

Қазақстан Республикасының
Экология және
табиғи ресурстар
Министрлігі
«Қазгидромет» Республикалық
мемлекеттік кәсіпорны

Министерство экологии и
природных ресурсов
Республики Казахстан
Республиканское государ-
ственное
предприятие «Казгидромет»

Ministry of Ecology and natural
resources
Republic of Kazakhstan
Republican State
Enterprise "Kazgidromet"

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Ежеквартальный
научно-технический журнал

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ

әр тоқсанда шығарылатын
ғылыми-техникалық журнал

HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY

Quarterly
scientific and technical journal

№3

Астана, 2024
Astana, 2024

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Д.К. Алимбаева

ЗАМ. ГЛАВНОГО
РЕДАКТОРА

С.Б. Саиров

РЕДАКЦИЯ

Н.У. Кужагельдина

М.Қ.Нұрхан

Л.Б. Базарбай

А.К. Медетова

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Н.Н. Абаев (Астана, Казахстан)

Р.Г. Абдрахимов (Алматы, Казахстан)

А.А. Волчек (Брест, Беларусь)

А.В. Галаева (Алматы, Казахстан)

А. Гафуров (Потсдам, Германия)

Е.Ж. Муртазин (Алматы, Казахстан)

Ж.С. Мустафаев (Алматы, Казахстан)

Ж.К. Наурызбаева (Алматы, Казахстан)

К. Опп (Марбург, ФРГ)

Е.В. Островская (Астрахань, Россия)

В.Г. Сальников (Алматы, Казахстан)

Б.С. Степанов (Алматы, Казахстан)

С.Г. Сафаров (Баку, Азербайджан)

А.Г. Терехов (Алматы, Казахстан)

А.В. Чередниченко (Алматы, Казахстан)

Р.К. Яфязова (Алматы, Казахстан)

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

№ 3 (114)

© Журнал издается с 1995 года.

Регистрационное свидетельство

№ KZ13VPY00070023 от 15 мая 2023 г.

Адрес редакции: 010000, Астана,

пр. Мәңгілік Ел, 11/1, к. 602

Телефон: (7172) 79-83-03;

E-mail: hydromet.journal@gmail.com

<http://www.kazhydromet.kz>

<http://journal.kazhydromet.kz>

EDITOR-IN-CHIEF D. Alimbayeva

DEPUTY CHIEF EDITORS S. Sairov

EDITORIAL STAFF
N. Kuzhageldina
M. Nurkhan
L. Bazarbay
A. Medetova

EDITORIAL BOARD
N. Abayev (Astana, Kazakhstan)
R. Abdralhimov (Almaty, Kazakhstan)
A. Volchek (Brest, Belarus)
A. Galayeva (Almaty, Kazakhstan)
E. Murtazin (Almaty, Kazakhstan)
Zh. Mustafayev (Almaty, Kazakhstan)
Zh. Naurozbayeva (Almaty, Kazakhstan)
C. Opp (Marburg, Germany)
E. Ostrovskaya (Astrakhan, Russia)
V. Salnikov (Almaty, Kazakhstan)
B. Stepanov (Almaty, Kazakhstan)
S. Safarov (Baku, Azerbaijan)
A. Terekhov (Almaty, Kazakhstan)
A. Cherednichenko (Almaty, Kazakhstan)
R. Yafyazova (Almaty, Kazakhstan)

HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY **№ 3 (114)**

© Published since 1995.

Registration certificate

№ KZ13VPY00070023 from 15 may 2023.

Address: 010000, Astana,

Mangilik El Ave., 11/1 office 602

Phone (7172) 79-83-03

E-mail: hydromet.journal@gmail.com

<http://www.kazhydromet.kz>

<http://journal.kazhydromet.kz>

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

С.Б. Саиров, Т.А. Тіллэкәрім, Н.Т. Серікбай

НЕКОТОРЫЕ МОМЕНТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЪЕМА ПОЛОВОДЬЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ..... 7

К.Т. Нарбаева, Д.М. Бурлибаева, Р.Е. Ахметова, Г.К. Исмаилова, Н.Е. Женисова

ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА РЕКИ ИЛЕ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ 20

А.Н. Мунайтпасова, А.К. Жексенбаева, Г.О. Оракова, Г.Т. Мусралинова, Ә. Нышанбай

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА..... 31

М.А. Жунисова, С.С. Байшоланов

ОЦЕНКА ТЕПЛОБЕСПЕЧЕННОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА В АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ..... 40

И.И. Жумагулов, Ж.Ж. Сатбалдиева

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В 2023 ГОДУ НА ПРИМЕРЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ТАЙЫНША СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ..... 51

Х.В. Мамедова

ПОВТОРЯЕМОСТЬ АДВЕКТИВНО-РАДИАЦИОННЫХ ТУМАНОВ НАД АПШЕРОНСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ (АЗЕРБАЙДЖАН)..... 60

С.М. Романова, Е.Г. Крупа, А.С. Серикова

СОСТОЯНИЕ КАРБОНАТНО-КАЛЬЦИЕВОГО РАВНОВЕСИЯ КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА РЕКИ ЕРТИС..... 71

Р.И. Мухамедиев, А.Г. Терехов, А.А. Оксененко, А.С. Еримбетова, Я.И. Кучин, А. Сымагулов, Д.Р. Құсайын, П. Рыстыгулов

ЭМУЛЯЦИЯ ПОКАЗАНИЙ ДАТЧИКОВ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ УМНОГО ГОРОДА..... 87

Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, Б.Е. Тастемирова, Л.М. Рыскулбекова

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДОСБОР БАСЕЙНА РЕКИ ТОБЫЛ ОТ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ С МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД..... 100

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

С.К. Алимкулов, Л.К. Махмудова

ВОДНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ФОРСАЙТ-ИССЛЕДОВАНИЙ..... 114

МАЗМҰНЫ

ҒЫЛЫМИ МАҚАЛАЛАР

С.Б. Саиров, Т.А. Тілләкәрім, Н.Т. Серікбай

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕР ШЕКТЕУЛІ КЕЗДЕ СУ ТАСҚЫНЫ
КӨЛЕМІН БОЛЖАУДЫ ЖЕТІЛДІРУДІҢ КЕЙБІР ЖАҒДАЙЛАРЫ..... 7

К.Т. Нарбаева, Д.М. Бурлибаева, Р.Е. Ахметова, Г.К. Исмаилова, Н.Е. Жеңісова

ТАБИҒИ ЖӘНЕ АНТРОПОГЕНДІК ӨЗГЕРІСТЕР ЖАҒДАЙЫНДА ҚАЗАҚСТАН
АУМАҒЫНДАҒЫ ІЛЕ ӨЗЕНІНІҢ АҒЫНДЫСЫН ПАЙДАЛАНУЫН БАҒАЛАУ..... 20

**А.Н. Мунайтпасова, А.К. Жексенбаева, Г.О. Оракова, Г.Т. Мусралинова,
Ә. Нышанбай**

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ШЫҒЫСЫНДАҒЫ КЛИМАТТЫҢ ЗАМАНАУИ ӨЗГЕРУЛЕРІ.... 31

М.А. Жунисова, С.С. Байшоланов

АЛМАТЫ ОБЛЫСЫНДА ВЕГЕТАЦИЯЛЫҚ КЕЗЕҢНІҢ ЖЫЛУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ
ЕТІЛУІН БАҒАЛАУ..... 40

И.И. Жұмағұлов, Ж.Ж. Сатбалдиева

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ТАЙЫНША МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ
СТАНЦИЯСЫНДА 2023 ЖЫЛЫ ЖАЗДЫҚ БИДАЙ ӨНІМДІЛІГІНЕ
МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДЫҢ ӘСЕРІН ТАЛДАУ..... 51

Х.В. Мамедова

АПШЕРОН ТҮБЕГІНДЕГІ АДВЕКТИВТІ-РАДИАЦИЯЛЫҚ ТҰМАНДАРДЫҢ
ҚАЙТАЛАНУЫ (ӨЗІРБАЙЖАН)..... 60

С.М. Романова, Е.Г. Крупа, А.С. Серікова

ҚАЗАҚСТАН БӨЛІГІНДЕГІ ЕРТІС ӨЗЕНІ БАССЕЙІНІНІҢ КАРБОНАТ-КАЛЬЦИЙ
ТЕПЕ-ТЕҢДІГІНІҢ ЖАЙ-КҮЙІ..... 71

**Р.И. Мухамедиев, А.Г. Терехов, А.А. Оксененко, А.С. Еримбетова, Я.И. Кучин,
А. Сымағұлов, Д.Р. Құсайын, П. Рыстығұлов**

ҚАЛАЛЫҚ АҚЫЛДЫ ҚАЛА ОРТАСЫНДАҒЫ АУА САПАСЫ ДАТЧИКТЕРІНІҢ
ЭМУЛЯЦИЯСЫ..... 87

Ж.С. Мұстафаев, Ә.Т. Қозыкеева, Б.Е. Тастемирова, Л.М. Рысқұлбекова

ТОБЫЛ ӨЗЕНІНІҢ СУ ЖИНАУ АЛАБЫНА ЛАСТАНУ КӨЗДЕРІНЕН ТҮСЕТІН
АНТРОПОГЕНДІК ЖҮКТЕМЕНІ ЖЕР БЕТІ СУЛАРЫНЫҢ САПАСЫН
МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ БАҒАЛАУ..... 100

ШОЛУ МАҚАЛА

С.Қ. Әлімқұлов, Л.К. Махмудова

СУ ҚАУІПСІЗДІГІ: ФОРСАЙТ-ЗЕРТТЕУЛЕР ПРИЗМАСЫ АРҚЫЛЫ НЕГІЗГІ
АСПЕКТІЛЕР МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАР..... 114

CONTENTS

SCIENTIFIC ARTICLES

S. Sairov, T. Tillakarim, N. Serikbay

SOME ASPECTS OF IMPROVING FLOOD VOLUME FORECASTING UNDER CONDITIONS OF LIMITED HYDROMETEOROLOGICAL DATA..... 7

K. Narbayeva, D. Burlibayeva, R. Akhmetova, G. Ismailova, N. Zhengissova

ASSESSMENT OF THE USE OF RIVER FLOW OF THE ILE RIVER IN THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN UNDER CONDITIONS OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC CHANGES..... 20

A. Munaitpasova, G. Orakova, G. Musralinova, A. Zheksenbaeva, A. Nyshanbay

MODERN CLIMATE CHANGES IN EASTERN KAZAKHSTAN..... 31

M. Zhunisova, S. Baisholanov

ASSESSMENT OF THE HEAT SUPPLY OF THE GROWING SEASON IN THE ALMATY REGION..... 40

I. Zhumagulov, Zh. Satbaldiyeva

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE PRODUCTIVITY OF SPRING WHEAT IN 2023 AT THE TAIYN SHA WEATHER STATION OF THE NORTH KAZAKHSTAN REGION..... 51

H. Mammadova

REPEATIBILITY OF ADVECTIVE-RADIATION FOG OVER THE ABSHERON PENINSULA (AZERBAIJAN)..... 60

S. Romanova, E. Krupa, A. Serikova

THE STATE OF THE CARBONATE-CALCIUM EQUILIBRIUM OF THE KAZAKH PART OF THE ERTIS RIVER BASIN..... 71

R. Mukhamediev, A. Terekhov, A. Oksenenko, A. Yerimbetova, Ya. Kuchin, A. Symagulov, D. Kusayin, P. Rystygulov

EMULATION OF AIR QUALITY SENSORS IN AN URBAN SMART CITY ENVIRONMENT..... 87

Zh. Mustafayev, A. Kozykeyeva, B. Tastemirova, L. Ryskulbekova

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC LOAD ON THE TOBYL RIVER BASIN CATCHMENT FROM POLLUTION SOURCES WITH MATHEMATICAL MODELING OF SURFACE WATER QUALITY..... 100

REVIEW ARTICLE

S. Alimkulov, L. Makhmudova

WATER SECURITY: KEY ASPECTS AND PROSPECTS THROUGH THE PRISM OF FORESIGHT RESEARCH..... 114

НЕКОТОРЫЕ МОМЕНТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЪЕМА ПОЛОВОДЬЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**С.Б. Саиров*** *к.г.н.*, **Т.А. Тілләкәрім** *PhD*, **Н.Т. Серікбай***РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан**E-mail: sairov_s@meteo.kz*

В статье рассматриваются методы совершенствования прогнозирования объема стока весеннего половодья. Основными объектами исследования являются реки Оба, Ульби и Дресвянка, которые являются боковыми притоками Шульбинского водохранилища. Данные реки относятся к типу рек с весенне-летним половодьем и растянутым на более 2...3 месяцев стоком. Целью исследования является разработка методики прогнозирования стока на основе связи между накоплением снега и стоком реки в весенний и летний периоды. Представлены результаты исследования гидрологических и метеорологических факторов, влияющих на формирование стока, а также выведены уравнения для прогноза стока в период весенне-летнего половодья и его продолжительности. Полученные уравнения множественной регрессии продемонстрировали высокую точность в моделировании объемов половодья, с коэффициентами корреляции между наблюдаемыми и прогнозируемыми данными, находящимися в диапазоне от 0,79 до 0,91. Согласно расчетам по критерию S/σ , полученные результаты свидетельствуют о хорошей воспроизводимости наблюдаемых объемов половодья, с показателями в пределах 0,46...0,53.

Ключевые слова: методика прогнозирования, расход воды, осадки за холодный период, температура воздуха, продолжительность половодья, Шульбинское водохранилище.

Поступила: 17.09.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-7-19

ВВЕДЕНИЕ

Движущей силой возникновения весеннего половодья для Казахстанских рек является снегонакопление за зимний период и их таяние. Оно характеризуется ежегодной повторяемостью в один и тот же сезон с разной интенсивностью и продолжительностью для рек одной климатической зоны в зависимости от количества аккумулярованного снега за зиму (Волковская и др., 2019; Terekhov и др., 2020; Kauazov и др., 2023; Tillakarim и др., 2023).

Половодье является главной фазой водного режима рек, в течение которой пропускает основную часть годового стока. При высоких уровнях весенних половодий река может выйти из русла на пойму, нанося ущерб обжитой части поймы. Могут отмечаться и низкие значения, которые не будут затапливать пойменные озёра, приводящей в дальнейшем их исчезновению и нарушению водного баланса территории (Тореханова

и др., 2019; Семенова, Буковский., 2022).

В связи, гидрологические исследования, направленные на выяснения механизмов формирования экстремальных (максимальных, минимальных) величин стока рек в различных географических условиях, являются весьма актуальными задачами как с научной, так и с практической точек зрения.

Прогнозирование паводков, вызываемых таянием снежного покрова и льдов в реках весной; сильными дождями и ветряными волнами в районах вдоль побережья и устьев рек, является сложной областью оперативной гидрологии (Болатова, 2019). В Казахстане наводнения создают серьезную угрозу для населения, проживающего вдоль берегов крупных рек, таких как, таких как Ертис, Жайык, Тобол, Есиль, Иле и др. (Гальперин, 2013).

РГП «Казгидромет» для составления гидропрогнозов в оперативную практику внедрены численные концептуальные и полу-

распределённые модели: HBV-light и SWIM, основанных на упрощённых предположениях водного баланса (Болатова и др., 2018, 2019; Нурбаcina и др. 2019, Serikbay и др. 2023, Тиллакәрім и др., 2023, Tillakarim и др., 2023, Volatova и др. 2023).

Модели HBV-light и SWIM адаптированы также для бассейнов рек Оба, Ульби и Дресвянка и внедрены в оперативное прогнозирование стока. Однако для горных рек с продолжительным половодьем модели имеют ограничения в прогнозировании его объема. Это связано с тем, что долгосрочные метеопрогнозы не могут предоставляться с точностью по дням. Кроме того, следует учитывать отсутствие модуля, моделирующего сток в холодный период года, включая ледовые процессы.

Дальнейшее решение проблем долгосрочных прогнозов половодья, и других фаз гидрологического режима, зависит от выявления дополнительных новых статистических зависимостей суммарно приближенно учитывающие влияния действующих факторов:

- атмосферные осадки, температура воздуха, увлажненность почвы на формирование уровня и расхода воды, продолжительность половодья, паводка, меженного периода;
- даты перехода температур воды через $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и воздуха через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и минус $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ определенные пороги на формирование ледовых явлениях на установление и разрушение ледостава.

Выбранный подход для прогноза, а именно, статистической модели множественной регрессии, когда зависимость будущего значения от прошлого задается в виде уравнении, в данном случае обусловлен следствием крайней ограниченности имеющейся гидрометеорологической информации.

Впоследствии при обнаружении таких статистических зависимостей, мы должны рассмотреть возможность внедрения этих связей либо в вышеуказанные модели, либо в разработке новой модели прогноза.

В данной работе объектом исследования были выбраны реки Оба, Ульби и Дресвянка относящейся к Алтайскому типу водного режима рек которой свойственна весеннее половодье, растянутое на более 2...3 месяцев, повышенный летний сток и низкая

зимняя межень (Шульц, 1965). Сток рек можно считать условно-естественными ввиду отсутствия значительного водопотребления и водохозяйственного использования. Основным фактором формирования стока является накопление влагозапасов в виде снега за холодный период года. В связи с этим возникает необходимость разработки методов прогнозирования отдельных элементов гидрографа стока, таких как половодье и меженный сток, с учетом связи между снегом и стоком в непрерывном цикле, принимая во внимание только вклад снега.

Цель данной работы – рассмотреть возможность разработки модели прогноза стока весеннего половодья через определение их связей с гидрометеорологическими и другими факторами.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- сформировать базу данных гидрологических и метеорологических наблюдений по исследуемому бассейну;
- изучить закономерности связей половодья от зимних осадков как основного фактора формирования стока во время половодья и зависимостей суммарно учитывающих влияние действующих факторов в гидрологическом режиме реки и вывести уравнения моделей прогноза стока весеннего половодья, продолжительности половодья и стока в период грунтового питания реки в соответствии гидрологическим годом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Описание объекта исследования.

Шульбинское водохранилище является одним из крупных водохранилищ Иртышского каскада, емкость которых составляет $52,7\text{ км}^3$ комплексного назначения. Общий объем составляет 2390 млн м^3 , площадь 255 га .

Главными притоками водохранилища являются реки Оба и Ульби (рис. 1). Гидроузел осуществляет неполное сезонное регулирование стока боковой проточности ниже плотины Бухтарминской ГЭС при природоохранных весенних попусках и при прохождении летне-осенних паводков. Режим водохранилища – полностью искусственный, исключая период попусков рек Оба и Ульби в период паводков. В апреле...мае

водохранилище срабатывает более чем на половину, чем обеспечивает орошение поймы Ертиса (Водные ресурсы Казахстана, 2012).

Водный режим р. Ертис в районе Шульбинского водохранилища в основном определяется особенностями стока в верхней части реки, сильно зарегулированного Бухтарминским и Усть-Каменогорским водохранилищами, и стока правобережных притоков Ульби, Оба, Шульбинка и др., питающихся за счет таяния горных снегов и выпадающих дождей. Бассейны рек Оба и Ульби составляют 75 % площади правобережной части бассейна р. Ертис на участке между Усть-Каменогорским и Шульбинским водохранилищами.

Важной фазой гидрологического режима рек Оба и Ульби, необходимой для оценки их водности в весенний период, является вскрытие ото льда. Начало ледохода на этих реках наблюдается в среднем во второй декаде апреля. Даты поздних сроков вскрытия совпадают со средней датой начала расчетных пусков воды из Бухтарминского водо-

хранилища. Весеннее половодье начинается обычно через 5...8 суток после наступления устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0 °С к положительным значениям. Максимальные уровни и расходы воды в период весеннего половодья обычно наблюдаются в конце апреля – начале мая и продолжаются 1...2 суток. Конец половодья на реках Оба и Ульби происходит в весенне-летние (апрель...сентябрь) месяцы. Зимний сток имеет почти постоянную величину и составляет 5...9 % годового. Сток весеннего половодья рек Оба и Ульби используется для осуществления специализированных пусков с целью затопления поймы р. ниже с.Шульба. Дата начала пусков соответствует дате наибольшего расхода за половодье, обеспеченного в течение 18 суток (Ресурсы поверхностных вод, 1969).

На карте показано расположение водосборной области с указанием мест наблюдения за стоком и метеорологических характеристик (рисунок 1).

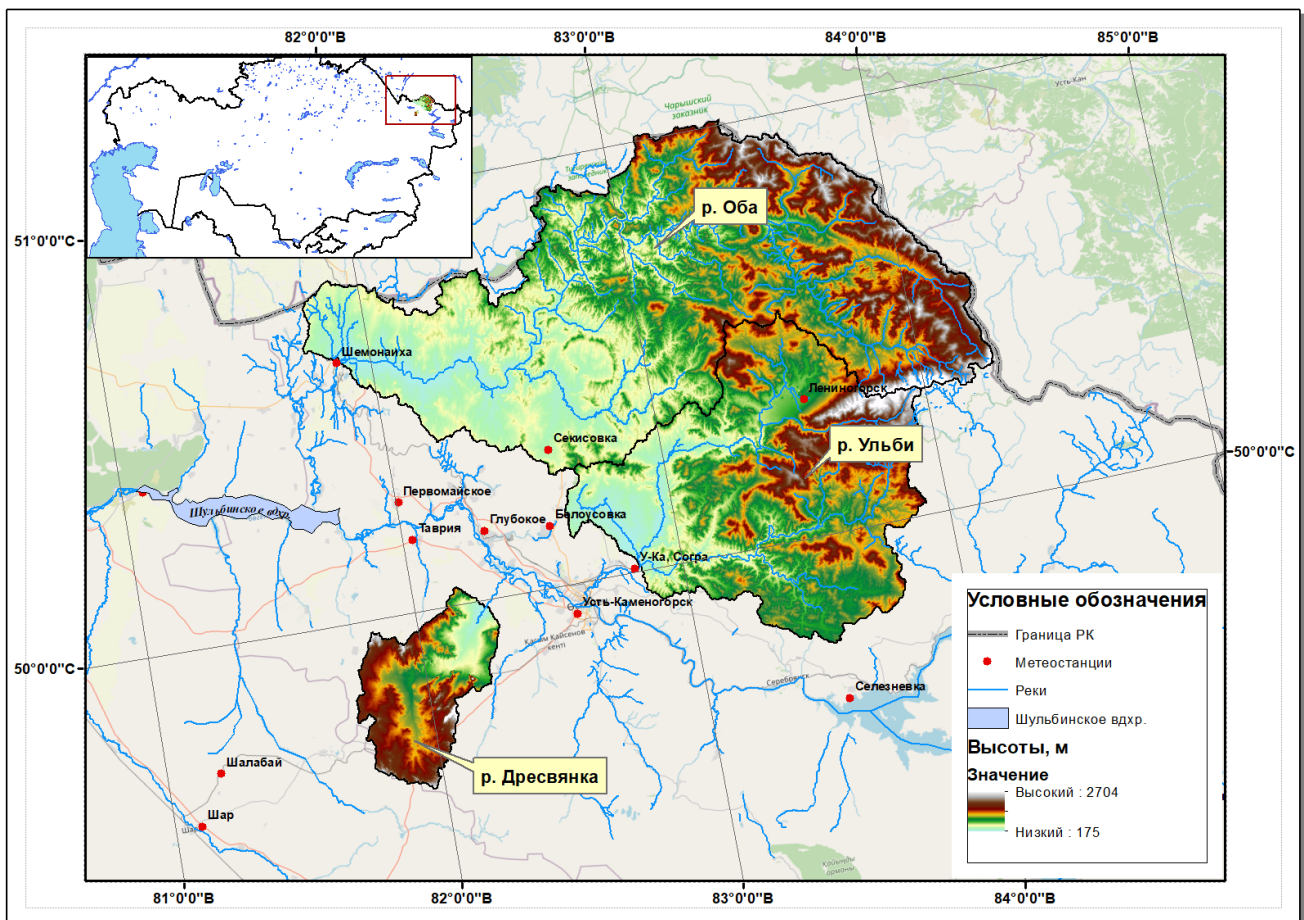


Рис 1. Расположение объектов исследования

Исходными данными служили данные государственной наблюдательной сети РГП «Казгидромет». Используются данные 3 гидрологических постов рек Оба, Ульби и Дресвянка, а также данные метеорологических станции, расположенных на территории водосборной области или на близлежащей территории.

