл өзені, ағыстан жоғары 500м	<0,1	<0,1	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Есіл өзені, ағыстан төмен 500м	<0,1	<0,1	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Балкашин кен торабы								
Кутунгуз өзені, №1 нүкте	0.11±0.03	0.12±0.05	0,041±0,018	0,035±0,027	0,071±0,018	0,04±0,011	0,2	0,27
Кутунгуз өзені, №2 нүкте	0.15±0.06	0.14±0.07	0,037±0,012	0,065±0,033	0,222±0,042	0,139±0,027	0,67	0,39

Кутунгуз өзені, №3 нүкте	0.15±0.06	0.36±0.17	0,133± 0,045	0,014±0,005	0,448±0,073	0,371±0,059	1,81	0,79
Балкашин карьері	0.22±0.04	1.54±0.31	0,026± 0,009	0,037±0,028	0,177±0,034	0,131±0,024	4,5	1,91
Жақсы– Жаңғыстау көлі	0.11±0.03	0.13±0.05	0,028± 0,009	0,053±0,03	0,05±0,012	0,02±0,009	0,18	0,1
Заозорное, Тастыкөл, Көксор кен орындары тобы								
Майлысор көлі, №1 нүкте	-	-	-	-	-	-	0,08	0,4
Майлысор көлі, №1 нүкте	-	-	-	-	-	-	0,20	<0,1
№9 шахта, №5 карьері	-	-	-	-	-	-	9,8	2,7
Тастыкөл көлі	-	-	-	-	-	-	1,2	0,4
Тасты карьері	-	-	-	-	-	-	<0,02	0,3
Көксор көлі, №1 нүкте	-	-	-	-	-	-	2,5	1,2
Көксор көлі, №2 нүкте	-	-	-	-	-	-	1,7	0,2
Шат кен торабы								
Қарашат өзені, ағыстан жоғары 500м	<0,1	<0,1	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Қарашат өзені, ағыстан төмен 500м	<0,1	<0,1	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, Есіл, Қарашат өзеніндегі 2 нүктеде де радий және уран изотоптары анықталу деңгейінен төмен, Кутунгуз өзенінде 2 нүктеде альфа белсенділік бойынша скринингтік деңгейден (0,2) 3,3 есе және 9,0 есе жоғары, бета белсенділік гигиеналық норматив (1,0) шегінде. Балкашин карьерінде альфа белсенділік 22,5 есе, бета белсенділік бойынша 1,9 есе жоғары. № 9 шахта, № 5 карьері альфа белсенділік бойынша 49 есе, бета белсенділік бойынша 2,7 жоғары. Тастыкөл көлінде альфа белсенділік 6 есе, Көксор көлінің 1 нүктесінде альфа белсенділік бойынша 12,5 есе, бета белсенділік бойынша 1,2 есе жоғары. Көксор көлінің 2 нүктесінде альфа белсенділік бойынша 8,5 есе жоғары.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттелген аумақтарда (№ 8 кеніш – Заозорное, № 9 кеніш – Тастыкөл, № 1 Ишимское кен орны, Балкашин кен торабындағы Балкашин, Звездное, Восток, сондай-ақ Шат кен торабындағы № 14 кеніштер: Глубинное, Шатское, Көксор, Ағаш) және оларға

іргелес орналасқан беткей су нысандарында өлшенген гамма сәулелену қуаты мәндері бойынша, халықтың осы учаскелерде уақытша (мерзімді) тұруы үшін радиациялық қауіп төндірмейді. Ерекше жағдайлар шахта оқпандарының маңында және ашық карьерлерге түсу кезінде байқалады, мұндағы мәндері 1,0 мкЗв/сағатқа дейін жетеді. Рекультивацияланған кен орындарына жақын орналасқан беткей табиғи суларда бірқатар ауытқулар анықталды. Атап айтқанда, Кутунгуз өзенінің екі нүктесінде альфа-белсенділік нормативтен 3,3...9,0 есе жоғары болды. Балкашин карьерінде альфа-белсенділік нормативтен 22,5 есе, бета-белсенділік 1,9 еседен артық тіркелді. № 5 карьер (№ 9 шахта) аумағында альфа-белсенділік нормативтен 49 есе, бета-белсенділік 2,7 есе жоғары болды. Тастыкөл көлінде альфа-белсенділік нормативтен 6 есеге артық. Көксор көлінің бір нүктесінде альфа-белсенділік 12,5 есе, бета-белсенділік 1,2 есе жоғары болса, екінші нүктесінде альфа-белсенділік нормативтен 8,5 есе жоғары мәндер тіркелді.

Бұл көрсеткіштер бұрынғы «уран мұрасының» әлі де қоршаған ортаға, оның ішінде табиғи суларға әсері бар екендігін көрсетеді. Қоршаған ортаны радиациялық бақылау және мониторинг радиация деңгейі жоғары учаскелерді немесе объектілерді анықтауды, радионуклидтерді идентификациялауды, олардың мөлшерін өлшеуді, изотоптық құрамын анықтауды, шығу көзін белгілеуді, миграциялық сипаттамалары мен түзілу формаларын талдауды, тірі табиғат үшін радиациялық қауіптіліктің дәрежесін бағалауды және жағдайдың даму болжамын қамтиды [16]. Осы орайда, рекультивацияланған уран кен орындарының жанындағы табиғи суларды рекогносцировкалық (алдын ала) зерттеу нәтижелері бойынша, жан-жақты тексеру үшін (изотоптық құрамын анықтау, түзілу формаларын талдауды т.б.) Кутунгуз өзені және оның төмен ағысындағы Жабай, Жыланды өзендері, Балкашин карьері, Көксор, Тастыкөл көлдері және №9 шахтаның (Тастыкөл кен орны) № 5 карьері таңдалып алынды.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректер ашық дереккөздерден алынды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау – ААН,АЗ; деректерді басқару - ААН,АЗ,ГСН ; Ресми талдау - ААН; Әдістеме – ААН,АЗ; Бағдарламалық қамтамасыз ету – ААН,ГСН; Қадағалау - АЗ; Визуализация – ААН,ГСН; Бастапқы жобаны жазу – ААН,АЗ; Шолу жазу және редакциялау – ААН,АЗ,ГСН.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Belyaeva O., Movsisyan N., Pyuskyulyan K., Sahakyan L., Tepanosyan G., Saghatlyan A. Yerevan soil radioactivity: radiological and geochemical assessment // *Chemosphere*. — 2021. — Vol. 265. — Art. 129173. — DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.129173.
2. Florea N., Dului O.G. Rehabilitation of the Barzava uranium mine tailings // *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*. — 2013. — Vol. 17, № 3. — P. 230–236. — DOI: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000172.
3. Durusoy A., Yildirim M. Determination of radioactivity concentrations in soil samples and dose assessment for Rize Province, Turkey // *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. — 2017. — Vol. 10, № 4. — P. 348–352. — DOI: 10.1016/j.jrras.2017.09.005.
4. Carvalho F.P., Oliveira J.M., Malta M. Radioactivity in soils and vegetables from uranium mining regions // *Procedia Earth and Planetary Science*. — 2014. — Vol. 8. — P. 38–42. — DOI: 10.1016/j.proeps.2014.05.009.
5. Ali M.A., Abdel Gawad A.E., Ghoneim M.M. Geology and mineral chemistry of uranium- and thorium-bearing minerals in rare metal (NYF) pegmatites of Um Solimate, South Eastern Desert, Egypt // *Acta Geologica Sinica — English Edition*. — 2021. — Vol. 95, № 5. — P. 1568–1582. — DOI: 10.1111/1755-6724.14708.

6. Yermilov A.N., Yermilova E.V. Environmental and human dimensions of radio-ecological situation in Kazakhstan // *Arid Ecosystems*. — 2005. — Vol. 11, № 26–27. — P. 39–48. [Электрондық ресурс] URL: https://aridecosystems.ru/wp-content/uploads/2019/01/T11_N26_27_2005.pdf (жүгіну күні: 10.11.2025).
7. Об утверждении Программы консервации уранодобывающих предприятий и ликвидации последствий разработки урановых месторождений на 2001–2010 годы: постановление Правительства Респ. Казахстан от 2001 г. № 1006 [Электрондық ресурс] // Adilet. — 2001. — URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P010001006> (жүгіну күні: 10.11.2025).
8. Smirnov K.M., Men'shikov Y.A., Krylova O.K., Bugrieva E.P., Naimanbaev M.A., Lokhova N.G., Baltabekova Z.A. Form of uranium found in phosphate ores in Northern Kazakhstan // *Atomic Energy*. — 2015. — Vol. 118, № 5. — P. 337–340. — DOI: 10.1007/s10512-015-0003-9.
9. Ақмола облысы туралы ақпарат [Электрондық ресурс] // Erulik.kz. — URL: <https://oq.gov.kz/erulik/regions/1> (жүгіну күні: 10.11.2025).
10. Аубикаров Х.Б., Врешков А.Ф., Лухтин В.Ф., Петров Н.Н., Плеханов В.Н., Язиков В.Г. Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). — Алматы: Ғылым, 1995. — 27 с.
11. Мониторинг законсервированных и ликвидированных рудников № 1 и № 2 (Акмоллинская область): отчет / РГП «Уранликвидрудник». — 2005.
12. Об утверждении Методических рекомендаций по радиационной гигиене: приказ Комитета государственного санитарно-эпидемиологического надзора № 194, 2011 г. [Электрондық ресурс] // Online.zakon.kz. — URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31249142 (жүгіну күні: 10.11.2025).
13. СТ РК 1545–2006. Радиационный контроль. Отбор проб поверхностных и сточных вод. Общие требования [Электрондық ресурс].—2006.— URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30527431 (дата обращения: 10.11.2025).
14. ГОСТ 17.1.5.01–80. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность [Электрондық ресурс]. — 1980. — URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37927607 (жүгіну күні: 10.11.2025).
15. ISO/IEC 17025:2019. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. — Geneva: ISO, 2019. — URL: https://prg.kz/Document/?doc_id=35907600 (жүгіну күні: 10.11.2025).
16. Guidelines for Drinking-Water Quality [Электронный ресурс] / World Health Organization. — Geneva: WHO, 2004.—[Электрондық ресурс]. URL: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/b437749a-43f7-472f-a6d9-42596e8ac0ae/content> (жүгіну күні: 10.11.2025).
17. Об утверждении гигиенических нормативов к обеспечению радиационной безопасности: приказ Министра здравоохранения Респ. Казахстан № ҚР ДСМ-71, 2022 г. [Электрондық ресурс] // Adilet. — URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200029012> (жүгіну күні: 10.11.2025).
18. Бахур А.Е. Научно-методические основы радиоэкологической оценки геологической среды: автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук. — М.: Институт геологии, 2020.

REFERENCES

1. Belyaeva, O., Movsisyan, N., Pyuskyulyan, K., Sahakyan, L., Tepanosyan, G., & Saghatelyan, A. (2021). Yerevan soil radioactivity: Radiological and geochemical assessment. *Chemosphere*, 265, Article 129173. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129173>.
2. Florea, N., & Dului, O. G. (2013). Rehabilitation of the Barzava uranium mine tailings. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 17(3), 230–236. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000172](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000172).

3. Durusoy, A., & Yildirim, M. (2017). Determination of radioactivity concentrations in soil samples and dose assessment for Rize Province, Turkey. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(4), 348–352. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2017.09.005>.
4. Carvalho, F. P., Oliveira, J. M., & Malta, M. (2014). Radioactivity in soils and vegetables from uranium mining regions. *Procedia Earth and Planetary Science*, 8, 38–42. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2014.05.009>.
5. Ali, M. A., Abdel Gawad, A. E., & Ghoneim, M. M. (2021). Geology and mineral chemistry of uranium- and thorium-bearing minerals in rare-metal (NYF) pegmatites of Um Solimate, South Eastern Desert, Egypt. *Acta Geologica Sinica – English Edition*, 95(5), 1568–1582. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.14708>.
6. Yermilov, A. N., & Yermilova, E. V. (2005). Environmental and human dimensions of radio-ecological situation in Kazakhstan. *Arid Ecosystems*, 11(26–27), 39–48. https://aridecosystems.ru/wpcontent/uploads/2019/01/T11_N26_27_2005.pdf
7. Ob utverzhdenii Programmy konservatsii uranodobyvayushchih predpriyatij i likvidatsii posledstvij razrabotki uranovyh mestorozhdenij na 2001–2010 gody: postanovlenie Pravitel'stva Resp. Kazahstan ot 2001 g. № 1006. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P010001006>. [In Russian]
8. Smirnov, K. M., Menshikov, Y. A., Krylova, O. K., Bugrieva, E. P., Naimanbaev, M. A., Lokhova, N. G., & Baltabekova, Z. A. (2015). Form of uranium found in phosphate ores in northern Kazakhstan. *Atomic Energy*, 118(5), 337–340. <https://doi.org/10.1007/s10512-015-0003-9>.
9. Erulik.kz.Aqmola oblysy turaly apparat. <https://oq.gov.kz/erulik/regions/1>. [In Kazakh]
10. Aubikarov, H. B., Vreskov, A. F., Lukhtin, V. F., Petrov, N. N., Plekhanov, V. N., & Yazikov, V. G. (1995). Uranovye mestorojdenia Kazahstana (Ekzogennyye). — Almaty: Ğylym, 1995. — S. 27. [In Russian]
11. RGP «Uranlikvidrudnik». (2005). Monitoriň zakonservirovannyh i likvidirovannyh rudnikov №1 i №2 (Akmolinskaia oblast). [In Russian]
12. Komitet gosudarstvennogo sanitarno-epidemiologicheskogo nadzora. (2011). Prikaz № 194 «Ob utverjdenii Metodicheskikh rekomendatsii po radiatsionnoi gigiyene» [Electronic resource] // Online.zakon.kz. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31249142 (date of access: 10.11.2025). [In Russian]
13. ST RK 1545-2006. (2006). Radiatsionnyi kontröl. Otbór prob poverhnostnyh i stochnykh vod. Obşie trebovania [Electronic resource] // Online.zakon.kz. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30527431 (date of access: 10.11.2025). [In Russian]
14. GOST 17.1.5.01-80. (1980). Ohrana prirody (SSOP). Gidrosfera. Obşie trebovania k otboru prob donnyh otlojeni vodnyh obektov dlä analiza na zagräzennost [Electronic resource] // Online.zakon.kz. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37927607 (date of access: 10.11.2025). [In Russian]
15. International Organization for Standardization. (2019). *ISO/IEC 17025:2019. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. ISO. [Electronic resource] https://prg.kz/Document/?doc_id=35907600 (date of access: 10.11.2025).
16. World Health Organization. (2004). *Guidelines for drinking-water quality*. WHO. [Electronic resource] URL: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/b437749a-43f7-472f-a6d9-42596e8ac0ae/content>. (date of access: 10.11.2025).
17. Ministerstvo zdavoohranenia Respubliki Kazahstan. (2022). Prikaz № QR DSM-71 «Ob utverjdenii gigienicheskikh normativov k obespecheniu radiatsionnoi bezopasnosti» [Electronic resource] // Adilet. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200029012> (date of access: 10.11.2025). [In Russian]
18. Bahur A. E. (2020). Nauchno-metodicheskie osnovy radioekologicheskoi osenki geologicheskoi sredy. Avtoreferat disertatsii na soiskanie uchenoi stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk. — Institut geologii, Moskva. [In Russian]

РЕКОГНОСЦИРОВОЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Айкын А. Нұрахмет^{1*}, Аманбек Зандыбай¹ к.б.н., ассоциированный профессор, Гульнур С. Нурахметова²

¹ Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан; aikyn1117@gmail.com (AAN.); amanbek_z@mail.ru, (AZ.)

² РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан; nurakhmetova_g@meteo.kz (ГСН.)

* Автор корреспонденции: aikyn1117@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

рекультивация,
добыча урана,
источники ионизирующего излучения, радиоэкологическое воздействие,
поверхностные водные объекты

По статье:

Получено: 08.01.2026

Пересмотрено: 09.02.2026

Принято: 17.04.2026

Опубликовано: 01.07.2026

АБСТРАКТ

В статье представлены данные рекогносцировочного (предварительного) обследования природных поверхностных и техногенных водных объектов, расположенных вблизи рекультивированных и законсервированных урановых месторождений на территории Акмолинской области. Значения мощности гамма-излучения свидетельствуют об отсутствии радиационной опасности для населения при пребывании на данных территориях; исключения составляют участки вблизи шахтных стволов и при спуске в карьеры, где мощность гамма-излучения достигает 1,0 мкЗв/ч. Альфа-активность в природных поверхностных водах превышает скрининговые показатели для питьевой воды от 3,3 раза (река Кутунгуз) до 12,5 раза (озеро Көксор). В техногенных карьерных водоёмах превышение составляет от 22,5 раза (карьер Балкашин) до 49 раз (шахта № 9, карьер № 5). По результатам рекогносцировочного (предварительного) исследования природных вод, расположенных вблизи рекультивированных урановых месторождений, для детального обследования (определение изотопного состава, анализ форм нахождения и др.) отобраны река Кутунгуз и расположенные ниже по течению реки Жабай и Жыланды, карьер Балкашин, озёра Көксор и Тастыкөл, а также карьер № 5 шахты № 9 (Тастыкөлское месторождение).

RECONNAISSANCE SURVEY OF SURFACE WATER BODIES LOCATED NEAR RECULTIVATED URANIUM DEPOSITS IN THE AKMOLA REGION

Aikyn Nurakhmet^{1*}, Amanbek Zandybay¹, PhD (Biology), associate professor, Gulnur Nurakhmetova²

¹ L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; aikyn1117@gmail.com(AAN.); amanbek_z@mail.ru, (AZ.)

² RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan; nurakhmetova_g@meteo.kz (GSN.)

*Corresponding author: aikyn1117@gmail.com

KEY WORDS

Reclamation,
uranium mining,
sources of ionizing radiation,
radioecological effects,
surface water bodies

About article:

Received: 08.01.2026

Revised: 09.02.2026

Accepted: 17.04.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT

The article presents data from a reconnaissance (preliminary) survey of natural surface and technogenic water bodies located near recultivated and conserved uranium deposits in the Akmola region. Gamma radiation dose rates indicate no radiation hazard for the population when present in these areas; exceptions are sites near mine shafts and during descent into quarries, where gamma dose rates reach 1.0 $\mu\text{Sv/h}$. Alpha activity in natural surface waters exceeds the screening levels established for drinking water by factors ranging from 3.3 in the Kutunguz River to 12.5 in Lake Koksor. In technogenic quarry water bodies, the exceedance ranges from 22.5 times in the Balkashin Quarry to 49 times in Mine No. 9, Quarry No. 5. Based on the results of the reconnaissance (preliminary) survey of natural waters near recultivated uranium deposits, the following were selected for detailed study (including isotopic composition determination, analysis of forms of occurrence, etc.): Kutunguz River and the downstream rivers Zhabay and Zhylandy, Balkashin quarry, Koksor and Tastykol lakes, and quarry No. 5 of shaft No. 9 (Tastykol deposit).

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



Научная статья

АНАЛИЗ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ КАЗАХСТАНА ОБ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА И СПОСОБАХ АДАПТАЦИИ К НЕМУ

Дильназ К. Елеусинова * , Ольга А. Зубова  к.т.н., Гульдана М. Минжанова  к.х.н.

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан; yeleusinovadilnaz@gmail.com (ДКЕ), Zubova.Olga@kaznu.kz (ОАЗ), guldana.mg@gmail.com (ГММ)

*Автор корреспонденции: Дильназ К. Елеусинова yeleusinovadilnaz@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Изменение климата, осведомленность населения, адаптация, Казахстан, глобальное потепление, анкетирование, экосистема, устойчивость, климатические риски, международный опыт

АБСТРАКТ

В статье исследуется восприятие населением современных климатических изменений в Казахстане и оценка их влияния на жизнедеятельность на основе результатов социологического опроса (81 респондент). Установлено, что при относительно высокой общей информированности (58 %) лишь 39,5 % обладают глубокими знаниями, что указывает на поверхностный характер экологической грамотности. Несмотря на это, 65,4 % воспринимают климатические изменения как угрозу, однако готовность к адаптации остается ограниченной 48,1 %. Выявленные барьеры – нехватка информации, финансирования и технологий – определяют направления рекомендаций. Обоснована необходимость комплексного подхода, который включает образовательные, экономические и административные меры для повышения вовлечения населения.

По статье:

Получено: 22.01.2026

Пересмотрено: 04.05.2026

Принято: 23.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

Для цитирования:

Елеусинова Д., Зубова О., Минжанова Г., Анализ осведомленности населения Казахстана об изменении климата и способах адаптации к нему// Гидрометеорология и экология, 122 (2), 2026, 187-198.

1. ВВЕДЕНИЕ

Изменения климата – одна из самых серьезных проблем XXI века, затрагивающая экосистемы, сельское хозяйство, экономику и здоровье людей [1, 6]. Казахстан характеризуется континентальным и засушливым климатом, что обуславливает экстремальные температурные перепады, низкий уровень атмосферных осадков и дефицит водных ресурсов [7, 9]. Как отмечает А.В. Чередниченко [10], региональные климатические сценарии для Казахстана указывают на неизбежный рост температурных экстремумов, что требует дифференцированного подхода к адаптации в различных сферах. Согласно прогнозам Всемирного банка, к 2050 году дефицит водных ресурсов в Центральной Азии может привести к снижению ВВП региона на 11 %, что подчеркивает критическую важность немедленных адаптационных мер [11]. Глобальное изменение климата для Казахстана перешло из разряда теоретических угроз в плоскость реальных экономических и социальных рисков. Экстремальные засухи, дефицит водных ресурсов и деградация аграрных земель требуют не только технологических решений, но и высокого уровня готовности общества к изменениям. Однако, как показывает практика, осознание проблемы населением не всегда трансформируется в конкретные адаптационные действия.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью преодоления разрыва между общей информированностью граждан и их способностью применять практические меры минимизации климатических рисков. Изменение климата создает для Казахстана критические социально-экономические риски, выраженные в дефиците воды и деградации земель [12, 17]. В научной дискуссии акцент сместился с предотвращения изменений на адаптацию к ним. Исследователи подчеркивают важность гибкого

планирования под различные климатические сценарии [18] и интеграции декарбонизации с адаптацией агросектора [19]. Хотя бизнес чаще реагирует на рыночные стимулы, чем на климатические угрозы [20, 21], общая устойчивость населения зависит от уровня осведомленности граждан и доступности ресурсов [22, 23]. Эффективная защита требует многоуровневого взаимодействия [24] и международной координации данных [25]. Однако на фоне глобальных кризисов интерес населения к экологии снижается [26], что требует новых методов популяризации знаний, включая социальные сети [27]. Целью исследования является оценка осведомленности населения Республики Казахстан о процессах изменения климата и разработка адаптационных рекомендаций. В центре внимания (предмете исследования) находится уровень осведомленности населения об антропогенных причинах климатических изменений и доступных методах адаптации, что позволяет выявить барьеры в восприятии экологических рисков и интегрировать передовой международный опыт в национальную стратегию устойчивого развития страны.

Задачи исследования:

1. Оценить восприятие населением последствий климатических изменений в регионах Казахстана и их влияния на жизнедеятельность.
2. Выявить меры способствующие формированию экологически ответственного поведения у граждан.
3. Синтезировать передовой международный опыт для формирования стратегии устойчивого развития агросектора и водных ресурсов Казахстана.

В ходе исследования замечено, что признание проблемы климатических изменений населением носит преимущественно декларативный характер и не сопровождается достаточным уровнем практико-ориентированных знаний о мерах адаптации. Выявлено, что ключевым условием успешной трансформации является не только законодательная поддержка но и внедрение «зеленых» технологий, а также комплексное образовательное воздействие на население через школьные и высшие учебные программы, информационные кампании в СМИ и социальных сетях, направленное на повышение осведомленности о методах адаптации к изменению климата. Итогом работы являются рекомендации по координации усилий государства, и научного сообщества для обеспечения долгосрочной экологической и экономической устойчивости страны.

Литературный обзор

С учетом последствий изменения климата с которыми сталкиваются большинство стран на данный момент уже существует большое количество адаптационных мер. Подобный международный опыт возможно реализовать и адаптировать под климат Казахстана. Большинство мер разделено по следующим секторам:

- управление водными ресурсами и устойчивое сельское хозяйство
- технологическая и урбанистическая модернизация
- институциональные и социальные механизмы
- экономические механизмы

Управление водными ресурсами и устойчивое сельское хозяйство: Согласно данным Всемирного банка [28] во второй главе «Изменение климата в Казахстане и его последствия для сельского хозяйственных культур, пастбищ и домашнего скота» говорится, что вероятность засухи на западе и востоке страны выше чем на севере. Сильная засуха, которая снижает урожайность более чем на 50 %, вероятно, будет повторяться на севере страны раз в 50 лет, на востоке - раз в 14 лет, а на западе - раз в 5 лет. 7,4 % респондентов (рис. 4) замечают засухи среди последствий изменения климата. Поэтому для борьбы с дефицитом воды и деградацией почв необходим переход на технологии капельного орошения, строительство систем сбора талой воды и расширение сети водохранилищ. В научной литературе широко обсуждается внедрение засухоустойчивых культур и методов агролесомелиорации как ключевой инструмент защиты аграрного сектора. Методы борьбы с эрозией почв и деградации пастбищ, успешно апробированные

в климатических условиях Монголии [29], могут быть эффективно адаптированы в засушливых регионах Казахстана.

Технологическая и урбанистическая модернизация: Для снижения тепловой нагрузки в городах Казахстана целесообразно использовать опыт Парижа [30] по внедрению зеленой архитектуры и модернизации общественных пространств для борьбы с эффектом «городского острова тепла». Инновационным решением для водообеспечения горных районов может стать создания искусственных ледников (ледяных ступ), методология которых описана в работах центральноазиатских исследователей [31].

Институциональные и социальные механизмы: Успешная адаптация невозможна без разработки единой государственной стратегии, включающей систему финансовых стимулов для экологически ответственного бизнеса и активного международного сотрудничества. Важную роль в этом процессе играет Региональный план действий по адаптации к изменению климата в Центральной Азии, направленный на совместное управление трансграничными рисками [32]. Особое внимание следует уделить образовательным программам, которые превратят поверхностную осведомленность граждан в осознанные поведенческие практики. Международные стандарты образования в интересах устойчивого развития подчеркивает, что экологическая грамотность является фундаментом для формирования климатической устойчивости сообществ [33].

Экономические механизмы: выделенные респондентами (рис.6) методы поощрения и экономического стимулирования основанные на позитивном подкреплении. К примеру:

- материальные стимулы в виде субсидий, грантов, льгот либо бонусные программы;
- социальное признание в качестве публичных благодарностей или рейтинги экологически ответственных организаций.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании была разработана и применена анкета для оценки уровня осведомленности населения Казахстана об изменении климата и способах адаптации к нему.

В опросе принял участие 81 респондент четырех возрастных категорий (до 18; 19...35; 35...60; 61+) и разных регионов Казахстана, включая Актюбинскую, Туркестанскую, Абайскую, Кызылординскую, Акмолинскую, Западно-Казахстанскую и Алматинскую области. Исследование носило характер выборки по доступности, что обусловило неравномерное территориальное распределение респондентов.

Эмпирической базой исследования послужили данные социологического опроса, проведенного в онлайн-формате в период с 22 по 26 декабря 2025 г. Формирование выборки, осуществлялось методом удобной выборки с элементами «снежного кома» посредством распространения анкеты через цифровые коммуникационные каналы. Указанный подход обусловлен разведочным характером исследования и направлен на выявление общих тенденций восприятия климатической проблематики. Следует отметить, что полученные результаты не претендуют на статистическую репрезентативность в масштабе всей страны.