Гидрологический пост свайного типа, замыкающий верхнее течение реки является р. Оба – с. Шемонаиха (F=8470 км²) расположена на правом берегу реки, в 0,5 км к югу от города. Русло реки умеренно извилистое, на участке поста – прямое, песчано-галечное, устойчивое. Наблюдения за уровнем воды ведутся с 1954 года по настоящее время.

Гидрологический пост р. Ульби – с. Ульби-Перевалочная (F=4900 км²) свайного типа, находится на левом берегу реки и расположен в 300 м ниже впадения р. Киши Ульби, в центре с. Каменный карьер к северу от села. Русло реки на участке поста прямолинейное, валунно-галечное, деформирующееся. Берега высотой до 3...4 м. песчано-галечные, правый обрывистый, левый – крутой. Наблюдения за уровнем воды

ведутся с 1940 года по настоящее время.

Гидрологический пост р. Дресвянка – с. Отрадное (F=986 км²) свайного типа, находится на левом берегу реки и расположен на юго-восточной окраине села Отрадное. Русло реки на всем протяжении сильно извилистое, на участке поста сравнительно прямолинейное, песчано-гравийное, деформирующееся. Наблюдения за уровнем воды ведутся с конца 2004 года по настоящее время.

В работе были использованы следующие гидрологические данные: расходы воды, уровни воды, объемы половодья, даты начала и конца половодья, продолжительность половодья, минимальный расход воды в период зимней межени.

Метеорологические данные, которые были использованы в данной работе: температура воздуха, атмосферные осадки. Для реки Дресвянка в качестве метеорологических данных были использованы данные измерения температуры воздуха и количества осадков, измеренных на территории гидрологического поста. Общие сведения о данных наблюдения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Имеющиеся гидрологические и метеорологические данные

Характеристики	Река-пункт		
	р.Оба-г.Шемонаиха	р.Ульби-с.Ульби-Перевалочная	р. Дресвянка – с. Отрадное
Площадь водосбора, км ²	8470	4900	986
Диапазон высоты водосбора, м	297...2752	335...2746	279...793
Период наблюдений	1954...2023	1940...2023	2005...2023
Метеостанции (МС)	Шемонаиха, Лениногорск	Усть-Каменогосрк, Лениногорск	ГП Отрадное
Период наблюдений МС	1934...2023	1926...2023	2011...2023

Методика исследования. В настоящее время сформулированы два основных принципа установления начала гидрологического года:

а) в пределах выбранного (12-месячного) гидрологического года должен завершаться цикл накопления и расходования влаги в водосборе;

б) коррелятивная связь между осадками и стоком в пределах выбранного гидроло-

гического года должна быть наиболее тесной.

В большинстве стран мира начало гидрологического года устанавливают на основе первого принципа. При этом за начало гидрологического года принимают обычно среднюю дату наступления (1/X) осеннего сезона (округленную до ближайшего начала месяца). Осеннее начало гидрологического года в разных странах различно.

В странах СНГ началом гидрологического года для подавляющего большинства водосборов принят с даты установления снежного покрова.

Многие авторы исходя из второго принципа выбора гидрологического года и указывая, что для года с началом 1/V получаются наиболее тесные коррелятивные связи между годовыми осадками и годовым стоком, время, когда водосбор насыщен влагой до предела.

В данной работе для водосборов рек Оба, Ульби и Дресвянка началом гидрологического года был выбран март, обусловленный тем, что максимальные запасы влаги и начало половодья в отдельные годы приходятся на этот месяц. Используя данные ежедневных расходов воды, были построены гидрографы стока для каждого года и определены даты начала и окончания половодья.

Для выполнения статистического анализа гидрологических характеристик рассматриваемых рек применялись парная (r), когда зависимая переменная связана более чем с одной независимой переменной множественная регрессионные анализы (r). Применимость и качества оценивались по отношению средней

квадратичной ошибки проверочных прогнозов (\bar{S}) к среднему квадратичному отклонению ($\bar{\sigma}$) находящихся в допустимых диапазонах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В дальнейшем будут рассмотрены корреляционные анализы связи, таких параметров как, осадки за холодный период (снег), суммарная среднесуточная температура воздуха за период активного таяния снега и продолжительность половодья влияющих на формирование объемов половодья и пополнения запасов подземных вод. На основе полученных связей для получения уравнений регрессии и с добавлением еще одного косвенного фактора полученный посредством гидрологических наблюдений за стоком, о чем будет идти речь ниже.

Прогнозирование объема половодья. Парная корреляция объема половодья с накопленными осадками за холодный период года (ноябрь...апрель) (рис.2) показала неудовлетворительный результат с низким критерием применимости для воспроизведения прогнозных данных.

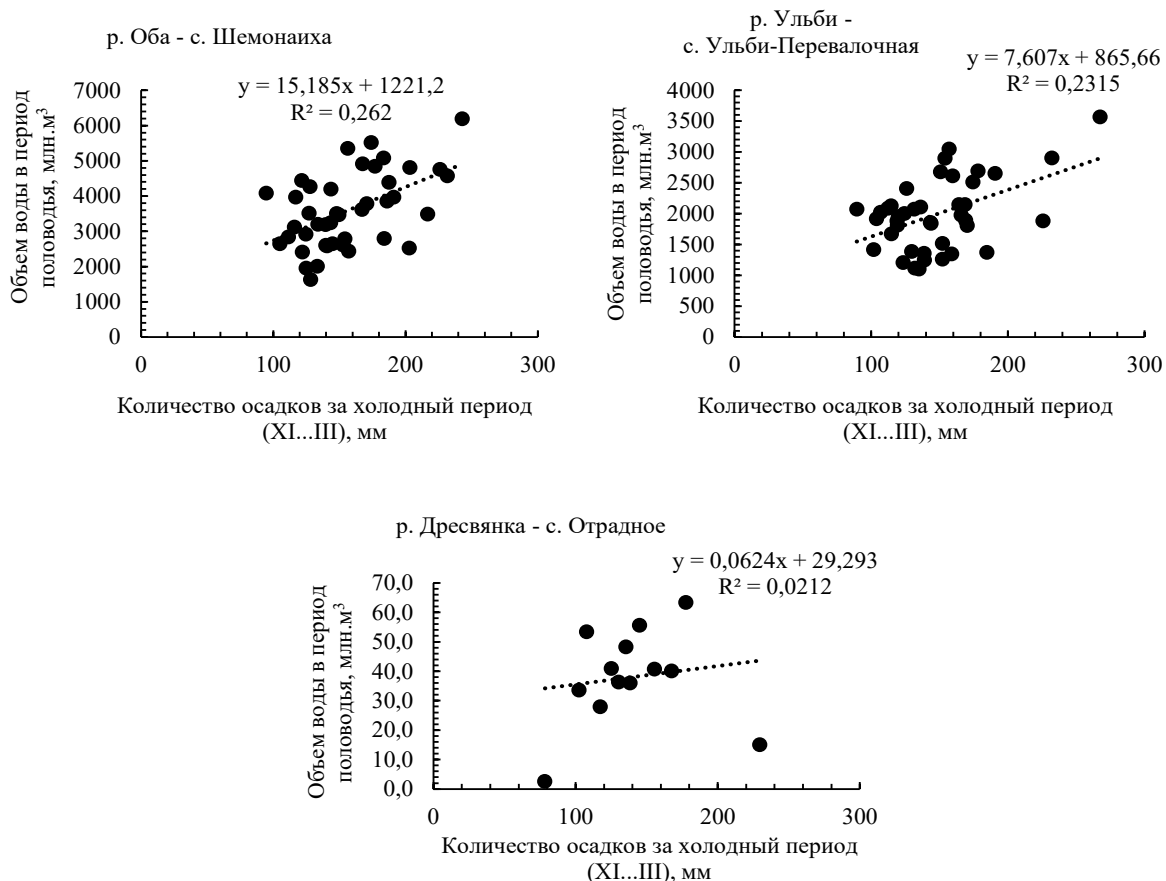


Рис 2. Зависимость объема половодья рек Оба, Ульби и Дресвянка от сумм атмосферных осадков за холодный период года (ноябрь...март)

Далее был применен метод множественной корреляции с использованием дополнительных факторов, такие как среднесуточные температуры воздуха за период половодья (апрель...июнь) и продолжительности половодья. И эти дополнительные факторы существенно улучшили показатель коэффициента корреляции с удовлетворительным результатом, с критерием применимости возросшего до равным $S/\sigma = 0,69$ для р. Оба и $0,76$ для реки Ульби, однако для р. Дресвянка оценка применимости методики, показало не удовлетворительный результат равный $2,78$ (табл. 3).

Также учитывая, что в апреле оттаиванию подвергаются только предгорная и низкогорная части бассейнов, и активизация таяния среднегорной и высокогорья начинается со второй половины мая, температурный фактор анализа множественной корреляции усредненный за апрель...май заменен усредненной температурой воздуха за период апрель...июнь.

Вместе с тем, общеизвестно, что часть влагозапасов зимних осадков, фильтруясь, уходит на пополнение запасов подземных вод, оценку которой можно произвести через разницу объема стока с окончания весеннего половодья за предыдущий год и минимального объ-

ема стока за холодный период текущего года.

Этот показатель будет являться гидрологической характеристикой количественной оценки насколько освободились влагоемкость почво-грунтов водосбора от общей влагоемкости водосбора со времени окончания половодья прошедшего года к времени начала будущего половодья.

Данный показатель обозначим символом ΔW^{i-1} , который вводится тоже как одним из основным фактором для прогноза формирования будущего весеннего половодья (табл. 2).

Формула расчёта выглядит следующим образом:

$$\Delta W^{i-1} = W_{\text{пол}}^{i-1} - W_{\text{меж}}$$

где ΔW^{i-1} – объем влагоразгрузки почвогрунтовых вод на питание общего межженного стока или потенциальная влагоемкость для пополнения инфильтрационными водами во время прохождения половодья;

$W_{\text{пол}}^{i-1}$ - суточный объем воды на конец половодья прошедшего года;

$W_{\text{меж}}$ - минимальный суточный объем воды за холодный период перед началом будущего половодья.

Таблица 2

Определение показателя ΔW^{i-1} на примере реки Оба

Годы	Суточный объем воды на конец половодья, $W_{\text{пол}}$ млн.м ³	Минимальный суточный объем воды за холодный период, $W_{\text{меж}}$ млн.м ³	Объем водопоглощения грунтов бассейна, ΔW^{i-1} млн.м ³
1959...1960	180,0
1960...1961	144,0	29,4	150,6
1961...1962	208,0	27,6	116,4
...
2020...2021	109,0	7,0	102,0

Результат добавления показателя ΔW^{i-1} как одного из факторов факторов в многомерную корреляционную модель расчета объемов половодья привело к улучшению коэффициентов корреляции между объемами половодья и множественными предикторами: для реки Оба до $0,86$, для реки Ульби до $0,91$, а для реки Дресвянка до $0,79$. Значение применимости методики прогнозирования равна $S/\sigma = 0,53, 0,46, 0,49$, соответственно для рек Оба, Ульби, Дресвянка (таблица 4).

При сравнительном анализе типовых гидрографов этих рек выявлено, что

на тесноту связи между показателем ΔW^{i-1} влияет в основном продолжительность половодья, которое в свою очередь зависит от морфометрических характеристик, таких как площадь, высота, уклон и форма водосбора (вытянутый, компактный и др.).

Водосборы с более компактной формой, как у реки Ульби, имеют короткое время добегания, что усиливает пик половодья. Водосборы вытянутой формы например, как у реки Буктырма, растягивают сток во времени, смягчая пик.

Динамика результатов наблюдений и прогнозные значения приведены на рисунке 3. Характеристики множественной корреляции приведены в таблице 4.

В то же время, если учесть тенденцию интенсивного потепления климата и усиливающееся таяние ледников в рассматриваемых бассейнах рек, можно ожидать дальнейшего увеличения водности реки до полного исчезновения ледников в ближайшем

будущем (прогнозируемом через 30...40 лет).

Принимая во внимание эту тенденцию в дальнейшем для построения модели прогнозирования формирования весеннего половодья и меженного стока чисто снегового генезиса с исключением паводков дождей и ледниковых составляющих, была проведена проверка полученных множественных регрессионных уравнений (табл. 3) за период 2000...2023 гг. для рек Оба и Ульби (табл. 5, рис. 4).

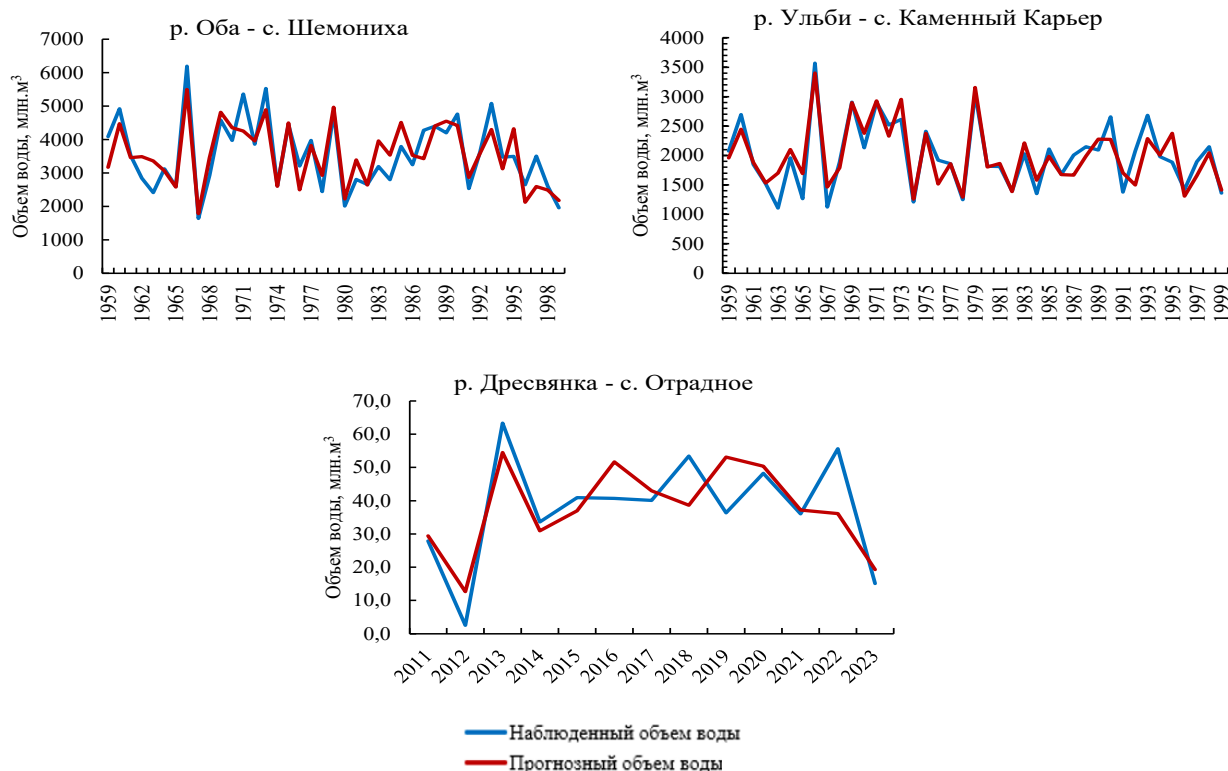


Рис 3. Наблюденные и рассчитанные по уравнениям объемы половодья

Полученные результаты прогнозирования объемов половодья с 2000 по 2023 гг. (табл. 5, рис. 4), показали, что данная методика может быть использована для дальнейшего применения при прогнозировании формирования половодья в результате таяния снега.

В данном случае отношение средней

квадратичной ошибки проверочных прогнозов (S) к среднему квадратичному отклонению (σ) свидетельствует о достаточно высокой адекватности и применимости данного подхода в оперативной практике, а также в других исследовательских и прикладных направлениях.

Таблица 3

Регрессионная статистика и уравнения прогнозов объема половодья

Река	Период	Факторы	Годы	R	$\sigma_{\text{станд}}$	Уравнения регрессии	S/ σ
Оба	1958...1999	$X_{\text{осадки}}(XI...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}$	40	0,74	738	$Y = 27,8 * L_{\text{прод.пол.}} + 13,1 * X_{\text{осадки}} - 222,5 * T_{\text{воздуха}} + 2155,7$	0,69
Ульби	1958...1999	$X_{\text{осадки}}(II...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}$	40	0,68	440	$Y = 10,9 * L_{\text{прод.пол.}} + 7,4 * X_{\text{осадки}} - 155,9 * T_{\text{воздуха}} + 1584,3$	0,76
Дресвянка	2011...2023	$X_{\text{осадки}}(II...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}$	13	0,78	11,9	$Y = 0,68 * L_{\text{прод.пол.}} + 0,04 * X_{\text{осадки}} - 0,77 * T_{\text{воздуха}} + 10,9$	2,78

Таблица 4

Регрессионная статистика и уравнения прогнозов объема половодья

Река	Период	Факторы	Годы	R	$\sigma_{\text{станд}}$	Уравнения регрессии	S/ σ
Оба	1958...1999	$X_{\text{осадки}}(XI...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}, \Delta W^{i-1} \text{ объем влг.}, Q_{\text{мин зим}}$	40	0,86	574,2	$Y = 38,6 * L_{\text{прод.пол.}} + 9,0 * X_{\text{осадки}} - 98,4 * T_{\text{воздуха}} + 7,7 * \Delta W^{i-1} + 20,7 * Q_{\text{мин}}$	0,53
Ульби	1958...1999	$X_{\text{осадки}}(II...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}, \Delta W^{i-1} \text{ объем влг.}$	40	0,91	267,0	$Y = 19,3 * L_{\text{прод.пол.}} + 3,6 * X_{\text{осадки}} - 34,5 * T_{\text{воздуха}} + 9,7 * \Delta W^{i-1} - 2,0 * Q_{\text{мин}}$	0,46
Дресвянка	2011...2023	$X_{\text{осадки}}(II...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}, \Delta W^{i-1} \text{ объем влг.}$	13	0,79	12,4	$Y = 0,68 * L_{\text{прод.пол.}} + 0,03 * X_{\text{осадки}} - 0,27 * T_{\text{воздуха}} - 0,87 * \Delta W^{i-1} + 1,62$	0,49

Таблица 5

Результаты прогнозирования объемов весеннего половодья за 2000...2023 гг.

Река	Период	Факторы	Годы	R	$\sigma_{\text{станд}}$	Уравнения регрессии	S/ σ	Оправдываемость
Оба	2000...2023	$X_{\text{осадки}}(XI...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}, \Delta W^{i-1} \text{ объем влг.}$	23	0,90	1090	$Y = 38,6 * L_{\text{прод.пол.}} + 9,0 * X_{\text{осадки}} - 98,4 * T_{\text{воздуха}} + 7,7 * \Delta W^{i-1} + 20,7 * Q_{\text{мин}}$ 1161,6	0,35	89 %
Ульби	2000...2023	$X_{\text{осадки}}(II...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}, \Delta W^{i-1} \text{ объем влг.}$	23	0,80	594	$Y = 19,3 * L_{\text{прод.пол.}} + 3,6 * X_{\text{осадки}} - 34,5 * T_{\text{воздуха}} + 9,7 * \Delta W^{i-1} - 2,0 * Q_{\text{мин}}$ 552,4	0,51	86 %

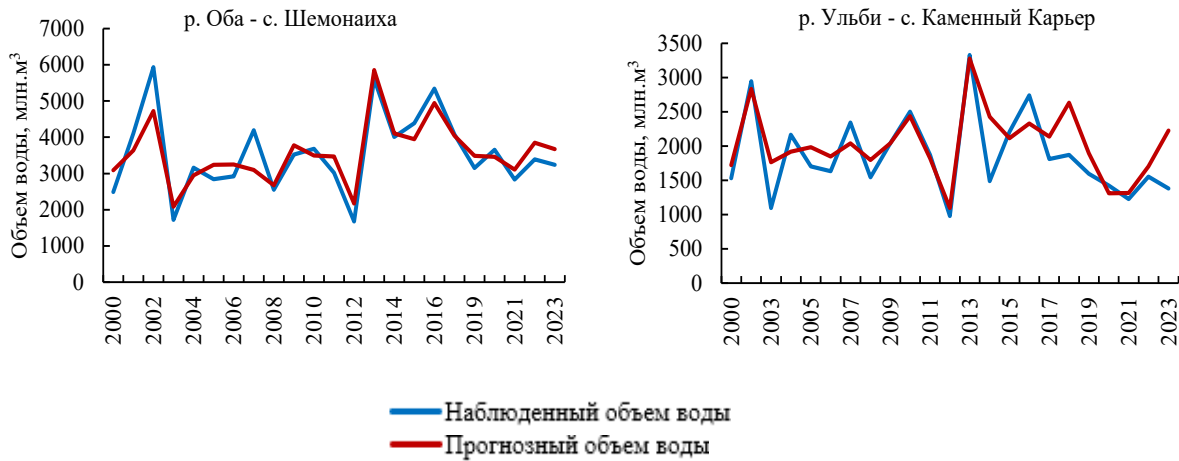


Рис 4. Наблюденные и рассчитанные объемы половодья за период 2000...2023 гг.

Прогнозирование продолжительности половодья. Немаловажной характеристикой весеннего половодья является его продолжительность которой теоретически напрямую зависел бы от сумм атмосферных осадков за холодный период, средней температура возду-

ха за период половодья, дата начала половодья, в ходе проведения множественного регрессионного анализа которых получены результаты $r=0,71$ и $S/\sigma = 0,74$ для реки Оба, $r=0,69$ и $S/\sigma = 0,78$ для реки Ульби и $r=0$ и $S/\sigma = 0$, для реки Дресвянка (таблица 6).

Таблица 6

Регрессионная статистика и уравнения прогнозов объема половодья

Период	Факторы	Годы	R	Станд.	Уравнения регрессии	S/σ
Оба	$X_{\text{осадки (XI...IV)}}$, $T_{\text{воздуха (IV...VII)}}$, $D_{\text{дата.нач.пол, день}}$, $Q_{\text{мин.зим.меж.}}$, ΔW^{i-1} объем вдг	41	0,71	9,8	$Y = 0,05 * X_{\text{осадки}} - 0,04 * \Delta W^{i-1} - 6,04 * T_{\text{воздуха}} - 0,98 * D_{\text{дата.нач.пол}} - 0,02 * Q_{\text{мин.зим.меж}} + 44667$	0,74
Ульби	$X_{\text{осадки (II...IV)}}$, $T_{\text{воздуха (V...VII)}}$, $D_{\text{дата.нач.пол, день}}$, $Q_{\text{мин.зим.меж.}}$, ΔW^{i-1} объем вдг	41	0,69	9,0	$Y = 0,01 * X_{\text{осадки}} - 0,06 * \Delta W^{i-1} - 5,83 * T_{\text{воздуха}} - 0,96 * D_{\text{дата.нач.пол}} - 0,09 * Q_{\text{мин.зим.меж}} + 43518$	0,78

Но в то же время с добавлением косвенного показателя ΔW подземного водопоглощения бассейна реки намного улучшились статистические характеристики уравнения множественной регрессии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Всерассмотренные факторы, такие как атмосферные осадки, температура воздуха, увлажненность почвы на формирование на уровне и расхода воды, продолжительность половодья, паводка, меженного периода показали значимые результаты для дальнейшего их использования в прогностической

модели формирования весеннего половодья.

В то же время в проделанной работе применен дополнительный фактор исходящий из разностей гидрологических характеристик, косвенно обрисовывающий показатели водоемкости почво-грунтов водосборов рек Оба, Ульби и Дресвянка, наравне с другими основными гидрометеорологическими факторами влияющих на формирование весеннего половодья и меженного стока чисто снегового генезиса, который хоть и ненамного, но все-таки улучшил характеристики множественного регрессионного анализа.

Вновь вводимый дополнительный фактор показал свою работоспособность в применении для прогнозирования характеристик таких как продолжительность половодья и межженного стока.

Для прогнозирования межженного стока без дождевых паводков этот фактор оказался единственным применимым с хорошей результативностью показателем.

Этот фактор является комплексным показателем учитывающий все свойства почво-грунтов такие как влагоемкость, пористость, высота капиллярного поднятия воды, коэффициент фильтрации грунтов и т.д. от которых зависит вся динамика подземного стока всего водосбора и во время весеннего половодья, и во время межженного стока полученных косвенным способом.

В то же время, применение всех факторов в совокупности позволил получить высокие коэффициенты с высокими критериями применимости в прогностических моделях характеристик множественного регрессионного анализа.

Результаты настоящей работы будут использоваться для построения модели непрерывного прогнозирования фаз гидрологического режима рек Оба, Ульби и Дресвянка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волковская Н. П., Мезенцева О. В. АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕСЕННЕГО ПОЛО-ВОДЬЯ РЕКИ ИРТЫШ У ГОРОДА ОМСКА //ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ПРИРОДЫ: Материалы VIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Томск: ООО «Парус», 2019. –85 с.
2. Terekhov, A.G., Ivkina, N.I., Abayev, N.N., Galayeva, A.V., Yeltay, A.G. Streamflow response of the Ural River to basin snow depth changes during 2001-2019 *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2020. – 17(5). – 181–190 p.
3. Kauazov A., Tillakarim T., Salnikov V., Polyakova S. Assessment of changes in the area of snow cover in Kazakhstan from 2000 to 2022 // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. – 2023. – Т. 20. – №1. – С. 298–305.
4. Tillakarim, T., Kauazov, A., Gafurov, A., Sairov, S. SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION OF WATER RESERVES IN SNOW COVER IN THE NURA-SARYSU WATER BASIN. *Izdenister Natigeler*. – 2023. – No3 (99). – 292–307 p. <https://doi.org/10.37884/3-2023/30>
5. Тореханова, Н. С., Алдиярова, А. Е., Зулпыхаров, Б. А. Особенности формирования гидрологического режима реки Ертис на территории Казахстана в условиях антропогенной деятельности. Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий. – 2019. - № 2. – 218 с.
6. Семенова, А. В., Буковский, М. Е. Зависимость пика весеннего половодья в верховьях реки Цны от климатических факторов. *Географический вестник*, – 2022. - №1 (60). – 87-99 с. doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-87-99
7. Болатова А.А., Тиллакарим Т.А., Раимжанова М.Н. Применение гидрологической модели HBV для прогнозирования стока рек на примере бокового притока воды в Шульбинское водохранилище // *Гидрометеорология и экология*, 2019. – №3. – 26-43 с.
8. Гальперин Р.И. Высокие половодья в Северной половине Казахстана // *Вопросы географии и геоэкологии*, 2013. – № 1. – 3-10 с.
9. Болатова А.А., Тиллэкәрім Т.А., Раимжанова М.Н., Серікбай Н.Т., Багитова Б.Е., Болатов К.М. Результаты калибрования гидрологической модели HBV для горных рек Казахстана // *Гидрометеорология и экология*, 2018. – №3. – 110-124 с.
10. Нурбаcina, А. А., Дидовец, Ю., Лобанова, А. Адаптация гидрологической модели SWIM для прогнозирования стока равнинных рек Казахстана во время паводков/половодья. *Гидро-метеорология и экология*, 2019. – №3 (94). – 45-60 с.
11. Serikbay, N.T.; Tillakarim, T.A.; Rodrigo-Illari, J.; Rodrigo-Clavero, M.-E.; Duskayev, K.K. Evaluation of Reservoir Inflows Using Semi-Distributed Hydrological Modeling Techniques: Application to the Esil and Moildy Rivers' Catchments in Kazakhstan. *Water*. 2023. - No15. – 2967 p. <https://doi.org/10.3390/w15162967>
12. Тиллакарим, Т., Серікбай Н., Сатмурзаев А., Саиров, С. Моделирование стока горных рек Илейского Алатау с применением модели HBV-light. *Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов*, 2024. – No 10(1). – p. 1-20. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2024-R1.v10-1/1-20.rus>
13. Tillakarim, T., Serikbay, N., Rakishev, D., Sairov, S. MODELING RIVER RUNOFF OF LITERAL TRIBUTARIES OF THE BUKTYRMA RESERVOIR WITH USING HBV MODEL. *Journal of Geography & Environmental Management*, 2023. – No 70(3). doi.org/10.26577/JGEM.2023.v70.i3.08

14. Bolatova, A., Krysanova, V., Lobanova, A., Bolatov, K. Assessment of climate change impacts for two tributary basins of the Irtysh River in Kazakhstan. *Climate Research*, 2023. No 91. – 159-174 p.
15. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Ленинград.: Гидрометеиздат, 1965. – 691 с.
16. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление, Т. VII, Кн. 1: Возобновляемые ресурсы поверхностных вод западного, северного, центрального и восточного Казахстана/ под науч. ред. Р.И. Гальперина. – Алматы: ТОО «Арко», 2012. – 684 с.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. – Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 318 с.
- REFERENCES**
1. Volkovskaya N. P., Mezenceva O. V. ANALIZ FORMIROVANIYA VESENNEGO POLOVOD'YA REKI IRTYSH U GORODA OMSKA // PRIRODOPOL'ZOVANIE I OHRANA PRIRODY: Materialy VIII Vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoj kon-ferencii. – Tomsk: OOO «Parus», 2019. – 85 p.
2. Terekhov, A.G., Ivkina, N.I., Abayev, N.N., Galayeva, A.V., Yeltay, A.G. Streamflow response of the Ural River to basin snow depth changes during 2001-2019 *Sovremennye Problemy Distantion-nogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2020. – 17(5). – 181–190 p.
3. Kauazov A., Tillakarim T., Salnikov V., Polyakova S. Assessment of changes in the area of snow cover in Kazakhstan from 2000 to 2022 // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. – 2023. – Т. 20. – №1. – P. 298–305.
4. Tillakarim, T., Kauazov, A., Gafurov, A., Sairov, S. SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION OF WATER RESERVES IN SNOW COVER IN THE NURA-SARYSU WATER BASIN. *Izdenis-ter Natigeler*. – 2023. – No3 (99). – 292–307 p. <https://doi.org/10.37884/3-2023/30>
5. Torekhanova, N. S., Aldiyarova, A. E., Zulpyharov, B. A. Osobennosti formirovaniya gidro-logicheskogo rezhima reki Ertis na territorii Kazahstana v usloviyah antropogen-noj deyatel'nosti. *Problemy razvitiya sel'skohozyajstvennyh melioracij i vodohozyajstvennogo kompleksa na baze cifrovyyh tekhnologij*. – 2019. - № 2. – 218 p.
6. Semenova, A. V., Bukovskij, M. E. Zavisimost' pika vesennego polovod'ya v verhov'yah reki Cny ot klimaticheskikh faktorov. *Geograficheskij vestnik*. – 2022. - №1 (60). – 87-99 p. doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-87-99
7. Bolatova A.A., Tillakarim T.A., Raimzhanova M.N. Primenenie gidrologicheskoy modeli HBV dlya prognozirovaniya stoka rek na primere bokovogo pritoka vody v SHul'binskoe vodohranilishche // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2019. – №3. – 26-43 p.
8. Gal'perin R.I. Vysokie polovod'ya v Severnoj polovine Kazahstana // *Voprosy geografii i ge-oekologii*, 2013. – № 1. – 3-10 p.
9. Bolatova A.A., Tillakarim T.A., Raimzhanova M.N., Serikbay N.T., Bagitova B.E., Bolatov K.M. Rezul'taty kalibrovaniya gidrologicheskoy modeli HBV dlya gornyyh rek Kazahstana // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2018. – №3. – 110-124 p.
10. Nurbacina, A. A., Didovec, YU., Lobanova, A. Adaptaciya gidrologicheskoy modeli SWIM dlya prognozirovaniya stoka ravninnyh rek Kazahstana vo vremya pavod-kov/polovod'ya. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2019. – №3 (94). – 45-60 p.
11. Serikbay, N.T.; Tillakarim, T.A.; Rodrigo-Illarri, J.; Rodrigo-Clavero, M.-E.; Duskayev, K.K. Evaluation of Reservoir Inflows Using Semi-Distributed Hydrological Modeling Techniques: Application to the Esil and Moildy Rivers' Catchments in Kazakhstan. *Water*. 2023. - No15. – 2967 p. <https://doi.org/10.3390/w15162967>
12. Tillakarim, T., Serikbay N., Satmurzaev A., Sairov, S. Modelirovanie stoka gornyyh rek Ilejskogo Alatau s primeneniem modeli HBV-light. *Central'noazyatskij zhurnal issledovaniy vodnyh resursov*, 2024. – No 10(1). – p. 1-20. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2024-R1.v10-1/1-20.rus>
13. Tillakarim, T., Serikbay, N., Rakishev, D., Sairov, S. MODELING RIVER RUNOFF OF LITERAL TRIBUTARIES OF THE BUKTYRMA RESERVOIR WITH USING HBV MODEL. *Journal of Geography & Environmental Management*, 2023. – No 70(3). doi.org/10.26577/JGEM.2023.v70.i3.08
14. Bolatova, A., Krysanova, V., Lobanova, A., Bolatov, K. Assessment of climate change impacts for two tributary basins of the Irtysh River in Kazakhstan. *Climate Research*, 2023. No 91. – 159-174 p.
15. SHul'c V.L. Reki Srednej Azii. Ленинград.: Гидрометеиздат, 1965. – 691 p.
16. Vodnye resursy Kazahstana: ochenka, prognoz, upravlenie, Т. VII, Кн. 1: Vozobnavlyaemye resursy poverhnostnyh vod zapadnogo, severnogo, central'nogo i vostochnogo Kazahstana/ pod nauch. red. R.I. Gal'perina. – Алматы: ТОО «Арко», 2012. – 684 p.
17. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. – Т. 15. Altaj i Zapadnaya Sibir'. – Vyp. 1. Gornyy Altaj i Verhnij Irtysh. – L.: Гидрометеиздат, 1969. – 318 p.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕР ШЕКТЕУЛІ КЕЗДЕ СУ ТАСҚЫНЫ КӨЛЕМІН БОЛЖАУДЫ ЖЕТІЛДІРУДІҢ КЕЙБІР ЖАҒДАЙЛАРЫ

С.Б. Саиров* *к.г.н.*, Т.А. Тілләкәрім *PhD*, Н.Т. Серікбай

«Қазгидромет» РМҚ, Астана, Қазақстан

E-mail: sairov_s@meteo.kz

Мақалада көктемгі су тасқыны ағынының көлемін болжауды жетілдіру әдістері қарастырылған. Зерттеудің негізгі нысандары – Шүлбі су қоймасының бүйірлік салалары болып табылатын Оба, Үлбі және Дресвянка өзендері. Бұл өзендер көктемгі-жазғы су тасқыны және 2...3 айдан астам созылған ағыны бар өзен түріне жатады. Зерттеудің мақсаты – көктем мен жаз мезгілдерінде қардың жиналуы мен өзеннің ағындысы арасындағы байланыс негізінде ағынды болжау әдісін әзірлеу. Ағынды сулардың пайда болуына әсер ететін гидрологиялық және метеорологиялық факторларды зерттеу нәтижелері ұсынылған, сондай-ақ көктемгі-жазғы су тасқыны кезеңінде және оның ұзақтығында ағынды болжау үшін теңдеулер келтірілген. Алынған көптік регрессия теңдеулері су тасқыны көлемін модельдеуде жоғары дәлдікті көрсетті, бақыланған және болжанған деректер арасындағы корреляция коэффициенттері 0,79-дан 0,91-ге дейін ауытқиды. S/σ критерийі бойынша есептеулерге сәйкес, алынған нәтижелер 0,46...0,53 шамасындағы көрсеткіштермен бақыланатын су тасқыны көлемдерінің жақсы өндіру критерийіне сәйкестігін көрсетеді.

Түйін сөздер: болжау әдістемесі, өзен ағындысы, суық кезеңдегі жауын-шашын мөлшері, ауа температурасы, су тасқынының ұзақтығы, Шүлбі су қоймасы.

SOME ASPECTS OF IMPROVING FLOOD VOLUME FORECASTING UNDER CONDITIONS OF LIMITED HYDROMETEOROLOGICAL DATA

S. Sairov* *candidate of geogr. Science*, T. Tillakarim *PhD*, N. Serikbay

RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan

E-mail: sairov_s@meteo.kz

The article deals with methods of improving the forecasting of the volume of spring flood runoff. The main objects of the study are the Oba, Ulbi and Dresvyanka rivers, which are lateral tributaries of the Shulba reservoir. These rivers belong to the type of rivers with spring-summer flooding and extended flow for more than 2...3 months. The aim of the study is to develop a methodology for flow forecasting based on the relationship between snow accumulation and river flow in spring and summer periods. The results of the study of hydrological and meteorological factors affecting runoff formation are presented, and equations for forecasting runoff during spring and summer floods and its duration are derived. The obtained multiple regression equations demonstrated high accuracy in modelling flood volumes, with correlation coefficients between observed and predicted data ranging from 0,79 to 0,91. According to S/σ calculations, the results obtained indicate good reproducibility of the observed flood volumes, with values ranging from 0,46 to 0,53.

Keywords: forecasting methodology, water discharge, cold period precipitation, air temperature, flood duration, Shulbinskoe reservoir.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Саиров Серік Бияхметович – к.ғ.н., первый заместитель генерального директора РГП «Казгидромет», г. Астана, Мәңгілік ел 11/1, *Sairov_s@meteo.kz*

Тілләкәрім Тұрсын Адамбекқызы – PhD, начальник управления климатических исследований Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», г. Астана, Мәңгілік ел 11/1, *Tillakarim_t@meteo.kz*

Серікбай Нұрғалым Тәжібайұлы – начальник управления моделирования гидрологических процессов и гидрологических расчетов Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», г. Астана, Мәңгілік ел 11/1, *Serikbay_n@meteo.kz*

Саиров Серік Бияхметұлы – г.ғ.к., «Казгидромет» РМК бас директорының бірінші орынбасары, Астана қ., Мәңгілік ел 11/1, *Sairov_s@meteo.kz*

Тілләкәрім Тұрсын Адамбекқызы – PhD, «Казгидромет» РМК Ғылыми-зерттеу орталығының Климаттық зерттеулер басқармасының бастығы, Астана қ., Мәңгілік ел 11/1, *Tillakarim_t@meteo.kz*

Серікбай Нұрғалым Тәжібайұлы – «Казгидромет» РМК Ғылыми-зерттеу орталығының гидрологиялық процестерді модельдеу және гидрологиялық есептеулер басқармасының бастығы, Астана қ., Мәңгілік ел 11/1, *Serikbay_n@meteo.kz*

Sairov Serik – Candidate of Geological Sciences, First Deputy Director General of RSE «Kazhydromet», Astana, Mangilik el 11/1, *Sairov_s@meteo.kz*

Tillakarim Tursyn – PhD, Head of Climate Research Department, Research Centre of RSE «Kazhydromet», Astana, Mangilik el 11/1, *Tillakarim_t@meteo.kz*

Serikbay Nurgalym – Head of Hydrological Process Modelling and Hydrological Calculations Department, Research Centre of RSE «Kazhydromet», Astana, Mangilik el 11/1, *Serikbay_n@meteo.kz*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Саиров С.Б. – общее руководство, разработка концепции, разработка методологии, проведение анализа, редактирование текста

Тілләкәрім Т.А. – проведение расчетов, проведение анализа, подготовка и редактирование текста

Серікбай Н.Т. – подготовка и редактирование текста

Саиров С.Б. – жалпы басшылық, тұжырымдаманы әзірлеу, әдіснаманы әзірлеу, талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу

Тілләкәрім Т.А. – есептеулер жүргізу, талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу

Серікбай Н.Т. – мәтінді дайындау және өңдеу

Sairov S.B. – general management, concept development, methodology development, analyses, text editing

Tillakarim T.A. – calculations, analyses, text preparation and editing

Serikbay N.T. – text preparation and editing

ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА РЕКИ ИЛЕ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

К.Т. Нарбаева¹PhD, Д.М. Бурлибаева¹ PhD, Р.Е. Ахметова², Г.К. Исмаилова³ к.г.н., Н.Е. Женисова²

¹Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

E-mail: narbayeva.kn@gmail.com

Основная причина опустынивания земель происходит в результате сочетания интенсивной антропогенной нагрузки и прогрессируемого развития орошаемых земель на юге Казахстана. В следствии этого, происходит снижение биопродуктивности пахотных земель и пастбищных угодий аридных и семиаридных территорий. С одной стороны, на снижение плодородия почвы влияет использование устаревших сельскохозяйственных методов, в том числе и неэффективное управление водными ресурсами (экстенсивный подход). С другой стороны, естественные изменения, такие, как изменения климата, увеличение температуры, уменьшение количества и учащение экстремальных погодных условий, которые могут приводить к засухам и деградации почвы. В Казахстане к пустынным и деградированным землям в основном относятся южные регионы. Поэтому в данной статье произведен анализ изменения гидрологического режима р. Иле и его влияние на экосистему Балкаш-Алакольского бассейна в целом.

Ключевые слова: речной сток реки Иле, антропогенное воздействие, баланс водохранилищ, площадь орошения, забор воды на орошения.

Поступила: 10.06.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-20-30

ВВЕДЕНИЕ

В Казахстане большая часть территории расположена в зоне недостаточного увлажнения, а с учетом изменяющегося климата, ситуация усугубляется – аридный климат становится еще более сухим, что в конечном счете приводит к опустыниванию. Причинами опустынивания в Казахстане являются как природные, так и антропогенные факторы. Исследованиями выявлено, что процессы опустынивания затронули практически все области Казахстана (URL:<https://careseco.org/main/news/obzor-problema-opustynivaniya-na-globalnom-i-regionalnom-urovnyakh/>).

Антропогенные факторы, приводящие к возникновению и развитию процессов опустынивания в Казахстане, связаны, главным образом, с такими видами хозяйственной деятельности: интенсивный выпас скота, орошаемое земледелие, разработка полезных ископаемых, строительство и эксплуатация различных объектов (промышленных, военных, гражданских).

Как было отмечено ранее, изменение климата особо сказалось в южных регионах

страны, процессы опустынивания здесь выражены наиболее ярко. Одним из наиболее значимых трансграничных водотоков южного региона страны является река Иле, которая начинается на территории Китая и затем приходит на территорию Казахстана. Река Иле является основной составляющей приходных характеристик водного баланса озера Балкаш, сток реки составляет 80 % общего притока речных вод в озеро. Увеличение антропогенной нагрузки на реку совместно с изменением климата оказывают влияние на сокращение водных ресурсов бассейна реки Иле, а это, в свою очередь, обостряет ситуацию с деградацией земель (Достай Ж.Д., 2009; Бурлибаев М.Ж. и др., 2022).

С учетом актуальности тематики, в данной статье проведены оценка и анализ гидрологических и водохозяйственных характеристик бассейна реки Иле.

Объект исследования. Бассейн р. Иле с притоками расположен на обширной территории Синьцзян-Уйгурского автономного района на территории КНР и Алмагинской области на территории Казахстана. Площадь водосборного бассейна составляет 179,6 тыс. км², в т.ч. 123,5 тыс. км² на территории Казахстана (СКИОВР, 2008).

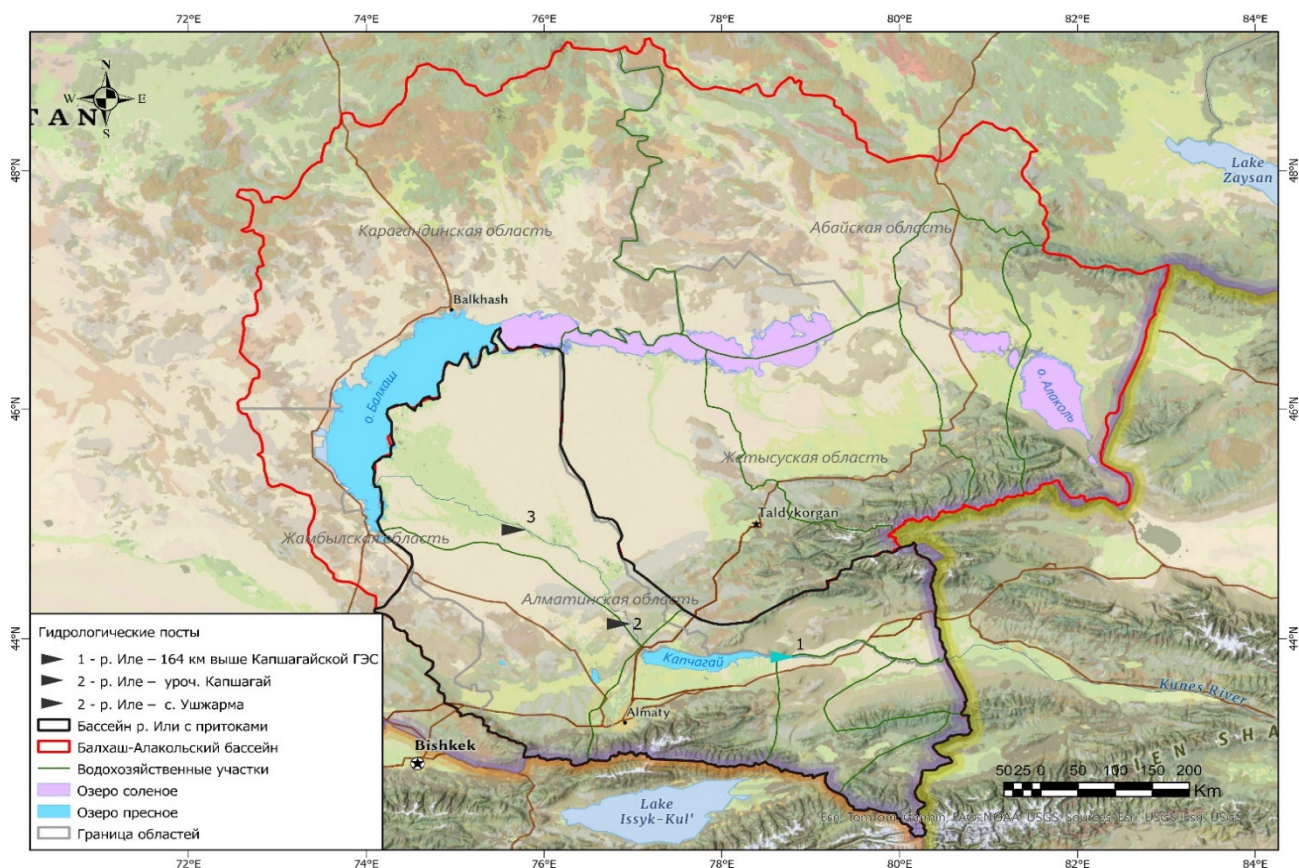


Рис 1. Карта расположения бассейна реки Иле

В подотчетной зоне деятельности РГУ «Балкаш-Алакольской инспекции по регулированию использования и охране водных ресурсов» числится 271 гидротехнических сооружений (ГТС) (СКИОВР, 2008; Отчет Балкаш-Алакольской бассейновой инспекции, 2018). На территории Алматинской области расположены 214 водохозяйственных объекта (рисунок 2).