Инструментарий исследования представлял собой структурированную анкету, включающую 14 вопросов закрытого, полужакрытого и открытого типов. Структура анкеты предусматривала следующие тематические блоки:

1. Социально-демографический блок - вопросы о возрасте и регионе проживания респондентов для более точного распределения ответов по регионам с целью выделения разных проблем для разных регионов.
2. Когнитивный блок - восемь закрытых и полужакрытых вопросов, направленных на оценку уровня осведомленности о причинах и последствиях изменения климата, а также

на выявление субъективных оценок актуальных климатически обусловленных рисков для получения данных об уровне осведомленности населения под разными углами.

3. Адаптационный блок - два открытых вопроса, ориентированных на выявление представлений респондентов о возможных мерах адаптации к изменению климата для более точного определения наличия знаний не только о самом изменении климата, но и о методах адаптации.

4. Поведенческий блок - вопрос о готовности изменить образ жизни с целью снижения экологической нагрузки, а также заключительный вопрос о мерах, способствующих формированию экологически ответственного поведения граждан (с возможностью множественного выбора).

Для оценки степени воспринимаемого влияния климатических изменений использовалась пятибалльная шкала. Обработка данных осуществлялась с применением методов описательной статистики и сравнительного анализа.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам исследования 58 % респондентов сообщили, что обладают базовыми знаниями о последствиях и процессах изменения климата, а 35,8 % знают лишь о существовании проблемы. При этом 6,2 % не имеют представления об этом процессе (рис. 1).



Рисунок 1. Распределение ответов респондентов об осведомленности о последствиях и процессах изменения климата

Далее последовал вопрос о том считают ли что на предоставленной фотографии (рис. 2), причина таяния ледника это изменение климата или может быть любая другая причина, по типу природных факторов. На что преобладающая сторона – 82,7 % считают, что это изменение климата. Последующий после него вопрос о том, знают ли они про причины изменения климата показывает, что более углубленными знаниями об изменении климата обладают меньшее количество людей, ведь 39,5 % человек ответили «Да, достаточно известно», а остальные уже имеют более поверхностные знания либо не имеют совсем. Это говорит что люди знают лишь о самой проблеме и мало кто осведомлен о том, что вызвало проблему. На основе этого можно сказать что экологическое образование в Казахстане достигло лишь того уровня где говорится о проблеме, но не предпринимается каких либо действий, либо эти действия плохо освещены в СМИ и не доходят до простых граждан.



Рисунок 2. Сравнение Арктического ледника во временном промежутке 30 лет [34]

Несмотря на высокий уровень осведомленности о существовании проблемы изменения климата, 45,7 % опрошенных не знают о международных климатических соглашениях, таких как Парижское соглашение (рис. 3).

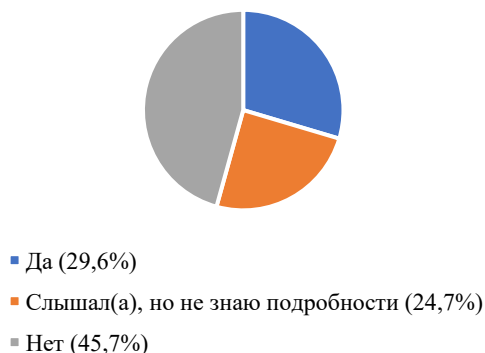


Рисунок 3. Распределение ответов респондентов об осведомленности о международных климатических соглашениях подписанных Казахстаном

Если рассматривать знания о международных климатических документах с учетом возрастной структуры (рис. 4), то наибольший уровень осведомленности отмечается среди респондентов младших возрастных категорий. При этом во всех возрастных группах наиболее частым ответом на вопрос о знании международных соглашений, обязательствах, принятых Казахстаном, был ответ «нет», что указывает на ограниченное понимание международных обязательств независимо от возраста.

Знание международных климатических соглашений имеет важное значение для населения: международные договоры по изменению климата, такие как Рамочная конвенция ООН об изменении климата (UNFCCC), служат юридической основой для разработки национальных климатических стратегий и защищают право на благоприятную окружающую среду, содействуют участию граждан в принятии экологических решений и обеспечивают доступ к экологической информации.

В условиях, когда большинство респондентов не имеют представления о таких соглашениях и конвенциях, на государственном уровне принята Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года - документ, разработанный в контексте международных обязательств страны по климатической политике и ориентированный на сокращение выбросов и адаптацию к изменению климата [35]. Согласно ответам участников опроса, 65,4 % считают, что климатические изменения представляют угрозу для их региона, что свидетельствует о восприятии масштабного влияния климатических процессов на локальный уровень.

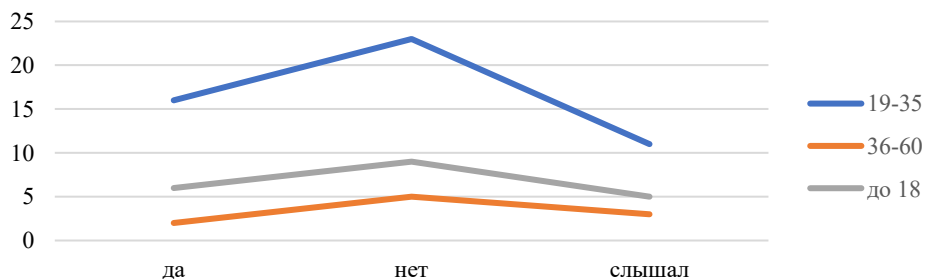


Рисунок 4. Осведомленность респондентов различных возрастных групп о международных климатических соглашениях



Рисунок 5. Распределение ответов респондентов о наиболее наблюдаемых проявлениях изменения климата

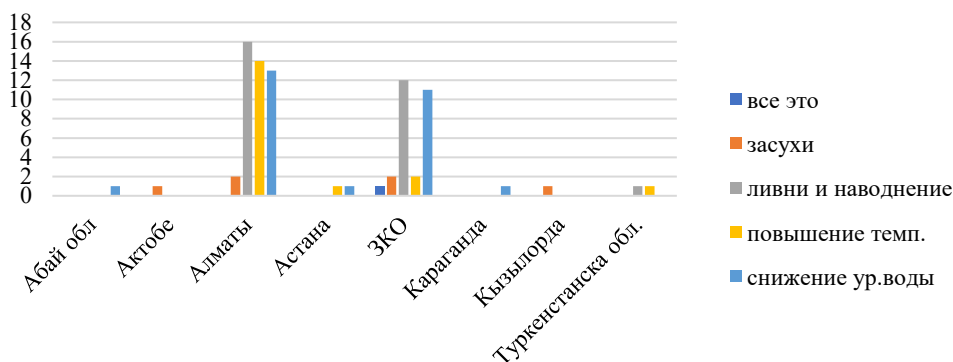


Рисунок 6. Региональные различия в восприятии проявлений изменения климата

При этом 48,1 % опрошенных готовы изменить свой образ жизни, но 9,9 % считают адаптацию сложной из-за недостатка ресурсов. На рисунке 7 представлено распределение оценок влияния изменения климата на комфортную жизнедеятельность по 5 бальной шкале. Полученные данные свидетельствуют о том, что 56,8 % респондентов ощущают изменения климата на 4-5 балла.

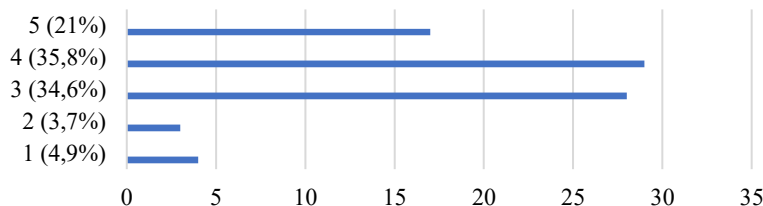


Рисунок 7. Оценка респондентами степени влияния климата на комфорт жизнедеятельности

На основании результатов анкетирования (рис. 8) респонденты наиболее часто указывали следующие меры, способствующие формированию экологически ответственного поведения: поощрение и экономическое стимулирование со стороны государства (49,4 %), экологическое воспитание в семье (49,4 %), экологическое образование в учебных заведениях (46,9 %), а также административные меры, включая наказания и штрафы (50,6 %). Эти данные позволяют выделить три направления государственной и общественной политики:

1. Экономическое стимулирование – предоставление материальных субсидий, грантов, льгот и бонусных программ для граждан и организаций, проявляющих экологически ответственное поведение.

2. Социальное признание – публичное поощрение и формирование рейтингов экологически активных субъектов.
3. Образовательные и воспитательные меры – интеграция экологической грамотности в школьное и семейное воспитание, направленная на повышение осознанности граждан относительно климатических рисков и методов адаптации.

Таким образом, использование комплексного подхода, сочетающего экономические, административные и образовательные инструменты, создает условия для перехода от поверхностной осведомленности к активным поведенческим практикам, направленным на снижение воздействия климатических изменений на жизнедеятельность населения. Был предоставлен выбор мер способствующих формированию экологически ответственного поведения граждан.

Среди респондентов, принявших участие в исследовании, наблюдается понимание проблемы изменения климата, однако значительная часть участников сталкивается с ограничениями в доступе к информации, технологиям и финансовым ресурсам. Государству необходимо усилить работу по повышению осведомленности (внедрение дополнительных факультативов по экологии в школе и ВУЗах, поддержка эко-блогеров, а также подача важной информации в простом для народа формате), расширить финансовую поддержку экологических инициатив и вовлекать граждан в принятие решений (с помощью онлайн-программ с рейтингами, баллами и наградами – это заинтересует больше чем просто лекции и обязательства; также партисипаторные проекты тоже имеют успех – это когда граждане не просто участвуют, а влияют, что создает у граждан ощущение «это наш проект»).



Рисунок 8. Предпочтительные меры формирования экологически ответственного поведения по мнению респондентов

Проведенное исследование показало, что среди опрошенных респондентов существует общее осознание климатических рисков, однако сохраняется заметный разрыв между теоретическим пониманием проблемы и готовностью к практическим действиям по адаптации. Анализ ответов выявил дефицит знаний об антропогенных причинах изменения климата, ограниченное понимание методов адаптации и барьеры, связанные с доступом к информации, финансированию и технологиям.

Результаты опроса свидетельствуют о том, что повышение климатической грамотности населения через образовательные инициативы, информационные кампании и вовлечение граждан в адаптационные проекты может способствовать постепенному переходу от поверхностной осведомленности к осознанным поведенческим практикам.

Следует подчеркнуть, что выводы основаны на данных анкетирования 81 респондента из разных регионов Казахстана и не могут быть автоматически распространены на всё население страны. Любые упоминания о стратегических или технологических мерах (например, управление водными ресурсами, устойчивое сельское хозяйство, зеленые технологии) рассматриваются здесь исключительно как обзор существующих исследований и международного опыта, а не как прямой результат проведенного опроса.

Таким образом, исследование позволяет выявить меры способствующие формированию экологически ответственного поведения у граждан и потенциальные направления для повышения осведомленности населения о климатических рисках и методах адаптации, а также подчеркивает необходимость дальнейших комплексных исследований на более репрезентативных выборках для формулирования практических рекомендаций климатической политики страны.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенного исследования установлено, что уровень общей осведомленности относительно высокий, но поверхностный: 58 % респондентов имеют базовые знания, 35,8 % знают только о существовании проблемы. Только 39,5 % знают причины изменения климата. Это означает, что 93,8 % имеют хотя бы общее представление, но глубина знаний в особенности пониманий причин низка. То есть большинство обладает фрагментарными знаниями, что подтверждает разрыв между информированностью и пониманием.

Осознание проблемы высокое, но знания о политике является низким: 82,7 % связывают таяние ледников с изменением климата, но 45,7 % не знают о международных соглашениях. Можно прийти к заключению, что люди понимают проблему, но не осознают механизмов ее решения на уровне государства.

Климат воспринимается опрашиваемыми как реальная угроза для своего региона (65,4 %) и 56,8 % оценивают влияние на жизнь на 4...5 балла. Результаты по этим двух вопросам говорят о высоком уровне личного восприятия риска. А из конкретных наблюдаемых климатических изменений является наводнения и ливни (35,8 %), снижение уровня воды (33,3 %) и рост температуры, что формирует восприятие климатической нестабильности. Если говорить о готовности к адаптации, то она присутствует, но является неустойчивой. А именно 51,9 % респондентов считают адаптацию возможной, но 37 % сомневаются или не верят. То есть почти каждый третий не уверен в эффективности адаптации. Вдобавок существует потенциал поведенческих изменений. 48,1 % готовы изменить свой образ жизни, а 9,9 % не готовы из-за нехватки ресурсов. Вместе с этим только что упомянутом барьером также были выявлены основные барьеры адаптации, среди которых: нехватка финансирования, недостаток информации, ограниченный доступ к технологиям слабая государственная поддержка. Что означает, что проблема заключается не в нежелании, а в условиях.

Как наиболее эффективными мерами (по мнению респондентов) были выявлены: штрафы и административные меры (50,6 %), экономическое стимулирование (49,4 %), семейное воспитание (49,4 %) и образование (46,9 %). Также люди поддерживают комбинацию жестких и мягких мер. Что в свою очередь является рекомендацией для государства, в случае если делать упор на этих мерах.

Исследование выявило разрыв между высокой осведомленностью и низкой практической готовностью к адаптации, обусловленную дефицитом знаний, ресурсов и институциональной поддержки. Также все вышеперечисленные идентифицированные барьеры могут рассматриваться не только как ограничения, но и как ориентиры для разработки практических рекомендаций, поскольку их устранение фактически формирует направления эффективной адаптационной политики.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

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

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация - ДЕ и ОЗ; управление данными - ДЕ; формальный анализ - ГМ; методология - ГМ; программное обеспечение - ДЕ; отслеживание ОЗ; вализация - ДЕ; написание исходного проекта - ДЕ; написание и редактирование обзора - ДЕ и ГМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shaheb R., Sarker A., Shearer S. A review on climate change impacts... // *Journal of Water and Climate Change*. – 2024. – Vol. 15, № 1. – P. 104–126.
2. Abbass K. Climate change and environmental sustainability... // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022.
3. Yuan X. Climate-smart agriculture and adaptation strategies... // *Agronomy*. – 2024. – Vol. 14, No. 7. – Article 1360. – URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/7/1360>
4. Ngcamu BC. Climate-related disaster risk and adaptation... // *Natural Hazards*. – 2023. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-023-06070-2>
5. Rezaei EE. Climate change adaptation and sustainable food systems // *Nature Reviews Earth & Environment*. – 2023. – URL: <https://www.nature.com/articles/s43017-023-00491-0>
6. Segal TR. Climate change and reproductive / environmental health impacts... // *Fertility and Sterility*. – 2022. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0015028222003831>
7. Вилесов Е. Н. Физическая география Казахстана : учеб. Пособие / Е. Н. Вилесов, А. А. Науменко, Л. К. Веселова, Б. Ж. Аубекеров. – Алматы: Казак университети, 2009. – 362 с.
8. Климатические особенности Казахстана как причина проявления процессов опустынивания [Электронный ресурс] // Экологический фонд Казахстана. – 2022. – Режим доступа: <https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/08/Klimaticheskie-osobennosti-Kazahstana-kak-prichina-projavenija-processov-opustynivaniya.pdf>
9. Мамирова А. Физическая география Казахстана [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: https://aem.az/uploads/files/2022-08/1661840219_08-mamirova-fizicheskaya-geografiya-kazahstana-2015.pdf
10. Чередниченко, А. В. Климат Казахстана как отклик на глобальные изменения / А. В. Чередниченко // *Гидрометеорология и экология*. — 2009. — № 4. — С. 7–22. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klimat-kazahstana-kak-otklik-na-globalnye-izmeneniya> (дата обращения: 24.02.2026).
11. High and dry: Climate change, water, and the economy [Электронный ресурс] / World Bank Group. — Washington, DC: World Bank Group, 2016. — URL: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/a370e177-5b9d-507c-bcc4-c357f6f97c35> (дата обращения: 24.02.2026).
12. Махамбетжанов М. Ж. Влияние изменения климата... // *КиберЛенинка*. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru>
13. Борисова Е. А. Центральная Азия: дефицит воды как угроза безопасности // *КиберЛенинка*. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsentralnaya-aziya-defitsit-vody-kak-ugroza-bezopasnosti>
14. Пулатов Я.Э. Водные ресурсы бассейна Аральского моря: вододеление и пути решения дефицита воды // *КиберЛенинка*. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodnye-resursy-basseyna-aralskogo-morya-vododelenie-i-puti-resheniya-defitsita-vody/viewer>
15. Мальковский И.М. Водная безопасность Республики Казахстан: проблемы и решения // *КиберЛенинка*. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodnaya-bezopasnost-respubliki-kazahstan-problemy-i-resheniya/viewer>
16. Туленова А. М., Айгаринова Г. Т. Правовая охрана земельных ресурсов... // *Вестник КазНУ*. – 2022. – № 3. – С. 76–85.
17. Экологические проблемы и устойчивое развитие Казахстана [Электронный ресурс] // Казахский агротехнический университет. – Режим доступа: https://kazatu.edu.kz/assets/i/science/sf13_ekolog_113.pdf
18. Hallegatte, S. Strategies to adapt to an uncertain climate / S. Hallegatte // *Global Environmental Change*. — 2009. — Vol. 19, №2. — P. 240–247. — DOI: [10.1016/j.gloenvcha.2008.12.003](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.12.003).
19. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Intergovernmental Panel on Climate Change. — Geneva: IPCC, 2014.
20. Berkhout, F. Learning to adapt: Organisational adaptation to climate change impacts / F. Berkhout, J. Hertin, D. M. Gann // *Climatic Change*. — 2006. — Vol. 78, № 1. — P. 135–156. — DOI: [10.1007/s10584-006-9089-3](https://doi.org/10.1007/s10584-006-9089-3).
21. Toward climate resilient economic development in Kazakhstan [Электронный ресурс] / Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). — Bonn: GIZ, 2022. — URL: <https://www.giz.de/en/downloads/giz2022-en-toward-climate-resilient-economic-development-in-kazakhstan.pdf> (дата обращения: 24.02.2026).
22. Knight, K. W. Public awareness and perception of climate change: A quantitative cross-national study / K. W. Knight // *Environmental Sociology*. — 2016. — Vol. 2, № 1. — P. 101–113. – DOI: [10.1080/23251042.2015.1120857](https://doi.org/10.1080/23251042.2015.1120857).
23. Olmos, S. Vulnerability and adaptation to climate change: Concepts, issues, assessment methods / S. Olmos. — Climate Change Knowledge Network (CCKN), 2001.
24. Adger, W. N. Successful adaptation to climate change across scales / W. N. Adger, N. W. Arnell, E. L. Tompkins // *Global Environmental Change*. — 2005. — Vol. 15, № 2. — P. 77–86. — DOI: [10.1016/j.gloenvcha.2004.12.005](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.005).
25. Regional climate change adaptation strategy in Central Asia [Электронный ресурс] / Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). — Bonn : GIZ, 2021. — URL: https://www.giz.de/en/downloads/Regional_Climate_Change_Adaptation_Strategy_in_Central_Asia.pdf (дата обращения: 24.02.2026).
26. UNDP study: 80% of people in Kazakhstan are ready to contribute to tackle climate change and help save the planet [Электронный ресурс] / United Nations Development Programme. — 2022. — URL: <https://www.undp.org/kazakhstan/news/undp-study-80-people-kazakhstan-ready-contribute-tackle-climate-change-and-help-save-planet> (дата обращения: 24.02.2026).

27. Mavrodieva, A. V. Role of social media as a soft power tool in raising public awareness and engagement in addressing climate change / A. V. Mavrodieva, O. K. Rachman, V. B. Harahap, R. Shaw // *Climate*. — 2019. — Vol. 7, № 10. — Art. 122. — DOI: [10.3390/cli7100122](https://doi.org/10.3390/cli7100122) (дата обращения: 24.02.2026).
28. Republic of Kazakhstan: Climate adaptation options and opportunities in the agriculture sector / World Bank. — Washington, DC : World Bank Group, 2024.
29. Batkhishig, O. Comparison of land degradation and desertification in Mongolia / O. Batkhishig // *Air, Soil and Water Research*. — 2013. — Vol. 6. — P. 129–140. — DOI: [10.4137/ASWR.S13032](https://doi.org/10.4137/ASWR.S13032).
30. Paris Climate Action Plan: Towards a carbon neutral city and 100% renewable energy by 2050 [Электронный ресурс] / City of Paris. — Paris, 2018. — URL: <https://www.paris.fr/en/pages/paris-is-committed-to-the-climate-2030> (дата обращения: 24.02.2026).
31. Создание искусственных ледников: уникальный метод адаптации к изменению климата путем высотного сбора и сохранения воды из горного источника в виде вертикально замороженной ледяной башни [Электронный ресурс]. — Рим : ФАО, 2021. — URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d0d79770-a3b9-47ea-8feb-6afc7e6b9828/content> (дата обращения: 17.01.2026).
32. Annual report 2017 (Brief version) [Электронный ресурс] / Central Asia Regional Economic Cooperation Program (CAREC). — 2018. — URL: https://carececo.org/publications/отчеты/год_отч_кратк_вер_ENG_small.pdf (дата обращения: 24.02.2026).
33. Education for sustainable development goals: Learning objectives [Электронный ресурс] / UNESCO. — Paris : UNESCO, 2017. — URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444> (дата обращения: 24.02.2026).
34. 10 снимков со спутников от NASA [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://anons.uz/ru/news/10-snimkov-so-sputnikov-ot-nasa> (дата обращения: 21.03.2026).
35. Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года : Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 г. № 121 [Электронный ресурс]. — Астана, 2023. — URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121> (дата обращения: 24.02.2026).

REFERENCES

1. Shaheb, R., Sarker, A., & Shearer, S. (2024). A review on climate change impacts, models and its implications. *Journal of Water and Climate Change*, 15(1), 104–126.
2. Abbass, K. (2022). Climate change and environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
3. Yuan, X. (2024). Climate-smart agriculture and adaptation strategies. *Agronomy*, 14(7), 1360. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071360>
4. Ngcamu, B. C. (2023). Climate-related disaster risk and adaptation. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06070-2>
5. Rezaei, E. E. (2023). Climate change adaptation and sustainable food systems. *Nature Reviews Earth & Environment*. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00491-0>
6. Segal, T. R. (2022). Climate change and reproductive and environmental health impacts. *Fertility and Sterility*. [https://doi.org/10.1016/S0015-0282\(22\)00383-1](https://doi.org/10.1016/S0015-0282(22)00383-1)
7. Vilesov, E. N., Naumenko, A. A., Veselova, L. K., & Aubekero, B. Zh. (2009). *Fizicheskaya geografiya Kazakhstana* [Physical geography of Kazakhstan]. Almaty: Qazaq universiteti. [in Russian]
8. Climatic features of Kazakhstan as a cause of desertification processes. (2022). *Ecological Fund of Kazakhstan*. <https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/08/Klimaticheskie-osobennosti-Kazahstana-kak-prichina-projavlenija-processov-opustynivaniya.pdf>
9. Mamirova, A. (2015). *Fizicheskaya geografiya Kazakhstana*. https://aem.az/uploads/files/2022-08/1661840219_08-mamirova-fizicheskaya-geografiya-kazahstana-2015.pdf
10. Cherednichenko, A. V. (2009). *Klimat Kazakhstana kak otklik na global'nye izmeneniya* [Climate of Kazakhstan as a response to global changes]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, (4), 7–22. [in Russian]
11. World Bank Group. (2016). *High and dry: Climate change, water, and the economy*. Washington, DC: World Bank.
12. Makhambetzhannov, M. Zh. (n.d.). Vliyanie izmeneniya klimata na pastbishchnye ekosistemy Atyrauskoy oblasti Respubliki Kazakhstan. *CyberLeninka*. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-izmeneniya-klimata-na-pastbishchnye-ekosistemy-atyrauskoy-oblasti-respubliki-kazahstan>
13. Borisova, E. A. (n.d.). Tsentralnaya Aziya: defitsit vody kak ugroza bezopasnosti. *CyberLeninka*. <https://cyberleninka.ru/article/n/tsentralnaya-aziya-defitsit-vody-kak-ugroza-bezopasnosti>
14. Pulatov, Ya. E. (n.d.). Vodnye resursy basseyna Aralskogo morya: vododelenie i puti resheniya defitsita vody. *CyberLeninka*. <https://cyberleninka.ru/article/n/vodnye-resursy-basseyna-aralskogo-morya-vododelenie-i-puti-resheniya-defitsita-vody>
15. Malkovskiy, I. M. (n.d.). Vodnaya bezopasnost Respubliki Kazakhstan: problemy i resheniya. *CyberLeninka*. <https://cyberleninka.ru/article/n/vodnaya-bezopasnost-respubliki-kazahstan-problemy-i-resheniya>
16. Tulenova, A. M., & Aigarinova, G. T. (2022). Pravovaya okhrana zemelnykh resursov ot degradatsii v usloviyakh globalnogo potepeniya i izmeneniya klimata. *Vestnik Kazakhskogo natsionalnogo universiteta imeni al-Farabi. Seriya yuridicheskaya*, (3), 76–85.

17. Environmental problems and sustainable development in Kazakhstan. (n.d.). Kazakh Agro Technical University. https://kazatu.edu.kz/assets/i/science/sf13_ekolog_113.pdf
18. Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate. *Global Environmental Change*, 19(2), 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.12.003>
19. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Geneva: IPCC.
20. Berkhout, F., Hertin, J., & Gann, D. M. (2006). Learning to adapt: Organisational adaptation to climate change impacts. *Climatic Change*, 78(1), 135–156. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9089-3>
21. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2022). Toward climate resilient economic development in Kazakhstan. Bonn: GIZ.
22. Knight, K. W. (2016). Public awareness and perception of climate change: A quantitative cross-national study. *Environmental Sociology*, 2(1), 101–113. <https://doi.org/10.1080/23251042.2015.1120857>
23. Olmos, S. (2001). Vulnerability and adaptation to climate change: Concepts, issues, assessment methods. Climate Change Knowledge Network.
24. Adger, W. N., Arnell, N. W., & Tompkins, E. L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 15(2), 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.005>
25. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2021). Regional climate change adaptation strategy in Central Asia. Bonn: GIZ.
26. United Nations Development Programme. (2022, September). UNDP study: 80% of people in Kazakhstan are ready to contribute to tackle climate change and help save the planet.
27. Mavrodieva, A. V., Rachman, O. K., Harahap, V. B., & Shaw, R. (2019). Role of social media as a soft power tool in raising public awareness and engagement in addressing climate change. *Climate*, 7(10), Article 122. <https://doi.org/10.3390/cli7100122>
28. World Bank. (2024). Republic of Kazakhstan: Climate adaptation options and opportunities in the agriculture sector. Washington, DC: World Bank.
1. Batkhishig, O. (2013). Comparison of land degradation and desertification in Mongolia. *Air, Soil and Water Research*, 6, 129–140. <https://doi.org/10.4137/ASWR.S13032>
2. City of Paris. (2018). Paris climate action plan: Towards a carbon neutral city and 100% renewable energy by 2050.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Sozdanie iskusstvennykh lednikov: unikal'nyi metod adaptatsii k izmeneniyu klimata putem vysotnogo sbora i sokhraneniya vody iz gornogo istochnika v vide vertikal'no zamorozhennoi ledyanoi bashni [Creation of artificial glaciers: A unique method of climate change adaptation through high-altitude water collection and storage in the form of a vertically frozen ice tower]. Rome: FAO. [in Russian]
4. Central Asia Regional Economic Cooperation Program (CAREC). (2018). Annual report 2017 (Brief version).
5. UNESCO. (2017). Education for sustainable development goals: Learning objectives. Paris: UNESCO.
6. 10 снимков со спутников от NASA. (n.d.). Anons. <https://anons.uz/ru/news/10-snimkov-so-sputnikov-ot-nasa>
7. President of the Republic of Kazakhstan. (2023). Ob utverzhenii Strategii dostizheniya uglerodnoi neutral'nosti Respubliki Kazakhstan do 2060 goda (Ukaz No. 121 ot 2 fevralya 2023 g.) [On approval of the Strategy for achieving carbon neutrality of the Republic of Kazakhstan until 2060 (Decree No. 121, February 2, 2023)]. Astana. [in Russian]

ҚАЗАҚСТАН ХАЛҚЫНЫҢ КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІ ЖӘНЕ ОҒАН БЕЙІМДЕЛУ ТӘСІЛДЕРІ ТУРАЛЫ ХАБАРЛЫҚ ДЕҢГЕЙІН ТАЛДАУ

Дильназ К. Елеусинова*, Ольга А. Зубова т.ғ.к., Гульдана М. Минжанова х.ғ.к.

Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; yeleusinovadilnaz@gmail.com (ДКЕ), Zubova.Olga@kaznu.kz (ОАЗ), guldana.mg@gmail.com (ГММ)

*Автор корреспонденциясы: Дильназ Елеусинова yeleusinovadilnaz@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Климаттың өзгеруі, халықтың хабардарлығы, бейімделу, Қазақстан, жаһандық жылыну, сауалнама жүргізу, экожүйе, орнықтылық, климаттық тәуекелдер, халықаралық тәжірибе

Мақала жайында:

Алынды: 22.01.2026

АБСТРАКТ

Мақалада Қазақстандағы заманауи климаттық өзгерістерді халықтың қабылдауы және олардың өмір сүру қызметіне әсері 81 респондент қатысқан социологиялық сауалнама нәтижелері негізінде зерттеледі. Қоғамның салыстырмалы түрде жоғары деңгейдегі хабардарлығы (58 %) анықталғанымен, тек 39,5 %-ы терең білімге ие екені көрсетілген, бұл экологиялық сауаттылықтың үстірт сипатын білдіреді. Соған қарамастан, респонденттердің 65,4 %-ы климаттық өзгерістерді қауіп ретінде қабылдайды, алайда бейімделуге дайындық деңгейі шектеулі болып отыр (48,1 %). Анықталған негізгі кедергілер - ақпараттың, қаржыландырудың және технологиялардың жетіспеушілігі -

Қайта қаралды: 04.05.2026
Қабылданды: 23.06.2026
Жарияланды: 01.07.2026

ұсыныстардың негізгі бағыттарын айқындайды. Халықтың қатысу деңгейін арттыру үшін білім беру, экономикалық және әкімшілік шараларды қамтитын кешенді тәсілдің қажеттілігі негізделеді.

ANALYSIS OF THE KAZAKHSTAN POPULATION'S AWARENESS OF CLIMATE CHANGE AND WAYS OF ADAPTING TO IT

Dilnaz Yeleussinova*, Olga Zubova candidate of technical science, Guldana Minzhanova candidate of chemical sciences

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; yeleusinovadilnaz@gmail.com (DY), Zubova.Olga@kaznu.kz (OZ), guldana.mg@gmail.com (GM)

*Author correspondent: Dilnaz Yeleussinova yeleusinovadilnaz@gmail.com

KEY WORDS

Climate change, public awareness, adaptation, Kazakhstan, global warming, survey, ecosystem, resilience, climate risks, international experience

About article:

Received: 22.01.2026
Revised: 04.05.2026
Accepted: 23.06.2026
Published: 01.07.2026

ABSTRACT

The article examines public perceptions of contemporary climate change in Kazakhstan and assesses its impact on livelihoods based on the results of a sociological survey of 81 respondents. While the overall level of public awareness is relatively high (58 %), only 39,5 % of respondents demonstrate in-depth knowledge, indicating a predominantly superficial level of environmental literacy. Despite this, 65,4 % perceive climate change as a significant threat; however, the level of readiness for adaptation remains limited (48,1 %). The identified barriers - namely insufficient information, limited funding, and a lack of technological resources - shape the key areas for policy recommendations. The study substantiates the need for a comprehensive approach that integrates educational, economic, and administrative measures aimed at increasing public engagement.

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



Научная статья

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАЗАХСТАНА

Талшын Р. Оразбаева¹ , Азамат С. Мадибеков¹  PhD, ассоциированный профессор, Кузу Л. Садулла² 
PhD, ассоциированный профессор

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; orazbayeva.talshyn@gmail.com (ТРО), madibekov@mail.ru (АСМ);

²Стамбульский Технический Университет, г. Стамбул, Турция, kuzul@itu.edu.tr (КСЛ)

*Автор корреспонденции: Талшын Р. Оразбаева, orazbayeva.talshyn@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Снежный покров, экологический риск, тяжелые металлы, Igeo, PERI, техногенная нагрузка, юго-восток Казахстана

АБСТРАКТ

В статье представлена оценка экологического риска, связанного с загрязнением снежного покрова тяжелыми металлами (Cd, Pb, Cu, As) на трех контрастных станциях юго-востока Казахстана (Алматы-Агро, Текели, Мынжилки) за период 2005...2024 гг. Снежный покров рассматривается как эффективный индикатор сезонной техногенной нагрузки. Для оценки степени загрязнения и угрозы для окружающей среды применены индексы геоаккумуляции (Igeo), потенциального экологического риска (PERI) и суммарного коэффициента загрязнения (Zc). Установлено, что максимальные уровни загрязнения и риска зафиксированы в зоне городской агломерации (Алматы-Агро), где значения RI достигали 600, а Igeo по кадмию и свинцу превышали 4,0, что соответствует «очень сильному» загрязнению. В Текели значения характеризуются умеренно-высоким уровнем риска, обусловленным локальными источниками эмиссии. Высокогорная станция Мынжилки в основном сохраняет фоновые характеристики, за исключением отдельных сезонов с эпизодическими подъемами риска. Полученные результаты подчеркивают пространственную мозаичность загрязнения и подтверждают значимость снегового покрова в качестве индикатора антропогенного воздействия.

По статье:

Получено: 27.01.2026

Пересмотрено: 30.03.2026

Принято: 23.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

1. ВВЕДЕНИЕ

Сезонный снежный покров в умеренно-континентальном климате юго-восточного Казахстана важный природный компонент, выполняющий как климаторегулирующую, так и индикаторную функцию. В течение холодного сезона снежный покров аккумулирует широкий спектр загрязняющих веществ (твердые аэрозоли, ионные примеси, стойкие органические соединения и тяжелые металлы), поступающих в атмосферу от локальных и трансграничных источников и осаждающихся в результате сухих и влажных процессов. Благодаря высокой сорбционной способности и длительному периоду накопления, снежный покров является эффективным средством для оценки текущего уровня загрязнения атмосферы и тенденций его изменения. Особенно актуален такой подход для регионов, сочетающих высокую плотность населения, активную промышленную деятельность и сложные метеорологические и орографические условия, к которым относится юго-восток Казахстана, охватывающий Алматинскую и область Жетісу.

В последние десятилетия использование снежного покрова в качестве объекта экологического мониторинга стало предметом многочисленных исследований. В Канаде [1] и Норвегии [2] выявлена высокая пространственная чувствительность снегового покрова к выбросам ТЭЦ и нефтехимических производств. В Китае снег активно используется для оценки степени загрязнения урбанизированных территорий и прилегающих водно-болотных экосистем [3...4]. В странах Восточной Европы и Центральной Азии, включая Казахстан, проблема загрязнения снега тяжелыми металлами приобретает все большую актуальность в контексте климатических изменений, урбанизации и роста антропогенного давления на природные среды [5...6]. Однако большая часть работ посвящена анализу концентраций отдельных элементов, в то время как комплексная оценка риска и пространственная дифференциация загрязнений по экологическим категориям выполняется крайне ограниченно.

Методика оценки потенциального экологического риска (PERI) по Хакансону [7], а также индекс геоаккумуляции (Igeo) по Мюллеру [8] позволяют выйти за рамки простой фиксации концентраций загрязнителей и перейти к обоснованной оценке степени угрозы для окружающей среды. Данные методы учитывают не только содержание металлов, но и их токсикологическую значимость, подвижность, биодоступность и способность к долговременному накоплению в экосистемах. Применение PERI и Igeo в сочетании с коэффициентами суммарного загрязнения (Zc) обеспечивает комплексный анализ техногенной нагрузки, позволяющий выделить экологически уязвимые участки, определить источники загрязнения и проследить межгодовые тенденции.

Для цитирования:

Оразбаева Т.,
Мадибеков А., Садулла К.,
Оценка экологического
риска загрязнения
снежного покрова
тяжелыми металлами в
Юго-Восточной части
Казахстана//
Гидрометеорология и
экология, 122 (2), 2026,
199-213.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование основано на результатах наблюдений за химическим составом снежного покрова, проводимых РГП «Казгидромет» в течение 2005...2024 гг. Объектами мониторинга выступили три репрезентативные станции юго-востока Казахстана, различающиеся по природно-географическим и техногенным условиям:

- станция Алматы-Агро расположена в зоне плотной урбанизации и характеризуется интенсивной транспортной и хозяйственной деятельностью;
- Мынжилки представляет высокогорный ландшафт с минимальным уровнем антропогенного вмешательства;
- Текели, является типичной долинной промышленной территорией с развитой горнорудной и металлургической инфраструктурой.

Для комплексной оценки загрязнения были использованы интегральные показатели. Интегральная оценка загрязнения природных сред требует применения показателей, отражающих совокупное воздействие нескольких элементов на окружающую среду. Одним из таких инструментов служит коэффициент суммарного загрязнения (Kc, Zc), рассчитываемый как сумма коэффициентов концентрации для совокупности элементов [9...10]. Показатель отражает общий уровень химической нагрузки, не учитывая различий в токсичности между металлами.

Расчет суммарного показателя загрязнения снега проведен по следующим формулам (1), (2):

$$Kc = \frac{ci}{cф} \quad (1)$$

$$Zc = \sum Kc - (n - 1) \quad (2)$$

где, Kc – коэффициент концентрации загрязняющего вещества;
Ci – концентрация загрязняющего вещества;
Cф – концентрация загрязняющего вещества в фоновой точке;
n – число определяемых элементов.

На основе полученных суммарных показателей загрязнения снега были оценены согласно оценочным шкалам [11...12] (таблица 1).

Таблица 1Уровни загрязнения СП (Z_c) металлами

Уровень	Суммарный показатель загрязнения СП
Допустимый (фоновый)	< 32
Низкий	32...64
Средний	64...128
Высокий	128...256
очень высокий	> 256

Оценка опасности загрязнения снега металлами по соответствующим показателям, отражающим дифференциацию загрязнения области, проводилась по ориентировочным оценочной шкале [11] (таблица 2).

Таблица 2Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения СП по суммарному показателю загрязнения (Z_c)

Уровень	Суммарный показатель загрязнения СП (Z_c)	Категории загрязнения СП
Допустимый (фоновый)	< 32	Неопасный
Низкий	32...64	Умеренно опасный
Средний	64...128	Опасный
Высокий	128...256	Очень опасный
очень высокий	> 256	Чрезвычайно опасный

Метод Хакансона (Potential Ecological Risk Index) широко применяется в мировой практике для оценки потенциального экологического риска [7]. Его применение позволяет не только выявить локальные очаги загрязнения, но и определить суммарную нагрузку на экосистемы, интегрируя вклад каждого элемента с учетом его токсичности.

Для дополнительной характеристики уровня загрязнения используется индекс геоаккумуляции (I_{geo}), основанный на сравнении фактических концентраций металлов с геохимическим фоном [8,13...15]. Он дает возможность классифицировать снежный покров по уровням загрязнения – от фоновых значений до экстремально высоких нагрузок.

Совместное применение метода Хакансона и индекса I_{geo} обеспечивает комплексный подход к оценке экологического состояния региона, что позволяет определить критические зоны экологического риска, выделить территории с различной степенью техногенной нагрузки и более обоснованно судить о степени устойчивости экосистем юго-восточной части Казахстана. В рамках данного подхода на первом этапе были рассчитаны коэффициент загрязнения (C_f) по формуле (3):

$$C_f i = \frac{C_i}{C_{фон}} \quad (3)$$

где C_i – фактическая концентрация элемента в исследуемой пробе, а $C_{фон}$ – фоновая концентрация данного элемента (для снежного покрова были использованы минимальные региональные значения).

На втором этапе по формуле (4) был определен индивидуальный индекс экологического риска (E_r)

$$E_r i = C_f i \cdot T_i \quad (4)$$

где T_i – токсикологический коэффициент (коэффициент токсичности) элемента, отражающий его потенциальную опасность для экосистем. В расчетах были использованы и адаптированы значения, предложенные Хакансоном: Cd = 30, Pb = 5, Cu = 5, Ni = 5, Co = 5, Cr = 2, Zn = 1, Mn = 1.

Суммарный показатель экологического риска (RI) был определен по формуле (5) как сумма всех индивидуальных рисков:

$$RI = \sum Eri \quad (5)$$

Классификация по Хакансону была оценена по градации суммарного риска (таблица 3).

Таблица 3

Градация суммарного риска (RI)

RI (значение)	Категория риска
<150	Низкий
150...300	Умеренный
300...600	Высокий
≥600	чрезвычайно высокий

Для сопоставления полученных данных по снегу, также был рассчитан индекс геоаккумуляции (I_{geo}), предложенный Мюллером (таблица 4). Индекс вычисляется по формуле (6):

$$I_{geo} = \log_2\left(\frac{C_i}{1,5 \cdot C_{фон}}\right) \quad (6)$$

где C_i – фактическая концентрация элемента, $C_{фон}$ – его фоновая концентрация, коэффициент 1,5 учитывает возможные колебания фонового уровня, связанные с естественной вариабельностью.

Таблица 4

Классификация по индексу геоаккумуляции (I_{geo} , по Мюллеру)

I_{geo} (значение)	Степень загрязнения
≤0	отсутствие загрязнения
0...1	Слабое
1...2	Умеренное
2...3	Среднее
3...4	Сильное
4...5	очень сильное
>5	чрезвычайно сильное

Таким образом, сочетание метода Хакансона и индекса I_{geo} обеспечивает комплексный подход: первый позволяет оценить потенциальный экологический риск с учетом токсичности металлов, второй – степень пространственной вариабельности накопления поллютантов.

Анализ рассчитанных коэффициентов загрязнения (C_f), индивидуальных индексов риска (E_i) и интегрального индекса экологического риска (RI) для снега показал сложную

и разнонаправленную картину пространственного распределения тяжелых металлов, отражающую различия в механизмах их поступления и накопления в снеге.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Интегральная оценка загрязнения по коэффициентам концентрации (Kc) и суммарному показателю загрязнения (Zc)

Интегральная оценка загрязнения снежного покрова по коэффициентам концентрации (Kc) и суммарному показателю загрязнения (Zc) позволила выявить уровень техногенного воздействия на атмосферные осадки в районе трех исследуемых станций: Алматы-Агро, Мынжилки и Текели за 2005...2024 гг. Показатели были рассчитаны на основе соотношения между фактическими концентрациями тяжелых металлов (Pb, Cu, As, Cd) в снегу и их фоновыми значениями. Индивидуальный коэффициент концентрации (Kc) отражает степень превышения содержания конкретного элемента относительно естественного уровня, в то время как Zc, это агрегированный показатель, суммирующий все Kc с поправкой на количество элементов (рисунок 1).

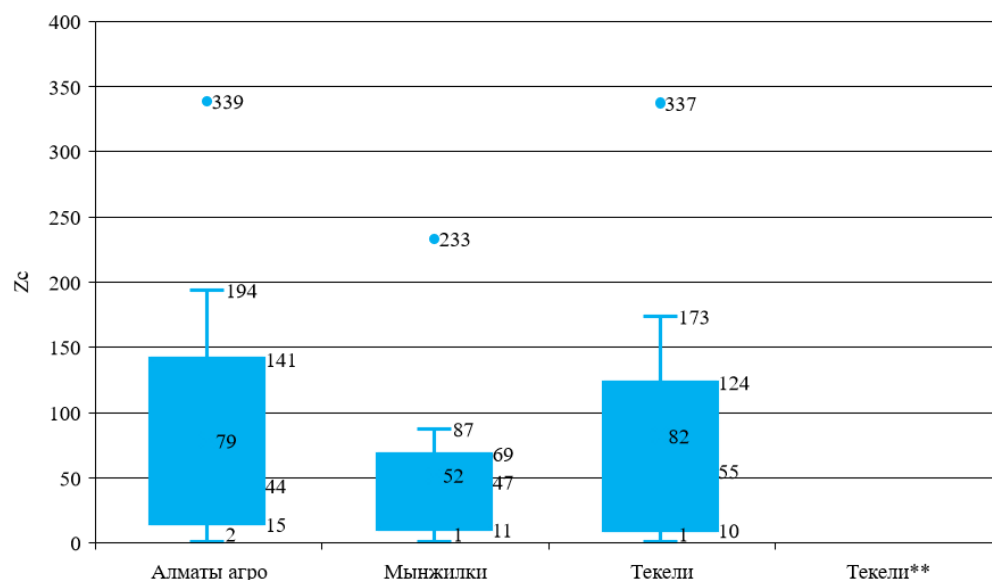


Рисунок 1. Пространственно-временное распределение суммарного показателя загрязнения снежного покрова (Zc) на станциях Алматы-Агро, Мынжилки и Текели за 2004...2024 гг.

Примечание: Текели** - не было устойчивого снежного покрова

Сравнительный анализ суммарного загрязнения снежного покрова по показателю Zc выявил ярко выраженные пространственные различия между исследуемыми участками. Данные из рисунка 1 показывают, что уровень техногенной нагрузки варьировал от фона до чрезвычайно высокого, отражая как локальные источники эмиссии, так и сезонные особенности атмосферы.

На станции Алматы-Агро зафиксированы наивысшие значения Zc, что свидетельствует о мощном техногенном прессинге. В отдельные периоды (2010...2011, 2014...2015, 2020...2021 гг.) индекс превышал отметку 220...270, а максимальные значения достигали 339, что соответствует категории «очень высокого загрязнения».

Среднее значение Z_c составило 141, с межсезонной вариабельностью от 15 до 194. Индивидуальные коэффициенты концентрации (K_c) для кадмия в отдельные периоды доходили до 12...15, по свинцу до 18...22, по меди до 5...9, по мышьяку до 4...6. Причиной столь высокого загрязнения является совокупное влияние автомобильных выбросов, коммунального отопления, строительства и неблагоприятных метеоусловий (инверсии, штиль), характерных для зимнего периода.

На станции Текели значения Z_c в среднем варьировали от 110 до 180, относясь к диапазону среднего и высокого загрязнения. В 2008...2009 и 2016...2017 гг. индекс превышал 256, что квалифицируется как чрезвычайно высокий уровень загрязнения. Среднее значение составило 124, а диапазон колебаний варьировал от 55 до 173. Максимальные K_c были зарегистрированы по меди (до 20), свинцу (до 14) и кадмию (до 10). Такие показатели, очевидно, обусловлены активностью ТЭЦ, строительных объектов и выбросами пылевых фракций. Отдельной особенностью станции является регулярное повторение сезонов с комплексным превышением по нескольким металлам, что свидетельствует о стабильно высоком уровне техногенного фона.

На высокогорной станции Мынжилки, значения Z_c в большинстве периодов были ниже 64, указывая на низкий уровень загрязнения. Однако в 2020...2021 и 2022...2023 гг. индекс поднимался до 95 и 120, приближаясь к категории среднего загрязнения. Среднее значение составило 69, с разбросом от 11 до 87. Основной вклад давали кадмий и свинец, и K_c в отдельные сезоны достигали 4...6, в то время как медь и мышьяк в основном оставались на фоновом уровне ($K_c \leq 2$). Подобные колебания могут быть связаны с переносом загрязняющих аэрозолей с подстилающих территорий при южной циркуляции, а также с редкими эпизодами локального воздействия.

Таким образом, наиболее загрязненная оказалась зона Алматы-Агро, где сочетаются все категории риска: транспорт, бытовое отопление, урбанизация. Текели демонстрирует периодическую техногенную нагрузку, связанную с промышленными источниками, а Мынжилки сохраняет статус фоновой станции, но подвержена эпизодическому загрязнению при специфических погодных условиях. Анализ Z_c подтверждает, что техногенное давление на снежный покров в пределах юго-востока Казахстана носит ярко выраженный пространственно-временной характер, что делает данный индикатор эффективным инструментом экологического мониторинга и оценки степени химической нагрузки.

2. Потенциальный экологический риск по методу Хакансона (PERI)

Потенциальный экологический риск, рассчитанный по методике Хакансона (PERI), позволил более глубоко и количественно охарактеризовать степень угрозы от загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами с учетом их токсикологических характеристик. Индекс экологического риска (RI) варьировал по станциям и годам, отражая как локальные особенности эмиссионных нагрузок, так и сезонную изменчивость атмосферной обстановки (рисунок 2).

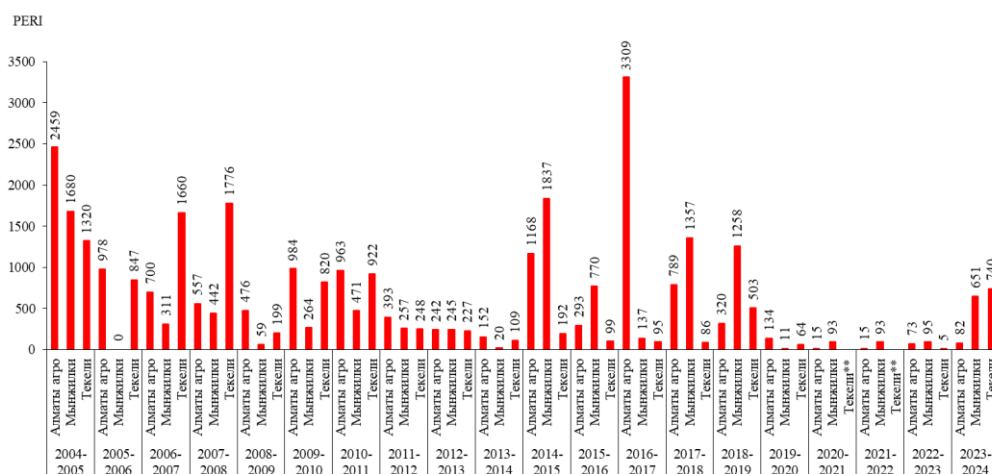


Рисунок 2. Динамика интегрального индекса потенциального экологического риска (PERI) по методу Хакансона для снежного покрова на станциях Алматы-Агро, Мынжилки и Текели в 2004...2024 гг.

Наибольшие значения PERI зафиксированы на станции Алматы-Агро, где интегральный индекс RI в ряде сезонов превышал порог 300, относясь к категории «высокий риск», а в отдельные годы (2014...2015 и 2020...2021 гг.) приближался к границе «чрезвычайно высокого риска» ($RI \geq 600$). Ведущий вклад в суммарный риск на данной станции вносил кадмий (Ег до 210), за которым следовали свинец (Ег до 120) и никель (Ег до 70). Высокие показатели этих элементов обусловлены их значительным антропогенным происхождением: кадмий и свинец поступают в атмосферу с выхлопами транспорта, сжиганием топлива, выбросами от отопительных систем и строительной деятельности. Никель, в свою очередь, ассоциируется с промышленными выбросами и присутствием аэрозолей от металлических конструкций и оборудования. Таким образом, индекс PERI в районе Алматы-Агро отражает высокую степень техногенного загрязнения, вызванного сочетанием высокой урбанизацией, транспортными и бытовыми факторами.

Станция Текели, расположенная в долинной индустриальной зоне, продемонстрировала значения RI в пределах 150...260, что соответствует диапазону «умеренного» и «высокого» экологического риска. Наибольший вклад вносят медь (Ег до 90), никель (Ег до 60) и кадмий (Ег до 100). Характер загрязнения Текели во многом определяется специфическим профилем местной промышленности – ТЭЦ, строительные и горнодобывающие объекты, дорожная деятельность, с характерным выбросом меди, свинца и продуктов горения. В условиях малой снежозапасности даже умеренные выбросы могут привести к концентрационному эффекту и формированию значительного экологического риска, особенно в инверсионные зимние периоды.

На высокогорной станции Мынжилки, несмотря на относительную удаленность от крупных промышленных источников, в ряде лет наблюдался переход значений RI в категорию «умеренного риска» ($RI 160...180$). Основным элементом риска здесь выступал кадмий (Ег до 110), с меньшими значениями по свинцу и никелю. Вероятной причиной появления значений выше фоновых на этой станции является перенос загрязняющих веществ с нижележащих территорий в условиях южных и юго-западных ветров, а также инверсионных явлений в атмосфере, способствующих аккумуляции аэрозолей в

замкнутых котловинах. Кроме того, в отдельные годы в районе Мынжилки наблюдались неблагоприятные метеоусловия (низкая температура, слабая циркуляция), способствующие накоплению загрязняющих веществ в приземном слое воздуха и, соответственно, в снежном покрове.

В целом, структура вклада элементов в PERI по станциям демонстрирует следующие особенности:

- на Алматы-Агро: кадмий (до 40 % в RI), свинец (до 35 %), никель (до 20 %), прочие элементы – незначительно;
- на Текели: кадмий (до 35 %), медь (до 30 %), никель и свинец – примерно по 15 %;
- на Мынжилки: кадмий (доминирует до 50 %), свинец (до 30 %), никель (до 15 %).

Таким образом, кадмий представляет собой основной фактор экологического риска на всех трех станциях, что подтверждает его высокую токсичность и подвижность в природной среде. Высокие значения PERI свидетельствуют об экологической уязвимости снежного покрова региона, особенно в условиях повышенной антропогенной активности, индустриальной нагрузки и неблагоприятных метеоусловий. Применение PERI позволяет не только идентифицировать проблемные зоны, но и выделить приоритетные элементы, представляющие наибольшую угрозу для экосистем юго-востока Казахстана.

3. Индекс геоаккумуляции (Igeo) и уровни загрязнения снежного покрова

Индекс геоаккумуляции (Igeo), рассчитанный для оценки степени геохимического обогащения снежного покрова тяжелыми металлами, позволил выявить значимые пространственно-временные вариации и охарактеризовать уровень техногенного воздействия на разные участки юго-востока Казахстана. Применение метода Igeo дало возможность выделить зоны приоритетного загрязнения и определить наиболее обогащенные элементы на каждой из трех метеостанций: Алматы-Агро, Мынжилки и Текели (рисунки 3...6).