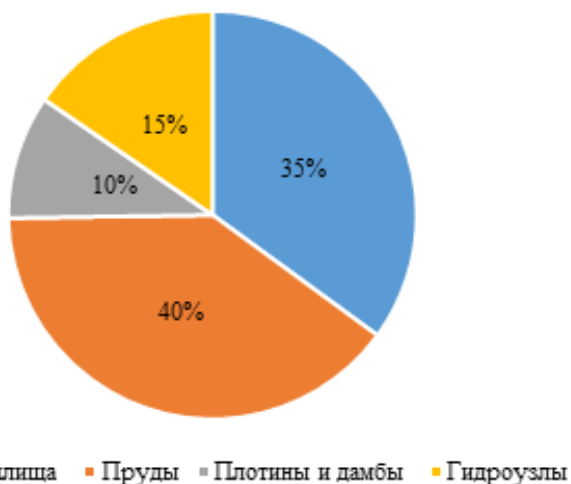


Рис 2. Водохозяйственные объекты Алматинской области

Все вышеперечисленные водохозяйственные объекты созданы с целью регулирования и перераспределения речного стока во времени. Большинство объектов являются небольшими и служат для удовлетворения нужд различных водопотребителей бассейна р. Иле.

Чрезмерное изъятие водных ресурсов сказывается на угнетении экосистемы и ее последующей деградации. Результатом чрезмерной нагрузки на экосистему могут служить деградация земель, опустынивание и потеря биологического разнообразия (Khan S. et al., 2024).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основными методиками оценки и анализа гидрологических и водохозяйственных характеристик являлись применяемые классические подходы математической статистики.

Изменения гидрологического режима реки оценивается с помощью методов математической статистики и анализа случайных процессов. Статистический ряд гидрологических наблюдений в конкретном створе (пункте наблюдений) реки является частью генеральной совокупности данных. Поэтому необходимо оценить, насколько имеющийся ряд или выбранный для расчета период отражает характерную закономерность изменения стока во времени на исследуемой территории, т.е. насколько расчетный ряд гидрологических характеристик репрезентативен (Методические рекомендации, 2005; Методические рекомендации, 2009).

Оценка влияния гидротехнических сооружений, в частности водохранилищ, представляет большой научный интерес и имеет важное практическое значение в решении проблем рационального использования и охраны водных ресурсов. Основой для ее решения является изучение закономерности формирования водных ресурсов в водохранилищах, их влияния на речной сток и характеристики водного баланса водохранилищ (Бахтияров В.А., 1961). Расчеты водного баланса, на основе которых формируются количественные и качественные показатели текущего и будущего уровня использования водных ресурсов, являются эффективным средством решения проблем эффективного управления водными ресурсами.

В общем виде уравнение водного баланса водохранилища для интервала времени Δt выглядит следующим образом:

$$\pm \Delta V = Q_a \Delta t = (Q_{пр} - Q) \Delta t = [Q_{пр} - (Q_i + Q_c + Q_n)] \Delta t,$$

где ΔV — изменение наполнения водохранилища, знак плюс соответствует увеличению наполнения водохранилища (аккумуляция), знак минус — уменьшению (сработке); Q_a — расход аккумуляции, т. е. разность расходов притекающего в водохранилище $Q_{пр}$ и зарегулированного брутто Q ; Q_i — используемый расход; Q_c — расход холостых сбросов; Q_n — суммарный расход потерь и изъятия воды из водохранилища.

Величина сработки или наполнения водохранилища за расчетный интервал времени ($\pm \Delta V$) определяется в ходе расчета водохозяйственного баланса как поправка к располагаемым водным ресурсам, выравнивающая приходную и расходную части баланса.

Наполнение водохранилища определяется объемом суммарного притока в водохранилище за вычетом объемов специальных попусков, безвозвратного водопотребления, а также сработки водохранилища в интересах водопользователей нижнего бьефа, если таковые имеются (Арсеньев Г.С., Иваненко А.Г., 1993; Кузнецов Е.В. и др., 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдаемое в настоящее время изменение климата оказывает непосредственное влияние на состояние водных ресурсов, в т.ч. количественно изменяя приходные и расходные характеристики водохозяйственных балансов. Изменение речного стока происходит под влиянием двух групп факторов — естественных и антропогенных. Как известно, все природные процессы являются циклическими. Водные ресурсы также имеют особенности своих циклических изменений, происходит чередование многоводных и маловодных фаз. Для оценки циклических колебаний характеристик сток р. Иле была построена разностная интегральная кривая коэффициентов стока в створах 164 км выше Кашагайской ГЭС, уроч. Капшагай и с. Ушжарма (рис. 3).

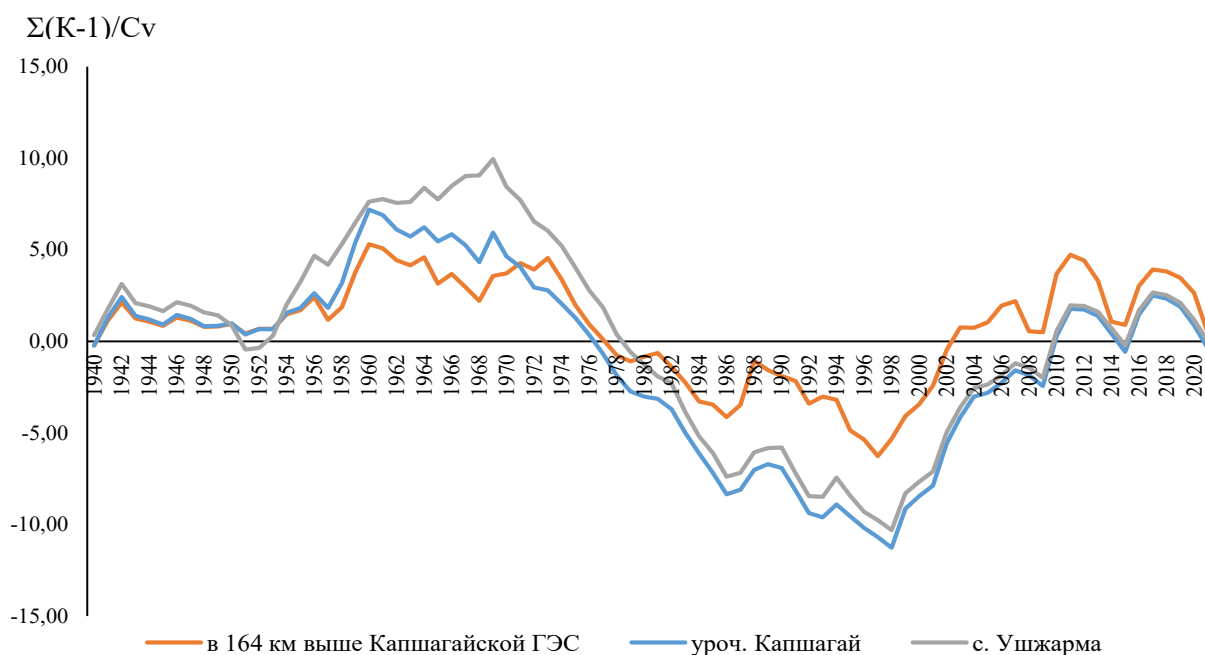


Рис 3. Разностная интегральная кривая коэффициентов стока на р. Иле

Как видно из графика на рис. 3 можно сделать вывод о том, что в настоящее время по всем постам наблюдения (164 км выше Капшагайской ГЭС, уроч. Капшагай и с. Ушжарма) на р. Иле наблюдается завершение маловодной фазы водного режима. Изменение климата, которое является естественным фактором, оказывает влияние на продолжительность

многоводных и маловодных фаз. Антропогенное нарушение речного стока чаще всего обусловлено введением в эксплуатацию крупных водохозяйственных объектов, таких, как водохранилища. Для оценки изменения стока ниже водохранилища Капшагай был выбран гидрологический пост с. Ушжарма. Суммарная интегральная кривая представлена на рисунке 4.

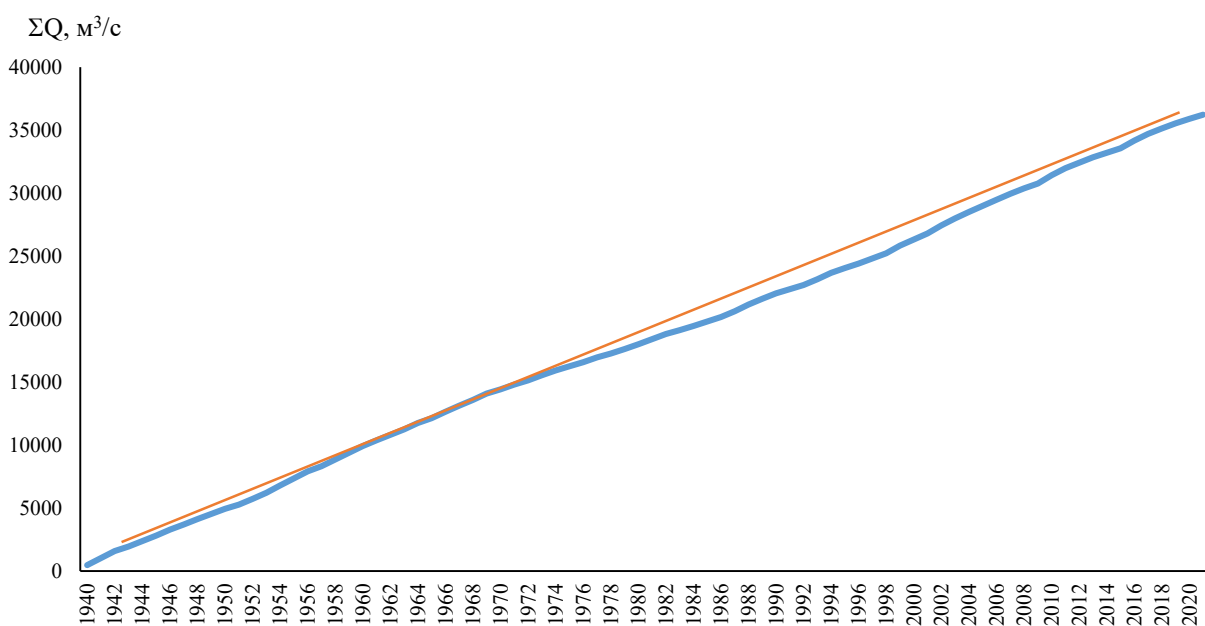


Рис 4. Суммарная интегральная кривая расходов воды в створе р. Иле – с. Ушжарма

Согласно графику, на рисунке 3, отчетливо видно, что начиная с 1970 г. начали происходить антропогенные изменения стока, вследствие чего угол отклонения суммарной интегральной кривой расходов воды в створе с. Ушжарма начал меняться. Более того, 1970 г. является началом наполнения Капшагайского водохранилища (Бурлибаев М.Ж. и др., 2022).

Водоохранилища в районе исследования в основном служат для обеспечения водой орошаемых полей. Орошение способствует увеличению плодородия почвы и, соответственно, увеличению урожая. Одним из возможных способов борьбы с опустыниванием может стать ирригация. Однако, здесь необходимо учитывать тот факт, что нерациональное использование водных и земельных ресурсов (сверхбольшая антропогенная нагрузка) может негативно сказаться на всей экосистеме и привести к деградации земель и сокращению биоразнообразия.

Поэтому оценка «внедренных» антропогенных объектов, таких, как водохранилища, представляет большой научный и

практический интерес для целей устойчивого развития экосистем и рационального использования водных ресурсов. Далее в статье проводится анализ водных балансов основных крупных водохранилищ района исследования.

Крупнейшим водохранилищем бассейна является Капшагайское водохранилище, которое расположено на реке Иле в районе Капшагайского ущелья, на северо-запад от г. Алматы. Капшагайское водохранилище является вторым по размерам после Буктырминского во всем Казахстане. Полная емкость Капшагайского водохранилища, согласно рабочему проекту, составляет 28,14 км³, площадь зеркала при НПУ (485 м) – 1845 км². Для водохранилища Постановлением Правительства РК установлена критическая отметка, которая составляет 479,0 м (СКИОВР, 2008; Отчет Балкаш-Алакольской бассейновой инспекции, 2018).

В таблице 1 приведены основные составляющие водохозяйственного баланса Капшагайского водохранилища.

Таблица 1

Приходные и расходные составляющие водохозяйственного баланса Капшагайского водохранилища (2018 г.)

№ п/п	Составляющие баланса	млн. м ³
1	Объем водохранилища на начало периода	17540
2	Приток в водохранилище	15060
	Сброс из водохранилища	16190
3	в том числе на:	
	Орошение земель из водохранилища	70,516
4	Объем безвозвратного водопотребления составил	64,390
	Итого	± ΔV= 1 130

Согласно анализу водохозяйственного баланса Капшагайского водохранилища, наибольшей приходной характеристикой, от которой зависит наполнение водохранилища, является приток речной воды в водохранилище. Соответственно, наибольшей расходной характеристикой водохозяйственного баланса является сброс из водохранилища на цели орошения и санитарные попуски, а также на безвозвратные потери. Неувязка составила 1130 млн. м³ (сработка). В водохозяйственном балансе Капшагайского водохранилища в 2018 г. сброс превысил приток воды, что свидетельствует об уменьшении объема воды, хранившегося в водоеме. Как было отме-

чено ранее, уменьшение водных ресурсов на конкретной территории влечет последствия в виде уменьшения увлажненности территории, в т.ч. и почвы, что, в конечном счете, приводит к опустыниванию территории.

Одним из крупных водохранилищ бассейна р. Иле также является Бартогайское водохранилище, которое расположено в средней части бассейна р. Шелек, в урочище Бартогай, в 175 км от города Алматы и в 65 км от села Шелек. Полный объем водохранилища по проекту составляет 320 млн. м³, площадь зеркала при НПУ – 13 км². В таблице 2 показаны основные составляющие водохозяйственного баланса Бартогайского водохранилища.

Таблица 2

Приходные и расходные составляющие водохозяйственного баланса Бартогайского водохранилища (2018 г.)

№ п/п	Составляющие баланса	млн. м ³
1	Объем водохранилища на начало периода	968,78
2	Приток в водохранилище	968,78
	Сброс из водохранилища	930,63
3	в том числе на:	
	Орошение земель из водохранилища	715,04
4	выше БАКа	92,70
	по БАКу	286,75
	ниже БАКа	335,59
	Итого	± ΔV= 38,15

Также, как и в случае с Капшагайским водохранилищем, основной приходной характеристикой водохозяйственного баланса Бартогайского водохранилища составляет приток речной воды, расходной – сброс из водохранилища, в т.ч. для нужд орошения и санитарные пуски. Неувязка ΔV составила +38,15 млн. м³, что свидетельствует о наполнении водоема (аккумуляция). Положительный водохозяйственный баланс говорит о положительной тенденции управления водохранилищем.

Развитие отраслей экономики и раци-

ональное использование водных ресурсов в рассматриваемом бассейне находятся в прямой зависимости от наличных водных ресурсов. Так как бассейн р. Иле расположен в засушливой зоне, недостаток водных ресурсов является определяющим фактором развития экономики региона. Основными водными источниками для отраслей экономики в Балкаш-Алакольском бассейне являются главная р. Иле и ее притоки. В таблице 3 приведены данные о водозаборе по отраслям экономики. Графически объемы водопотребления в исследуемом бассейне представлены на рисунке 5.

Таблица 3

Забор поверхностных вод в Балкаш-Алакольском бассейне по отраслям экономики, млн м³

№	Забор воды на нужды отраслей экономики	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	Рыбное хозяйство	23,256	23,751	24,092	19,400	21,128	17,142	6,824	12,94
2	Коммунальное хозяйство	230,374	203,894	207,647	215,528	199,536	217,245	226,445	221,21
3	Промышленность	237,436	264,184	268,497	210,579	241,801	261,127	273,815	324,30
4	Сельское хозяйство	2168,179	2227,595	2312,137	2453,046	2507,340	2293,905	2363,181	2740,75

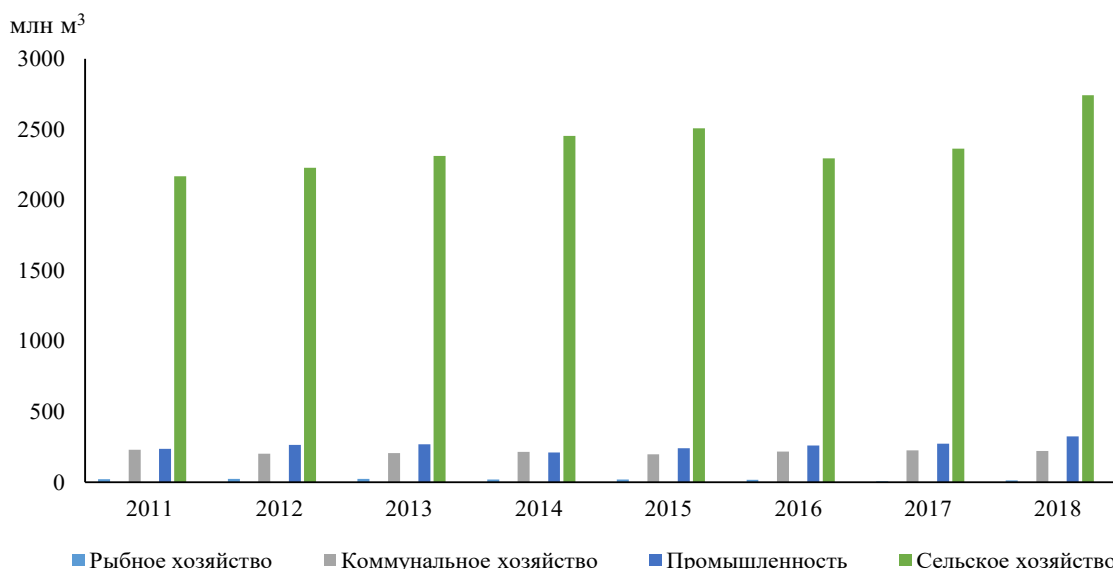


Рис 5. Динамика изменения водозабора для нужд отраслей экономики Балкаш-Алакольского бассейна

Характерной особенностью водопотребления Балкаш-Алакольского бассейна является сельскохозяйственная ориентированность, о чем говорят максимальные объемы забора поверхностных вод на нужды орошаемого земледелия. Водопотребление коммунальным хозяйством и промышленность в районе исследования находятся на одном уровне. Минимальные объемы воды в бассейне используются рыбным хозяйством.

Поскольку основным водопотребителем является орошаемое земледелие, особый инте-

рес представляет оценка изменений площадей орошения в исследуемом водохозяйственном бассейне. В таблице 4 приведены числовые характеристики площадей орошения Балкаш-Алакольского бассейна, также даны числовые значения объемов воды, используемых для целей орошения. На основе данных таблицы 4 составлен график динамики изменений площадей орошения и объемов забора воды в Балкаш-Алакольском водохозяйственном бассейне (рис. 6).

Таблица 4

Площади орошения и объемы забора воды на орошения в Балкаш-Алакольском бассейне

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Площадь орошения, тыс. га								
395,584	412,318	431,454	431,719	434,405	407,697	397,166	387,177	434,425
Забор воды на орошения, млн м³								
3002,234	3007,564	3010,88	3099,21	3250,95	3321,24	3031,216	3124,548	3346,404

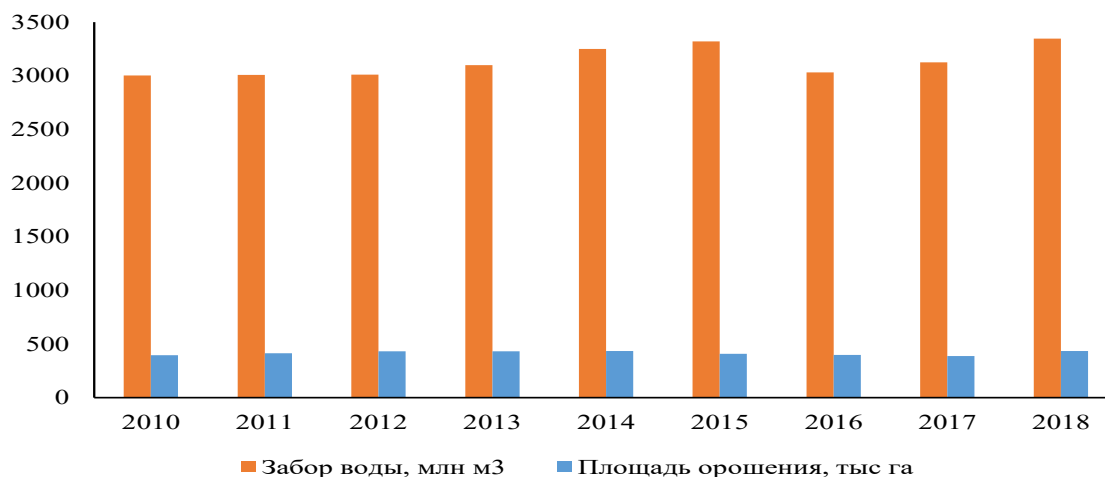


Рис 6. Динамика изменений площадей орошения и объемов забора воды в Балкаш-Алакольском бассейне

Анализ графика, представленного на рис. 6 показывает, что при относительно небольшой изменчивости площадей орошения – 47,248 тыс. га ($\min = 387,177$ тыс. га; $\max = 434,425$ тыс. га), забор воды для целей орошения варьировал в значительных пределах, амплитуда составила 344,17 млн. м³ ($\min = 3002,234$ млн. м³; $\max = 3346,404$ млн. м³).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье были произведены гидрологические расчеты по 3 гидропостам на р. Иле (Казахстанская территория). По результатам проведенного исследования, можно сделать вывод о том, что в настоящее время по всем постам наблюдения (164 км выше Кашагайской ГЭС, уроч. Капшагай и с. Ушжарма) на р. Иле наблюдается завершение маловодной фазы водного режима. Начиная с 1970 г. начали происходить антропогенные изменения стока, вследствие чего угол отклонения суммарной интегральной кривой расходов воды в створе с. Ушжарма начал меняться. Это соответствует началу наполнения Капшагайского водохранилища в 1970 году.

По водохозяйственному анализу рассмотрены водный баланс Капшагайского и Бартогайского водохранилищ. Анализ водохозяйственного баланса Капшагайского водохранилища, показывает, что неувязка составила $-\Delta V = 1130$ млн. м³ (сработка). В водохозяйственном балансе Капшагайского водохранилища в 2018 г. сброс превысил приток воды, что свидетельствует об уменьшении объема воды по результатам отчета Балкаш-Алакольской бассейновой инспекции по регулированию использования и охране водных ресурсов. Анализ водохозяйственного баланса Бартогайского водохранилища показывает, что неувязка ΔV составила +38,15 млн. м³, что свидетельствует о наполнении водоема (аккумуляция).

Характерной особенностью водопотребления Балкаш-Алакольского бассейна является ориентированность на сельское хозяйство и орошение. На рисунке 5 была отражена динамика изменения водозабора для нужд отраслей экономики Балкаш-Алакольского бассейна на территории РК. Данный рисунок отлично отражает отрасль экономики, которая больше всего расходует воды – сельское хозяйство.

В Балкаш-Алакольском бассейне расположено множество массивов орошения, поэтому в статье был сделан анализ площадей орошения и забора воды на эти нужды. Анализ графика, представленного на рис. 6 показывает, что при относительно небольшой изменчивости площадей орошения – 47,248 тыс. га ($\min = 387,177$ тыс. га; $\max = 434,425$ тыс. га), забор воды для целей орошения варьировал в значительных пределах, амплитуда составила 344,17 млн. м³ ($\min = 3002,234$ млн. м³; $\max = 3346,404$ млн. м³).

Поскольку р. Иле является трансграничной, нельзя упускать из виду тот факт, что в последние годы наблюдается увеличение забора воды из р. Иле на территории Китайской Народной Республики (КНР), что в будущем может стать значительной угрозой для Казахстана, поскольку может привести к уменьшению объема водных ресурсов, поступающего на территорию нашей страны. Согласно открытым данным (М.Ж. Бурлибаев, и др., 2022), в бассейне р. Иле на территории КНР имеются 5 крупных водохранилища с емкостью ≥ 106 м³, крупнейшими из которых являются Жилинтай и Циафуцай; также на территории сопредельного государства в бассейне исследуемой реки существуют 34 водохранилища средних и малых размеров (<106 м³). Следует также отметить, что водопотребление в бассейне р. Иле на территории КНР значительно возросло с $1,893 \cdot 10^6$ м³ в 1990 г. до $5,284 \cdot 10^6$ м³ в 2010 г.

В связи с вышеизложенным, для долгосрочной перспективы управления водными ресурсами р. Иле, рекомендуется рациональное и эффективное использования стока реки Иле, учитывая увеличение площади орошения, как на территории РК, так и на территории КНР.

Благодарности

Настоящее исследование финансировался/финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR18574227).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОБЗОР: Проблема опустынивания на глобальном и региональном уровнях [Электронный ресурс] URL: <https://carececo.org/main/news/obzor-problema-opustynivaniya-na-globalnom-i-regionalnom-urovnyakh/> (дата обращения: 07.05.2024).

2. Достай Ж.Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балкаш. – Алматы, 2009. – 236 с.
3. Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М., Огарь Н.П. и др. Экологические проблемы дельты реки Иле и пути их решения. – Алматы: Издательство «Каганат», 2022. – 511 с.
4. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Иле, Книга 1, часть 1. – 2008.
5. Отчет по регулированию использования и охране водных ресурсов за 2018 год. – Алматы: РГУ "Балкаш-Алакольская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов", 2019. – С. 161.
6. Khan S., Masoodi T.H., Islam M.A., Arjumand T., Raja A., Parrey A.A. Ecosystem Degradation to Restoration: A Challenge. Climate Crisis: Adaptive Approaches and Sustainability. Springer Cham, 2024. – DOI: 10.1007/978-3-031-44397-8_2
7. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – Санкт-Петербург, 2005. – 123 с.
8. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – Санкт-Петербург, 2009. – 193 с.
9. Бахтияров В.А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1961. – 432 с.
10. Г.С. Арсеньев, А.Г.Иваненко. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. С-П.: Гидрометеоздат, 1993. – 273 с.
11. Кузнецов Е.В., Дегтярева Е.В., Ященко К.В. Водохозяйственные системы и водопользование: Учебное пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2018. – 77 с.
- regional'nom urovnyakh [Elektronnyi resurs] URL:https://carececo.org/main/news/obzor-problema-opustynivaniya-na-globalnom-i-regionalnom-urovnyakh/(data obrashcheniya: 07.05.2024)
2. Dostai Zh.D. Management of the hydroecosystem of the Lake Balkash basin. – Almaty, 2009. – 236 p.
3. Burlibaev M.Zh., Burlibaeva D.M., Ogar' N.P. i dr. Ekologicheskie problemy del'ty reki Ile i puti ikh resheniya. – Almaty: Izdatel'stvo «Kaganat», 2022. – 511 p.
4. Scheme for the integrated use and protection of water resources in the river basin. Ile, Book 1, part 1. – 2008.
5. Otchet po regulirovaniyu ispol'zovaniya i okhrane vodnykh resursov za 2018 god. – Almaty: RGU "Balkash-Alakol'skaya basseinovaya inspektsiya po regulirovaniyu ispol'zovaniya i okhrane vodnykh resursov", 2019. – P. 161.
6. Khan S., Masoodi T.H., Islam M.A., Arjumand T., Raja A., Parrey A.A. Ecosystem Degradation to Restoration: A Challenge. Climate Crisis: Adaptive Approaches and Sustainability. Springer Cham, 2024. – DOI: 10.1007/978-3-031-44397-8_2
7. Methodological recommendations for determining the calculated hydrological characteristics in the presence of hydrometric observations. The Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. – St. Petersburg, 2005. – 123 p.
8. Methodological recommendations for determining the calculated hydrological characteristics in the absence of hydrometric observations. The Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. – St. Petersburg, 2009. – 193 p.
9. Bakhtiyarov V.A. Vodnoe khozyaistvo i vodokhozyaistvennye raschety. – Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1961. – 432 p.
10. G.S. Arsenyev, A.G.Ivanenko. Water management and water management calculations. S.P.: Hydrometeoizdat, 1993. – 273 p.
11. Kuznetsov E.V., Degtyareva E.V., Yashchenko K.V. Vodokhozyaistvennye sistemy i vodopol'zovanie: Uchebnoe posobie. – Krasnodar: KubGAU, 2018. – 77 p.

REFERENCE

1. OBZOR: Problema opustynivaniya na global'nom i

ТАБИҒИ ЖӘНЕ АНТРОПОГЕНДІК ӨЗГЕРІСТЕР ЖАҒДАЙЫНДА ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДАҒЫ ІЛЕ ӨЗЕНІНІҢ АҒЫНДЫСЫН ПАЙДАЛАНУЫН БАҒАЛАУ

К.Т. Нарбаева^{1*} PhD, Д.М. Бурлибаева¹ PhD, Р.Е. Ахметова², Г.К. Исмаилова³ д.э.к., Н.Е. Жеңісова²

¹География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

³Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: narbayeva.kn@gmail.com

Жердің шөлейттенуінің негізгі себебі Қазақстанның оңтүстігінде қарқынды антропогендік жүктеменің өсуі мен суармалы жерлердің үдемелі дамуының үйлесуі нәтижесінде пайда болады. Нәтижесінде құрғақ және семиаридті аумақтардың егістік жерлері мен жайылымдық жерлерінің биоөнімділігі төмендегені көрінеді. Бір жағынан, топырақ құнарлылығының төмендеуіне ескірген ауылшаруашылық әдістерін қолдану, соның ішінде су ресурстарын тиімсіз басқару (экстенсивті тәсіл) әсер етеді. Басқа жағынан, құрғақшылық пен топырақтың деградациясына әкелетін климаттың өзгеруі, температураның жоғарылауы, экстремалды ауа райы жағдайларының жиілігінің төмен-

деуі және артуы сияқты табиғи өзгерістер. Қазақстанда шөл және шөлейт жерлерге негізінен оңтүстік өңірлері жатады. Сондықтан бұл мақалада Іле өзенінің гидрологиялық режимінің өзгеруіне және оның жалпы Балқаш-Алакөл бассейнінің экожүйесіне әсерін талдау жасалды.

Түйін сөздер: Іле өзенінің өзен ағындысы, антропогендік әсер, су қоймаларының балансы, суару алаңы, суаруды сумен қамтамасыз ету.

ASSESSMENT OF THE USE OF RIVER FLOW OF THE ILE RIVER IN THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN UNDER CONDITIONS OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC CHANGES

K. Narbayeva^{1*} *PhD*, **D. Burlibayeva**¹ *PhD*, **R. Akhmetova**², **G. Ismailova**³ *candidate geographical science*, **N. Zhengissova**²

¹*Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan*

²*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

³*Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan*

E-mail: narbayeva.kn@gmail.com

The main cause of desertification occurs as a result of the combination of intense anthropogenic pressure and the progressive development of irrigated lands in the south of Kazakhstan. As a result, there is a decrease in the bioproductivity of arable lands and pastures in arid and semi-arid areas. On the one hand, the decrease in soil fertility is affected by the use of outdated agricultural methods, including ineffective water resource management (extensive approach). On the other hand, natural factors such as climate change, increasing temperatures, decreasing precipitation, and more frequent extreme weather conditions can lead to droughts and soil degradation. In Kazakhstan, desertified and degraded lands are mainly found in the southern regions. Therefore, this article analyzes changes in the hydrological regime of the Ile river and its impact on the ecosystem of the Balkash-Alakol basin as a whole.

Keywords: river flow of the Ile River, anthropogenic impact, balance of reservoirs, irrigation area, water intake for irrigation.

Сведения об авторе/Автор туралы мәліметтер/Information about author:

Нарбаева Каракоз Турсынбековна – PhD, научный сотрудник, Институт географии и водной безопасности, г. Алматы, пр. Сейфуллина, 458/1, *narbayeva.kn@gmail.com*

Бурлибаева Диана Маликовна – PhD, научный сотрудник, Институт географии и водной безопасности, г. Алматы, пр. Сейфуллина, 458/1, *diana.burlibayeva@yandex.kz*

Ахметова Райбану Ерлановна – магистрант 2-го курса, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71, *akhmetova.raibanu@gmail.com*

Исмаилова Гаухаркуль Кулпыбековна – к.г.н., ст. преподаватель, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, пр. Абая, 8, *gismailova@list.ru*

Женисова Назым Ернаткызы – магистр естественных наук, преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71, *jenisnaz@gmail.com*

Нарбаева Каракоз Турсынбековна – PhD, зерттеуші, География және су қауіпсіздігі институты, Алматы қ., Сейфуллина даңғылы, 458/1, *narbayeva.kn@gmail.com*

Бурлибаева Диана Маликовна – PhD, зерттеуші, География және су қауіпсіздігі институты, Алматы қ., Сейфуллина даңғылы, 458/1, *diana.burlibayeva@yandex.kz*

Ахметова Райбану Ерлановна – 2-ші курс магистрант, әл -Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Әл-Фараби даңғылы, 71, *akhmetova.raibanu@gmail.com*

Исмаилова Гаухаркуль Кулпыбековна – г.ғ.к., аға оқытушы, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Абай даңғылы, 8, *gismailova@list.ru*

Жеңісова Назым Ернатқызы – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, оқытушы, әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., әл-Фараби даңғылы, 71, *jenisnaz@gmail.com*

Narbayeva Karakoz – PhD, researcher, Institute of Geography and Water Security, Almaty, Seifullina ave., 458/1, *narbayeva.kn@gmail.com*

Burlibayeva Diana – PhD, researcher, Institute of Geography and Water Security, Almaty, Seifullina ave., 458/1, *diana.burlibayeva@yandex.kz*

Akhmetova Raibanu – 2nd year master's student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, al-Farabi ave., 71, *akhmetova.raibanu@gmail.com*

Ismailova Gauharkul – candidate geographical science, senior lecture, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Abai ave., 8, *gismailova@list.ru*

Zhengissova Nazym – master of natural sciences, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, al-Farabi ave., 71, *jenisnaz@gmail.com*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors' contribution:

Нарбаева К.Т. - разработка концепции

Бурлибаева Д.М. - разработка методологии

Ахметова Р.Е. - проведение статистического анализа

Исмаилова Г.К. - ресурсы

Жеңісова Н.Е. - создание программного обеспечения

Нарбаева К.Т.- ұжырымдаманы әзірлеу

Бурлибаева Д.М. - әдістемені әзірлеу

Ахметова Р.Е.- статистикалық талдау жүргізу

Исмаилова Г.К.- ресурстар

Жеңісова Н.Е. - бағдарламалық жасақтама жасау

Narbayeva K.- concept development

Burlibayeva D.- methodology development

Akhmetova R. - conducting statistical analysis

Ismailova G. - resources

Zhengissova N. - creating software

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ШЫҒЫСЫНДАҒЫ КЛИМАТТЫҢ ЗАМАНАУИ ӨЗГЕРУЛЕРІ

А.Н. Мунайтпасова**г.д.к.*, А.К. Жексенбаева, Г.О. Оракова, Г.Т. Мусралинова, Ә. Нышанбай*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан**E-mail: aidamunaitpasova@mail.ru*

Қазіргі таңда климаттың өзгеру мәселесі тек метеоролог мамандарды ғана алаңдатып қоймай, жалпы қоғам назарындағы ауқымды тақырыпқа айналды. БҰҰ ұсынған тұрақты даму мақсаттарының бірі – климаттың өзгеруімен күреске (ТДМ-13) арналып, бағдарлама аясында елімізде ауқымды жобалар, бірқатар іс-шаралар өткізілуде. Қазақстандағы қазіргі климаттық өзгерістер ауа температурасы мен жауын-шашынның, сонымен қатар гидрометеорологиялық құбылыстардың ұзақтығының, қарқындылығының және жиілігінің артуына алып келеді. Олардың өзгеру динамикасын түсіну, пайда болу заңдылықтарын анықтау аса маңызды болып табылады. Зерттеу жүргізу барысында 1942...2022 жж. Шығыс Қазақстандағы Өскемен, Семей, Шемонаиха, Катон-Қарағай, Күршім, Зайсан, Ақсуат метеорологиялық станцияларында ауа температурасының әр 10 жылда 0,2...0,4 °С жоғарылау тенденциясы байқалған. Жауын-шашынның Зайсан, Шемонаиха және Семей станцияларында әр 10 жылда 1,6...7,7 мм жоғарылау, ал қалған станцияларда әр 10 жылда 4,1...5,9 мм төмендеу тенденциясы байқалған. Соңғы онжылдықта ауа температурасы мен жауын-шашын аномалиялары оң таңбалы тенденцияны көрсеткен. Манн-Кендалл тесті бойынша ауа температурасының өзгеру маңыздылығы барлық станцияларда ақпан-наурыз және тамыз айларында жоғары болған. Көктем және күз айларында жауын-шашынның өзгеру маңыздылығы төмен, ал Зайсан, Шемонаиха және Семей станцияларында жылдың суық мезгілінде жоғары болған.

Түйін сөздер: жаһандық жылыну, ауа температурасы, жауын-шашын, аномалия, тренд сызығы, Манн-Кендалл тесті.

Поступила: 22.12.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-31-39

КІРІСПЕ

Соңғы кездері климат мәселесі ең өзекті тақырыптардың біріне айналғаны рас. Әсіресе, биылғы көктем айындағы Қазақстанның батысындағы болған су тасқынынан кейін де экология, ауа райы, метеорология мен гидрология салаларына қызығушылықтың артқанының да куәсі болудамыз. Осы орайда, 2000 жылы БҰҰ-мен ұсынылып, 2015 жылы қабылданған тұрақты дамудың 13-мақсаты «Климаттың өзгеруімен күрес» екенін де айта кеткен жөн. Яғни, климаттың өзгеру мәселесі тек ұлттық емес, әлемдік деңгейдегі маңыздылығы жоғары тақырып болып табылады. Мұның дәлелі ретінде, 2023 жылы желтоқсан айында Дубайда өткен климат жөніндегі дүниежүзілік саммитті атап өтуге болады. Бұл саммитке еліміздің Президенті Қасымжомарт Кемелұлы Тоқаев қатысып, әлемдік деңгейдегі «жасыл

даму» бастамаларын қолдайтынын атап өтті, сонымен қатар Арал теңізі мәселесін көтеріп, климаттың өзгеруімен күрес және оның өзгеруіне бейімделу шараларын да қамтыды (Мунайтпасова А.Н., Қазақ университеті газеті, 2023).

Жаһандық климаттың өзгеруі өткен ғасырлардан бастау алып, түрлі теориялар, гипотезалар, зерттеу әдістері ұсынылды, әлі де ұсынылып жатыр. Көптеген ғылыми еңбектердің нәтижесінде климаттың өзгеруіне әсер ететін біршама факторлар: парниктік газдар, литосфералық тақталар тектоникасы (континенттердің жылжуы, мұхит және тау жоталарының қалыптасуы мен бұзылуы), күн белсенділігінің әлсіреуі, орбитаның өзгеруі (Жер орбитасының өзгеруі күн радиациясының жер бетінде параметрлерінің өзгеруіне алып келеді, «Миланкович циклдері»), вулканизм (жаңартау атқылау нәтижесінде бірнеше жыл

бойы салқындау орын алады), отынды жағу (CO₂ концентрациясының жоғарылауы), аэрозольдер (отын жағылған кезде бөлінетін сульфаттар, атмосфераның салқындауына алып келеді), жер эокжүйелерінің бұзылуы (ауыл шаруашылығы, суару, орман кесу т.б.), теңіз эокжүйелерінің бұзылуы (теңіз CO₂ газын 50 % дейін сіңіреді), ірі қара мал шаруашылығы (мал шаруашылығы әлемдегі парниктік газдар шығарындыларының 18 % құрайды), астрономиялық және геофизикалық климат құраушы факторлар анықталды.

Климаттың өзгеруі су тасқынының жиілігі мен қарқындылығының артуына әсер ететін маңызды фактор болып табылады. Теңіз деңгейінің көтерілуі, жауын-шашын үлгілерінің өзгеруі және экстремалды ауа райы жағдайлары жиілігінің артуы, бұл процеске айтарлықтай ықпал етеді. Су тасқыны қаупін тиімді басқару үшін климаттың өзгеруін және басқа факторларды азайтуға бағытталған кешенді стратегияларды әзірлеу қажет. Қазақстан үшін климаттың өзгеруінің елеулі салдарының бірі орташа температураның артуы болып табылады. Бұл мұздықтардың еруіне, қар суларының өз мерзімінен ерте еруіне, соған орай өзендер мен көлдердегі су деңгейінің көтерілуіне әкеледі. Оған мысал ретінде, еліміздің 3 өңірінде, яғни Ақтөбе, Атырау және Солтүстік Қазақстан облыстарында көктем мезгілінде болған су тасқынын атап өткен жөн (Рахматулла Н, <https://adyma.kz/post/198959>, 2023).

Көптеген мақалалар климаттың өзгеру мәселесінің өте жоғары өзектілігін атап өтеді. Қазіргі таңда климаттың өзгеруі тек жеке аудандарда ғана емес, бүкіл Жер шарында бақыланып жатқаны көптеген еңбектерде көрсетілді (Заявление ВМО о состоянии глобального..., 2020; Долгих С.А., Есеркепова И.Б., Шамен А., 1997; Долгих С.А., 1995; Долгих С.А., Илякова Р.М., Сабитаева А.У., 2005; Чередниченко А.В., 2009; Cherednichenko, A.V., 2015; Боголюбова Е., Қуанышова С., 2017). Қазақстандағы климаттың өзгеруі тақырыбымен көптеген ғалымдар айналысуда, атап айтқанда Долгих С.А., Чередниченко А.В. және т.б. жұмыстарда қарастырылған (Долгих С.А. және т.б., 2005; Чередниченко А.В., 2009). Сонымен қатар, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, география және табиғатты пайдалану факультеті, метеорология және

гидрология кафедрасының да оқытушылары бұл тақырыпта бірқатар еңбектер мен мақалалар шығаруда (Жексенбаева А.К. және т.б., 2022).

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Соңғы 100 жылда климат жаһандық және аймақтық деңгейде өзгерді және қазіргі уақытта өзгеріске ұшырауда. Аймақтық климат жаһандық климаттан ерекшеленеді, әр аймақтың өзіне тән климаты бар. Шығыс Қазақстан климатының Қазақстанның басқа аймақтарының климатынан біршама ерекшеліктері бар.

Шығыс Қазақстан Абай облысының климаты жайлы көптеген ғылыми жұмыстар болғанымен, ауқымды жұмыстар саны санаулы.

Шығыс Қазақстан аймағы бойынша 7 метеорологиялық станция таңдалынды: Өскемен, Семей, Шемонаиха, Катон-Қарағай, Күршім, Зайсан, Ақсуат метеорологиялық станциялары (МС). Бұл станциялар бойынша 1942...2022 жж. аралығындағы жауын-шашын мен ауа температурасының мәліметтері (Семей МС-да мәліметтер 1945...2022 жж. аралығында) қарастырылды.

Климаттың өзгеруі жайлы нақты түсінік алу мақсатында ауа температурасы мен жауын-шашынның өзгеру динамикасын талдау үшін метеорологияда кеңінен қолданылатын математикалық, статистикалық талдау және климаттық нормадан ауытқу әдістері қолданылды.

Манн-Кендалл (МК) тесті (Mann 1945, Kendall 1975, Gilbert 1987) қызығушылық айнымалысының уақыт өте келе монотонды көтерілу немесе төмендеу тенденциясы бар-жоғын статистикалық анықтау үшін қолданылады. Сызықтық болуы мүмкін немесе болмауы мүмкін монотонды өсу (төмендеу) тенденциясы уақыт өте келе айнымалының тұрақты өсуін (төмендеуін) білдіреді. Болжалды сызықтық регрессия сызығының көлбеуі нөлден өзгеше екенін анықтау үшін параметрлік сызықтық-регрессиялық талдауды орындаудың орнына МК тестін қолдануға болады (Yue S.A және т.б., 2002).

Манн-Кендалл тесті – уақыт тренді анықтау үшін кеңінен қолданылатын параметрлік емес тест. Алайда, онымен алынған стандартты р мәндері бақылаулар арасындағы болжамға сәйкес құрылады (себебі Кендалл теориясы корреляциясына негізделген).