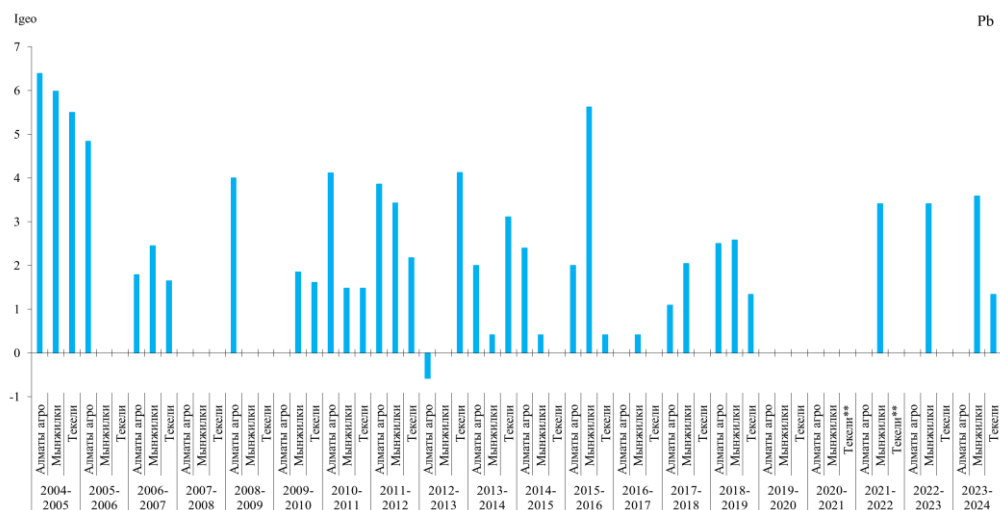


Рисунок 3. Динамика индекса геоаккумуляции (Igeo) по свинцу (Pb) в снежном покрове на станциях Алматы-Агро, Мынжилки и Текели за 2004...2024 гг.

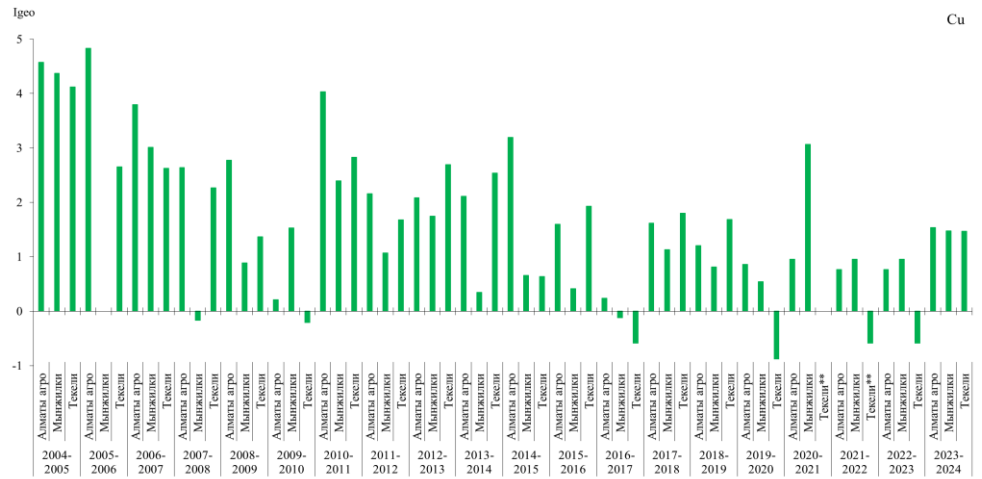


Рисунок 4. Динамика индекса геоаккумуляции (Igeo) по меди (Cu) в снежном покрове на станциях Алматы-Агро, Мынжилки и Текели за 2004...2024 гг.

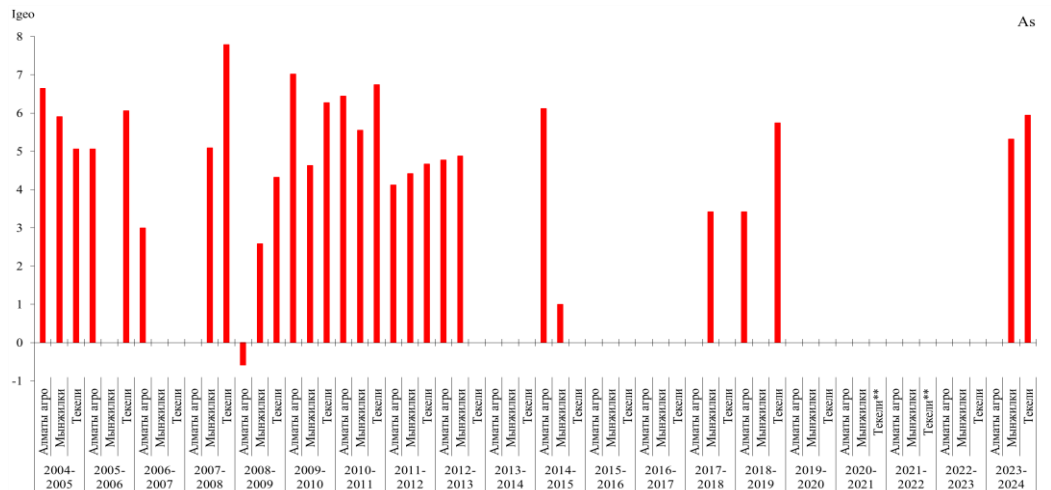


Рисунок 5. Динамика индекса геоаккумуляции (Igeo) по мышьяку (As) в снежном покрове на станциях Алматы-Агро, Мынжилки и Текели за 2004...2024 гг.

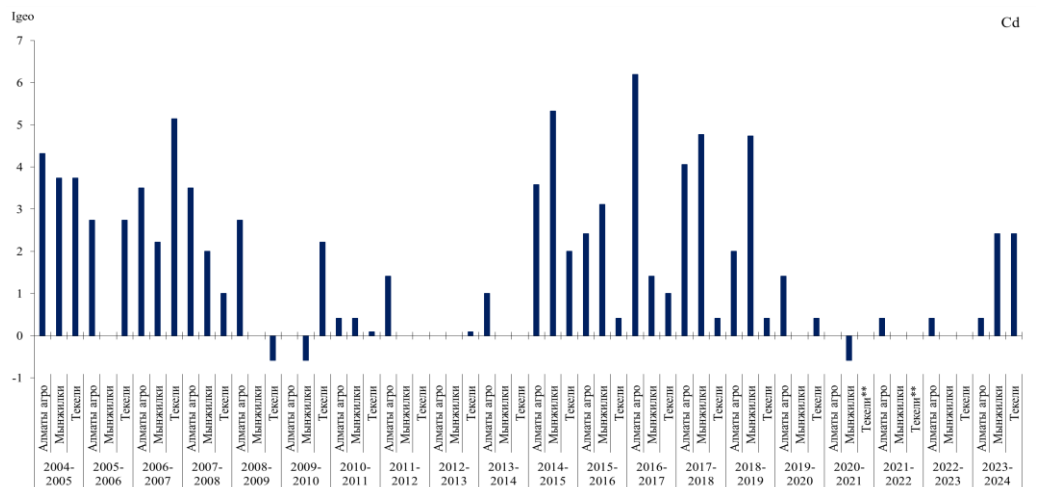


Рисунок 6. Динамика индекса геоаккумуляции (Igeo) по кадмию (Cd) в снежном покрове на станциях Алматы-Агро, Мынжилки и Текели за 2004...2024 гг.

На станции Алматы-Агро, расположенной в урбанизированной зоне предгорий, наблюдаются устойчиво высокие значения Igeo по кадмию, свинцу и мышьяку. В отдельные сезоны (2004...2005, 2014...2015, 2020...2021 гг.) значения Igeo по кадмию и свинцу превышали 4,0, что соответствует категории «очень сильного загрязнения». Особенно примечательны значения мышьяка: в 2004...2005 и 2008...2009 гг. они достигали уровня 6,5...6,7, что указывает на «чрезвычайно сильное загрязнение» по шкале Мюллера. Полученные данные свидетельствуют о регулярном поступлении в атмосферу значительных объемов токсичных аэрозолей, вероятно, связанных с городским транспортом, сжиганием углеводородного топлива, выбросами от отопительных систем, а также пылевыми потоками с территорий строительства и интенсивной хозяйственной деятельности. В то же время, по меди и никелю значения Igeo в большинстве сезонов не превышали 1...2 («слабое-умеренное загрязнение»), что может свидетельствовать о менее активном участии этих элементов в сезонной аэрозольной нагрузке на атмосферу.

На Текели, промышленной станции, локализованной в долине с выраженной металлургической и энергетической активностью, также фиксируются высокие значения Igeo, особенно по меди, кадмию и мышьяку. Так, в сезонах 2009...2010 гг. и 2016...2017 гг. значения Igeo по меди составили до 3,3...3,5, что соответствует «сильному загрязнению». Для кадмия максимальные значения достигали 3,7 в 2012...2013 гг., а для мышьяка 7,7 в 2008...2009 гг., что указывает на экстремальное загрязнение в ряде сезонов. Вероятными источниками загрязнения являются локальные выбросы от объектов энергетики (в том числе ТЭЦ), предприятий цветной металлургии и перерабатывающих производств. Кроме того, долинное расположение станции способствует аккумуляции загрязняющих веществ при слабой вентиляции и инверсионных условиях. Свинец и никель варьировали в пределах Igeo 1,5...2,8, что соответствует «умеренному» и «среднему» загрязнению. Такие значения отражают смешанный вклад как локальных источников, так и возможного регионального переноса загрязнителей.

На высокогорной станции Мынжилки, расположенной на высоте более 3000 м над уровнем моря, значения Igeo по всем исследуемым металлам в основном не превышали 1,0, что соответствует «слабому загрязнению» или его отсутствию. Исключения фиксировались в отдельные сезоны (2018...2019 и 2022...2023 гг.), когда значения по кадмию и свинцу достигали 1,5...2,0, указывая на «умеренное загрязнение». Такие эпизоды вероятно связаны с переносом загрязняющих веществ из нижележащих урбанизированных районов при устойчивом южном или юго-западном направлении ветра. Медь и цинк на данной станции, как правило, сохраняли значения Igeo ниже 1, оставаясь в пределах фоновых уровней, что подтверждает малую техногенную нагрузку в условиях высокогорья и значительную роль атмосферы как среды распространения загрязнения.

Таким образом, использование индекса геоаккумуляции позволило объективно оценить пространственную мозаичность техногенного воздействия и выделить наиболее уязвимые зоны юго-востока Казахстана. Результаты подтверждают значимость снежного покрова как индикатора сезонных изменений загрязнения и подчеркивают важность продолжения комплексного мониторинга химического состава снега для своевременного выявления экологических угроз.

Результаты многолетнего анализа снежного покрова на станциях Алматы-Агро, Мынжилки и Текели выявили выраженную пространственно-временную

дифференциацию уровня загрязнения тяжелыми металлами и связанного с этим экологического риска. Совокупное использование показателей коэффициента концентрации (Кс), суммарного загрязнения (Zс), индекса геоаккумуляции (Igeo) и потенциального экологического риска (PERI) позволило получить целостную картину масштабов техногенного давления на сезонные осадки юго-востока Казахстана.

Наибольшую нагрузку по всем показателям демонстрирует станция Алматы-Агро, что обусловлено плотной застройкой, активным транспортом, высокой долей индивидуального отопления и неблагоприятными метеоусловиями (инверсии, слабая циркуляция воздуха). Здесь в отдельные сезоны значения Zс достигали 339, PERI – 2459, Igeo по кадмию и свинцу превышал 4,0, что соответствует уровням «очень высокого» загрязнения и «чрезвычайного» риска. Особенно значимыми элементами, формирующими нагрузку, выступают кадмий, свинец и медь, чья токсичность и подвижность в условиях урбанизированной среды повышают вероятность их аккумуляции в снеге. Данные элементы также продемонстрировали наивысшие значения Eg и Cf, подтверждая важность учета их индивидуального вклада при экологическом анализе.

Текели, как индустриальный узел, характеризуется устойчивым загрязнением с регулярными эпизодами повышенного содержания меди и кадмия. Средние значения Zс (82) и PERI (740) указывают на стабильный уровень загрязнения, классифицируемый как «средний» и «высокий» в отдельные годы. Как показано на рисунке 4, Igeo по меди, а также PERI отчетливо прослеживаются пики в сезонах, сопряженных с активной эксплуатацией промышленных объектов. Частота превышений по всем показателям в Текели выше, чем на Мынжилки, но ниже, чем в Алматы, что подтверждает его промежуточное положение между фоновыми и урбанизированными условиями.

Станция Мынжилки демонстрирует преимущественно фоновый уровень загрязнения. Однако эпизодические всплески по PERI (до 337), Zс (до 120) и Igeo по кадмию и свинцу (до 2) свидетельствуют о воздействии трансграничного переноса загрязняющих веществ или кратковременных инверсионных явлений, что особенно выражено в 2020...2023 гг., что может быть связано с метеоаномалиями и увеличением городской эмиссии. Таким образом, Мынжилки, несмотря на свою высокогорную локализацию, не является полностью изолированной от техногенных влияний, особенно при южной и юго-западной циркуляции воздушных масс.

Пространственная структура загрязнения снежного покрова, отраженная в графиках и расчетах, демонстрирует, что максимальная степень техногенного воздействия зафиксирована вблизи урбанизированных и индустриальных центров. Заметная межгодовая изменчивость показателей (особенно PERI и Igeo) подчеркивает важность многолетнего мониторинга, позволяющего отследить тенденции, эпизоды аномалий и оценить устойчивость экосистем к техногенному воздействию.

Комплексное применение методик Zс, PERI и Igeo доказало свою эффективность при оценке состояния снежного покрова как индикатора загрязнения атмосферы. Их сочетание позволяет одновременно учитывать как содержание, так и токсикологическую значимость элементов, а также геохимическую специфику исследуемой территории.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты многолетнего мониторинга снежного покрова юго-востока Казахстана на станциях Алматы-Агро, Мынжилки и Текели выявили выраженные пространственные и сезонные различия в уровне техногенного загрязнения. Наиболее высокие значения интегральных индексов были зафиксированы на станции Алматы-Агро: суммарный показатель загрязнения Z_c достигал 339, а PERI превышал 2400 в 2004...2005 гг., что соответствует «чрезвычайно высокому» риску. Для Текели максимальные значения составили $Z_c = 337$ и $PERI = 770$, что также указывает на высокую степень загрязнения в отдельные годы. На Мынжилки, несмотря на общее фоновое состояние, в ряде сезонов (2020...2021 гг.) зафиксированы $Z_c = 120$ и $PERI = 293$, что классифицируется как «умеренный» экологический риск.

Индекс геоаккумуляции (Igeo) подтвердил лидирующую роль кадмия как основного загрязнителя: значения по нему достигали 6,5...7,2 в Алматы-Агро и Текели, что соответствует «очень сильному» загрязнению. Значения Igeo по свинцу колебались в пределах 4,5...6,0 в наиболее загрязненные годы, а по меди до 3,3 в Текели, что также указывает на высокую степень геохимического обогащения.

По структуре вклада элементов в индекс экологического риска PERI на всех станциях доминирует кадмий (до 40...50 %), за которым следуют свинец (до 35 %) и никель (до 20 %). Вклад меди составляет 10...20 % в зависимости от станции.

Таким образом, наиболее загрязненным и экологически уязвимым участком является зона Алматы-Агро, где фиксируются многолетние превышения порогов по всем оценочным шкалам. Текели занимает промежуточную позицию с устойчивым присутствием промышленных загрязнителей, а Мынжилки функционирует как высокогорный индикатор сезонных трансферов загрязнений. Полученные результаты подчеркивают важность регулярного мониторинга снежного покрова как чувствительного индикатора атмосферного состояния и необходимой составляющей оценки экологической безопасности региона.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

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

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – АСМ; управление данными – АСМ, ТРО; формальный анализ – ТРО; методология – АСМ, ТРО, СЛК; руководство – АСМ; визуализация – ТРО; написание исходного текста – АСМ, ТРО, СЛК; написание и редактирование окончательного текста – АСМ, ТРО, СЛК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guéguen C., Cuss C.W., Cho S. Snowpack deposition of trace elements in the Athabasca oil sands region, Canada // Chemosphere. – 2016. – Vol. 153. – P. 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.020>
2. Steinnes E. Heavy metal contamination of the terrestrial environment from long-range atmospheric transport: Evidence from 35 years of research in Norway // E3S Web of Conferences, Proceedings of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment. – 2013. – Vol. 1. – Article 35001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20130135001>
3. Huang L., Rad S., Xu L., Gui L., Song X., Li Y., Wu Z., & Chen Z. Heavy Metals Distribution, Sources, and Ecological Risk Assessment in Huixian Wetland, South China // Water. 2020. 12(2), 431. <https://doi.org/10.3390/w12020431>
4. Li W., Shen Z., Tian T. et al. Temporal variation of heavy metal pollution in urban stormwater runoff. Front // Environ. – 2012. – Vol. 6. – P. 692–700. <https://doi.org/10.1007/s11783-012-0444-5>

5. Faurat A., Yessimova D., Satybaldiyeva G., Kuatbayev A., Utarbayeva A., Kaliyeva A., et al. Assessing the spatial distribution and sources of heavy metal pollution in the snow cover: A case study from Pavlodar, Northeastern Kazakhstan // *PLoS One*. – 2025. – Vol. 20(5). – e0322300. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322300>
6. Szwed M., Kozłowski R. Snow Cover as an Indicator of Dust Pollution in the Area of Exploitation of Rock Materials in the Świętokrzyskie Mountains // *Atmosphere* – 2022. – Vol. 13(3). – 409. <https://doi.org/10.3390/atmos13030409>
7. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach // *Water Research*. – 1980. – Vol. 14. – P. 975–1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
8. Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // *GeoJournal*. – 1969. – Vol. 2. – P. 108–118.
9. Валетдинов А.Р. Технология комплексной оценки влияния промышленных объектов на загрязненность тяжелыми металлами природных сред по результатам мониторинга СП: автореф. дисс. ... канд. тех. наук. – Казань, 2006. – 19 с.
10. Сагет Ю. У. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
11. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве // Рекомендации подготовлены в лаборатории геохимии окружающей среды Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов Мингео СССР и АН СССР (ИМГРЭ) к.м.н. Б.А. Ревичем, д.г.-м.н. Ю.Е. Сагетом, к.м.н. Р.С. Смирновой. Утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 15 мая 1990 г., № 5174-90. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200087676> (дата обращения 17.05.2025).
12. Ревич Б.А., Сагет Ю.Е., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 110 с.
13. Omwene P.I., Oncel M.S., Celen M., Kobya M., Heavy metal pollution and spatial distribution in surface sediments of Mustafakemalpaşa stream located in the world's largest borate basin (Turkey) // *Chemosphere*, – 2018. – Vol. 208. – P. 782–792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.031>
14. Duodu G.O., Goonetilleke A., Ayoko G.A. Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment // *Environmental Pollution*. – 2016. Vol. 219. P. 1077–1091. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.008>
15. Sarkar S., Ghosh P.B., Sil A.K., Saha T. Heavy metal pollution assessment through comparison of different indices in sewage fed fishery pond sediments at East Kolkata Wetland India // *Environ. Earth Sci.* – 2010. – Vol. 63. – P. 915–924. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0760-7>

REFERENCES

1. Guéguen, C., Cuss, C. W., & Cho, S. (2016). Snowpack deposition of trace elements in the Athabasca oil sands region, Canada. *Chemosphere*, 153, 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.020>
2. Steinnes, E. (2013). Heavy metal contamination of the terrestrial environment from long-range atmospheric transport. *E3S Web of Conferences*, 1, 35001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20130135001>
3. Huang, L., Rad, S., Xu, L., et al. (2020). Heavy metals distribution, sources, and ecological risk assessment in Huixian Wetland, South China. *Water*, 12(2), 431. <https://doi.org/10.3390/w12020431>
4. Li, W., Shen, Z., Tian, T., et al. (2012). Temporal variation of heavy metal pollution in urban stormwater runoff. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 6, 692–700. <https://doi.org/10.1007/s11783-012-0444-5>
5. Faurat, A., Yessimova, D., Satybaldiyeva, G., et al. (2025). Assessing the spatial distribution and sources of heavy metal pollution in snow cover. *PLoS One*, 20(5), e0322300. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322300>
6. Szwed, M., & Kozłowski, R. (2022). Snow cover as an indicator of dust pollution. *Atmosphere*, 13(3), 409. <https://doi.org/10.3390/atmos13030409>
7. Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. *Water Research*, 14, 975–1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
8. Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2, 108–118.
9. Valetdinov, A. R. (2006). Tekhnologiya kompleksnoy otsenki... [Technology of integrated assessment...] (PhD thesis abstract). Kazan. [in Russian]
10. Saet, Yu. U., et al. (1990). Geokhimiya okruzhayushchey sredy [Environmental geochemistry]. Moscow: Nedra. [in Russian]
11. Methodological guidelines (1990). Otsenka zagryazneniya atmosfernogo vozdukha... [Assessment of atmospheric air pollution...]. [in Russian]
12. Revich, B. A., Saet, Yu. E., Smirnova, R. S., & Sorokina, E. P. (1982). Geochemical assessment of urban contamination. Moscow: IMGRE. [in Russian]
13. Omwene, P. I., Oncel, M. S., Celen, M., & Kobya, M. (2018). Heavy metal pollution and spatial distribution in surface sediments of Mustafakemalpaşa stream located in the world's largest borate basin (Turkey). *Chemosphere*, 208, 782–792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.031>
14. Duodu, G. O., Goonetilleke, A., & Ayoko, G. A. (2016). Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental Pollution*, 219, 1077–1091. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.008>

15. Sarkar, S., Ghosh, P. B., Sil, A. K., & Saha, T. (2010). Heavy metal pollution assessment through comparison of different indices in sewage fed fishery pond sediments at East Kolkata Wetland India. *Environmental Earth Sciences*, 63, 915–924. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0760-7>

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫС БӨЛІГІНДЕГІ ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНУЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛІН БАҒАЛАУ

Талшын Р. Оразбаева¹, Азамат С. Мадібеков¹ PhD, қауымдастырылған профессор, Садулла Л. Кузу², PhD, қауымдастырылған профессор

¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан; orazbayeva.talshyn@gmail.com (ТРО), madibekov@mail.ru (АСМ),

²Стамбул техникалық университеті, Стамбул қ., Түркия, kuzul@itu.edu.tr (К.С.Л.)

*Автор корреспондент: Талшын Р. Оразбаева, orazbayeva.talshyn@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

қар жамылғысы, экологиялық тәуекел, ауыр металдар, Igeo, PERI, техногендік жүктеме, Қазақстанның оңтүстік-шығысы

Мақала жайында:

Алынды: 27.01.2026

Қайта қаралды: 30.03.2026

Қабылданды: 23.06.2026

Жарияланды: 01.07.2026

АБСТРАКТ

Мақалада Қазақстанның оңтүстік-шығыс аймағындағы үш контрастты станцияда (Алматы-Агро, Текелі, Мыңжылқы) 2005...2024 жылдар аралығында ауыр металдармен (Cd, Pb, Cu, As) қар жамылғысының ластануының экологиялық тәуекелі бағаланған. Қар жамылғысы маусымдық техногендік жүктемені көрсететін тиімді индикатор ретінде қарастырылған. Ластанудың дәрежесі мен қоршаған ортаға қауіптің деңгейін бағалау үшін геокорлану индексі (Igeo), потенциалды экологиялық тәуекел индекстері (PERI) және суммарлық ластану коэффициенті (Zc) қолданылды. Зерттеу нәтижелері бойынша максималды ластану мен тәуекел деңгейлері қалалық агломерация аймағында (Алматы-Агро) тіркелген, онда RI мәндері 600-ге жетіп, кадмий мен қорғасын бойынша Igeo көрсеткіштері 4,0-ден асып, «өте күшті» ластануға сәйкес келеді. Текелі станциясында мәндер локалды эмиссия көздерінен туындайтын орташа-жоғары тәуекел деңгейін көрсетеді. Жоғары таулы Мыңжылқы станциясы негізінен фондық сипатқа ие болып, кейбір маусымдарда тәуекелдің эпизодтық өсуі ғана байқалады. Алынған нәтижелер ластанудың кеңістіктегі әртүрлілігін көрсетеді және қар жамылғысының антропогендік әсер индикаторы ретіндегі маңыздылығын растайды.

ASSESSMENT OF ECOLOGICAL RISK OF SNOW COVER CONTAMINATION BY HEAVY METALS IN SOUTH-EASTERN KAZAKHSTAN

Talshyn Orazbayeva, Azamat Madibekov PhD, Associate Professor, Kuzu Sadullah Levent PhD, Associate Professor

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; orazbayeva.talshyn@gmail.com (T.R.O.), madibekov@mail.ru (A.S.M.),

²Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey; kuzul@itu.edu.tr (K.S.L.)

*Author correspondent: Talshyn R. Orazbayeva, orazbayeva.talshyn@gmail.com

KEY WORDS

snow cover; ecological risk; heavy metals; Igeo; PERI; technogenic load; south-eastern Kazakhstan

About article:

Received:27.01.2026

ABSTRACT

This study presents an assessment of ecological risk associated with heavy metal contamination (Cd, Pb, Cu, As) of snow cover at three contrasting monitoring stations in southeastern Kazakhstan (Almaty-Agro, Tekeli, Mynzhilki) over the period 2005...2024. Snow cover is considered an effective indicator of seasonal technogenic load. To assess the degree of contamination and potential environmental threat, the geoaccumulation index (Igeo), potential ecological risk index (PERI), and total contamination factor (Zc) were applied. The results indicate that the highest levels of contamination and ecological risk were recorded within the urban agglomeration zone

Revised: 30.03.2026
Accepted: 23.06.2026
Published: 01.07.2026

(Almaty-Agro), where RI values reached up to 600, and Igeo values for cadmium and lead exceeded 4.0, corresponding to very strong contamination. In Tekeli, contamination levels were characterized as moderate to high, primarily associated with local emission sources. The high-altitude Mynzhilki station generally retained background conditions, except for certain seasons marked by episodic increases in risk. The findings highlight the spatial heterogeneity of contamination and confirm the significance of snow cover as an indicator of anthropogenic environmental impact.

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



Scientific article

CHEMICAL-TECHNOLOGICAL CHARACTERISATION OF VERMICOMPOST AND ITS EFFECT ON THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOIL AND YIELD OF GREENHOUSE CROPS

Nurlan Akhmetov¹ ID, PhD, Davlat Yuldashbek^{1*} ID, Yokubzhan Satanov¹ ID, Zhuldyz Dyussenova² ID Candidate of technical sciences, Bekzhan Kossalbayev^{1,3} ID, PhD, Nuraly S. Akimbekov^{1,4} ID, PhD, Professor

¹Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan; nurlan.akhmetov@ayu.edu.kz (NA); davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz (DY); yokubzhan.satanov@ayu.edu.kz (YS)

²RSE “Kazhydromet”, Climate Research Department of the Research Centre, Astana, Kazakhstan; dyussenova_zh@meteo.kz (ZhD)

³Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan; kossalbayev.bekzhan@gmail.com (BK)

⁴Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; akimbeknur@gmail.com (NSA)

*Author correspondent: Davlat Yuldashbek, davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz

KEY WORDS

vermicompost,
Eisenia fetida,
cucumber (*Cucumis sativus*),
tomato (*Solanum lycopersicum*),
yield,
organic fertilizer,
Turkestan region,
soil properties

ABSTRACT

This study examines the influence of varying vermicompost application rates (0 %, 10 %, and 20 % of the substrate volume) on the growth, development, and yield of cucumber (*Cucumis sativus*) and tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivated under greenhouse conditions in the Turkestan region of the Republic of Kazakhstan. The research is conducted within the framework of chemical and technological transformation of organic matter in soil substrates. The results indicate that the incorporation of vermicompost leads to notable changes in the physicochemical characteristics of the substrate, including an increase in organic matter content, stabilization of substrate pH, and improved availability of key macronutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium. These modifications contribute to more active mineralization processes and enhanced biochemical transformation of nutrients, which in turn stimulate root system development, promote vegetative growth, and increase crop yield. The highest overall productivity was recorded at a vermicompost application rate of 20 %, demonstrating its maximum agronomic effectiveness. At the same time, the 10 % application rate also showed a consistently positive effect, suggesting that it represents a balanced and economically viable option for greenhouse cultivation. Overall, the findings support the use of vermicompost as an efficient organic component in the chemical technology of soil substrate improvement for greenhouse vegetable production.