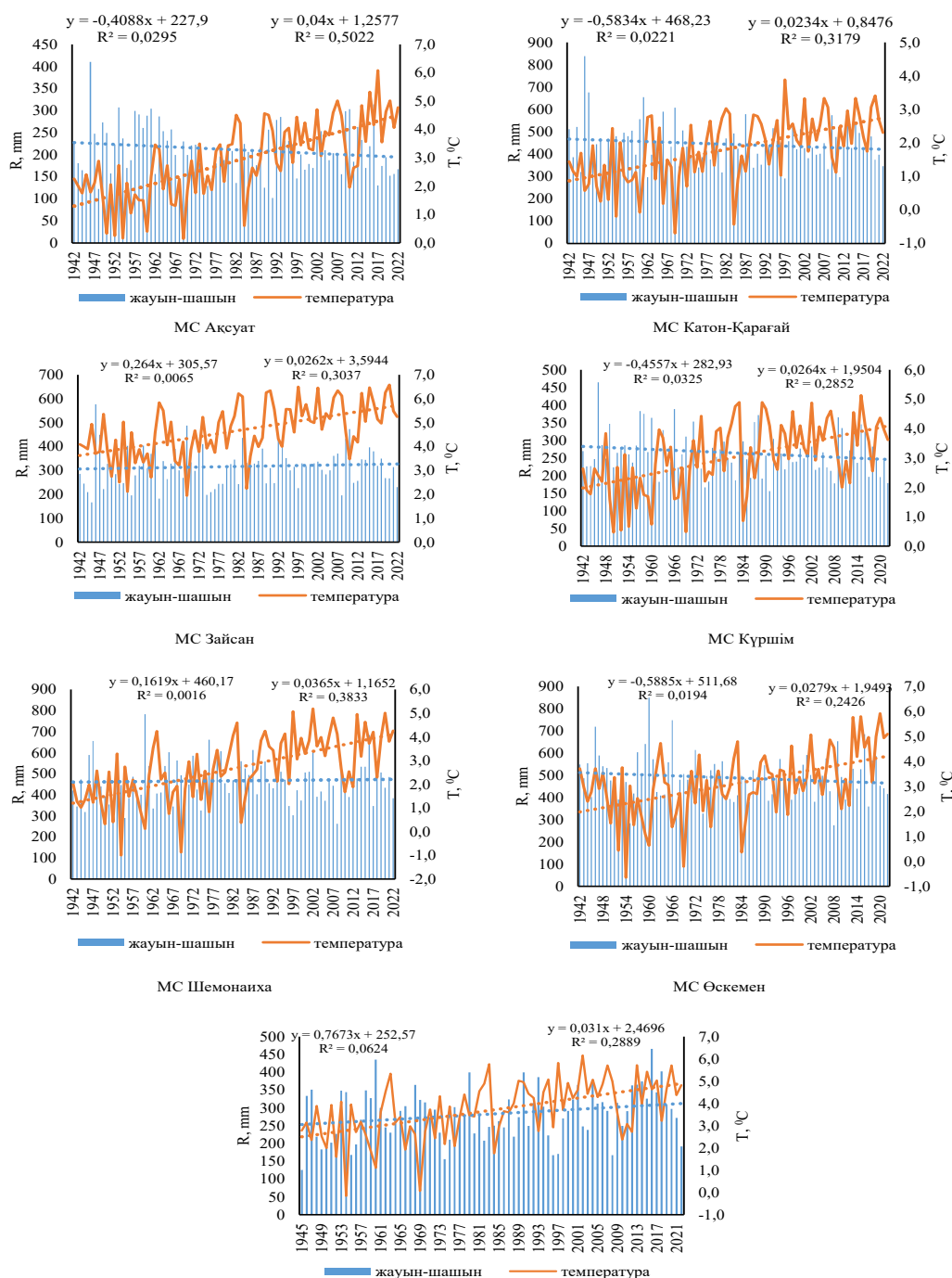
Уақыт қатарындағы бақылаулар жиі автокорреляцияланады: бір бақылаудың орташадан үлкен екенін білу келесі бақылаудың орташадан да үлкен екенін көрсетуі мүмкін.

Имитациялық зерттеулер көрсеткендей, оң автокорреляция тренд туралы мәліметті алуға мүмкіндік береді (яғни уақыттың 5 %-дан астамы, егер шын мәнінде уақыт тренді болмаса) және теріс автокорреляция мағыналы трендті табуды қиындатады. Манн-Кендалл тестін қолдану бойынша нұсқаулық Нысанбаева А.С. Талипова Э.К. (Талирова Е.К және т.б., 2019) жұмыстарынан алынды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Қазақстанның шығысында метеорологиялық параметрлердің көпжылдық динамикасын анықтау үшін ауа температурасының жылдық орташа мәнінің және жауын-шашынның жылдық мөлшерінің өзгеруінің кестелері салынды. Бақыланатын параметрлердің өзгеру тенденциясын анық көрсету үшін графиктерге тренд сызықтары қолданылды.

1942...2022 жылдар аралығындағы ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашынның динамикасы келесі суретте көрсетілген (сурет 1).



Сур.1. Шығыс Қазақстан аумағындағы ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашынның жылдық таралуы

Қарастырылған метеостанциялардың барлығында температураның тренд сызығы - оң мәнді. Температураның өсу тенденциясы байқалғанымен әр станцияда әртүрлі деңгейде өскенін байқауға болады. Жалпы алғанда 1942...2022 жылдар аралығында, яғни соңғы 80 жылдың ішінде Шығыс Қазақстан облысының қарастырылған барлық станцияларында ауа температурасы әр 10 жылда 0,2...0,4 °C жылдамдықпен жылынған.

Дүниежүзілік метеорологиялық ұйымның (ДМУ, Женева) 30 қарашадағы мәлімдемесіне сәйкес, 2015...2023 жылдар аралығы бақылау кезеңдерінің ішіндегі ең жылы жылдар болып табылады. Ал, 2023 жылдың жаһандық ауа температурасы мәні (қазан айында) 1850...1900 жылдағы орташа мәнінен 1,40 °C ($\pm 0,12$) жоғары болған. Қазан айына дейінгі бақылау мәліметтеріне сәйкес, 2023 жыл 174-жылдық бақылау кезеңіндегі ең жылы жыл болмақ. Бұған дейінгі ең жылы жылдар: 2016 ж. – 1850...1900 жылдағы орташа мәнінен 1,29 ($\pm 0,12$) °C жоғары, 2020 ж. - 1,27 ($\pm 0,13$) °C жоғары болған. Климатолог ғалымдардың пікірінше, бұл жылынудың себебі, Эль-Ниньо құбылысы, яғни Тынық мұхитындағы оңтүстік тербелістері болып отыр. Эль-Ниньо құбылысы 2023 жылдың көктемінде пайда болып, жаз мезгілінде қарқынды дамыған, сонымен қатар 2024 жылдың жаһандық температурасының жоғары болуына алып келуі де мүмкін (Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым, 2023).

Жаһандық климаттың өзгеруі фонында Қазақстан климатының да өзгерулері орын

алуда. Қазақстанның барлық облыстарының аумағында орташа жылдық ауа температурасының тұрақты жоғарылауы байқалады. Казгидромет мамандарының хабарлауынша, Қазақстан аумағы бойынша орташа алғанда ауаның орташа жылдық температурасының жоғарылауы әр 10 жыл сайын 0,32 °C құрайды (Казгидромет, бюллетень, 2023).

Қарастырылған метеостанцияларда жауын-шашынның 80 жыл ішінде біртекті өзгерісі тіркелді. Яғни, метеостанциялардың орналасқан аймағының геофизикалық сипатына және климаттық факторларға байланысты станциялардағы жауын-шашынның тек өсу тенденциясы байқалмай, азаю тенденциясы да байқалды. Зайсан, Шемонаиха және Семей станцияларында жауын-шашын мөлшерінің әр 10 жылда 1,6...7,7 мм жоғарылау, ал қалған станцияларда әр 10 жылда 4,1...5,9 мм төмендеу тенденциясы байқалған.

Қазақстанның шығыс аймағында 1930...2017 жылдар аралығында жауын-шашынның таралуын қарастыру барысында оның мөлшері 3...20 мм кемігені анықталған (А.Е. Перепис, А.К. Жексенбаева, 2019).

Аймақтың климаты жайлы нақты сараптама жасау үшін ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашынның аномалиясы онжылдықтар бойынша есептелді (1 және 2 кесте). Ауа температурасы мен жауын-шашынның аномалияларын есептеу кезінде климаттық нормаға 1981...2010 жж. базалық кезең үшін метеорологиялық параметрлердің орташа көпжылдық мәндері қабылданды.

Кесте 1

Әр түрлі кезеңдердегі ауа температурасының аномалиялары

МС	Әр түрлі кезеңдердегі ауа температурасының аномалиялары (°C) *							
	1942...1951 жж.	1952...1961 жж.	1962...1971 жж.	1972...1981 жж.	1982...1991 жж.	1992...2001 жж.	2002...2011 жж.	2012...2022 жж.
Ақсуат	-1,6	-2,1	-1,4	-0,8	-0,2	0	0,3	0,9
Катон-Қарағай	-1,1	-1,3	-0,8	-0,4	-0,3	0	0,2	0,4
Зайсан	-1,0	-1,5	-0,9	-0,6	-0,2	0,1	0,2	0,5
Күршім	-1,4	-1,8	-1,0	-0,3	-0,1	-0,1	0	0,2
Шемонаиха	-1,8	-2	-1,3	-1,0	-0,5	0,1	0,2	0,4
Өскемен	-0,4	-1,6	-0,6	-0,5	-0,2	-0,2	0,3	1,4
Семей*	-1,7	-1,1	-1,7	-0,5	-0,3	0,4	-0,2	0,4

* Аномалиялар 1981-2010 жж. базалық кезеңіне қатысты есептелген

* МС Семей мәліметтері 1945-2016 жж. аралығында

1 кестеде, соңғы 30 жылда барлық станцияларда ауа температурасының өсуі айқын көрсетілген. 1992...2022 жж. аралығында климаттың жылынуы байқалса, ал 1942...1971 жж. аралығында температура аномалиясы теріс таңбаны көрсеткен. Әрбір 10 жылда температура 0,2...0,3 °C-қа жоғарылаған.

Шығыс Қазақстан облысында 19 ға-

сырдың соңынан 20-шы ғасырдың 30-шы жылдарына дейін оң аномалиялар басым болып, 30-шы жылдардан бастап 80-ші жылдардың ортасына дейін – теріс аномалиялар, 90-шы жылдардың ортасынан қазіргі таңға дейін - қайта оң аномалиялар басым болғандығы айқын көрініп тұр (С.Б. Саиров, 2010).

Кесте 2

Әр түрлі кезеңдердегі атмосфералық жауын-шашынның аномалиялары

МС	Әр түрлі кезеңдердегі жауын-шашын аномалиялары (°C) *							
	1942...1951 жж.	1952...1961 жж.	1962...1971 жж.	1972...1981 жж.	1982...1991 жж.	1992...2001 жж.	2002...2011 жж.	2012...2022 жж.
Ақсуат	10	49	8	-27	-22	3	15	-10
Катон-Қарағай	59	39	5	-51	1	15	-20	16
Зайсан	-28	-13	-13	-43	-13	4	-2	-17
Күршім	26	45	14	-12	-3	4	-4	5
Шемонаиха	-11	-5	2	45	50	-24	-28	30
Өскемен	69	51	22	17	-13	11	3	28
Семей	-24	2	4	-8	22	-9	28	50

* Аномалиялар 1981-2010 жж. базалық кезеңіне қатысты есептелген

* МС Семей мәліметтері 1945-2022 жж. аралығында

Атмосфералық жауын-шашын аномалиясының өзгерісі біртекті, алайда соңғы 10 жылдықта қарастырылған барлық станцияларда жауын-шашынның өсу тенденциясын байқауға болады. 1942...1961 жж. аралығында жауын-шашын аномалиясы Зайсан, Шемонаиха және Семей станцияларында төмендеп, қалған станцияларда өсу тенденциясы, 1962...1991 жж. аралығында Шемонаиха мен Өскемен станцияларында аномалия өсіп, қалған станцияларда төмендеу тенденциясы байқалған. Ал 2012...2022 жж. аралығында Ақсуат пен Зайсан станцияларынан басқа қарастырылған барлық станцияларда жауын-шашын мөлшері айтарлықтай өскен.

Зерттеулерге сәйкес, Шығыс Қазақстанның

Өскемен және Семей станцияларында 2000...2016 жылдар аралығында Жауын-шашын аномалияларының оң таңбалы мәндері басым болған (Қарлыбай Д.Т., Жексенбаева А.К., 2021).

Көптеген қоршаған ортаны бақылау бағдарламаларының маңызды мақсаты уақыт өте келе компоненттердің концентрациясындағы өзгерістерді немесе тенденцияларды анықтау болып табылады. Қазіргі уақытта деректерде болуы мүмкін тенденцияларды анықтау және бағалау үшін көптеген статистикалық тәсілдер қолданылады. Оларға қарапайым корреляциялық және регрессиялық талдау, уақыт қатарын талдау және параметрлік емес статистикаға негізделген әдістер жатады.

Ауа температурасы мен жауын-шашынның Манн-Кендалл тесті бойынша Z параметрінің мәндері

Айлар	Ақсуат		Қатон-Қарағай		Зайсан		Күршім		Шемонаиха		Өскемен		Семей	
	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
қаңтар	2,36	-0,22	0,65	-1,26	1,52	2,58	2,25	0,80	1,55	2,11	1,32	0,31	1,23	2,36
ақпан	4,10	0,23	2,06	-0,04	2,96	3,52	4,15	0,79	3,74	2,35	3,76	0,88	3,08	3,24
наурыз	3,77	0,37	3,11	1,03	2,55	1,56	2,33	0,25	3,87	2,17	2,86	0,41	4,09	2,77
сәуір	3,99	-2,41	3,44	0,32	3,56	-1,76	3,52	-1,81	3,99	-1,16	3,26	-0,84	3,71	-1,24
мамыр	2,73	-1,33	1,79	-0,71	1,86	-0,33	0,77	-1,75	2,58	-1,45	1,04	-1,37	1,76	-0,31
маусым	4,30	-0,70	2,64	-0,83	2,92	0,16	2,37	-0,86	2,97	-0,62	1,73	-1,27	2,27	1,21
шілде	2,18	0,12	3,30	-0,73	2,13	-0,38	1,73	-1,07	1,70	0,29	0,22	-0,23	-0,43	0,62
тамыз	4,46	-0,71	3,46	-0,84	2,83	-0,27	4,00	-0,86	3,44	1,04	0,93	-1,36	1,98	0,48
қыркүйек	2,12	-1,37	1,32	0,30	1,12	-0,47	1,48	-1,08	1,25	-0,66	-0,33	-1,09	0,01	-0,69
қазан	3,94	0,58	2,21	-0,27	2,23	1,53	2,22	0,42	2,97	-0,08	2,23	0,52	2,26	-0,04
қараша	3,22	0,40	2,51	0,00	2,62	1,88	2,04	0,19	2,38	2,06	2,08	1,30	2,17	2,12
желтоқсан	2,80	-0,60	1,96	-1,10	2,44	1,50	2,13	1,24	2,26	1,06	2,13	-0,19	2,06	3,10
барлығы	6,81	-1,02	5,28	-0,42	5,11	1,44	4,70	-1,29	5,82	1,04	3,78	-0,86	4,92	2,11

Қарастырылған станциялардағы ауа температурасының тренд мәндері жыл мезгілдері мен қарастырылған территория бойынша әркелкі өзгерген. Ауа температурасы бойынша Z статистика мәні барлық станцияларда ақпан-наурыз және тамыз айларында жоғары мәндерді көрсеткен. Жауын-шашын бойынша тренд оң және теріс таңбалы мәндерді көрсетеді. Көктем (сәуір, мамыр) және күз айларында (қыркүйек, қазан) жауын-шашын мөлшерінің азаюы, ал Зайсан, Шемонаиха, Семей станцияларында жылдың суық мезгілінде жауын-шашынның өсуі байқалған.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қазақстанның шығысындағы климаттың заманауи өзгерулерін 1942...2022 жылдар аралығында зерттеу барысында Шығыс Қазақстан аймағындағы Ақсуат, Қатон-Қарағай, Зайсан, Күршім, Шемонаиха, Өскемен, Семей станцияларында ауа температурасы мен жауын-шашын мөлшерін қарастыру барысында келесідей қорытындылар алынды:

– 1942...2022 жылдар аралығында, яғни соңғы 80 жылдың ішінде Шығыс Қазақстан облысының қарастырылған барлық станцияларында ауа температурасы әр 10 жылда 0,2...0,4 °C жылдамдықпен жылынған;

– 80 жыл ішінде жауын-шашынның біртекті өзгерісі тіркелді. Зайсан, Шемонаиха және Семей станцияларында жауын-шашын мөлшерінің әр 10 жылда 1,6...7,7 мм жоғарылауы, ал қалған станцияларда әр 10 жылда 4,1...5,9 мм төмендеу тенденциясы байқалған;

– соңғы 30 жылда барлық станцияларда ауа температурасы аномалиясының өсуі айқын көрсетілген. 1992...2022 жж. аралығында климаттың жылынуы байқалса, 1942...1971 жж. аралығында температура аномалиясы теріс таңбаны көрсеткен;

– 1942...1961 жж. аралығында жауын-шашын аномалиясы Зайсан, Шемонаиха және Семей станцияларында төмендеп, қалған станцияларда өсу тенденциясы, 1962...1991 жж. аралығында Шемонаиха мен Өскемен станцияларында аномалия өсіп, қалған станцияларда төмендеу тенденциясы байқалған. Ал 2012...2022 жж. аралығында Ақсуат пен Зайсан станцияларынан басқа қарастырылған барлық станцияларда жауын-шашын мөлшері айтарлықтай өскен.

– Манн-Кендалл тесті нәтижесі бойынша ауа температурасының Z статистика мәні барлық станцияларда ақпан-наурыз және тамыз айларында жоғары мәндерді көрсеткен. Ал жауын-шашын бойынша көктем (сәуір, мамыр) және күз айларында (қыркүйек, қазан) жауын-шашын мөлшерінің азаюы, ал Зайсан, Шемонаиха, Семей станцияларында жылдың суық мезгілінде жауын-шашынның өсуі байқалған.

– Осылайша Шығыс Қазақстандағы берілген жылдар аралығындағы ауа температурасы мен жауын-шашынның өсуі сол аумақтың климатының жылынуын сипаттайды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2020 год. – Нур-Султан, 2021. – 75 с.
2. Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2019 году. – Женева, 2020. – ВМО – № 1248. – 44 с.
3. Долгих С.А., Есеркепова И.Б., Шамен А. Оценка вклада ожидаемого потепления глобального климата в развитие процессов опустынивания в Казахстане. // Гидрометеорология и экология. - 1997. – № 3. – С. 43-49.
4. Долгих С.А. О многолетних тенденциях термического режима на территории Республики Казахстан. // Гидрометеорология и экология. - 1995. – №3. – С. 68-77.
5. Долгих С.А., Илякова Р.М., Сабитаева А.У. Об изменении климата Казахстана в прошедший столетний период. // Гидрометеорология и экология. – 2005. – №4. С. –6-27.
6. Чердниченко А.В. Климат Казахстана, как отклик на глобальные изменения. // Гидрометеорология и экология. – 2009. – №4. – С. 7-22.
7. Cherednichenko, A.V. (2015) Climate change in the City of Almaty during the past 120 years Quaternary International journal. [Text] /Alexander Cherednichenko, Alexey Cherednichenko, V.S. Cherednichenko .
8. Боголюбова Е., Қуанышова С., Статистическая структура и тенденции изменения сезонных сумм осадков на востоке Казахстана в 1970– 2015 гг. // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2017. – №2. –Том 45. –С. 51-61.
9. Жексенбаева А.К., Ашимақын А.М. Қазақстанның солтүстік өңіріндегі жылы мезгілдегі жауын-шашынның маусымдық статистикалық құрылымы. // ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы. – 2022. – №2 (65). –55-62 бб.
10. Mann H.B. Non-parametric tests against trend // *Econometrica*. – 1945. –Т. 13. – С. 163–171.
11. Yue, S.A., Pilon P.P., and Caradas G. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Hydrol J.* 259, 254-271.
12. Talipova E., Shrestha S., Alimkulov S., Nyssanbayeva A., Tursunova A., Isakan G. Influence of climate change and anthropogenic factors on the Ile River basin streamflow, Kazakhstan // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2021. – Т. 14, Вып. 17. – № 1756.
13. Talipova E.K., Nyssanbayeva A.S., Shrestha S. Regional climate change in the Ile River basin // *Вестник КазНУ. Серия географическая*. – 2019. –Т. 53, № 2. – С. 25–34.
14. Сайт ВМО. [Электронный ресурс]. URL: <https://wmo.int/topics/climate> (дата обращения: 22.11.2024)
15. Бюллетень Казгидромет. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy/2023> (дата обращения: 15.11.2024)
16. Перепис А.Е., Жексенбаева А.К. Қазақстанның шығыс өңірлеріндегі атмосфералық жауын-шашындардың көпжылдық таралу динамикасы // ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы. – 2019. – № 4 (55). – Б. 47-60.
17. С.Б. Саиров. Шығыс Қазақстан облысының температуралық аномалиялары // *Гидрометеорология и экология*. 2010. - №3. - С. 174-178.
18. Қарлыбай Д.Т., Жексенбаева А.К. Шығыс Қазақстан-

да жылы мезгілдегі атмосфералық жауын-шашындардың кеңістіктік-уақыттық таралуы мен химиялық құрамы // Молодой ученый. 2021. - №21 (363). - Б. 594-603

REFERENCES

1. Ezhegodnyj byulleten' monitoringa sostoyaniya i izmeneniya klimata Kazahstana: 2020 god. – Nur-Sultan, 2021. – 75 p.
2. Zayavlenie VMO o sostoyanii global'nogo klimata v 2019 godu. – Zheneva, 2020. – VMO – № 1248. – 44 p.
3. Dolgih S.A., Eserkepova I.B., SHamen A. Ocenka vklada ozhidaemogo potepeniya global'nogo klimata v razvitie processov opustynivaniya v Kazahstane. // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. – 1997. – № 3. – P. 43-49.
4. Dolgih S.A. O mnogoletnih tendenciayah termicheskogo rezhima na territorii Respubliki Kazahstan. // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. – 1995. – №3. – P. 68-77.
5. Dolgih S.A., Ilyakova R.M., Sabitaeva A.U. Ob izmenenii klimata Kazahstana v proshedsnij stoltenij period. // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. – 2005. – №4. – P. 6-27
6. Cherednichenko A.V. Klimat Kazahstana, kak otklik na global'nye izmeneniya. // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. – 2009. – №4. – P. 7-22.
7. Cherednichenko, A.V. (2015) Climate change in the City of Almaty during the past 120 years Quaternary International journal. [Text] /Alexander Cherednichenko, Alexey Cherednichenko, V.S. Cherednichenko
8. Bogolyubova E., Kuanyshova S., Statisticheskaya struktura i tendencii izmeneniya sezonnyh summ osadkov na vostoке Kazahstana v 1970-2015 yrs. // *Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya*. – 2017. – №2. –Tom 45. – P. 51-61.
9. Zhksenbaeva A.K., Ashimakyn A.M. Seasonal statistical structure of warm season precipitation in the northern region of Kazakhstan. // *Bulletin of KazNU. Geography Series*. – 2022. – №2 (65). – 55-62 pp (in Kaz).
10. Mann H.B. Non-parametric tests against trend // *Econometrica*. – 1945. –Т. 13. – С. 163–171.
11. Yue, S.A., Pilon P.P., and Caradas G. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Hydrol J.* 259, 254-271.
12. Talipova E., Shrestha S., Alimkulov S., Nyssanbayeva A., Tursunova A., Isakan G. Influence of climate change and anthropogenic factors on the Ile River basin streamflow, Kazakhstan // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2021. – Т. 14, Vyp. 17. – № 1756.
13. Talipova E.K., Nyssanbayeva A.S., Shrestha S. Regional climate change in the Ile River basin // *Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya*. – 2019. –Т. 53, № 2. – P. 25–34..
14. Sait VMO. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://wmo.int/topics/climate> (data obrashcheniya: 22.11.2024)
15. Byulleten' Kazgidromet. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy/2023>(data obrashcheniya: 15.11.2024)
16. Perepis A.E., Zhksenbaeva A.K. Dynamics of long-term distribution of atmospheric precipitation in the eastern regions of Kazakhstan// *Bulletin of KazNU. Geography Series*. – 2019. – № 4 (55). – P. 47-60 (in Kaz).

17. S.B. Sairov. Temperature anomalies of East Kazakhstan region // Hydrometeorology and ecology. 2010. – №3. – P. 174-178 (in Kaz).
18. Karlybai D.T., Zheksenbaeva A.K. Shygys Kazakstanda zhyly mezgildegi atmosferalyk zhauyn-shashyndardyn kenistik-tik-uakyttyk taraluy men khimiyalyk qūramy // Molodoi uchenyi. 2021. – №21 (363). – P. 594-603

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА

А.Н. Мунайтпасова**к.ғ.н.*, **А.К. Жексенбаева**, **Г.О. Оракова**, **Г.Т. Мусралинова**, **Ә. Нышанбай**

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казакстан

E-mail: aidamunaitpasova@mail.ru

В настоящее время проблема изменения климата волнует не только специалистов-метеорологов, но и стала масштабной темой общественного внимания в целом. Одна из целей устойчивого развития, предложенная ООН, Борьба с изменением климата (ЦУР-13 СНГ-13), в рамках которой в стране проводятся масштабные проекты, ряд мероприятий. Современные климатические изменения в Казахстане приводят к увеличению температуры воздуха и осадков, а также продолжительности, интенсивности и частоты гидрометеорологических явлений. Важно понимать динамику их изменения, определять закономерности возникновения. В ходе проведения исследования в период 1942...2022 гг. на метеорологических станциях Усть-Каменогорск, Семей, Шемонаиха, Катон-Карагай, Курчум, Зайсан, Аксуат в Восточном Казахстане отмечена тенденция повышения температуры воздуха на 0,2...0,4 °С каждые 10 лет. На станциях Зайсан, Шемонаиха и Семей наблюдалась тенденция к увеличению осадков на 1,6...7,7 мм каждые 10 лет, а на остальных станциях – на 4,1...5,9 мм каждые 10 лет. Аномалии температуры воздуха и осадков за последнее десятилетие показали положительную тенденцию. Согласно не параметрическому тесту Манна-Кендалла, значение изменения температуры воздуха было выше на всех станциях в феврале-марте и августе. Значение изменения осадков в весенние и осенние месяцы невелико, а на станциях Зайсан, Шемонаиха и Семей в холодное время года было выше.

Ключевые слова: глобальное потепление, температура воздуха, осадки, аномалия, линия тренда, тест Манн-Кендалла.

MODERN CLIMATE CHANGES IN EASTERN KAZAKHSTAN

A. Munaitpasova**PhD*, **G. Orakova**, **G. Musralinova**, **A. Zheksenbaeva**, **A. Nyshanbay**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: aidamunaitpasova@mail.ru

Currently, the problem of climate change has not only alarmed meteorologists, but has also become a large-scale topic of public attention in general. One of the Sustainable Development Goals proposed by the United Nations is the Fight against climate change (SDG-13 CIS-13), within the framework of which large-scale projects and a number of activities are being carried out in the country. Modern climatic changes in Kazakhstan lead to an increase in air temperature and precipitation, as well as the duration, intensity and frequency of hydrometeorological phenomena. It is important to understand the dynamics of their changes, to determine the patterns of occurrence. During the research in 1942...2022. The meteorological stations Ust-Kamenogorsk, Semey, Shemonaiha, Katon-Karagai, Kurchum, Zaisan, Aksuat in East Kazakhstan have a tendency to increase air temperature by 0,2...0,4 °C every 10 years. There was a tendency for precipitation to increase by 1,6...7,7 mm every 10 years at Zaisan, Shemonaiha and Semey stations, and by 4,1...5,9 mm every 10 years at other stations. Anomalies in air temperature and precipitation over the past decade have shown a positive trend.

According to the Mann-Kendall test, the value of the air temperature change was higher at all stations in February-March and August. The value of precipitation changes in the spring and autumn months is small, and at Zaisan, Shemonaiha and Semey stations it was higher in the cold season.

Keywords: global warming, air temperature, precipitation, anomaly, trend line, Mann-Kendall test.

Авторлар туралы мәліметтер/Сведения об авторах/Information about authors:

Мунайтпасова Аида Нургалиевна – г.ғ.к., метеорология және гидрология кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби, 71, Алматы қ., aidamunaitpasova@mail.ru

Жексенбаева Алия Кажибековна – метеорология және гидрология кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби, 71, Алматы қ., zheksenbaeva@mail.ru

Оракова Гулнар Орынбасаровна – метеорология және гидрология кафедрасының аға оқытушысы; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби, 71, Алматы қ., gorakova010@gmail.com

Мусралинова Гулнур Турарбековна – метеорология және гидрология кафедрасының PhD докторанты; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби, 71, Алматы қ., fog555meteo@gmail.com

Нышанбай Әлжан – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби, 71, Алматы қ., marlen@bk.ru

Мунайтпасова Аида Нургалиевна – к.ғ.н., старший преподаватель кафедры метеорологии и гидрологии; КазНУ имени ал-Фараби, аль-Фараби, 71, г. Алматы, aidamunaitpasova@kaznu.kz

Жексенбаева Алия Кажибековна – старший преподаватель кафедры метеорологии и гидрологии; КазНУ имени ал-Фараби, аль-Фараби, 71, г. Алматы, zheksenbaeva@mail.ru

Оракова Гулнар Орынбасаровна - старший преподаватель кафедры метеорологии и гидрологии; КазНУ имени ал-Фараби, аль-Фараби, 71, г. Алматы, gorakova010@gmail.com

Мусралинова Гулнур Турарбековна – PhD докторант кафедры метеорологии и гидрологии; КазНУ имени ал-Фараби, аль-Фараби, 71, г. Алматы, fog555meteo@gmail.com

Нышанбай Әлжан – магистр естественных наук, КазНУ имени ал-Фараби, аль-Фараби, 71, г. Алматы, marlen@bk.ru

Munaitpasova Aida – PhD., senior lecturer of the Department of Meteorology and Hydrology, al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi, 71, Almaty, aidamunaitpasova@kaznu.kz

Zheksenbaeva Aliya – senior teacher of the department of meteorology and hydrology, al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi, 71, Almaty, zheksenbaeva@mail.ru

Orakova Gulnar – senior lecturer of the Department of Meteorology and Hydrology, al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi, 71, Almaty, gorakova010@gmail.com

Musralinova Gulnur – PhD doctoral student of the Department of Meteorology and Hydrology, al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi, 71, Almaty, fog555meteo@gmail.com

Nyshanbai Alzhan – master of natural sciences, al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi, 71, Almaty, marlen@bk.ru

Авторлардың қосқан үлесі/ Вклад авторов/ Authors contribution:

Мунайтпасова А.Н. – Манн-Кендалл тестін есептеу, сараптама жазу

Оракова Г.О. – кіріспе, аннотация, әдебиеттерге шолу

Мусралинова Г.Т. – негізгі бөлім, қорытынды

Жексенбаева А.К. - ауа температурасы мен жауын-шашын аномалияларын есептеу, сараптама жазу

Нышанбай Ә. – метеорологиялық ақпараттарды жинау, өңдеу

Мунайтпасова А.Н. – рассчитать и проанализировать тест Манн-Кендалла

Оракова Г.О. – введение, аннотация, обзор литературы

Мусралинова Г.Т. – основная часть, результаты

Жексенбаева А.К. – расчет аномалий температуры воздуха и атмосферных осадков и их анализ

Нышанбай Ә. – сбор и обработка метеорологических данных

Munaitpasova A. - to calculate and analyze the Mann-Kendall test

Orakova G. - introduction, abstract, literature review

Musralinova G. - main part, results

Zheksenbaeva A. - calculation of anomalies of air temperature and precipitation and their analysis

Nyshanbay A. - collection and processing of meteorological data

ASSESSMENT OF THE HEAT SUPPLY OF THE GROWING SEASON IN THE ALMATY REGION

M. Zhunisova^{1*}, S. Baisholanov² *candidate of geographical sciences, associate professor*

¹*JSC «Institute of Geography and Water Safety»*

²*International Scientific Complex «Astana»*

E-mail: makpal80@mail.ru

Modern climate norms for the main indicators of heat supply during the growing season in the Almaty region have been established for the period from 1991 to 2021. By comparing the sum of daily air temperatures above 10 °C and 15 °C with 90 % reliability to the heat demand of agricultural crops, the types of agricultural crops that are fully provided with heat were determined based on meteorological stations. The longest growing season (190...200 days) is observed in the central part of the region in the foothill semi-desert zone. The highest heat supply during the growing season (3800...4000 °C) is noted in the central part of the region in the foothill semi-desert zone. In the northern and central parts of the Almaty region, crops with moderate heat demand and heat-loving crops are provided with heat. In the foothill zone, heat-loving crops are not provided with heat, and in the mountainous agricultural areas, late spring crops are also not provided with heat. Maps of the duration and heat supply of the growing season were constructed. The obtained results will be useful in solving practical and scientific problems in agriculture, such as the rational placement of crops, planning the development of the region, ensuring food security.

Keywords: temperature, precipitation, vegetation, duration of the period, heat supply.

Accepted: 17.05.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-40-50

INTRODUCTION

Climatic conditions are a determining factor in the development of agricultural sectors. In recent decades, the analysis of modern climatic conditions, including agro-climatic conditions, has become particularly relevant in addressing the sustainable development of the regions in Kazakhstan.

The combination of climatic factors that enable the production of agricultural products is called agro-climatic resources. Quantitative characteristics of climate and weather elements, their combinations and ratios that affect the yield and quality of agricultural products are called agro-climatic indicators. The agro-climatic resources of the territory are characterized by indicators such as solar radiation resources, thermal regime, and humidification regime of the growing season, among others.

The aim of the study is to assess the current climatic norms of heat supply during the growing season in the Almaty region in order to determine the influence of temperature conditions on agricultural

production.

Methods for assessing heat resources in agro-climatology are used: dates of a steady transition of air temperature through 5 °, 10°, 15 ° C, the duration of the growing season with temperatures above 5 °, 10°, 15 ° C.

Accordingly, the subject of the study is the heat supply of the growing season, which is one of the important agro-climatic indicators. After all, the possibility of cultivating an agricultural crop is primarily determined by the provision of its heat, i.e. the correspondence of the temperature regime of the area to the heat demand of the crop.

The object of research - Almaty region is located in the south-east of the Republic of Kazakhstan and borders on the east with the People's Republic of China, in the south – the Republic of Kyrgyzstan, in the west – Zhambyl region, in the north – Zhetysu region. The administrative center of the region is located in Konaev, located on the western coast of the Kapshagai reservoir. Since June 8, 2022, the region has been divided into 9 districts and 1 city of regional subordination (Figure 1).

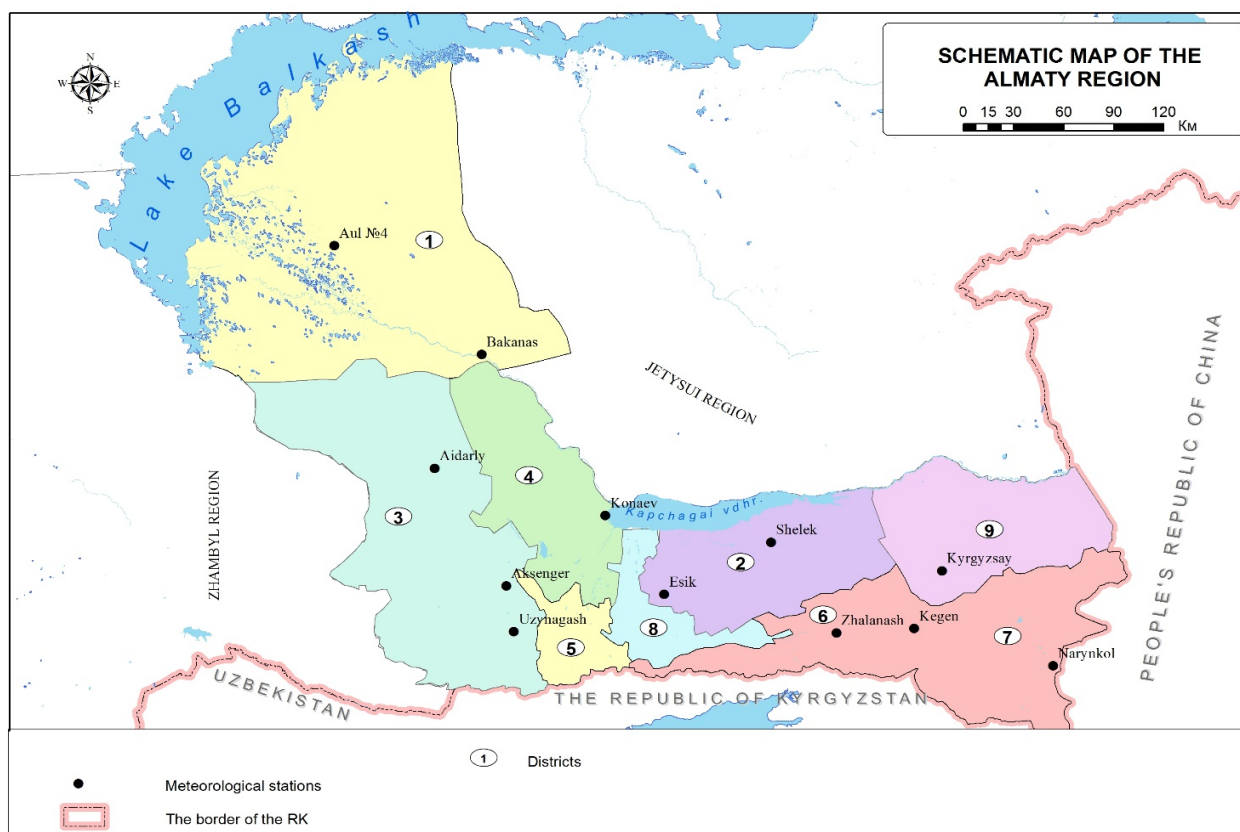


Fig. 1. Schematic map of the Almaty region (<https://www.gov.kz/>)

The region is located between the ridges of the Northern Tien Shan in the south, Lake Balkhash in the northwest and the Ile River in the northeast. The territory of the region has a difficult terrain. The northwestern part of the region is a semi-desert plain, slightly inclined to Lake Balkhash and indented by ancient riverbeds of Ile, Karatal, Aksu, Koksus, Lepsy, Ayagoz, the most significant of which is Bakanas river. Two separate massifs – in the south and east – extend the mountain ranges: the Ileysky Alatau and the Zhungar Alatau (Tien Shan Mountain system). The middle channel of the Ile River is located at the junction of their gradually decreasing slopes. The slopes themselves abound with cones of outflow of its tributaries (Sharyn, Shelek, Bolshaya and Malaya Almatinki, Kurty, etc.) (Uteshev, 1959).

The Almaty region is exposed to threats related to climate change. Here, climatic changes have already led to such consequences as changes in the water regime of mountain rivers, degradation of glaciers, depletion of water resources, an increase in abnormal weather events: extreme heat, droughts, dust storms, etc. This region is also at increased risk of extreme hydrometeorological situations such as avalanches, mudslides, floods, etc. (<https://qazaqgeography.kz/>).

It should be noted that in the study, a certain difficulty was caused by the complex relief of the region (the hypsometric difference between the flat part and the towering mountains reaches 4,600 m) and the sparsity of the meteorological observation network.

The results of the study showed that in the northern and central part of the Almaty region, moderate heat demand and heat-loving crops are provided with heat. In the foothill zone, thermophilic crops are not provided with heat, and in mountainous agricultural territories, late spring crops are also not provided with heat.

In Kazakhstan, the first scientific work on agro-climatic resources and zoning of agricultural crops «Agro-climatic zoning of Kazakhstan» was published by P.I. Koloskov in 1947 (Koloskov, 1947). In the light of modern information coverage, in 2017 S.S. Baisholanov prepared scientific and applied agro-climatic reference books for the northern and western 6 regions of Kazakhstan.

The agro-climatic reference books for the southern regions of Kazakhstan have not yet been updated. The agro-climatic reference book for the Almaty region under study was published in 1978 (Agro-climatic resources of the Alma-Ata region, 1978).

Similar studies on the northern regions of Kazakhstan are highlighted in the works, which provide estimates of the agrometeorological conditions of the growing season and their relationship with the yield of spring wheat in North Kazakhstan and Akmola regions. (Baisholanov et al. 2023).

This paper the agro-climatic resources of the Republic of Kazakhstan and Central Asia for the period from the beginning of the XXI century to 2021. The spatial distribution of the sums of precipitation during the active vegetation period, the sums of active temperatures and HTC in eastern Uzbekistan, Tajikistan, Kyrgyzstan and southeastern Kazakhstan was studied. Calculated indicators for the allocation of agro-climatic zones of the flat part of Kazakhstan and Central Asia. The zoning of the heat supply during the active vegetation period according to the sums of active temperatures (above 10 °C), moisture content according to the sums of precipitation during the active vegetation period, the Selyaninov State Customs Committee, the humidification coefficient (HC), which also takes into account the precipitation of the cold period of the year, was carried out. (Nazarenko et al., 2023).

This at work considers the problem of updating the maps of the agroclimatic zones of Russia and Kazakhstan, taking current climate warming into account. Agroclimatic zoning of a territory is one of the most important parameters of agroclimatic support of the economy; however, the problem of creating modern specialized maps on this topic and updating climate standards in Russia and Kazakhstan remains. In the course of this study, the sum of active temperatures (ΣT_{10}) was calculated for 270 meteorological stations in Russia, Kazakhstan, and adjacent territories for the 2001...2018 period. The results recorded a noticeable shift in the boundaries of agroclimatic zones and an increase in ΣT_{10} by 200...600°C depending on the specific territory compared with data from the 1950s...1960s. The agroclimatic zones shifted to the greatest extent to 1600...2200 and 2200...2800 °C, but Kamchatka, the Aral Sea region, and the Syrdarya basin are dominant in absolute value. The subtropical zone also expanded significantly beyond the Black Sea coast of Krasnodar krai, the southern coast of the Crimea and the extreme south of the Turkistan Region. (Mingalev, 2021).

Agriculture in Kazakhstan is sensitive to climate, and wheat yields could be reduced up to 70 % under climate change. With the transition from a socialist economy to a free market economy, decisions are being made now that will affect Kazakhstan's ability to cope with climate change. A team of Kazakh and American researchers examined the cost-effectiveness and barriers to implementations of adaptation options for climate change (Mizina et al., 1999).

Currently, this agro-climatic reference book is information and technologically outdated, since it used data from the 1940...1970 years. Accordingly, it became necessary to re-evaluate agro-climatic conditions based on modern data and develop agro-climatic maps using GIS technology. It should be noted that rain-fed and irrigated agriculture, as well as pasture livestock farming are developed in the Almaty region (Agro-climatic resources of the Alma-Ata region, 1978).

MATERIALS AND METHODS

Long-term data from meteorological stations (MS) of the Almaty region of RSE «Kazhydromet» of the Ministry of ecology and natural resources of the Republic of Kazakhstan for the period from 1991 to 2021 (Auyl-4, Aidarly, Aksengir, Bakanas, Esik, Zhalanash, Konaev, Kyrgyzsai, Kegen, Narynkol, Uzynagash, Shelek) were used as initial data to characterize agro-climatic conditions. Long-term data were processed using generally accepted statistical and climatological data processing methods.

The growth and development of plants begins from the date of the steady transition of the average daily air temperature above the level of its biological minimum temperature. For most crops, this limit is 5 °C (early spring crops), 10 °C for late spring crops and 15 °C for heat-loving crops. For example, for wheat, the biological minimum air temperature required for the formation of vegetative organs is 5 °C, and for the formation of generative organs – 12 °C. The biological minimum of millet is 12 °C, cotton and rice in the initial phases of development is 15 °C, and in the ripening period – 20 °C (Losev, 1994).

Accordingly, to characterize there are used the heat supply of the growing season, the dates of the transition of air temperature through 5 °C, 10 °C and 15 °C, as well as the duration of

the period with such temperatures and the sum of daily temperatures for this period.

In climatic studies, the time between the transition of the average daily air temperature in spring and autumn through 5 °C is designated as the index of the duration of the growing season - GSL, i.e. the growing season of cold-resistant plants. Also, the GDD_{grow10} index is used as an indicator of heat accumulation - the sum of temperatures above 10 °C during the growing season (Gringof, 2011).

In agrometeorology, when establishing heat supply and climatic boundaries of crop cultivation, the sums of climatic and biological temperatures are distinguished. The sum of climatic temperatures characterizes the total heat resources of a given area. The sums of biological temperatures characterize the need of plants for heat, which is understood as the sum of the average daily air temperatures during the growing season of a given crop, from the beginning of growth to maturation (sowing–maturation). For example, for wheat from sowing to maturation, the sum of daily air temperatures of 1400...1700 °C is required, and for millet – 1600...1900 °C, for corn – 2200...2900 °C (Mishchenko, 2009)

Accordingly, to determine the supply of plants with heat, it is sufficient to compare the

biological sum of plant temperatures with the climatic sum of temperatures of 90 % of the supply. For spring crops of moderate heat - with the sum of active air temperatures above 10 °C, for heat-loving crops – above 15 °C (Baisholanov et al., 2017 y.).

In the temperate zone, the duration of the period with an average daily air temperature above 10 °C corresponds to the growing season of most crops. Therefore, the thermal resources of the growing season are most often estimated by the sum of active air temperatures above 10 °C.

To analyze the spatial distribution of the main heat supply indicators, maps based on GIS technology were built – ArcGIS-10.

RESULTS AND DISCUSSION

Heat supply of the growing season

To characterize the heat supply of the growing season, the dates of the transition of air temperature (D) through 5 °C (early spring crops), 10 °C (late spring crops), 15 °C (thermophilic crops), the duration of the period with such temperatures (N) and the sum of daily temperatures for these periods (ΣT) were used (Polevoy, 1992).

The characteristics of heat supply indicators for the meteorological stations in the Almaty region are presented in Table 1.

Table 1

Indicators of thermal resources in the Almaty region (transition dates (D), duration of the period (N, day), sum of temperatures (ΣT , °C) of air 5, 10 and 15°C above) (s-spring, a-autumn)

Ms	D _{5(s)}	D _{10(s)}	D _{15(s)}	D _{15(a)}	D _{10(a)}	D _{5(a)}	N ₅	N ₁₀	N ₁₅	ΣT_5	ΣT_{10}	ΣT_{15}
Aul-4	21.03	08.04	25.04	24.09	13.10	04.11	228	188	152	4099	3776	3505
Aidarly	20.03	08.04	25.04	27.09	15.10	07.11	232	190	155	4264	3917	3481
The Accelerator	22.03	12.04	09.05	21.09	11.10	02.11	225	182	135	3774	3452	2835
Bakanas	21.03	08.04	25.04	24.09	13.10	04.11	228	188	152	4100	3776	3505
Esik	22.03	12.04	10.05	23.09	13.10	07.11	230	184	136	3751	3380	2790
Zhalanash	07.04	02.05	07.06	03.09	20.09	21.10	197	149	88	2620	2250	1480
Konaev	20.03	08.04	29.04	28.09	15.10	07.11	232	190	152	4112	3762	3280
Kyrgyzsay	23.03	14.04	13.05	21.09	10.10	04.11	226	179	131	3497	3182	2500
Kegen	12.04	14.05	24.06	13.08	17.09	10.10	181	126	50	2250	1753	785
Narynkol	07.04	03.05	20.06	22.08	25.09	15.10	191	145	63	2415	2050	1010
Uzynagash	22.03	12.04	09.05	19.09	09.10	02.11	225	180	133	3613	3302	2689
Shelek	17.03	03.04	22.04	30.09	18.10	08.11	236	198	161	4224	3964	3499

Note: (s)-spring,(a)-autumn

As can be seen from Table 1 in the Almaty region on the flat territory (MS Shelek, Konaev, Bakanas, Aidarly, Aul-4), the air temperature steadily passes through 5 °C in the spring on March 17...21, in the autumn it goes back to November 4...8 and the duration of such a period is 228...236 days. The duration of the period with an air temperature above 10 °C is 188...198 days, and with an air temperature above 15 °C – 152...161 days. During the period with an air temperature above 5 °C, heat accumulates in the amount of 4100...4264 °C, with an air temperature above 10 °C, it is 3762...3964 °C, and with an air temperature above 15 °C, it is 3280...3505 °C.