About article:

Received: 15.04.2026

Revised: 27.04.2026

Accepted: 23.06.2026

Published: 01.07.2026

1. INTRODUCTION

As the world transitions to more sustainable agricultural production systems, there is an increasing demand for organic and biotechnological methods to enhance soil fertility. The biological decomposition of organic waste by earthworms, known as vermicomposting, is a highly promising method for the production of eco-friendly biofertilizers that improve the physicochemical and microbiological properties of soils and increase crop yield [1, 2, 3]. Modern evaluations and applied studies have confirmed that vermicompost stabilizes nutrients, increases the content of humic substances, and enhances soil microbial activity, all of which have a positive impact on seed germination, plant growth, and product quality [4, 5, 6].

The southern region of Kazakhstan, which encompasses the Turkestan region, is distinguished by a continental climate that is marked by hot summers and a comparatively low level of natural humidity. The organic matter content of the soils in this region is frequently deficient, and their water-holding capacity is restricted. These circumstances underscore the importance of organic soil amendments: vermicompost treatment can improve the availability

For citation :

Akhmetov N., Yuldashbek D., Satanov Y., Dyussenova Zh., Kossalbayev B., Akimbekov N., Chemical-technological characterization of vermicompost and its effect on the agrochemical properties of soil and yield of greenhouse crops// Hydrometeorology and Ecology , 122 (2), 2026, 214-230.

of macronutrients, water retention, and soil structure in such soils, rendering this technique particularly relevant for local greenhouse vegetable production [7, 8].

Eisenia fetida is the critical biological agent in the majority of industrial and laboratory vermicomposting systems. This species is capable of producing a stable, biologically active vermicompost and has a high rate of organic matter processing [9, 10].

The primary objectives of research on the application of vermicompost in protected cultivation are twofold: (1) the enhancement of seedling quality and the maximisation of crop yields, and (2) the determination of the optimal vermicompost concentration in the substrate. Numerous experimental studies have demonstrated that the development of plants, the growth of root systems, and the efficiency of photosynthetic processes are all improved by the moderate addition of vermicompost (typically 5...30 % by volume) [11, 12, 13]. Furthermore, there have been reports of enhanced fruit quality, including soluble solids and vitamin C content, as well as increased yields [14]. However, high amounts (e.g., close to 100 %) do not always provide benefits and can result in nutrient imbalance or excessive salt accumulation [15, 16].

The Turkestan region's unique circumstances (soil texture, low organic matter content, high temperatures, and significant evapotranspiration) make it critical to experimentally identify the appropriate vermicompost treatment rate for cucumber and tomato growing. Beyond agronomic yield indicators, it is critical to analyse changes in soil agrochemical parameters (pH, organic matter, accessible N, P, and K), water-physical properties, and microbial activity after applying various vermicompost doses [17].

In this work, red Californian earthworms (*Eisenia fetida*) were employed to create vermicompost from local organic waste. The primary goal was to assess the effects of various vermicompost concentrations in the substrate (0 %, 10 %, and 20 %) on cucumber (*Cucumis sativus*, hybrid cultivar *Cedrik F1*) and tomato (*Solanum lycopersicum*, hybrid cultivar *Gamze F1*) growth and productivity under greenhouse conditions in the Turkestan region, as well as changes in key soil parameters. The findings will enable recommendations for ideal application rates based on local soil and climate circumstances.

2. MATERIALS AND METHODS

Study the object. The study focused on soil from the Turkestan region of the Republic of Kazakhstan that was used to grow cucumber (*Cucumis sativus*) and tomato (*Solanum lycopersicum*) under greenhouse conditions. This region's arable soils have a hot continental climate, low natural moisture availability, low organic matter content, and a compacted structure, limiting their natural fertility and water-holding capacity. These qualities require organic fertilisers to enhance soil agronomic properties.

Vermicompost, a byproduct of organic waste processing with red Californian earthworms (*Eisenia fetida*), was employed as the organic ingredient. Vermicompost is known for its potential to improve soil structure, increase the availability of key nutrients, and activate soil microbes, which is especially relevant in areas with low humus reserves [18, 19, 20].

Vermicompost preparation. Vermicompost was created by bioconverting organic waste using red Californian earthworms (*Eisenia fetida*). The substrate consisted of a mixture of cattle and goat dung, which was homogenised and hydrated to 70...80 %. The manure mixture was combined with sawdust at a 3:1 ratio.

Before filling the containers, substrate viability was evaluated to verify earthworm survival: 10...12 individuals were placed in 250...300 g of the prepared material and left for 24 hours. In the lack of earthworm mortality, the substrate was deemed suitable for continued usage.

The substrate was packed in boxes in layers about 15 cm thick. Following that, a thin layer of new organic feed was applied every 5...7 days to encourage earthworm migration to the top layers. Regular spraying every 2...3 days kept the moisture content between 60 and 80 %. The temperature was controlled with an electronic thermometer and kept between 15 and 25 degrees Celsius. The pH was stabilised at 6.5...7.7.

After earthworms finished processing the substrate, the resulting vermicompost was separated with a drum separator and used as fertiliser in greenhouse trials.

Applying Vermicompost to Soil. Greenhouse tests employed a 30 cm thick arable soil layer with plant residues and coarse mechanical inclusions. Before applying fertiliser, the soil was evenly loosened and levelled.

The previously collected vermicompost served as an organic fertiliser. It was applied according to the size of the experimental plots. The application rates were established at two levels: 10 % and 20 % of the dry soil mass in the 30 cm layer, equivalent to 500 and 1000 g/m², respectively. Soil without vermicompost application was used as the control treatment (Table 1).

Vermicompost was applied by equally dispersing a pre-weighed amount over the soil surface of each experimental plot, then thoroughly mixing with the upper 10...12 cm soil layer to ensure consistent organic matter distribution. Following treatment and mixing, the soil was hydrated to its field capacity, which increased microbial activity and enhanced soil structure.

Table 1

Vermicompost application rates and content in experimental treatments

Experimental treatment	Vermicompost mass, g/m ²	Content, %
Control (without vermicompost)	–	–
Soil + vermicompost	500	10
Soil + vermicompost	1 000	20

Methods for determining the chemical composition of vermicompost and soil. The chemical composition of vermicompost and soil was analysed using standardised methods governed by national and international norms.

Vermicompost's chemical composition was determined by analysing key elements and agrochemical factors using standardised procedures. The organic matter content was assessed using the gravimetric method based on sample ignition and subsequent mass loss estimation, as specified in GOST 23740-2016. The carbon and humus contents were determined using I.V. Tyurin's oxidation-titrimetric method. Total nitrogen was determined using Tyurin's microchromium method, which involves oxidising organic materials with a chromic combination. Following acid digestion of the samples, the phosphorus (P₂O₅) content was evaluated using a gravimetric method in accordance with GOST 27784-88, while potassium (K₂O) was determined using an ionometric method in accordance with GOST 26261-84. The pH of the aqueous extract was determined potentiometrically according to GOST 26423-85.

The agrochemical characteristics of the examined soil were determined using standardised analytical procedures. The mobile forms of phosphorus (P₂O₅) and potassium (K₂O) were determined using the Machigin method modified by CINAQ, whereas carbon and humus levels were measured using the Tyurin method, as per GOST 26205-91. The chlorides were analysed using a titrimetric method in accordance with ST RK 1286-2004, and the bicarbonates (HCO₃⁻) were calculated titrimetrically in accordance with GOST 31957-2012. The total dissolved solids of the aqueous extract were determined gravimetrically in compliance with GOST 26423-85, whereas sulphates (SO₄²⁻) were quantified using a comparable gravimetric method according to ST RK ISO 11048-2007. The exchangeable calcium and magnesium were determined using CINAQ titrimetric methods in line with GOST 26487-85, and the ammonium nitrogen (NH₄⁺) was determined using GOST 27753.8-88. The total forms of copper, zinc, and lead were analysed using the inversion voltammetric method described in MU 31-11/2005. The pH of the aqueous extract was determined potentiometrically according to GOST 26423-85.

Greenhouse Experiment with Cucumber and Tomato Seedlings. The experiment was conducted in 2025 in a greenhouse located at the Research Institute “Ecology” of Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University. The crops under study were cucumber (*Cucumis sativus*, hybrid cultivar Cedrik F1) and tomato (*Solanum lycopersicum*, hybrid cultivar Gamze F1).

In late January 2025, seeds were sown in 8 cm diameter plastic cups filled with greenhouse substrate. For each experimental treatment, 10 plants of each crop were planted. Seedlings were grown under the following conditions: 20...25 °C during the day, 15...20 °C at night, 50...60% relative humidity, and 12...14 hours of natural and supplementary lighting per day. Irrigation

was performed as the upper layer of the substrate dried. The seedling's growth phase lasted 30 days (Figure 1).



Figure 1. Seedlings: (a) cucumber (*Cucumis sativus*, hybrid cultivar *Cedrik F1*); (b) tomato (*Solanum lycopersicum*, hybrid cultivar *Gamze F1*)

At the end of February, the seedlings were transplanted onto prepared beds where the soil had been pre-treated and fertilised with vermicompost at various concentrations based on the experimental design (Table 1).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Characteristics of the Chemical Composition of Soils in the Turkestan Region. The soils of the Turkestan region in southern Kazakhstan are developed under harsh continental climatic conditions that include scorching and arid summers, low air humidity, and little atmospheric precipitation. These natural and climatic factors determine the dominance of light chestnut and sierozem soils, which are distinguished by low organic matter content, poor humification, and high carbonate levels (Table 2). These soil types usually have an alkaline or slightly alkaline reaction, a high buffering capacity, moderate macronutrient availability, and a diverse distribution of nutrients throughout the soil profile.

Table 2

Chemical composition of the studied soil in the Turkestan region

Parameter	Content, %
Carbon (C)	1,56 %
Humus	3,1 %
Phosphorus (P ₂ O ₅), available	185,6 mg/kg
Potassium (K ₂ O), available	3,85 mg/kg
pH (aqueous extract)	8,6
Total dissolved solids in aqueous extract	0,089 %
Ammonium nitrogen (NH ₄ ⁺)	0,009 mg/kg
Bicarbonates in aqueous extract	0,024 %
Chlorides in aqueous extract	0,0009 %
Sulfates in aqueous extract	< 0,048 %
Zinc (total)	77,0 mg/kg
Lead (total)	22 mg/kg
Copper (total)	24 mg/kg
Calcium in aqueous extract	0,02 %
Magnesium in aqueous extract	0,068 %

The examination of the soil chemical composition revealed a set of signs indicating that the soil is slightly alkaline, fairly humus-rich, and contains a diverse range of macro- and micronutrients. The carbon concentration was 1.56 %, indicating soils with a low to medium level of cultivation, while the humus percentage (3.1 %) shows moderate humification, which is typical of light chestnut and sierozem soils in southern regions. The available forms of nutrients exhibited pronounced differences: the phosphorus content (185.6 mg/kg) can be classified as high, but the level of available potassium was extremely low (3.85 mg/kg), indicating a K₂O

deficiency and a potential need for additional potassium fertilisation to ensure optimal mineral nutrition of plants.

The soil solution had a slightly alkaline reaction (pH 8.6), which is typical of carbonate soils in arid locations and may limit the availability of some micronutrients like iron, zinc, and manganese. The total dissolved solids (0.089 %) and bicarbonate concentration (0.024 %) support the aqueous extract's little mineralisation. The presence of chloride (0.0009 %) and sulphate (<0.048 %) indicates a lack of salinity and a balanced ionic composition.

The study of mobile macrocations revealed modest levels of calcium (0.02 %) and magnesium (0.068 %) in the aqueous extract, indicating adequate availability of these elements. The content of ammonium nitrogen (0.009 mg/kg) was exceedingly low, as is typical of mineralised and low-organic soils in the absence of new organic matter. The overall quantities of zinc (77 mg/kg), copper (24 mg/kg), and lead (22 mg/kg) did not exceed allowed levels, indicating that the soil is environmentally safe for these elements. Zinc was the most abundant element, with concentrations similar to natural background values in southern soils.

Overall, the findings show that the examined soil has a moderate humus content and a high phosphorus level, but there is a significant lack of accessible potassium and ammonium nitrogen, which may limit crop growth and production. These qualities highlight the importance of using organic fertilisers, such as vermicompost, to increase soil structure, nutritional status, and biological activity.

Chemical and Nutrient Content of Vermicompost. Chemical examination of vermicompost revealed that the examined sample contains a high concentration of organic matter, humified chemicals, and necessary macronutrients, proving its high agrochemical value and efficiency as an organic fertiliser for vegetable crops (Table 3).

Table 3

Nutrient content of vermicompost

Name of the parameter determined	Content and unit of measurement	Content in mg/100 g of vermicompost
Organic matter	34,2 %	34 200
Carbon (C)	11,74 %	11 740
Humus	23,19 %	23 190
Nitrogen	1,58 %	1 580
Phosphorus (P ₂ O ₅)	1,19 %	1 190
Potassium (K ₂ O)	1,95 %	1 950
pH	7,7	-

Organic matter, carbon and humus. The vermicompost had an organic matter content of 34.2 %, showing that plant wastes were extensively decomposed by soil micro- and macrofauna, notably red Californian earthworms (*Eisenia fetida*). This value greatly exceeds the minimal level required for standard organic fertilisers, resulting in increased soil structure, water retention, and aeration.

The carbon content was 11.74 %, indicating a significant carbon saturation in the organic portion. Carbon is the principal energy source for soil bacteria, promoting the creation of stable organomineral compounds and enhancing mineralisation and humification processes.

The humus percentage was 23.19 %, indicating that the vermicompost was very mature. Humic compounds enhance the physical and chemical properties of soil by enhancing cation exchange capacity, buffering capacity, water-holding capacity, and nutrient retention. The high humus level makes vermicompost particularly helpful for soils with low organic matter content, which are common in Kazakhstan's southern areas.

Major nutrients (nitrogen, phosphorus, and potassium). The macronutrient makeup of the vermicompost is well balanced, containing:

Nitrogen (1.58 %), predominantly in organic and ammonium forms, is gradually released and available to plants.

Phosphorus (P₂O₅ - 1.19 %) is required for root growth, energy metabolism, and the creation of flower and fruit structures.

Potassium (K₂O - 1.95 %) is the greatest of the macronutrients, making this vermicompost especially beneficial for crops with high potassium requirements, such as cucumber and tomato. Potassium enhances plant water relations, drought resistance, carbohydrate storage, and fruit quality.

This nutrient balance promotes long-term and uniform plant feeding, lowering the possibility of deficiencies or uneven nutrient supplies.

Medium acidity (pH). The pH of the vermicompost was 7.7, indicating a somewhat alkaline response. This degree of acidity is ideal for most vegetable crops and does not impede growth even at relatively high application rates (up to 20 %). Vermicompost's pH helps to stabilise soil reactions, increase the activity of beneficial soil bacteria, and improve phosphate and potassium availability.

The combination of these statistics permits the examined vermicompost sample to be classified as a high-quality organic substance, possessing:

- High organic matter and humus content.
- Optimised carbon-to-nitrogen ratio.
- Maintain balanced amounts of N, P₂O₅, and K₂O.
- The reaction is somewhat alkaline and favourable.
- Stable biological activity.

This combination of chemical qualities accounts for the observed stimulatory effect on cucumber (*Cucumis sativus*) and tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivation in the experimental treatments. Vermicompost promotes faster plant growth, improved root system development, and increased crop physiological activity.

Impact of Vermicompost on Cucumber Growth. Growth dynamics data for cucumbers revealed that the treatment of vermicompost had a significant stimulatory effect on plant development throughout the observation period. The plant height steadily rose in the control treatment, although it remained lower throughout the experiment than in the experimental treatments. The application of vermicompost at a 10 % rate stimulated growth: plants accumulated more aboveground biomass, resulting in consistently larger height than the control (Figure 2).

The most significant benefit was seen at a 20 % treatment rate, which resulted in maximum cucumber growth throughout the vegetative period. The plants in this treatment outperformed the control by an average of 20...35 %, depending on the observation time. These findings can be attributed to improved soil physicochemical qualities, enhanced availability of nutrient forms, and activation of soil microbes, all of which are vermicompost-specific.

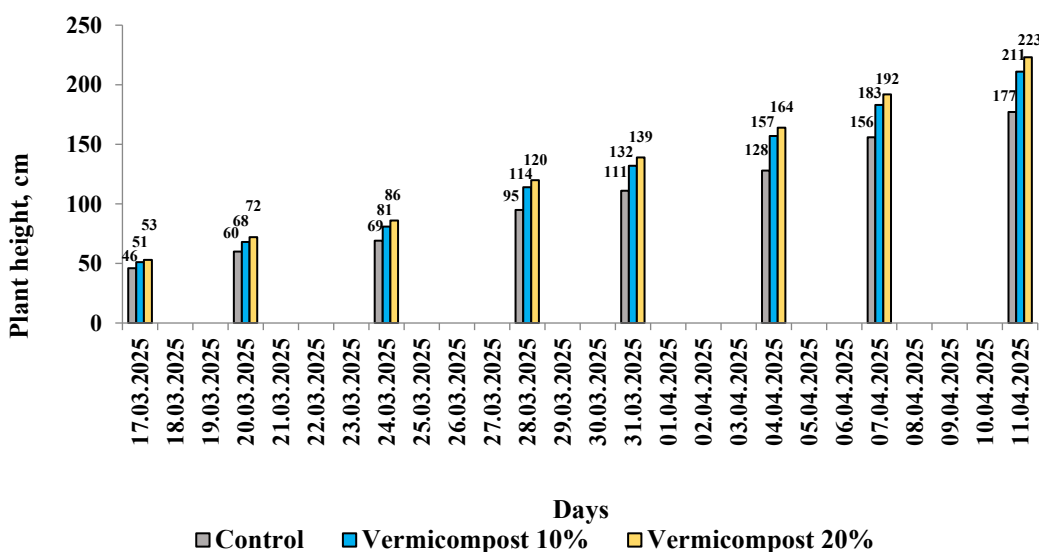


Figure 2. Cucumber growth over time with vermicompost application

The Impact of Vermicompost on Tomato Growth and Development. A similar tendency was observed with tomato cultivation. Plants under the control treatment had the lowest height values, but vermicompost application resulted in a considerable increase in growth. Differences between the experimental and control treatments emerged early in the development process.

The 10 % vermicompost application rate resulted in a moderate increase in plant height, while the 20 % rate produced the greatest stimulatory impact, with plants exceeding the control by an average of 15...30 % (Figure 3).

Tomato plants were very sensitive to changes in the nutritional and microbiological quality of the substrate, emphasising the necessity of organic soil enrichment for this crop. Vermicompost contained not only vital nutrients but also phytohormones, humic acids, and biologically active chemicals that aided in rapid growth.

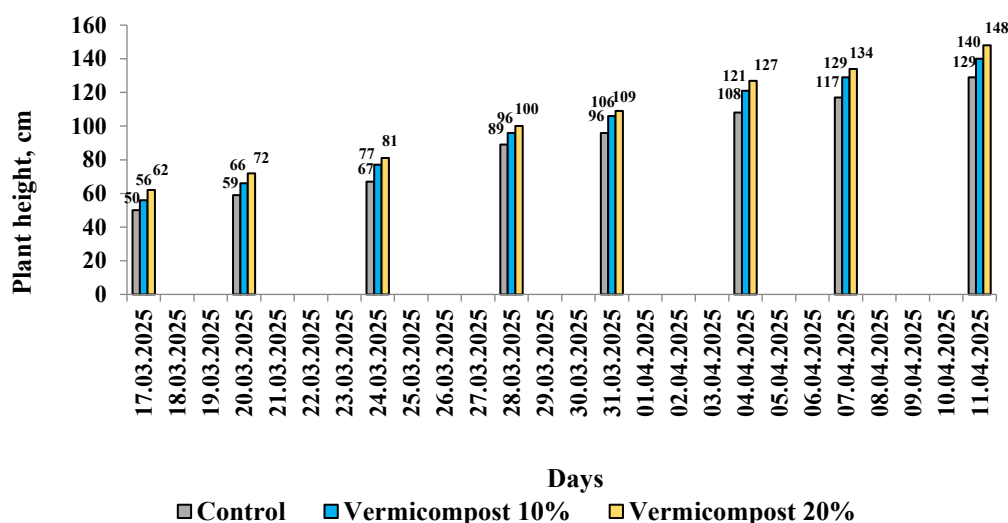


Figure 3. Tomato growth over time with vermicompost application

Comparison of Effects. In summarising the results for both crops, a general trend emerges: increasing the vermicompost dose by up to 20 % has the greatest stimulatory effect. The control treatment showed minimal growth dynamics.

The 10 % dose resulted in evident but minor gains in development.

The 20 % dose produced the largest plant heights throughout the experiment.

The comparable response patterns of tomato and cucumber show vermicompost's effectiveness as an organic fertiliser. The stimulatory impact is connected with improved soil structure, better water-holding capacity, lower bulk density, increased aeration, and substrate enrichment with accessible forms of N, P, and K, as well as biologically produced growth biostimulants.

The Effect of Various Vermicompost Doses on Cucumber Yield under Greenhouse Conditions. During the experiment, the dynamics of cucumber yield production were assessed using two vermicompost doses (10 % and 20 % of the substrate volume) in contrast to the control treatment. Fruit was harvested on a regular basis throughout the fruiting season (April-May 2025), and the product mass (g) was analysed for each treatment.

At the early stages of fruiting (the first harvest dates, April 4 and 7), the mass of harvested fruits was considerably greater in the vermicompost treatments than in the control. On April 4, the yield of the 20 % vermicompost treatment (743.81 g) was higher than that of the 10 % treatment (219.57 g), while the control had yet to produce any yield. On April 7, a similar pattern was seen, with the 10 % and 20 % vermicompost treatments generating 1,465.61 and 1,435.34 grams, respectively.

Throughout the investigation, the treatments with vermicompost consistently outperformed the control. On average, the 20 % vermicompost treatment produced the best yield values, although the 10 % dose similarly outperformed the control (Figure 4).

Peak yield values recorded in late April/early May need special attention. On April 28, the 20 % treatment yielded 5,176.52 g, and the 10 % treatment yielded 5,038.50 g, while the control yielded only 3,069.85 g. A similar peak was seen on May 2, when the 20 % vermicompost treatment produced 5,377.47 g, which was 2,148.75 g more than the control.

By the end of the growing season (second half of May), the discrepancies between treatments remained, but with a trend toward yield stabilisation. For example, on May 23, the yield in the 20 % treatment was 4,396.28 g, more than 3.3 times greater than the control (1,321.43 g). On the final harvest date (May 26), all treatments produced decreased yields; however, the 10% (1,986.2 g) and 20 % (1,508.11 g) vermicompost treatments exceeded the control (891.57 g).

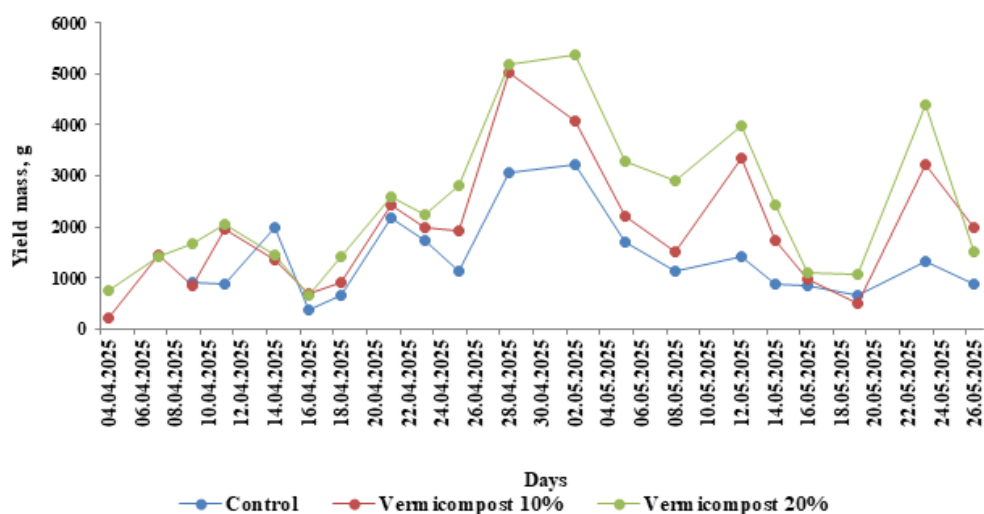


Figure 4. Dynamics of cucumber yield over time with the application of vermicompost

The results clearly show that vermicompost has a good influence on cucumber productivity under greenhouse circumstances. The greatest substantial effect was observed during vigorous fruiting (late April - early May), when the differences between treatments peaked (Figure 6).

Vermicompost promotes early fruiting. Even in the early phases of observation, vermicompost treatments produced fruit significantly earlier and in larger quantities than the control. This effect is connected with enhanced macro- and micronutrient availability, improved substrate structure, and the activation of microbiological activities.

The 20 % dose gives the maximum yield. Across all time intervals, the 20 % treatment consistently produced the highest fruit mass. Peak yields exceeded the control by more than 1.5...3.5 times, demonstrating the remarkable efficacy of this ideal degree of organic substrate enrichment.

The 10 % dose likewise produced a significant favourable effect. Although yields at 10 % were marginally lower than at 20 %, they continuously outperformed the control for the majority of harvest dates. This suggests that even mild vermicompost application considerably increases cucumber fruiting.

The control treatment produced the lowest and most unstable yields. The absence of organic substrate enrichment resulted in decreased fruiting intensity, particularly during periods of peak plant load.

Overall, the results show that using vermicompost is a highly beneficial agronomic approach for greenhouse cucumber growing. The 20 % dose proved to be the most productive, with the largest cumulative yield over the course of the observation period. The 10 % dose might

also be viewed as an economically and agronomically advantageous alternative for protected cucumber cultivation.

Effect of Various Vermicompost Doses on Tomato Yield Under Greenhouse Conditions. The study also looked at the impact of two vermicompost doses (10 % and 20 % of substrate volume) on tomato yield versus a control treatment with no organic amendments. Fruit harvesting occurred on a regular basis from May 12 to June 16, 2025, and product mass was recorded for each treatment (Figure 5).

At the earliest fruiting stage (May 12), all treatments had modest yields. Nonetheless, even at the first harvest date, the vermicompost treatments excelled the control: the 20 % treatment yielded 778.77 g, which was six times more than the control (128.31 g), while the 10 % treatment surpassed the control nearly twofold (230.04 g).

On successive observation dates, yield increased in all treatments; however, the rate of fruit mass accumulation was significantly faster in the vermicompost treatments. On May 16, harvest masses were as follows: control - 1,051.40 g; 10 % - 1,571.16 g; 20 % - 2,055.68 g.

Thus, the benefit of the 20 % vermicompost treatment was sustained, with the highest values. On May 20, the 10 % treatment (2,481.05 g) marginally outperformed the 20 % treatment (2,182.50 g), showing a brief "equalisation" in fruiting intensity between the two doses. Nonetheless, over time, the 20 % therapy showed the best results.

The most noticeable changes occurred during peak fruiting periods. On May 23, the fruit mass reached: control - 2,722.56 g; 10 % - 3,826.97 g; and 20 % - 3,459.34 g.

By the end of May (May 26), the control yield was 2,921.03 g, while the 10 % and 20 % treatments produced 2,423.96 g and 2,473.78 g, respectively.

The most significant comparison occurred on May 30, when the 20 % treatment reached 4,665.61 g, more than 2.5 times greater than the control (1,851.71 g). The 10 % treatment likewise significantly outweighed the control (2,020.42 g).

In early June (June 2...10), the pattern of increasing differences across treatments persisted. On June 10, the fruit mass was: control - 3,912.76 g; 10 % - 6,157.65 g; and 20 % - 4,972.38 g.

During this time, the 10 % treatment produced the best yield, presumably due to the ideal balance of nutrient availability and substrate aeration.

By the end of the observation period (June 16), yields in all treatments had dropped, but the disparities between treatments remained: control - 2,610.00 g; 10 % - 3,105.61 g; 20 % - 2,226.84 g.

The observed non-linear dose-response relationship between vermicompost application rate and tomato yield can be explained by the combined influence of substrate physicochemical properties, plant physiological responses, and prevailing microclimatic conditions during the experimental period. While Figures 2-3 demonstrate a clear positive correlation between vermicompost dose and vegetative growth (plant height), yield formation is a more complex, multi-factorial process that depends not only on biomass accumulation but also on reproductive efficiency, nutrient balance, and environmental stress conditions.

One of the key factors underlying the superior performance of the 10 % vermicompost treatment on May 30 is the optimisation of substrate aeration and nutrient availability. At moderate application rates (10 %), vermicompost improves soil structure, increases porosity, and enhances oxygen diffusion to the root zone. This promotes balanced root respiration and efficient nutrient uptake. In contrast, higher application rates (20 %) despite increasing organic matter and nutrient supply may lead to partial compaction of the substrate, increased water retention, and reduced aeration. Under such conditions, excessive moisture combined with limited oxygen availability can suppress root activity and reduce the efficiency of generative processes such as flowering and fruit filling.

Additionally, nutrient balance plays a crucial role. Vermicompost is rich in available nitrogen, phosphorus, and potassium; however, excessive concentrations particularly at the 20% rate may disrupt the optimal nutrient ratio. High nitrogen availability can stimulate vegetative

growth at the expense of reproductive development, leading to delayed or reduced fruit set. Therefore, the 10 % treatment likely provided a more balanced nutrient environment during the critical fruiting stage, resulting in higher yield on May 30.

Microclimatic conditions further contributed to this non-linear response. During May, air temperature fluctuated between +25 °C and +40 °C, while relative humidity ranged from 11 % to 36 %, indicating generally hot and arid conditions typical of greenhouse environments in southern Kazakhstan. On May 30 specifically, the temperature was approximately +28 °C with relative humidity around 20 %. These conditions are close to optimal for tomato fruit set and development, as moderate temperatures (25...30 °C) combined with low to moderate humidity (20...30 %) favour pollination, reduce fungal disease pressure, and enhance assimilate transport to fruits.

Under these favourable environmental conditions, the advantages of the optimally balanced 10 % vermicompost treatment became more pronounced. The improved aeration and moderate nutrient supply likely allowed plants to fully utilise the favourable temperature–humidity regime, resulting in maximal fruit formation and accumulation of biomass in fruits rather than vegetative organs. Conversely, in the 20 % treatment, the potential limitations in aeration and possible nutrient imbalance may have restricted the plant's ability to capitalise on these optimal climatic conditions.

It is also important to consider plant physiological regulation under stress conditions. At higher temperatures (approaching 35...40 °C), which were periodically observed during May, plants experience increased transpiration and potential water stress, especially under low humidity (11...20 %). In substrates with higher organic content (20 % vermicompost), increased water retention may initially be beneficial; however, under fluctuating irrigation regimes, it can lead to uneven water availability and root zone hypoxia. In contrast, the 10 % treatment likely maintained a more stable water–air balance, enabling better physiological adaptation to temperature and humidity fluctuations.

Thus, the temperature–humidity dependence for achieving high tomato yield in this study can be summarised as follows: optimal productivity was observed under temperatures of +25...30 °C and relative humidity of 20...30 %, in combination with a moderately enriched substrate (10 % vermicompost), which which provided an optimal balance between aeration, water retention, and nutrient availability.

In conclusion, the superior performance of the 10 % vermicompost treatment on May 30 reflects a synergistic interaction between optimal substrate conditions and favourable microclimatic parameters. These findings confirm that the relationship between vermicompost dose and crop productivity is non-linear and strongly dependent on environmental conditions and substrate physical properties. Therefore, the optimal application rate of vermicompost should be determined not only based on its chemical composition but also considering greenhouse microclimate and crop developmental stage.

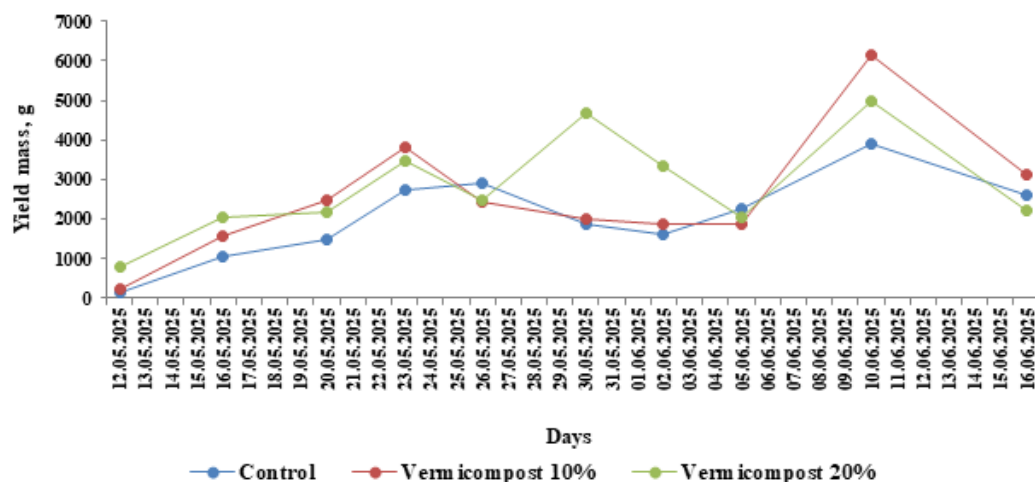


Figure 5. Dynamics of tomato yield over time with the application of vermicompost

The observed non-linear dose–response relationship between vermicompost application rate and tomato yield can be explained by the combined influence of substrate physicochemical properties, plant physiological responses, and prevailing microclimatic conditions during the experimental period. While Figures 2...3 demonstrate a clear positive correlation between vermicompost dose and vegetative growth (plant height), yield formation is a more complex, multi-factorial process that depends not only on biomass accumulation but also on reproductive efficiency, nutrient balance, and environmental stress conditions.

One of the key factors underlying the superior performance of the 10 % vermicompost treatment on May 30 is the optimisation of substrate aeration and nutrient availability. At moderate application rates (10 %), vermicompost improves soil structure, increases porosity, and enhances oxygen diffusion to the root zone. This promotes balanced root respiration and efficient nutrient uptake. In contrast, higher application rates (20 %) despite increasing organic matter and nutrient supply may lead to partial compaction of the substrate, increased water retention, and reduced aeration. Under such conditions, excessive moisture combined with limited oxygen availability can suppress root activity and reduce the efficiency of generative processes such as flowering and fruit filling.

Additionally, nutrient balance plays a crucial role. Vermicompost is rich in available nitrogen, phosphorus, and potassium; however, excessive concentrations particularly at the 20 % rate may disrupt the optimal nutrient ratio. High nitrogen availability can stimulate vegetative growth at the expense of reproductive development, leading to delayed or reduced fruit set. Therefore, the 10 % treatment likely provided a more balanced nutrient environment during the critical fruiting stage, resulting in higher yield on May 30.

Microclimatic conditions further contributed to this non-linear response. During May, air temperature fluctuated between +25 °C and +40 °C, while relative humidity ranged from 11 % to 36 %, indicating generally hot and arid conditions typical of greenhouse environments in southern Kazakhstan. On May 30 specifically, the temperature was approximately +28 °C with relative humidity around 20 %. These conditions are close to optimal for tomato fruit set and development, as moderate temperatures (25...30 °C) combined with low to moderate humidity (20...30 %) favour pollination, reduce fungal disease pressure, and enhance assimilate transport to fruits.

Under favourable environmental conditions, the advantages of the optimally balanced 10% vermicompost treatment became more pronounced. The better aeration and moderate nutrient supply probably helped the plants make the most of the good temperature and humidity conditions, which led to the most fruit formation and the most biomass being stored in the fruits instead of the vegetative organs. Conversely, in the 20 % treatment, the potential limitations in

eration and the possible nutrient imbalance may have restricted the plant's ability to capitalise on these optimal climatic conditions.

It is also important to consider plant physiological regulation under stress conditions. At higher temperatures (approaching 35...40 °C), which were periodically observed during May, plants experience increased transpiration and potential water stress, especially under low humidity (11...20 %). In substrates with higher organic content (20 % vermicompost), increased water retention may initially be beneficial; however, under fluctuating irrigation regimes, it can lead to uneven water availability and root zone hypoxia. In contrast, the 10 % treatment likely maintained a more stable water–air balance, enabling better physiological adaptation to temperature and humidity fluctuations.



Figure 6. Appearance of cucumber (*Cucumis sativus*) and tomato (*Solanum lycopersicum*) yield with different vermicompost application rates

Vermicomposting, particularly at 10 % and 20 % rates, is a successful agricultural strategy for tomato growing in greenhouses. The treatments with organic fertiliser produced the highest yields, demonstrating vermicompost's excellent agrobiological value as a substrate component for fruiting vegetable crops.

The results of this research unequivocally indicate that the soils of the Turkestan region are distinguished by specific physicochemical characteristics that are indicative of arid and semi-arid conditions in southern Kazakhstan. Light chestnut and sierozem soils, which are extensively distributed throughout this region, are produced in the presence of high evapotranspiration, limited precipitation, and carbonate accumulation. An alkaline soil reaction (pH 7.8...8.8), low nitrogen availability, moderate to low organic carbon content, and heterogeneous distribution of nutrients throughout the soil profile are the primary characteristics of soils in arid zones, as indicated by prior research [21...22]. The pH value of 8.6 determined in the present study fully corresponds to these characteristics and confirms the carbonate nature of the investigated soil.

The investigated soil exhibits only a moderate degree of biological activity and organic matter transformation in comparison to intensively cultivated soils described in recent studies (organic carbon levels of 1.0...2.5 % in irrigated arid agroecosystems). Nevertheless, the humus content (3.1 %) can be assessed as moderate for southern Kazakhstan. The literature underscores that soils in arid climates are particularly susceptible to organic matter declines as a result of accelerated mineralisation at high temperatures and the insufficient return of plant residues.

Consequently, the scientific justification for the administration of supplementary organic fertilisers in the regions that have been identified is clear [23...24].

During the soil analysis, the exceedingly low content of available potassium (3.85 mg/kg) and ammonium nitrogen (0.009 mg/kg) was identified as a critical limiting factor. A comparable potassium deficiency has been documented in the irrigated soils of Central Asia, where the depletion of exchangeable potassium reserves is a result of long-term monoculture and insufficient application of organic fertilisers. Potassium plays a fundamental role in osmotic regulation, carbohydrate transport, and the resistance of vegetable crops to stress factors. Its deficiency, particularly under greenhouse cultivation conditions, can significantly reduce productivity. Therefore, the pronounced increase in the yield of cucumber (*Cucumis sativus*) and tomato (*Solanum lycopersicum*) observed after vermicompost application in this study is consistent with results previously reported by other researchers [25, 26].

The chemical composition of the vermicompost used in the experiment confirms its high agronomic value. The elevated content of organic matter (34.2 %) and humus (23.19 %) indicates a high degree of stabilisation and maturity of the substrate. According to literature data, vermicompost produced using *Eisenia fetida* is characterised by enhanced humification, increased cation exchange capacity, and improved nutrient retention compared to conventional compost. The balanced N–P–K ratio identified in the present study corresponds to the ranges typical of high-quality vermicompost (1...2 % N, 0.5...1.5 % P₂O₅, 1...2 % K₂O) [27...28].

The slightly alkaline reaction of the vermicompost (pH 7.7) is particularly important when applied to alkaline soils similar to those studied. The literature indicates that vermicompost is capable of buffering soil reaction, reducing the negative effects of excessive alkalinity, and increasing the availability of micronutrients through chelation by humic substances [29]. This partially explains the improvement in the vegetative growth of cucumber (*Cucumis sativus*) and tomato (*Solanum lycopersicum*).

The stimulating effect on the growth of cucumber (*Cucumis sativus*) and tomato (*Solanum lycopersicum*) is confirmed by the results of controlled greenhouse experiments. Norman Q. Arancon et al. [30] reported an increase in plant height and biomass of vegetable crops by 20...40 % when vermicompost was applied at rates of 10...30 % of the substrate volume. Similarly, María Lazcano et al. [31] demonstrated enhanced root system development and accelerated phenological stages in tomatoes grown in substrates amended with vermicompost. In the present study, the 20 % application rate provided the most stable increase in plant height (20...35 % higher than the control for cucumber and 15...30 % for tomato), which is consistent with international findings.

Yield dynamics under protected cultivation conditions also confirm the agronomic effectiveness of vermicompost. Numerous meta-analyses indicate that vermicompost application can increase vegetable crop yields by 15...60 %, depending on plant species, application rate, and substrate characteristics [32]. In the present study, yield increases during the peak fruiting period reached 1.5...3.5 times compared to the control in cucumber and up to 65 % or more in tomato, confirming the high responsiveness of these crops to organic enrichment of the substrate.

An important observation is the differentiated response of tomato to the application of 10% and 20% vermicompost during different fruiting stages. While the 20 % rate provided higher performance in the early and middle fruiting phases, the 10 % rate showed better results during the peak fruiting period in early June. Similar nonlinear “dose-response” relationships have been described in the literature, where excessive application of organic substrate may alter aeration or nutrient balance [33]. These findings indicate that the optimal concentration of vermicompost may vary depending on the crop’s developmental stage and environmental conditions.

The stimulating effect of vermicompost is not limited solely to its nutritional value. Contemporary studies emphasise the role of humic acids, phytohormones (auxins and cytokinins), and beneficial microbial communities present in vermicompost [34]. These biologically active compounds stimulate root system development, enhance nutrient uptake efficiency, and increase

plant resistance to abiotic stresses-factors that are particularly significant under the alkaline and potassium-deficient soil conditions of the Turkestan region.

Overall, the results of the present study are fully consistent with contemporary international scientific findings and confirm that vermicompost is an effective tool for improving the fertility of arid and semi-arid soils. Under the specific soil and climatic conditions of southern Kazakhstan, the application of vermicompost at rates of 10...20 % significantly enhances growth dynamics and yield formation of cucumber and tomato under protected cultivation conditions.

From an agroecological perspective, the integration of vermicompost into greenhouse production systems contributes not only to increased yields but also to the sustainable management of soil resources. Its application promotes the restoration of organic matter reserves, stimulates biological activity, improves soil structure, and reduces reliance on mineral fertilisers. In the context of escalating soil degradation and nutrient imbalances in arid regions, organic fertilisers such as vermicompost represent a scientifically justified and environmentally safe strategy for the sustainable production of vegetable crops.

4. CONCLUSION

The application of vermicompost to substrates for cucumber and tomato cultivation under greenhouse conditions in the Turkestan region has a significant positive effect on plant growth and development. The use of this organic fertilizer promotes the accelerated formation of both aboveground biomass and root systems, improves physiological processes, enhances photosynthetic activity, and increases overall plant vitality.

The most pronounced stimulatory effect was observed at the 20 % application rate, which resulted in the highest plant height and cumulative yield throughout the observation period. The 10 % rate also had a positive effect, accelerating plant growth and improving productivity compared to the control, making it an economically and agronomically justified option for organic amendment.

Vermicompost application improves the physicochemical properties of the soil: it increases humus and carbon content, enhances the availability of key macronutrients (N, P, K), stabilizes substrate pH, and stimulates soil microbial activity. These changes create favorable conditions for early and intensive fruiting, reduce the time to the first harvest, and ensure more stable fruit development throughout the entire growing period.

Thus, the use of vermicompost in protected cultivation in the Turkestan region is a highly effective organic agricultural practice, contributing to increased yield and quality of cucumber and tomato, improved soil structure and fertility, and enhanced crop resilience to adverse soil and climatic conditions.

DATA AVAILABILITY

The data supporting the findings of this study are fully presented within this article. All experimental data generated and analysed during the current study are included in the text, tables, and figures of this publication. All materials necessary to support and verify the conclusions of the study are contained within this article.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Conceptualization – NA, DY; resources - YS, ZhD, NSA; formal analysis – ZhD; methodology - NA, DY, BK; software - YS, NSA; supervision - NA, DY; visualization – YS, DY, BK; writing—original draft preparation – DY; writing—review and editing – all authors.

REFERENCES

1. Enebe, M. C., Erasmus, M. (2023). Vermicomposting technology – A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management*, 345, 118585. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>
2. Ganapathy, N. R. V., Elango, A. C., Balaji, G., Sankaranarayanan, M., Sharma, M. (2025). A comprehensive review of earthworm-derived vermiproducs and their role in sustainable agriculture. *Discover Applied Sciences*, 7, 995. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07614-w>

3. Ratnasari, A., Syafiuddin, A., Mehmood, M. A., Boopathy, R. (2023). A review of the vermicomposting process of organic and inorganic waste in soils: Additives effects, bioconversion process, and recommendations. *Bioresource Technology Reports*, 21, 101332. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101332>
4. Manzoor, A., Naveed, M. S., Ali, R. M. A., Naseer, M. A., UL-Hussan, M., Saqib, M., Hussain, S., Farooq, M. (2024). Vermicompost: A potential organic fertilizer for sustainable vegetable cultivation. *Scientia Horticulturae*, 336, 113443. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113443>
5. Das, D., Kalita, N., Langthasa, D., Faihriem, V., Borah, G., Chakravarty, P., Deka, H. (2022). *Eisenia fetida* for vermicomposting of waste biomass of medicinal herbs: Status of nutrients and stability parameters. *Bioresource Technology*, 347, 126391. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126391>
6. Elissen, H., van der Weide, R., Gollenbeek, L. (2023). *Effects of vermicompost on plant and soil characteristics – A literature overview* (Report No. WPR-995). Wageningen Plant Research. <https://doi.org/10.18174/587210>
7. Safadoust, A., Azimi, S. B., Dehghan, M. B. (2025). Restoring soil functionality in drylands: Soil texture-specific impacts of vermicompost as an organic waste-based amendment. *Journal of Arid Environments*, 231, 105446. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2025.105446>
8. Mustafayeva, N. B., Mustafayev, B. A., Kobzhasarov, T., Omarov, M. M., Miciński, J., Orzechowski, B., Sobotka, W. (2022). Use of vermicompost for recovery of soil fertility and increase of field crop capacity under conditions of the dry-steppe zone. *Journal of Elementology*, 27(3), 679-693. <https://doi.org/10.5601/jelem.2022.27.2.2287>
9. Permatasari, D., Fitrihidajati, H. (2025). Effectiveness of earthworms (*Eisenia fetida*) and vermicompost combination in bioremediation of oil-contaminated soil. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 14(2), 229-235. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v14n2.p229-235>
10. Zazouli, M. A., Hezarjaribi, H. Z., Charati, J. Y., Ahmadnezhad, A., Mahvi, A. H., Asgharnia, H. (2021). Investigating the effects of vermicomposting process using *Eisenia fetida* earthworms on the reduction of parasite populations. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 19(2), 1623-1633. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00718-6>
11. Jankauskienė, J., Laužikė, K., Kavaliauskaitė, D. (2022). Effects of vermicompost on quality and physiological parameters of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings and plant productivity. *Horticulturae*, 8(11), 1009. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111009>
12. Büyükarşlan, D., Demir, H. (2024). Effects of vermicompost as an alternative substrate on yield and quality of cauliflower and pepper seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 52(2), 13587. <https://doi.org/10.15835/nbha52213587>
13. Haque, M., Khan, M., Akram, S. (2023). Evaluation of e-vermicompost for tomato production. *Bangladesh Journal of Nuclear Agriculture*, 37(1), 31-40. <https://doi.org/10.3329/bjnag.v37i1.69921>
14. Boyacı, S., Atilgan, A., Rolbiecki, R., Kocięcka, J. (2025). The effect of irrigation and vermicompost applications on the growth and yield of greenhouse pepper plants. *Water*, 17(22), 3219. <https://doi.org/10.3390/w17223219>
15. Raza, S. T., Zhu, B., Yao, Z., Wu, J., Chen, Z., Ali, Z., Tang, J. L. (2023). Impacts of vermicompost application on crop yield, ammonia volatilization and greenhouse gases emission on upland in Southwest China. *Science of The Total Environment*, 860, 160479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160479>
16. Terefe, Z., Feyisa, T., Molla, E., Ejigu, W. (2024). Effects of vermicompost and mineral fertilizers on soil properties, malt barley (*Hordeum distichum* L.) yield, and economic benefits. *Agrosystems Geosciences & Environment*, 7(3), e20550. <https://doi.org/10.1002/agg2.20550>
17. Hossain, M. L., Shapna, K. J., Li, J., Lai, D. Y. F., Khandker, S., Salam, M. A., Beierkuhnlein, C. (2025). Vermicompost integration in smallholder farming: Evaluating household practices and stakeholder involvement in diverse agricultural contexts of Bangladesh. *Sustainable Futures*, 10, 101281. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.101281>
18. Sharma, K., Garg, V. K. (2018). Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). *Bioresource Technology*, 250, 708-715. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101>
19. Li, X., Su, Y., Ahmed, T., Ren, H., Javed, M. R., Yao, Y., An, Q., Yan, J., Li, B. (2021). Effects of different organic fertilizers on improving soil from newly reclaimed land to crop soil. *Agriculture*, 11(6), 560. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060560>
20. Sainova, G. A., Kaliyeva, N. A., Yuldashbek, D. K., & Akbasova, A. D. (2023). The Influence of Vermicompost and Various Concentrations of Lead on the Enzymatic Activity of Sierozem Soils of Kazakhstan. *Scientifica (Cairo)*, 2023, 8490234. <https://doi.org/10.1155/2023/8490234>
21. Doszhanova, A., Ospanbayev, Z., Sembayeva, A., Kassipkhan, A., Nazarova, A., Bekbauov, M., Kazkeyev, D. (2024). Unveiling the soil physicochemical dynamics of bare soils in Southeast Kazakhstan: A comprehensive study in the Akdala Massif. *Eurasian Journal of Soil Science*, 13(2), 125-132. <https://doi.org/10.18393/ejss.1408067>
22. Kakabayev, A. A., Sharipova, B. U., Baranovskaya, N. V., Rodrigo-Ilarri, J., Rodrigo-Clavero, M.-E., Lo Papa, G., Muratbekova, S., Nurmukhanbetova, N., Durmekbayeva, Sh., Toychibekova, G.B., Kurmanbayev, R., Zhumabayeva, A. (2024). Impact of environmental conditions on soil geochemistry in Southern Kazakhstan. *Sustainability*, 16(15), 6361. <https://doi.org/10.3390/su16156361>
23. Liu, Q., Yang, L., Ma, L., Zhai, Y., Wang, D. (2026). Effects of organic fertilizers on soil properties in arid zones and their mechanism of action. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1681958. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2026.1681958>
24. Ma, D., Ju, W., Zhao, W., He, Z., Li, R., Sun, W., Yang, R., Zhang, Y. (2025). Salt effects on soil organic carbon in irrigated farmland in arid region. *Geoderma*, 405, 117628. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117628>
25. Guliyeva, Z., Maxsudov, Sh., Garibova, S., Ashurova, N., Aliyeva, A., Novruzova, S., Guliyev, S. (2025). Effects of vermicompost application rates and irrigation regimes on tomato yield, nutrient uptake and soil properties under greenhouse conditions. *Eurasian Journal of Soil Science*, 14(3), 270-279. <https://doi.org/10.18393/ejss.1703816>

26. Bhardwaj, S., Kapoor, B., Kapoor, D., Thakur, U., Dolma, Y., Raza, A. (2025). Manifold roles of potassium in mediating drought tolerance in plants and its underlying mechanisms. *Plant Science*, 351, 112337. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112337>
27. Kumari, S., Singh, R. K., Singh, A., Choubey, A. K., Srivastava, P. K. (2025). Optimization and evaluation of Eisenia fetida based vermicompost derived from fish processing waste, rice straw, and biogas slurry for sustainable agriculture. *Process Safety and Environmental Protection*, 198, 107225. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107225>
28. Niebles, C. C. C., Hernández, H., Muñoz Salas, K., Hasse, A., Gindri Ramos, C. (2025). Comparative evaluation of humic substance production from organic wastes in tropical vermicomposting using Eisenia foetida. *Bioresource Technology Reports*, 31, 102292. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2025.102292>
29. Wu, D., Chen, C., Liu, Y., Zhang, G., Yang, L. (2023). Vermicompost improves tomato yield and quality by promoting carbohydrate transport to fruit under salt stress. *Horticulturae*, 9(9), 1015. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9091015>
30. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Lee, S., Byrne, R. (2006). Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology*, 42(1), 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.06.004>
31. Lazcano, M., Gómez-Brandón, M., Domínguez, J. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, 72(7), 1013-1019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.016>
32. Oyege, I. B., Adejumo, M., Usman, A. (2025). The Role of Vermicompost and Vermicompost Tea in Enhancing Crop Productivity and Plant Health. *Agriculture*, 15(13), 1433. <https://doi.org/10.3390/agriculture15131433>
33. Toor, M. D., Ay, A., Ullah, I., Demirkaya, S., Kızılkaya, R., Mihoub, A., Zia, A., Jamal, A., Ghfar, A. A., Di Serio, A., Ronga, D. (2024). Vermicompost Rate Effects on Soil Fertility and Morpho-Physio-Biochemical Traits of Lettuce. *Horticulturae*, 10(4), 418. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040418>
34. Rehman, S. u., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., Fanizzi, F. P. (2023). Vermicompost: Enhancing Plant Growth and Combating Abiotic and Biotic Stress. *Agronomy*, 13(4), 1134. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041134>

ВЕРМИКОМПОСТТЫҢ ХИМИЯЛЫҚ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТОПЫРАҚТЫҢ АГРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН ЖЫЛЫЖАЙ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІНЕ ӘСЕРІ

Нурлан А. Ахметов¹ PhD, Давлат Х. Юлдашбек^{1*}, Ёкубжан С. Сатанов¹, Жулдыз А. Дюсенова² техника ғылымдарының кандидаты, Бекжан Д. Қосалбаев^{1,3} PhD, Нуралы Ш. Акимбеков^{1,4} PhD, Профессор

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан; nurlan.akhmetov@ayu.edu.kz (НАА); davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz (ДХЮ); yokubzhan.satanov@ayu.edu.kz (ЁСС)

²«Қазгидромет» РМК, Ғылыми-зерттеу орталығының Климаттық зерттеулер басқармасы, Астана, Қазақстан; dyussenova_zh@meteo.kz (ЖАД)

³Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; kossalbayev.bekzhan@gmail.com (БДҚ)

⁴Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан; akimbeknur@gmail.com (НША)

*Автор корреспондені: Давлат Х. Юлдашбек, e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz

ТҮЙІН СӨЗДЕР

вермикомпост,
Eisenia fetida,
кияр (*Cucumis sativus*),
қызанақ (*Solanum
lycopersicum*),
өнімділік,
органикалық тыңайтқыш,
Түркістан облысы,
топырақ қасиеттері

Мақала жайында:

Алынды: 15.04.2026
Қайта қаралды: 27.04.2026
Қабылданды: 23.06.2026
Жарияланды: 01.07.2026

АБСТРАКТ

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасының Түркістан өңірінде жылыжай жағдайында өсірілген киярдың (*Cucumis sativus*) және қызанақтың (*Solanum lycopersicum*) өсуіне, дамуына және өнімділігіне вермикомпостты әртүрлі мөлшерде (субстрат көлемінің 0 %, 10 % және 20 %) енгізудің әсерін қарастырады. Зерттеу топырақ субстратындағы органикалық заттардың химиялық-технологиялық трансформациясы аясында жүргізіледі. Нәтижелер вермикомпостты енгізу субстраттың физика-химиялық қасиеттерінде елеулі өзгерістер тудыратынын көрсетеді, соның ішінде органикалық заттардың артуы, субстрат рН-ының тұрақтануы, азот, фосфор және калий сияқты негізгі макроэлементтердің қолжетімділігінің жақсаруы байқалды. Бұл өзгерістер минералдану процестерінің белсенділенуіне және қоректік заттардың биохимиялық түрленуінің күшеюіне ықпал етеді, нәтижесінде тамыр жүйесінің дамуы, вегетативті өсу және өнімділік артады. Ең жоғары жалпы өнімділік вермикомпосттың 20 % мөлшерінде байқалды, бұл оның агрономиялық тиімділігінің ең жоғары екенін көрсетеді. Сонымен қатар 10 % мөлшері де тұрақты оң әсер беріп, оны жылыжайда өсіру үшін теңгерімді және экономикалық тұрғыдан тиімді нұсқа ретінде қарастыруға болатынын көрсетті. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер вермикомпостты жылыжай көкөніс өндірісінде топырақ субстратын жақсартудың химиялық технологиясында тиімді органикалық компонент ретінде қолдануды қолдайды.

ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРМИКОМПОСТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ТЕПЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

Нурлан А. Ахметов¹ PhD, Давлат Х. Юлдашбек^{1*}, Ёкубжан С. Сатанов¹, Жулдыз А. Дюсенова² кандидат технических наук, Бекжан Д. Косалбаев^{1,3} PhD, Нуралы Ш. Акимбеков^{1,4} PhD, Профессор

¹Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан; nurlan.akhmetov@ayu.edu.kz (НАА); davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz (ДХЮ); yokubzhan.satanov@ayu.edu.kz (ЁСС)

²РГП «Казгидромет», Управления климатических исследований Научно-исследовательского центра, Астана, Казахстан; dyussenova_zh@meteo.kz (ЖАД)

³Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан; kossalbayev.bekzhan@gmail.com (БДК)

⁴Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан; akimbeknur@gmail.com (НША)

*Автор корреспонденции: Давлат Х. Юлдашбек, e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

вермикомпост,
Eisenia fetida,
огурец (*Cucumis sativus*),
томат (*Solanum lycopersicum*),
урожайность,
органическое удобрение,
Туркестанская область,
свойства почвы

По статье:

Получено: 15.04.2026

Пересмотрено: 27.04.2026

Принято: 23.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

АБСТРАКТ

В данном исследовании рассматривается влияние различных доз внесения вермикомпоста (0 %, 10 % и 20 % от объема субстрата) на рост, развитие и урожайность огурца (*Cucumis sativus*) и томата (*Solanum lycopersicum*), выращиваемых в тепличных условиях Туркестанского региона Республики Казахстан. Исследование проводится в рамках химико-технологической трансформации органического вещества в почвенных субстратах. Полученные результаты показывают, что внесение вермикомпоста приводит к существенным изменениям физико-химических свойств субстрата, включая увеличение содержания органического вещества, стабилизацию pH субстрата и улучшение доступности основных макроэлементов, таких как азот, фосфор и калий. Данные изменения способствуют активизации процессов минерализации и усилению биохимической трансформации питательных веществ, что, в свою очередь, стимулирует развитие корневой системы, усиливает вегетативный рост и повышает урожайность. Наивысшая общая продуктивность была зафиксирована при внесении вермикомпоста в дозе 20 %, что свидетельствует о его максимальной агрономической эффективности. В то же время дозировка 10 % также показала устойчиво положительный эффект, что позволяет рассматривать её как сбалансированный и экономически целесообразный вариант для тепличного выращивания. В целом полученные результаты подтверждают эффективность использования вермикомпоста как органического компонента в химической технологии улучшения почвенных субстратов для тепличного овощеводства.

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).



Обзорная статья

ВЛИЯНИЕ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ НА БИОРАЗНООБРАЗИЕ В КАЗАХСТАНЕ

Константин М. Дрютов * , Жанслу И. Инкарова  к. б. н., доцент

НАО "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева", Астана, Казахстан; dryutov_kostya@mail.ru (КМД), inkarzh@mail.ru (ЖИИ)

*Автор корреспонденции: Константин М. Дрютов, dryutov_kostya@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Инвазивные виды, аборигенные виды, ареал, биоразнообразие, экосистема

АБСТРАКТ

Инвазивные виды – виды не характерные для определенной экосистемы. Проникновение инвазивных видов растений и животных в новые экосистемы представляет серьезную угрозу биоразнообразию, нарушая естественные экологические связи и приводя к снижению численности особей аборигенных видов. Казахстан, обладающий богатым природным разнообразием, сталкивается с нарастающей проблемой распространения чужеродных организмов, среди которых Клён ясенелистный (*Acer negundo* L.) и Майна (*Acridotheres tristis* L.) играют ключевую роль в трансформации экосистем и деградации природных территорий. Данное исследование направлено на анализ воздействия инвазивных видов на биоразнообразие Казахстана, подтверждение гипотезы о сокращении видового состава местной флоры и фауны, а также разработку научно обоснованных рекомендаций, которые могут быть использованы для контроля и минимизации последствий инвазий. В работе используются результаты полевых наблюдений исследователей, данные сравнительного анализа и статистического моделирования исследователей, а также материалы отечественных и зарубежных организаций. Результаты исследования могут способствовать формированию стратегии по управлению инвазивными видами, в том числе разработке "Чёрной книги Республики Казахстан", содержащей актуальные сведения о наиболее опасных инвазиях и мерах борьбы с ними. Полученные выводы имеют важное значение для сохранения экосистемного баланса, предотвращения экологических кризисов, разработки эффективных природоохранных мер и поддержания устойчивого биоразнообразия региона.

По статье:

Получено: 24.02.2026

Пересмотрено: 13.04.2026

Принято: 13.04.2026

Опубликовано: 01.07.2026

1. ВВЕДЕНИЕ

Проникновение инвазивных видов растений и животных в новые для них экосистемы является серьезной угрозой для биоразнообразия на международном уровне. Казахстан, обладающий уникальными, разнообразными природными зонами, также сталкивается с этой проблемой. В результате глобализации, климатических изменений и различных антропогенных факторов в страну попадают чужеродные виды, способные радикально менять и уничтожать сложившиеся экосистемные связи. Исследование их влияния на местные экосистемы поможет прогнозировать возможные последствия и разработать стратегии для минимизации ущерба.

Для цитирования:

Дрютов К., Инкарова Ж.,
Влияние инвазивных
видов растений и
животных на
биоразнообразие
в
Казахстане//
Гидрометеорология и
экология, 122 (2), 2026,
231-243.

Актуальность данной темы обусловлена быстрым ростом количества инвазивных видов, которые вытесняют аборигенные организмы, нарушая баланс экосистем, а также отсутствием масштабных мер по борьбе с ними. В результате таких изменений происходят сдвиги в пищевых цепях, ухудшается состояние природных территорий, а редкие и эндемичные виды оказываются под угрозой исчезновения. Несмотря на важность данной проблемы, исследования в Казахстане пока недостаточны, что делает её актуальной и перспективной для дальнейшего глубокого изучения.

Цель исследования заключается в анализе воздействия инвазивных видов на биоразнообразие Казахстана для проверки гипотезы о том, что их распространение приводит к изменению видового состава местной флоры и фауны.

Для достижения цели были выполнены следующие задачи:

- систематизированы основные инвазивные виды растений и животных, присутствующие в Казахстане;
- проанализированы механизмы их воздействия на окружающую среду.

Для анализа применялись междисциплинарные методы, изучение научных работ казахстанских и иностранных авторов, отчеты природоохранных организаций, а также данные сравнительного анализа.

В результате анализа источников по данной теме можно оценить масштабы проблемы и предложить различные обоснованные и эффективные рекомендации по ее решению. Это особенно важно для формирования эффективных национальных стратегий по охране биоразнообразия и устойчивому управлению природными ресурсами.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данная работа представляет собой обзорно-аналитическое исследование, посвященное проблеме распространения инвазивных видов растений и животных на территории Казахстана и их влиянию на биоразнообразие. Основу методологии составил комплексный анализ и синтез информации, содержащейся в открытых научных источниках, специализированных базах данных, ведомственных отчетах и региональных изданиях.

Информационная база исследования включила в себя несколько типов источников. Были проанализированы рецензируемые научные статьи, посвященные проблемам биологических инвазий в Казахстане и Центральной Азии. Значительный объем данных был извлечен из региональных сводок и специализированных изданий, в частности из «Черной книги Алматинской области» [1] и аналогичных материалов по Улытауской и Жетысуской областям [2, 3], которые содержат детальную характеристику локальных инвазионных флор. Дополнительными источниками послужили глобальная база данных GBIF (Global Biodiversity Information Facility), позволившая уточнить первичные и вторичные ареалы рассматриваемых видов, а также отчеты международных организаций, включая документы ООН и Казахстана, что обеспечило сопоставление региональных данных с общемировыми тенденциями.

Обработка и анализ материала проводились с использованием комплекса методов, характерных для обзорных исследований. Сравнительно-географический анализ применялся для сопоставления нативных ареалов видов с территориями их современного распространения в Казахстане, что позволило реконструировать пути и историю интродукции таких видов, как клён ясенелистный (*Acer negundo* L.) и майна (*Acridotheres tristis* L.). Метод экологического анализа был использован для обобщения и систематизации данных о механизмах воздействия инвазивных организмов на аборигенные сообщества, включая конкуренцию, аллелопатию, изменение почвенных и гидрологических условий. На основе анализа биологических характеристик видов, данных об их текущем распространении и факторов антропогенной трансформации экосистем были составлены прогностические оценки относительно дальнейшей экспансии инвазионных видов по территории страны. Для обеспечения наглядности и

структурирования информации по инвазивным позвоночным животным был применен метод табличной систематизации, позволивший сгруппировать виды по классам (рыбы, птицы, млекопитающие, амфибии, пресмыкающиеся) с указанием их латинских названий. При проведении исследования были приняты во внимание существующие трудности, вызванные отсутствием в Казахстане комплексной государственной системы учета и мониторинга инвазивных видов, а также ограниченностью доступной научной литературы. Это приводит к разрозненности доступной информации и указывает на настоятельную потребность в дальнейших обобщающих работах для формирования полного представления о распространении чужеродных видов на территории страны.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходя из Концепции о биологическом развитии, «Инвазивные виды – чужеродные виды, не характерные для данной экосистемы» [4]. Инвазивные чужеродные виды представляют собой один из ключевых факторов, оказывающих значительное глобальное влияние на сокращение биоразнообразия. В настоящее время проблема их распространения и деструктивного воздействия на экосистемы приобретает особую актуальность в мировом масштабе. Без своевременного принятия мер, инвазивные виды способны в кратчайшие сроки привести к полной деградации уникальных региональных экосистем. Например, по данным ООН, «численность инвазивных чужеродных видов возрастает для всех таксономических групп во всех субрегионах Европы и Центральной Азии, и это имеет серьезные последствия для биоразнообразия и экосистемных услуг» [5]. В Республике Казахстан вопрос об инвазивных видах с каждым годом становится все более актуальным. Инвазии вытесняют аборигенные виды растений и животных из их среды обитания. На сегодняшний день точное количество инвазивных видов растений на территории Республики Казахстан не установлена. Это обусловлено отсутствием централизованной системы учета таких видов и недостаточным развитием специализированной научной литературы в данной области. Результаты исследований Ситпаевой и др. [1], Есжановой и др. [2], Хусаиновой и др. [3], по изучению инвазивной флоры Казахстана представлены в таблице 1. По остальным областям сведения отсутствуют, ввиду недостаточной изученности вопросов распространения инвазивных видов на территории Казахстана.

Таблица 1

Инвазивная флора областей Казахстана

	Алматинская область [1]	Улытауская область [2]	Жетысуская область [3]
Общее число инвазивных видов	71	13	17
Наиболее агрессивные виды	9 видов Являются «видами – трансформерами», Клён полевой (<i>Acer campestre</i> L.), Клён ясенелистный (<i>Acer negundo</i> L.), Аморфа кустарниковая (<i>Amorpha fruticosa</i> L.), Берёза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), Ясень обыкновенный (<i>Fraxinus excelsior</i> L.), Тополь белый (<i>Populus alba</i> L.), Тополь чёрный итальянский (<i>Populus nigra f. italica</i> (Münchh.)), Вяз мелколистный (<i>Ulmus pumila</i> L.), Дурнишник восточный (<i>Xanthium orientale</i> L.)	4 вида Клён ясенелистный (<i>Acer negundo</i> L.), Вяз мелколистный (<i>Ulmus pumila</i> L.), Тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera</i> L.), Ясень американский (<i>Fraxinus americana</i> L.)	6 видов Являются «видами – трансформерами» Клён ясенелистный (<i>Acer negundo</i> L.), Вяз приземистый (<i>Ulmus pumila</i> L.), Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.), Слива домашняя (<i>Prunus × domestica</i> L.), Ясень пенсильванский (<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall), Вяз гладкий (<i>Ulmus laevis</i> L.)

В статьях вышеуказанных авторов отмечается: «вид-трансформер» означает, что такие виды активно внедряются в естественные и полустественные сообщества, изменяют облик экосистем, нарушают сукцессионные связи, выступают в качестве эдификаторов и доминантов, образуя значительные по площади одновидовые заросли, вытесняют и препятствуют возобновлению видов природной флоры» [1, 3, 6, 7]. На территории Казахстана самым распространенным из вышеуказанных видов растений, относящихся к данному определению, является клён ясенелистный (*Acer negundo* L.)

Первоначальным ареалом данного растения является Северная Америка. На сегодняшний день растение увеличило свой ареал до практически всех частей света [8]. В Евразии растение появилось в XVII веке. Оно было привезено для выращивания в ботанических садах и усадьбах, но позже, ввиду своего быстрого размножения, начало распространяться по всему континенту. В Центральную Азию растение стали ввозить во второй половине XIX века. Активно в озеленении пространства стал использоваться в СССР вместе с представителями рода тополь (*Populus* spp.) в период до Великой Отечественной войны. Основной причиной использования клёна в озеленении городов и участков вдоль дорог являлась его неприхотливость к условиям произрастания, высокая устойчивость к дефициту или избытку влаги и питательных веществ, а также способность переносить загрязнённые и тенистые зоны. На сегодняшний день клён продолжает применяться в городском озеленении благодаря быстрому росту и размножению. Однако следует учитывать, что это растение признано инвазивным в более чем десяти странах мира, что ставит под вопрос целесообразность его широкого использования [9]. Несмотря на это, клён обладает рядом преимуществ: формирует тень в городских массивах, способствуя снижению температуры в жаркое время года; листья растения частично задерживают пыль и вредные химические примеси, выделяемые транспортом; семена клёна служат кормовой базой для многих видов птиц, а цветение привлекает разнообразие видов насекомых.

Однако, если смотреть на использование данного растения в современном озеленении, то недостатков будет намного больше, ведь его распространение оказывает негативное влияние на биоразнообразие. Будучи агрессивным инвазивным видом, он быстро захватывает новые территории, изменяет облик экосистем, нарушает сукцессионные связи [1], вытесняя местные растения. В тугайных лесах он конкурирует с такими традиционными древесными видами, как тополь туркестанский (*Populus euphratica* O.) и ива белая (*Salix alba* L.), которые играют важную роль в поддержании природного баланса этих экосистем. Ситпаева и др., пишут, что «В горных районах селится в местах обитания редких видов, таких как яблоня Сиверса (*Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem.), береза тяньшанская (*Betula tianschanica* Rupr.), рябина тяньшанская (*Sorbus tianschanica* Rupr.), тополь таласский (*Populus talassica* Kom.)» [2]. Его способность к быстрому росту и интенсивному размножению приводит к тому, что он формирует плотные заросли, что приводит к вытеснению и снижению разнообразия травянистой растительности [10].

Помимо этого, клён ясенелистный обладает выраженными аллелопатическими свойствами – он выделяет в почву специфические химические соединения (фенолы и флавоноиды), подавляющие рост других растений. Это приводит к постепенному исчезновению многих местных травянистых и кустарниковых видов, таких как адонис весенний (*Adonis vernalis* L.) и астрагал (*Astragalus* spp.), а также снижает видовое разнообразие на территориях его массового произрастания. Ингибиторные свойства клёна влияют не на все растения. В результате исследования Цандековой О.Л. доказано, что «Аллелопатически активные вещества, содержащиеся в опаде и почве клёна ясенелистного (*Acer negundo* L.), оказывали положительное действие на прорастание семян и рост проростков донника лекарственного (*Melilotus officinalis* L.) и мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), особенно в прикорневой зоне» [11].

Еще одна причина – влияние растения на здоровье человека. Пыльца клёна американского является сильнейшим аллергеном. В период своего цветения растение выделяет огромное количество пыльцы, которая вызывает аллергические реакции у людей и способствует обострению заболеваний дыхательных путей [12].

Клён ясенелистный (*Acer negundo* L.) продолжает расширять свой ареал в Казахстане. Он активно расселяется в степных и лесостепных экосистемах, в то время как в полупустынных и пустынных регионах на данный момент не представляет непосредственной угрозы для аборигенной флоры. Прогноз распространения клена ясенелистного в Казахстане строится на основе анализа текущего ареала вида, его биологических характеристик и экологических особенностей регионов, где он уже натурализовался. Исследования показывают, что данный вид активно распространяется вдоль урбанизированных территорий, прибрежных зон рек и пойменных экосистем, характеризующихся высоким уровнем антропогенной трансформации [1...3]. Способность к быстрому росту, вегетативному размножению и массовому семенному посеву способствует захвату новых территорий, включая участки с аборигенной флорой [2...6]. Особое значение для прогнозирования представляет аллелопатическое воздействие клена ясенелистного, которое замедляет рост травянистых растений в непосредственной близости от взрослых деревьев [11]. Это создаёт конкурентные преимущества для вида и способствует формированию монодоминантных насаждений, что ускоряет процесс распространения на новые участки [3,7].

Использование глобальных баз данных о биологическом разнообразии позволяет оценить потенциальные направления дальнейшего распространения вида. По данным GBIF, клен ясенелистный уже демонстрирует тенденцию к проникновению в северные, центральные и восточные регионы Казахстана, включая поймы рек Иртыш и Или, а также урбанизированные территории с парками и зелёными зонами [8]. Прогнозируемая скорость расширения ареала будет зависеть от степени урбанизации, водного режима, антропогенных вмешательств и климатических условий регионов.

Системное ограничение распространения клёна ясенелистного (*Acer negundo* L.) продиктовано его высокой инвазионной способностью, интенсивным самосевом и выраженными аллелопатическими свойствами, позволяющими виду доминировать в экосистемах. Первоочередным механизмом реализации данной стратегии должен стать нормативный запрет на использование *A. negundo* L. в новых проектах городского озеленения, закрепленный в региональных правилах благоустройства. Критерием эффективности этой меры является достижение нулевого показателя присутствия вида в проектной документации новых объектов. В качестве альтернативного ассортимента для условий Казахстана предлагается переход на использование аборигенных пород, таких как вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), тополь чёрный (*Populus nigra* L.), берёза повислая (*Betula pendula* Roth.) и дуб черешчатый (*Quercus robur* L.). Внедрение этих видов должно осуществляться через создание специализированных муниципальных питомников, обеспечивающих достаточный объем посадочного материала, что позволит снизить долю *A. negundo* L. в структуре городских лесов до минимальных показателей.

Параллельно с заменой пород необходимо внедрение технологического регламента по работе с существующими насаждениями, который включает обязательную инвентаризацию и маркировку мужских и женских особей в период цветения. Механизм реализации заключается в поэтапном удалении женских экземпляров, являющихся источниками семян, при сохранении мужских форм исключительно на изолированных участках, удаленных от водных объектов [1]. Особое внимание следует уделить созданию буферных зон шириной не менее 1000 метров вдоль береговых линий рек, каналов и озер, где присутствие *A. negundo* L. должно полностью исключаться. Контроль эффективности данных мероприятий осуществляется посредством ежегодного мониторинга прилегающих территорий: отсутствие самосева и подростков клёна старше двух лет в

радиусе охвата будет свидетельствовать об успешной блокировке инвазионного коридора.

Что касается животных, то в настоящее время по данным Шестого национального доклада Республики Казахстан о биологическом разнообразии, на территории Казахстана встречается до 55 инвазивных и чужеродных видов позвоночных животных. Среди них птицы занимают особое место: сложно составить точный список, ведь одни виды – залётные и не влияют на экосистемы, в то время как другие активно расселяются и заметно влияют на местное биоразнообразие [13]. В таблице 2 представлены конкретные примеры инвазивных видов позвоночных животных, проживающих на территории Казахстана, характерных для каждой группы.

Таблица 2

Инвазивные и чужеродные виды позвоночных животных в Казахстане

Группы позвоночных животных	Примеры инвазивных видов
Рыбы (26 видов)	Абботтина речная, или амурский лжескарь (<i>Abbottina rivularis</i> Bas.), Анабарилиус многочисельный (<i>Anabarilius polylepis</i> Reg.), Амур белый (<i>Ctenopharyngodon idella</i> Val.), Бычок амурский (<i>Rhinogobius similis</i> Gill.), Бычок-асра туркменский (<i>Benthophiloides turcomanus</i> Пj.), Вьюн китайский (<i>Misgurnus mohoity</i> Dyb.), Вобла (плотва каспийская) (<i>Rutilus rutilus caspicus</i> L.), Востробрюшка обыкновенная (<i>Hemiculter leucisculus</i> Bas.), Гамбузия хольбрукская (<i>Gambusia holbrooki</i> Gir.), Горчак глазчатый (<i>Rhodeus ocellatus</i> Кнер.), Горчак китайский (<i>Rhodeus sinensis</i> Gün.), Змееголов (<i>Channa argus</i> Cant.), Камбала речная европейская (<i>Platichthys flesus</i> L.), Медака (<i>Oryzias latipes</i> Tem. & Schleg.), Микижа (<i>Oncorhynchus mykiss</i> Walb.), Остронос (<i>Liza saliens</i> Risso.), Пелядь, или сырок (<i>Coregonus peled</i> Gmel.), Ряпушка европейская (<i>Coregonus albula</i> L.), Сельдь балтийская, или салака (<i>Clupea harengus</i> L.), Сиг обыкновенный (<i>Coregonus lavaretus</i> L.), Толстолобик белый (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> Val.), Толстолобик пестрый (<i>Hypophthalmichthys nobilis</i> Rich.), Трегубка, или троегуб (<i>Opsariichthys uncirostris</i> Tem. & Schleg.), Угорь речной (<i>Anguilla anguilla</i> L.), Элеотрис китайский (<i>Micropercops cinctus</i> Dab. de Thiers.), Чебачок амурский (<i>Pseudorasbora parva</i> Tem. & Schleg.) [14]
Птицы (2 вида осёдлых, 24 вида залётных)	Осёдлые: Кольчатая горлица (<i>Streptopelia decaocto</i> L.), Майна (<i>Acridotheres tristis</i> L.) Залётные: Бегунок (<i>Cursorius cursor</i> Lath.), Белозобый дрозд (<i>Turdus torquatus</i> L.), Белокрылый клест (<i>Loxia leucoptera</i> Gmel.), Белошапочная горихвостка (<i>Chaimarrornis leucoccephalus</i> Vig.), Большешкловая камышевка (<i>Acrocephalus orinus</i> Oberh.), Бургомистр (<i>Larus hyperboreus</i> Gunn.), Восточный зуёк (<i>Charadrius veredus</i> Gould), Гималайская пищуха (<i>Certhia himalayana</i> Vig.), Индийская прудовая цапля (<i>Ardeola grayii</i> Sykes), Иглохвостый стриж (<i>Hirundapus caudacutus</i> Lath.), Касатка (<i>Anas falcata</i> Georgi), Клоктун (<i>Anas formosa</i> Georgi), Корольковая пеночка (<i>Phylloscopus proregulus</i> Pall.), Кроншнеп-малютка (<i>Numenius minutus</i> Gould), Моевка (<i>Rissa tridactyla</i> L.), Пеночка-таловка (<i>Phylloscopus borealis</i> Blas.), Полуошейниковая мухоловка (<i>Ficedula semitorquata</i> Homey.), Сизая горихвостка (<i>Rhyacornis fuliginosus</i> Vig.), Сибирский конёк (<i>Anthus gustavi</i> Swinh.), Толстоклювая пеночка (<i>Phylloscopus schwarzi</i> Radde), Чёрная кряква (<i>Anas poecilorhyncha</i> J. R. Forst.), Черноголовая чайка (<i>Larus melanocephalus</i> Temm.), Мухоловка-белошейка (<i>Ficedula albicollis</i> Temm.), Ястребинный орёл (<i>Hieraetus fasciatus</i> Vieill.) [13...15]
Млекопитающие (10 видов)	Американская норка (<i>Mustela vison</i> Schreber), Белка обыкновенная (<i>Sciurus vulgaris</i> L.), Енотовидная собака (<i>Nyctereutes procyonoides</i> Eversm.), Заяц-русак (<i>Lepus europaeus</i> Pall.), Обыкновенный ёж (<i>Erinaceus auritus</i> L.), Ондатра (<i>Ondatra zibethicus</i> L.), Серая крыса (<i>Rattus norvegicus</i> Berkenh.), Соболь (<i>Martes zibellina</i> L.), Шакал (<i>Canis aureus</i> L.), Чёрная крыса (<i>Rattus rattus</i> L.) [13...14]
Земноводные	Не зарегистрированы устойчивые виды
Пресмыкающиеся	Не зарегистрированы устойчивые виды

Одним из наиболее опасных инвазивных видов фауны, встречающихся не только в Казахстане, но и во всем регионе Центральной Азии, является майна (*Acridotheres tristis* L.), которая считается глобально инвазивным видом.

Первоначальный ареал майны (*Acridotheres tristis* L.) охватывал Южную Азию, включая Афганистан, Иран, Пакистан, Индию и Шри-Ланку. В результате интродукции этот вид в настоящее время распространён в различных регионах мира, таких как ЮАР, Австралия, Израиль, Япония и США [8]. Несмотря на отсутствие эмпирических доказательств негативного воздействия на местную фауну, майна входит в список 100 самых опасных инвазивных видов глобально [16]. На территории Казахстана вид был впервые зафиксирован в конце 1960-х годов на юге страны, вблизи города Шымкент, и позднее начал активно расселяться вдоль долины реки Сырдарья и в предгорьях Тянь-Шаня. В настоящее время майна встречается в южных областях, преимущественно в крупных городах, таких как Алматы, Шымкент, Тараз и Туркестан, а также периодически наблюдается в центральных регионах страны – в городах Жезказган и Аягоз, а также на территории Алакольской котловины [17]. Высокая адаптивность майны (*Acridotheres tristis* L.) обеспечивает её выживание в различных климатических условиях страны [18] и успешное обитание в антропогенных средах. В районах с низкой человеческой активностью или отсутствием населённых пунктов плотность расселения майны низкая либо виды отсутствуют. Причина этого заключается в том, что птицы выбирают для гнездования различные укрытия: от пустот в зданиях и скворечников до нор в глинистых обрывах и дупел деревьев [19].

Появление и быстрое распространение майны привело к значительному влиянию на местные экосистемы. Это воздействие проявляется, прежде всего, в конкуренции за места для гнезд и источники пищи с местными видами птиц, такими как домовая воробей (*Passer domesticus* L.), полевой воробей (*Passer montanus* L.), обыкновенный скворец (*Sturnus vulgaris* L.), сизый голубь (*Columba livia* Gmelin.), галка обыкновенная (*Corvus monedula* L.) и обыкновенная иволга (*Oriolus oriolus* L.). Майна занимает лучшие территории для гнездования, разрушает кладки, уничтожает птенцов и вытесняет аборигенные виды из привычных мест обитания, что приводит к изменению биоразнообразия местных популяций [20]. Изменение видового разнообразия птиц оказывает прямое влияние на растительные сообщества. Многие деревья и кустарники юга Казахстана, такие как джида узколистная (*Elaeagnus angustifolia* L.), лох серебристый (*Elaeagnus commutata* Bernh. ex Rydb.), боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pall.), туранговый тополь (*Populus diversifolia* Schrenk.) и гребенщик (*Tamarix ramosissima* Ledeb.), зависят от птиц для распространения семян. Падение численности скворцов, голубей и иволг может привести к ухудшению естественного обновления растений и способствовать быстрому увеличению популяций насекомых-вредителей, таких как саранча, тля, бабочки и гусеницы, что негативно сказывается на природных экосистемах.

Помимо воздействия на природные сообщества, майна создаёт ряд антропо – экологических рисков. В городских и сельских ландшафтах её плотные популяции могут наносить ущерб сельскохозяйственным культурам, поедая зерно, фрукты и другие растения, а также конкурируя за пищевые ресурсы с домашними птицами и мелкими животными. Эти взаимодействия снижают продуктивность хозяйств и увеличивают экономические затраты на защиту посевов и птицеводство [21].

Для городского населения майна также может приносить неудобства: она является переносчиком бактерий, паразитов, вирусов и заболеваний, таких как птичий грипп и сальмонеллёз. Также она формирует крупные скопления, производит громкие звуки и активна вблизи построек, что создаёт дискомфорт для жителей городов и сельских населённых пунктов. При этом её разнообразное питание, включающее как насекомых, так и растительные продукты, делает невозможным полноценное замещение специализированных насекомоядных птиц в контроле за вредителями, усиливая риски для экосистем и сельского хозяйства [21].

На основании анализа данных о глобальном распространении майны (*Acridotheres tristis* L.) и исследования факторов, влияющих на её заселение урбанизированных и природных территорий, можно предположить дальнейшее расширение ареала вида на территории Казахстана [22, 23]. Исследования показывают, что майна активно осваивает градиенты от плотной городской застройки до пригородных и сельских ландшафтов, используя антропогенные структуры для гнездования и поиска пищи [22]. Этот феномен наблюдался в Малайзии, где популяции майны постепенно мигрировали из центра городов на окраины и в пригородные зоны, демонстрируя высокую экологическую пластичность и способность адаптироваться к новым условиям [22].

Глобальное моделирование распространения майны подтверждает, что её потенциальный ареал определяется сочетанием климатических факторов, доступности пищи и урбанизированных мест обитания [23]. С учётом климатических зон Казахстана, популяции майны, первоначально заселившие южные области, а именно регионы вокруг Шымкента и Тараза, уже постепенно мигрируют на север и восток, распространяясь вдоль долин рек, городских агломераций и транспортных коридоров [17].

В своем исследовании Ковшарь отмечал, что в ближайшее время из-за быстрого роста популяции потребуется регулирование численности майны. В соседнем Узбекистане еще в июне 2003 года предпринимались попытки контроля этой популяции через отстрел, но результата от этого не было: птицы быстро восстановили популяцию [14]. На сегодняшний день систематический сбор и анализ данных о численности, пространственном распределении и динамике популяций инвазивного вида майны могут позволить выявить участки повышенного экологического риска и разрабатывать обоснованные меры по минимизации воздействия на аборигенное биоразнообразие. Для повышения достоверности мониторинга целесообразно использовать стандартизированные орнитологические методы учёта, включая маршрутные и точечные наблюдения с геопривязкой, применение ГИС-технологий и формирование централизованных баз данных с регулярной верификацией информации [24]. При этом важно фиксировать не только факт присутствия вида, но и количественные показатели, особенности поведенческой активности, типы местообитаний и сезонные колебания численности. Контроль результатов мониторинга осуществляется через полноту охвата территории, частоту наблюдений и сокращение времени выявления новых очагов расселения.

Комплексное регулирование численности должно сочетать ограничение доступа к кормовой базе и местам гнездования. Снижение кормовой обеспеченности достигается за счёт оптимизации санитарного состояния урбанизированных территорий, ограничения доступа к источникам пищи, а также конструктивных решений, препятствующих использованию кормушек. Контроль гнездовых ресурсов реализуется через инженерные меры (герметизация полостей, установка защитных барьеров и сеток) и биотехнические методы, включая поддержку аборигенных конкурентных видов с помощью искусственных гнездовий. Дополнительно необходима нормативно-правовая база, регулирующая содержание и оборот птиц для предотвращения вторичных интродукций. Сравнение динамики численности, числа гнездовых пар и уровня репродуктивного успеха позволяет оценивать результативность применяемых мер.

Оптимизация антропогенных ландшафтов является важной частью управления популяциями инвазивного вида. При проектировании зелёных насаждений рекомендуется создавать мозаичные фитоценозы с участием древесно-кустарниковой растительности, менее благоприятной для закрепления майны, вместо однородных открытых пространств. Регулирование среды обитания учитывает трофические и защитные условия, влияющие на размножение и выживание популяции, а при необходимости допустимо применять гуманный отлов и локальное изъятие особей с соблюдением этических и природоохранных норм. Динамика численности на контрольных и экспериментальных участках позволяет анализировать результаты этих мероприятий.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование инвазивных видов растений и животных на территории Казахстана показало, что их распространение оказывает значительное негативное влияние на биоразнообразие и стабильность экосистем. Проникновение чужеродных видов приводит к вытеснению аборигенных организмов, изменению пищевых цепей, нарушению структуры экосистем и снижению видового разнообразия. Анализ проведённых исследований продемонстрировал, что инвазивные виды растений, такие как клён ясенелистный (*Acer negundo* L.), создают плотные заросли из-за своего быстрого размножения, изменяют химический состав почвы, подавляют рост местных травянистых и древесных растений. В свою очередь, инвазивные животные, например, майна (*Acridotheres tristis* L.), агрессивно конкурируют с местными видами за ресурсы, что приводит к сокращению популяций домовых и полевых воробьёв, скворцов, голубей и других птиц, играющих важную роль в экосистемах.

Применённые в ходе анализа методы позволили подтвердить нашу гипотезу, а также выявить устойчивые причинно-следственные связи между распространением инвазивных видов и их негативным воздействием на окружающую среду. Анализ доступных статистических данных и материалов полевых наблюдений подтвердил устойчивую тенденцию к распространению инвазивных организмов, особенно в урбанизированных территориях и прибрежных зонах, где антропогенно трансформированные условия среды создают благоприятные предпосылки для их активного расселения и натурализации. Обзор подтвердил актуальность разработки экономически и юридически обоснованных и долгосрочных стратегий, направленных на предотвращение дальнейшего распространения чужеродных видов. В связи с этим особое значение приобретает обеспечение целевого финансирования и создание действенных стимулов для реализации экономически эффективных программ и нормативно-правовых актов по сдерживанию экспансии существующих инвазивных видов. Приоритетной задачей таких программ должна стать защита еще не затронутых инвазиями естественных экосистем, сохранение социальной и промышленной инфраструктуры. Результаты работы свидетельствуют о необходимости принятия целого ряда мер для борьбы с инвазивными видами в Казахстане. Для этого рекомендуется усиление мониторинга и создание единой базы данных инвазивных видов на государственном уровне, разработка и внедрение профилактических мер по недопущению новых инвазий, применение методов биологического и механического контроля для сдерживания популяций инвазивных видов, развитие экологического сознания у населения и устранение ключевых факторов, способствующих их быстрому распространению. Глубокое понимание этих аспектов позволит предсказывать новые инвазии, выбирать оптимальные методы контроля и оценивать их влияние на местные экосистемы. Реализация предложенных мер поможет минимизировать вред от инвазивных видов для биоразнообразия, поддержать природные экосистемы и обеспечить устойчивое развитие региона.

Данное исследование может быть использовано для дальнейшей разработки Чёрной книги Республики Казахстан, где будет собрана детальная информация об инвазивных видах, их влиянии на экосистему, а также мерах по их контролю и предотвращению распространения. Создание такого издания позволит не только систематизировать сведения, но и сформировать научную и практическую базу для дальнейших природоохранных мероприятий в стране.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – КМД; управление данными - КМД; формальный анализ -КМД, ЖИИ; методология -КМД; написание и редактирование обзора – КМД,ЖИИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ситпаева Г.Т., Зверев Н.Е., Масалова В.А., Бабай И.В., Набиева С.В., Эпиктетов В.Г., Хусаинова И.В., Абдухадыр А., Рахимова Е.В., Сатеков Е.Я. Черная книга Алматинской области. – Алматы – 156 с. (2023) [Электрон. ресурс]. – URL: <https://botsad.kz/files/pub/black.pdf> (дата обращения: 16.02.2026).
2. Есжанова А., Абдухадыр А., Масалова В., Ситпаева Г., Зверев Н., Эпиктетов В., Билибаева Б., Бабай И., Набиева С., Избастина К. Чужеродные древесные растения Улытауского региона: инвазионный потенциал и пути натурализации // Вестн. Евраз. нац. ун-та. им. Л.Н. Гумилева. Сер. Биол. науки. – 2025. – Т.152, №3. – С.123–146.
3. Хусаинова И.В., Ситпаева Г.Т., Бабай И.В., Масалова В.А., Набиева С.В., Абдухадыр А., Зверев Н.И., Эпиктетов В.Г. Чужеродная дендрофлора Алматинской области и оценка её инвазионности // Рос.журн. биол. инвазий. – 2023. – Т.16, №4. – С.118–131
4. Convention on Biological Diversity. Scientific and Technical Information to Support the Post-2020 Global Biodiversity Framework: Review of the Findings of the Global Assessment Report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services and Other Relevant Assessments, and Their Implications for the Work of the Convention and the Post-2020 Global Biodiversity Framework (2019) [Электрон. ресурс].– URL: <https://www.cbd.int/doc/c/df3f43a1/a81205a74bebd334ab91ed89/sbstta-23-02-add1-en.pdf> (дата обращения: 16.02.2026).
5. United Nations. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Report of the Plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on the Work of Its Sixth Session (2018) [Электрон. ресурс].– URL: https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/downloads/ipbes-6-15-add.4-advance_eca.pdf (дата обращения: 16.02.2026).
6. Reichard S.H., White P. Horticulture as a pathway of invasive plant introductions in the United States // BioScience. – 2001. – Vol.51. – P.103–113. – DOI: [10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0103:HAPOI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0103:HAPOI]2.0.CO;2)
7. Richardson D.M., Rejmánek M. Trees and shrubs as invasive alien species – a global review // Diversity and Distributions. – 2011. – Vol.17. – P.788–809. – DOI: [10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x](https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x).
8. Global Biodiversity Information Facility [Электрон. ресурс]. – URL: <https://www.gbif.org/dataset/d7dddbf4-2cf0-4f39-9b2a-bb099caae36c> (дата обращения: 16.02.2026).
9. АССОЦИАЦИЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ КАЗАХСТАНА. Клён ясенелистный. Казнить нельзя помиловать (2023) [Электрон. ресурс].– URL: <https://aok.kz/2023/11/11/ash-leaved-maple-execution-cannot-be-pardoned/> (дата обращения: 19.03.2023).
10. Veselkin D.V., Dubrovin D.I., Pustovalova L.A. High canopy cover of invasive *Acer negundo* L. affects ground vegetation taxonomic richness // Scientific Reports. – 2021. – Vol.11. – Article 20758.
11. Цандекова О.Л. Роль аллелопатического влияния *Acer negundo* L. на рост травянистых растений // Нижневарт. Гос. ун-т. Сер. биол. науки. – 2020. – №1. – С.15–18.
12. Ribeiro H., Oliveira M., Ribeiro N., Cruz A., Ferreira A., Machado H., Reis A., Abreu I.P. Pollen allergenic potential nature of some trees species: a multidisciplinary approach using aerobiological, immunochemical and hospital admissions data // Environmental Research. – 2009. – Vol.109, №3. – P.328–333. – DOI: [10.1016/j.envres.2008.11.008](https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.11.008).
13. Шестой национальный доклад Республики Казахстан о биологическом разнообразии (2020) [Электрон. ресурс]. – URL: <https://www.cbd.int/doc/nr/nr-06/kz-nr-06-ru.pdf> (дата обращения: 21.02.2026).
14. Ковшарь А.Ф. Чужеродные виды и необходимость ведения «Чёрной книги фауны Казахстана» // Зоол. ежегод. Каз. и Ц. Азии (Selevinia). – 2012. – Т.20. – С.37–44.
15. Сорочинский М.В. Материалы о распространении кольчатой горлицы *Streptopelia decaocto* в Северном Казахстане // Рус. орнитол. журн. – 2022. – №2233.
16. Lowe S., Browne M., Boudjelas S., Poorter M.D. 100 of the world's worst invasive alien species: A selection from the Global Invasive Species Database. – 2000. – The Invasive Species Specialist Group (ISSG), Species Survival Commission (SSC), IUCN. – 7 p.
17. Ковшарь А.Ф., Березовиков Н.Н. Тенденции изменения границ ареалов птиц в Казахстане во второй половине XX столетия // Рус. орнитол. журн. – 2022. – №2249.
18. Birlıkbay Y., Nurlan B., Sayat S., Askar M., Bekzat T., Alibek Y. Features of the Common Myna in Green Areas of Almaty // International Journal of Poultry Science. – 2019. – Vol.18, №8. – P.379–386.
19. Raimov Avaz R., Rakhmonov Rashid R. Distribution and number of Common myna *Acridotheres tristis* (Linnaeus, 1766) in different habitats of the Kyzylkum region // Природа Внут. Азии. 2019. №2 (11).
20. Жатқанбаев А.Ж. Об агрессивном поведении майны *Acridotheres tristis* в городе Алматы // Рус. орнитол. журн. – 2021. – №2046.
21. Animal Diversity Web. *Acridotheres tristis* (2025) [Электрон. ресурс].– URL: https://animaldiversity.org/accounts/Acridotheres_tristis/?utm_source (дата обращения: 19.03.2026).
22. Arazmi F.N., Ismail N.A., Daud U.N.S., Abidin K.Z., Nor S.M., Mansor M.S. Spread of the invasive Javan myna along an urban–suburban gradient in Peninsular Malaysia // Urban Ecosystems. – 2022. – Vol.25. – DOI: [10.1007/s11252-022-01216-9](https://doi.org/10.1007/s11252-022-01216-9).
23. Cohen T.M., McKinney M., Kark S., Dor R. Global invasion in progress: modeling the past, current and potential global distribution of the common myna // Biological Invasions. – 2019. – Vol.21, №4. – DOI: [10.1007/s10530-018-1900-3](https://doi.org/10.1007/s10530-018-1900-3).

24. Per E. Status of the common myna *Acridotheres tristis* Linnaeus, 1766 in Turkey // *Animal Biodiversity and Conservation*. – 2022. – DOI: [10.32800/abc.2022.45.0079](https://doi.org/10.32800/abc.2022.45.0079).

REFERENCES

- Sitpaeva G.T., Zverev N.E., Masalova V.A., Babay I.V., Nabieva S.V., Epiktetov V.G., Khusainova I.V., Abdukhadyr A., Rakhimova E.V., & Satekov, E. Ya. (2023). *Chernaya kniga Almatinskoy oblasti* [Black Book of Almaty Region]. Almaty, 156 p. [Electronic resource]. Available at: <https://botsad.kz/files/pub/black.pdf> (date of access: 16 February 2026). [in Russian]
- Eszhanova A., Abdukhadyr A., Masalova V., Sitpaeva G., Zverev N., Epiktetov V., Bilibaeva B., Babay I., Nabieva S., & Izbastina K. Chuzherodnye drevesyne rasteniya Ulytauskogo regiona: invazionnyy potentsial i puti naturalizatsii [Alien woody plants of the Ulytau region: invasion potential and naturalization pathways]. *Vestnik Evraziyskogo natsionalnogo universiteta imeni L.N. Gumileva. Seriya Biologicheskije nauki*, Vol.152, No.3, pp.123–146. [in Russian]
- Khusainova I.V., Sitpaeva G.T., Babay I.V., Masalova V.A., Nabieva S.V., Abdukhadyr A., Zverev N.I., & Epiktetov V.G. Chuzherodnaya dendroflora Almatinskoy oblasti i otsenka ee invazionnosti [Alien dendroflora of Almaty region and assessment of its invasiveness]. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy*, Vol.16, No.4, pp.118–131. [in Russian]
- Convention on Biological Diversity. (2019) Scientific and Technical Information to Support the Post-2020 Global Biodiversity Framework... [Electronic resource]. Available at: <https://www.cbd.int/doc/c/df3f/43a1/a81205a74bebd334ab91ed89/sbstta-23-02-add1-en.pdf> (date of access: 16 February 2026).
- United Nations. (2018) Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services... [Electronic resource]. Available at: https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/downloads/ipbes-6-15-add.4-advance_eca.pdf (date of access: 16 February 2026).
- Reichard S.H., & White P. (2001) Horticulture as a pathway of invasive plant introductions in the United States. *BioScience*, Vol.51, pp.103–113. DOI: 10.1641/0006-3568051[0103:HAAPOI]2.0.CO;2
- Richardson D.M., & Rejmánek M. Trees and shrubs as invasive alien species: a global review. *Diversity and Distributions*, Vol.17, pp.788–809. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x
- Global Biodiversity Information Facility (n.d.) [Electronic resource]. Available at: <https://www.gbif.org/dataset/d7dddbf4-2cf0-4f39-9b2a-bb099caae36c> (date of access: 16 February 2026).
- Assotsiatsiya ozeleneniya Kazakhstana. Klen yasenelistnyy. Kaznit nelzya pomilovat [Ash-leaved maple: execution or pardon]. (2023) [Electronic resource]. Available at: <https://aok.kz/2023/11/11/ash-leaved-maple-execution-cannot-be-pardoned/> (date of access: 19 March 2023). [in Russian]
- Veselkin D.V., Dubrovin D.I., & Pustovalova L.A. High canopy cover of invasive *Acer negundo* L. affects ground vegetation taxonomic richness. *Scientific Reports*, Vol.11, Article 20758.
- Tsandekova O.L. Rol allelopaticeskogo vliyaniya *Acer negundo* L. na rost travyanistykh rasteniy [The role of allelopathic influence of *Acer negundo* L. on the growth of herbaceous plants]. *Nizhnevartovsk State University. Series Biological Sciences*, No.1, pp.15–18. [in Russian]
- Ribeiro H., Oliveira M., Ribeiro N., Cruz A., Ferreira A., Machado H., Reis A., & Abreu I.P. Pollen allergenic potential nature of some tree species... *Environmental Research*, Vol.109, No.3, pp.328–333. DOI: 10.1016/j.envres.2008.11.008
- Respublika Kazakhstan. Shestoy natsionalnyy doklad Respubliki Kazakhstan o biologicheskoy raznoobrazii [Sixth National Report of the Republic of Kazakhstan on Biological Diversity]. (2020) [Electronic resource]. Available at: <https://www.cbd.int/doc/nr/nr-06/kz-nr-06-ru.pdf> (date of access: 21 February 2026). [in Russian]
- Kovshar A.F. Chuzherodnye vidy i neobkhodimost vedeniya “Chernoy knigi fauny Kazakhstana” [Alien species and the need for a “Black Book of the fauna of Kazakhstan”]. *Zoologicheskii ezhegodnik Kazakhstana i Tsentralnoy Azii (Selevinia)*, Vol.20, pp.37–44. [in Russian]
- Sorochinskiy M.V. (2022) Materialy o rasprostraneni kolchatoy gorlitsy *Streptopelia decaocto* v Severnom Kazakhstane [Materials on the distribution of the Eurasian collared dove in Northern Kazakhstan]. *Russkiy ornitologicheskii zhurnal*, No.2233. [in Russian]
- Lowe S., Browne M., Boudjelas S., & Poorter M.D. (2000) 100 of the world’s worst invasive alien species... *IUCN*, 7 p.
- Kovshar A.F., Berezovikov N.N. Tendentsii izmeneniya granits arealov ptits v Kazakhstane vo vtoroy polovine XX stoletiya [Trends in changes of bird range boundaries in Kazakhstan in the second half of the 20th century]. *Russkiy ornitologicheskii zhurnal*, No.2249. [in Russian]
- Birlikbay Y., Nurlan B., Sayat S., Askar M., Bekzat T., & Alibek Y. (2019) Features of the Common Myna in Green Areas of Almaty. *International Journal of Poultry Science*, Vol.18, No.8, pp.379–386.
- Raimov A.R., & Rakhmonov R.R. (2019) Distribution and number of Common myna *Acridotheres tristis* (Linnaeus, 1766) in different habitats of the Kyzylkum region. *Priroda Vnutrenney Azii*, No.2(11).
- Zhatkanbaev A.Zh. (2021) Ob agressivnom povedenii mayny *Acridotheres tristis* v gorode Almaty [On aggressive behavior of the common myna in Almaty]. *Russkiy ornitologicheskii zhurnal*, No.2046. [in Russian]
- Animal Diversity Web. *Acridotheres tristis* (2025) [Electronic resource]. Available at: https://animaldiversity.org/accounts/Acridotheres_tristis/?utm_source (date of access: 19 March 2026).
- Arazmi F.N., Ismail N.A., Daud U.N.S., Abidin K.Z., Nor S.M., & Mansor M.S. (2022) Spread of the invasive Javan myna along an urban–suburban gradient in Peninsular Malaysia. *Urban Ecosystems*, Vol.25. DOI: 10.1007/s11252-022-01216-9

23. Cohen T.M., McKinney M., Kark S., & Dor R. (2019) Global invasion in progress... *Biological Invasions*, Vol.21, No.4. DOI: 10.1007/s10530-018-1900-3
24. Per E. (2022) Status of the common myna *Acridotheres tristis* Linnaeus, 1766 in Turkey. *Animal Biodiversity and Conservation*. DOI: 10.32800/abc.2022.45.0079

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ӨСІМДІКТЕР МЕН ЖАНУАРЛАРДЫҢ ИНВАЗИЯЛЫҚ ТҮРЛЕРІНІҢ БИОӘРТҮРЛІККЕ ӘСЕРІ

Константин М. Дрютов *, Жанслу И. Инкарова б.ғ.к., доцент.

«Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАК, Астана, Қазақстан; dryutov_kostya@mail.ru (КМД), inkarzh@mail.ru (ЖИИ)

*Автор корреспондент: Константин М. Дрютов, dryutov_kostya@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

инвазиялық түрлер,
аборигенді түрлер, ареал,
биоәртүрлілік, экожүйе

Мақала жайында:

Алынды: 24.02.2026

Қайта қаралды: 13.04.2026

Қабылданды: 13.04.2026

Жарияланды: 01.07.2026

АБСТРАКТ

Инвазиялық түрлер - белгілі бір экожүйеге тән емес түрлер. Өсімдіктер мен жануарлардың инвазиялық түрлерінің жаңа экожүйелерге енуі биоәртүрлілікке елеулі қауіп төндіреді, табиғи экологиялық байланыстарды бұзады және жергілікті түрлердің азаюына әкеледі. Қазақстан табиғи алуан түрлілігі мол бөтен организмдердің таралу проблемасына тап болады, олардың арасында шағанжапырақ Үйеңкі (*Acer negundo* L.) және Майна (*Acridotheres tristis* L.) экожүйелердің құрылымын өзгертіп және табиғи аймақтардың деградациясында шешуші рөл атқарады. Бұл зерттеу инвазиялық түрлердің Қазақстанның биоалуантүрлілігіне әсерін талдауға, жергілікті флора мен фаунаының саны мен түрлік құрамының қысқаруы туралы гипотезаны растауға, сондай-ақ инвазия салдарын бақылау және азайту үшін пайдаланылуы мүмкін ғылыми негізделген ұсынымдарды әзірлеуге бағытталған. Зерттеу барысында далалық бақылаулар нәтижелері, зерттеушілердің салыстырмалы талдау және статистикалық модельдеу деректері, сондай-ақ отандық және шетелдік ұйымдардың материалдары қолданылады.

Зерттеу нәтижелері инвазиялық түрлерді басқару жөніндегі стратегияны қалыптастыруға, оның ішінде аса қауіпті инвазиялар және олармен күресу шаралары туралы өзекті мәліметтерді қамтитын "Қазақстан Республикасының Қара кітабын" әзірлеуге негіз бола алады. Нәтижелер экожүйе тепе-теңдігін сақтау, экологиялық дағдарыстардың алдын алу, тиімді табиғатты қорғау шараларын әзірлеу және аймақтың тұрақты биоалуантүрлілігін сақтау үшін маңызды.

IMPACT OF INVASIVE PLANT AND ANIMAL SPECIES ON BIODIVERSITY IN KAZAKHSTAN

Konstantin Dryutov *, Zhansulu Inkarova PhD, associate professor

"L.N. Gumilyov Eurasian National University", Astana, Kazakhstan; dryutov_kostya@mail.ru (KMD), inkarzh@mail.ru (ZHII)

*Author correspondent: Konstantin M. Dryutov, dryutov_kostya@mail.ru

KEY WORDS

invasive species, native species, habitat, biodiversity, ecosystem

ABSTRACT

Invasive species are species that are not native to a particular ecosystem. The introduction and spread of invasive species of plants and animals into new ecosystems pose a serious threat to biodiversity, disrupting natural ecological relationships and leading to a decrease in the number of native species. Kazakhstan, known for its rich biodiversity, faces the growing problem of the spread of alien organisms, among

About article:

Received: 24.02.2026
Revised: 13.04.2026
Accepted: 13.04.2026
Published: 01.07.2026

which Ash-Leaved Maple (*Acer negundo* L.) and Common myna (*Acridotheres tristis* L.) play a key role in transforming ecosystems and degrading natural habitats. This study aims to analyze the impact of invasive species on the biodiversity of Kazakhstan, to test the hypothesis about the reduction of the number and species composition of local flora and fauna, and to develop scientifically based recommendations for controlling and minimizing the consequences of invasions. The work uses methods of field observations, comparative analysis, statistical modeling and data from environmental organizations.

The results of the study can contribute to the development of a strategy for the management of invasive species, including the development of the "Black book of the Republic of Kazakhstan", containing relevant information on the most dangerous invasions and measures to combat them. The obtained conclusions are of significant importance for the preservation of ecosystem balance, prevention of ecological crises, development of effective environmental protection measures and maintenance of sustainable biodiversity of the region.

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