At meteorological stations located in the foothill territories of the region (MS Aksengir, Uzynagash, Esik, Kyrgyzsai), the air temperature steadily passes through 5 °C from spring on March 22...23, in autumn it goes back to November 2...7 and the duration of such a period is 225...230 days. The duration of the period with an air temperature above 10 °C is 179...184 days, and with an air temperature above 15 °C – 131...136 days. During the period with an air temperature above 5 °C, heat accumulates in the amount of 3497...3774 °C, with an air temperature above 10 °C – 3182...3452 °C, and with an air temperature above 15 °C – 2500...2835 °C.

In the mountainous agricultural

territories of the region (villages of Zhalanash, Kegen, Narynkol), the air temperature steadily passes 5 °C on April 7...12 in spring, returns to October 10...21 in autumn and the duration of such a period is 181...197 days.

The duration of the period with an air temperature above 10 °C is 126...149 days, and with an air temperature above 15 °C – 50...63 days. During the period with an air temperature above 5 °C, heat accumulates in the amount of 2250...2620 °C, with an air temperature above 10 °C – 1750...2250 °C, and with an air temperature above 15 °C – 785...1480 °C.

The thermal resources of the growing season are most often estimated by the sum of active air temperatures above 10 °C. Accordingly, on the basis of such data there were built maps of the duration and heat supply of the growing season.

The longest growing season (190...200 days) is observed in the central part of the region, specifically in the foothill semi-desert zone (MS Aidarly, Konaev, Shelek). To the north and south of this zone, the duration of the growing season is shortened. In the northern part of the region, the growing season lasts 170...190 days up to Lake Balkhash, as well as in the foothill zone of the southern part of the region. In the mountainous agricultural territories of the region, the duration of the growing season is 120...170 days (figure 2).

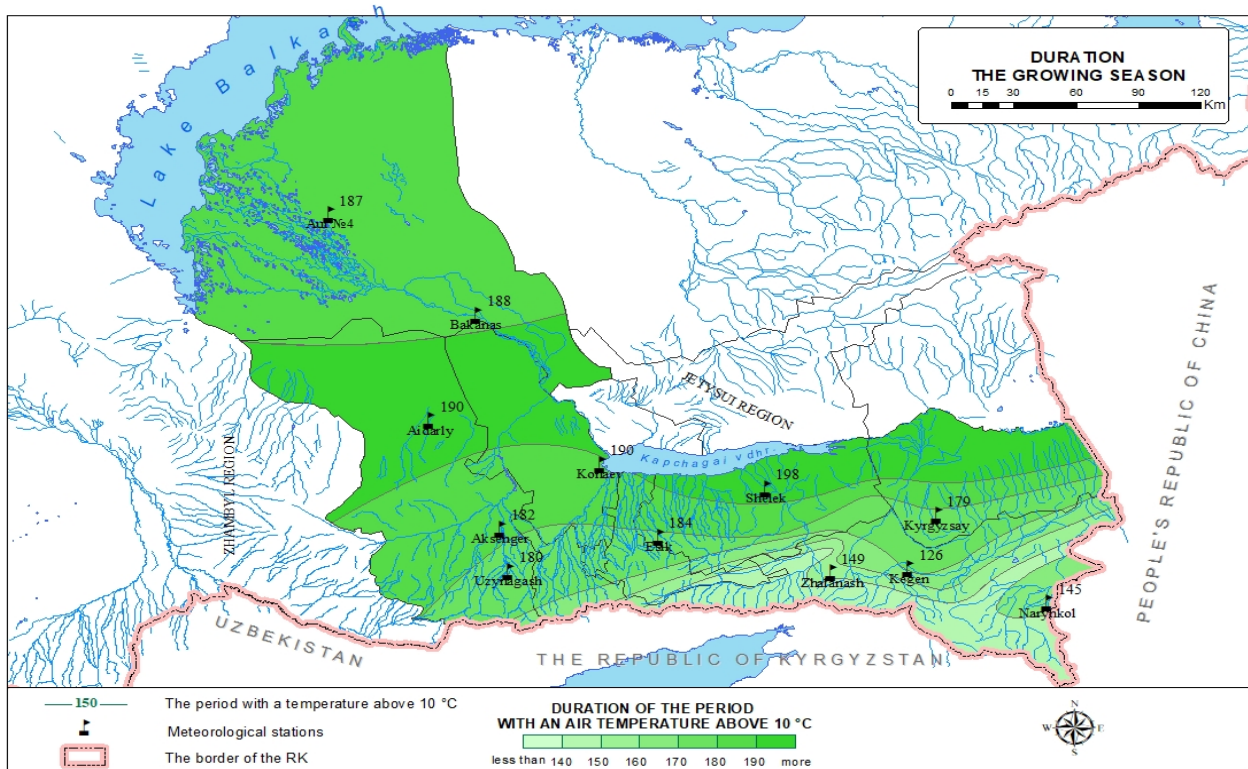


Fig. 2. Spatial distribution of the duration of the growing season in the Almaty region at an air temperature above 10 °C

The greatest heat supply of the growing season (3800...4000 ° C) is observed in the central part of the region in the foothill semi-desert zone. To the north and south of this zone, the heat supply of the growing season decreases. In the northern part of the region, up

to Lake Balkhash, the heat supply temperature is 3600...3800 °C. In the foothill zone of the southern part of the region, the heat supply is 3000...3800 °C. In the mountainous agricultural territories of the region, the heat supply during the growing season is 1700...3000 °C (figure 3).

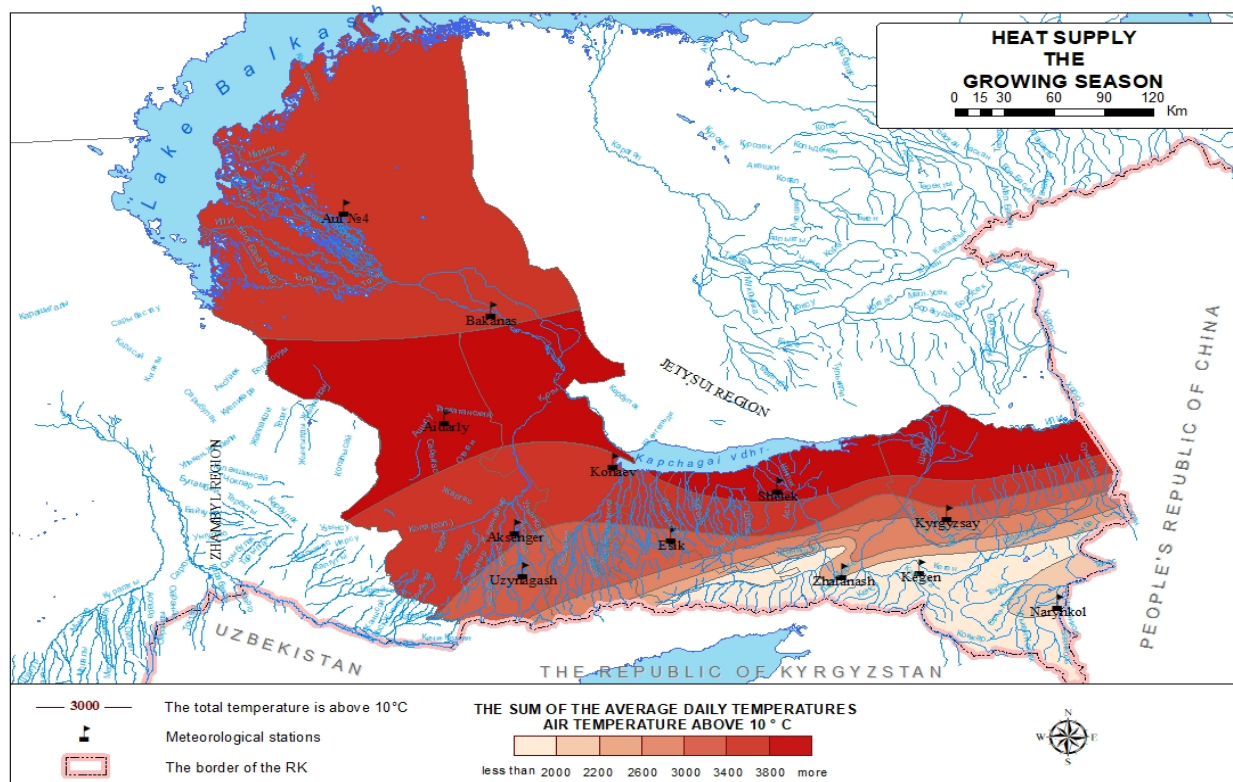


Fig. 3. Spatial distribution of heat supply in the growing season of the Almaty region at a total air temperature above 10 °C

Provision of agricultural crops with heat

Based on the assessment of agro-climatic indicators, heat and moisture availability, taking into account soil types, it is possible to determine the crops that are grown in this area. In this case, the main factor may be the heat supply. Thus, in this work, the heat supply of 26 types of agricultural crops was determined, according to which their heat needs are known. Such needs are expressed by the sum of the average daily air temperatures required during the entire growing season from the beginning of growth to full ripeness (Baisholanov, 2020).

The need of agricultural crops for heat, expressed in the biological sum of air temperatures for northern latitude 55 °C, currently accepted for practical use, is highlighted in the works (Gordeev A.V. et al., 2006).

As they move south from 55 °C north latitude, due to the photoperiodic reaction, the required sum of temperatures increases for plants with a long day

and decreases for plants with a short day. For plants that are neutral to daylight, the required temperature remains the same. In the works (Baisholanov, 2020; Baisholanov et al., 2017), the heat demand of the main agricultural crops was determined, expressed in the biological sum of air temperatures for the south of Kazakhstan, i.e. for latitudes 42...46 °C north latitude. To facilitate calculations and analysis, crops were grouped according to the need for heat, expressed by the required sum of average daily air temperatures above 10 °C for moderately thermophilic crops and above 15 °C for thermophilic crops. Table 2 shows agricultural crops grouped by heat demand, taking into account the precocity of varieties (hp – the earliest ripe, p – early ripe, c – medium ripe, sp – medium late, p – late ripe), as applied to the south of Kazakhstan (42...46 °C). At the moment, for spring moderately warm crops (A1...A9), the average daily air temperature above 10 °C was taken into account, and for thermophilic crops (B1...B5) – above 15 °C.

Table 2

Distribution of spring cereals, legumes, oilseeds, industrial and vegetable crops into groups according to heat demand (Baisholanov, 2020)

Gr.	$\sum t_0, ^\circ\text{C}$	Culture (r–early maturing, c–middle maturing, p–late maturing)
A1	1200...1400	Buckwheat–r, Buckwheat–s, Peas–r, Potatoes–r, Cucumbers–r, Cucumbers–C.
A2	1400...1600	Buckwheat–p, Peas–s, Peas–p, Potatoes–s, Cucumbers–p, Barley–r, Barley–s, Oats–r, Wheat (m)–r, Wheat (t)–r, Millet–r, Millet–s, Beans–r, Rank–r, Lentils–r, Lentils–s, Chickpeas–r, Chickpeas–s, Lupin–r, Beans–r, Oilseed flax–r, Flax long–r, Flax long–s, Cabbage–r, Cabbage–s, Tomatoes–R.
A3	1600...1800	Potatoes–p, Barley–p, Oats–s, Oats–p, Wheat (m)–s, Wheat (t)–s, Millet–p, Beans–s, Rank–s, Chickpeas–p, Oilseed flax–s, Cabbage–p, Tomatoes–s, Tomatoes–P.
A4	1800...2000	Wheat (m)–p, Wheat (t)–p, Beans–p, Lupin–s, Sunflower–r, Rapeseed–R.
A5	2000...2200	Lupin–p, Sunflower–c, Rapeseed–p, Soy–hp, Sugar beet–r
A6	2200...2400	Sunflower–p, Soy–r, Sugar beet–c, Corn–r, Sorghum–R.
A7	2400...2600	Soy–c, Sugar beet–p, Corn–c, Sorghum–c
A8	2600...2800	Soy–sp, Corn–sp, Sorghum–P.
A9	2800...3000	Soy–p, Corn–P.
B1	2500...2700	Rice–p.
B2	2700...2900	Rice–c.
B3	2900...3300	Rice–p, Cotton–R.
B4	3300...3600	Cotton–C.
B5	3600...4000	Cotton–P.

Crops are sown when the soil has warmed up sufficiently and has reached its soft-plastic state, when the average daily air temperature already exceeds 10°C . Therefore, to determine the supply of plants with heat, it is sufficient to compare the biological sum of temperatures with the climatic sum of temperatures, i.e. with the sum of active air temperatures above 10°C . At the same time, for accuracy, it must be counted from the date of completion of sowing the crop

(Zhunisova M.A., 2023 y.).

To assess the compliance of climatic resources with the requirements of agricultural crops, the values of climatic indicators of various security are determined. For example, 80...90 % is sufficient to provide plants with climatic resources (Losev, 1994 y.; Baisholanov et al., 2017 y.).

Table 3 shows the sum of air temperatures above 10 and 15°C . 90 % of the norm for the studied meteorological stations.

Table 3

The sum of temperatures above 10 and 15°C is 90 % safe, the climatic terms of sowing early spring (Dc1) and thermophilic (Dc2) crops in the Almaty region

MS	$\sum T_{10}(90\%)$	$\sum T_{15}(90\%)$
Aul-4	3625	3365
Aidarly	3760	3342
Aksenger	3314	2721
Bakanas	3625	3365
Esik	3245	2678
Zhalanash	2124	1436
Konaev	3611	3148
Kyrgyzsay	3024	2409
Kegen	1667	743
Narynkol	1942	971
Uzunagash	3170	2582
Shelek	3805	3359

To determine the heat supply of crops, we compare the sum of daily air temperatures above 10 °C (for moderately thermophilic spring crops) and above 15 °C (for thermophilic crops), which account for 90 % of the supply, with the heat demand of crops shown in Table 2. For example, for an early-ripening variety of spring wheat the biological sum of temperatures from sowing to maturation at the level of 1400...1600 °C is required. Accordingly, spring wheat can be grown in areas where the temperature of 1600 °C is provided by 80...90 % with the sum of active temperatures above 10 °C. (Zhunisova M.A., 2023 y.). To fully determine the possibility of cultivating an agricultural crop without

irrigation, it is necessary to further analyze soil fertility and moisture availability by the moisture coefficient K.

Comparing the sum of the daily air temperatures above 10 °C and 15 °C of 90 % availability with the heat demanding of crops, there were determined the types of crops that are fully provided with heat by meteorological stations. In the area of MS Aul-4, Aidarly, Bakanas and Shelek, groups of crops from A1 to B3 are provided with heat, in the area of MS Konaev – from A1 to B2, in the area of MS Aksengir, Esik, Kyrgyzsai and Uzynagash – from A1 to A9, in the area of MS Zhalanash and Narynkol – from A1 to A4, in the area of MS Kegen is A1 and A2 (Table 4).

Table 4

Groups of crops provided with heat

MS	Group A	Group B
Aul-4	A1...A9	B1...B3
Aidarly	A1...A9	B1...B3
Aksenger	A1...A9	-
Bakanas	A1...A9	B1...B3
Esik	A1...A9	-
Zhalanash	A1...A4	-
Konaev	A1...A9	B1...B2
Kyrgyzsay	A1...A9	-
Keygen	A1...A2	-
Narynkol	A1...A4	-
Uzynagash	A1...A9	-
Shelek	A1...A9	B1...B3

Thus, in the northern and central part of the Almaty region, crops of moderate heat demanding and heat-loving crops are provided with heat (table 4) In the foothill zone, thermophilic crops are not provided with heat, and in mountainous agricultural territories, late spring crops are also not provided with heat. It should be noted that in particularly cold years, late spring and early autumn frosts can be a limiting factor. To make a final decision on the cultivation of crops, in addition to heat, it is necessary to consider the properties of the soil, the availability of precipitation or irrigation water.

CONCLUSION

As a result of the conducted research, there were established modern climatic norms of the main indicators of heat supply of the growing season in the Almaty region. To characterize the

heat supply of the growing season, the dates of the transition of air temperature through 5 °C, 10 °C and 15 °C, the duration of the period with such temperatures and the sum of daily temperatures for these periods were used.

In the Almaty region, on a flat territory, the air temperature steadily passes through 5 °C in the spring on March 17...21, in the autumn it goes back on November 4...8 and the duration of such a period is 228...236 days. In the foothill areas of the region, the air temperature steadily passes through 5 °C from March 22...23 in spring, back in autumn – November 2...7 and the duration of such a period is 225...230 days. In mountainous agricultural areas, the air temperature passes through 5 °C from April 7...12 in spring, back in autumn – October 10...21 and the duration of the period is 181...197 days.

Based on air temperature data above 10 °C,

maps of the duration and heat supply of the growing season were constructed.

The longest growing season (190...200 days) is observed in the central part of the region, particularly in the foothill semi-desert zone. To the north and south of this zone, the duration of the growing season is shortened. In the northern part of the region, the distance to Lake Balkash, as well as in the foothill zone of the southern part of the region is 170...190 days, in the mountainous agricultural territories of the region – 120...170 days.

The greatest heat supply of the growing season (3800...4000 °C) is observed in the central part of the region in the foothill semi-desert zone. To the north and south of this zone, the heat supply of the growing season decreases. In the northern part of the region to Lake Balkash, the heat supply is 3600...3800 °C, in the foothill zone of the southern part of the region – 3000...3800 °C, and in the mountainous agricultural territories of the region – 1700...3000 °C.

Comparing the sum of the daily air temperatures above 10 °C and 15 °C of 90 % availability with the heat demand of crops, the types of crops that are fully provided with heat were determined by meteorological stations. In the northern and central part of the Almaty region, moderate heat demand and heat-loving crops are provided with heat. In the foothill zone, thermophilic crops are not provided with heat, and in mountainous agricultural territories, late spring crops are also not provided with heat.

The results obtained will be useful in solving practical and scientific problems in agriculture. The results of the work are recommended to be used in planning the development of the region to ensure food security. For example, when dealing with issues such as the rational placement of crops, management decisions, the development of scientific recommendations, etc.

REFERENCES

1. Agro-climatic resources of the Alma-Ata region of the Kazakh SSR. / Alma-Ata. hydrometeorologist. observatory. -L.: Hydrometeoizdat, 1978 - 200 p.
2. Baisholanov S.S. Model for calculating the irrigation norm of agricultural crops based on meteorological data // Hydrometeorology and Ecology. – 2020. – No. 2 (97). – Almaty: RSE “Kazhydromet”, 2020. – Pp. 170-182.
3. Baisholanov S.S., Pavlova V.N., Musataeva G.B., Gabbasova M.S., Zhakieva A.R., Mukanov E.N., Akshalov K.A., Chernov D.A. Agroclimatic resources of the North Kazakhstan region: scientific and applied reference book. – Astana, 2017. – 125 p. – Electronic edition. – URL: <https://kazneb.kz/kk/catalogue/view/1596681> (accessed: 15.01.2024)
4. Zhunisova M.A. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference in 2 parts Part 1. Penza, 2023.-342 p.
5. Baisholanov S.S., Mukanov E.N. Assessment of the impact of climate change on the irrigation rate of agricultural crops in the Almaty region of the Republic of Kazakhstan // Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeykova. – St. Petersburg, 2020. – Vol. 597. – P. 104-117. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44085555> (accessed: 20.01.2024).
6. Gringof I.G., Kleshchenko A.D., Fundamentals of agricultural meteorology. Volume 1. The need of agricultural crops for agrometeorological conditions and weather conditions dangerous for agricultural production. – Obninsk: FSBI “VNIIGMI-MTsD”, 2011. – 808 p.
7. Gordeev A.V., Kleshchenko A.D., Chernyakov B.A., Sirotenko O.D. Bioclimatic potential of Russia: theory and practice. –M.: T-vo scientific publications KMK, 2006. –512 p.
8. Koloskov P.I. Agroclimatic zoning of Kazakhstan. – M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1947. – 267 p.
9. Losev A.P. Workshop on agroclimatic support of crop production. –St. Petersburg:Gidrometeoizdat, 1994. –243 p.;
10. Mishchenko Z.A. Agroclimatology: textbook. – K.: KNT, 2009. – 512 p.
11. Polevoy A.N. Agricultural meteorology. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992. – 424 p.
12. Uteshev A.S. Climate of Kazakhstan. – L.: Gidrometeoizdat, 1959. 370 p.
13. Website «QazaqGeography». [Electronic resource]. URL: <https://qazaqgeography.kz/> (date of reference: 07.02.2024)
14. Schematic map of the Almaty region. [Electronic resource]. URL: <https://www.gov.kz/> (date of reference: 20.02.2024)
15. Baisholanov S., Oralbekova N. Features of agrometeorological conditions in the Turkestan region // Bulletin of L.N. Gumilyov ENU. Chemistry. Geography. Ecology. – 2023. – No. 1 (142). – Pp. 106-118. – DOI: 10.32523/2616-6771-2023-142-1-106-118.
16. Nazarenko, N.N., Panina, M.V., Sherstobitov, Y.V. Modern agro-climatic resources of Kazakhstan and Central Asia. // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. – 2023. – Vol. 1212. –012052. –DOI: 10.1088/1755-1315/1212/1/012052.
17. Mingalev, D.E. Agroclimatic Zoning of Russia and Kazakhstan under Current Climate Change. // Geogr. Nat. Resour. – 2021. – Vol. 42. – Pp. 115–121. – DOI: 10.1134/S1875372821020086.
18. Mizina, S.V., Smith, J.B., Gossen, E., Spiecker, K.F., Witkowski, S.L. An evaluation of adaptation options for climate change impacts on agriculture in Kazakhstan. // Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change. – 1999. – Vol. 4. – Pp. 25–41. – DOI: 10.1023/A:1009626526883.

АЛМАТЫ ОБЛЫСЫНДА ВЕГЕТАЦИЯЛЫҚ КЕЗЕҢНІҢ ЖЫЛУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТІЛУІН БАҒАЛАУ

М.А. Жунисова^{1*}, С.С. Байшоланов² *г.г.к., қауымдастырылған профессор*

¹«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

²«Астана Халықаралық ғылыми кешені» ЖМ, Астана, Қазақстан

E-mail: takpal80@mail.ru

1991 жылдан 2021 жылға дейінгі кезеңде Алматы облысында вегетациялық кезеңнің жылумен қамтамасыз етілуінің негізгі көрсеткіштерінің қазіргі заманғы климаттық нормалары белгіленді. 10 °С және 15 °С жоғары тәуліктік ауа температурасының 90 % қамтамасыз етілуін ауыл шаруашылығы дақылдарының жылу қажеттілігімен салыстыра отырып, метеорологиялық станциялар бойынша жылумен толық қамтамасыз етілген ауыл шаруашылығы дақылдарының түрлері анықталды. Вегетациялық кезеңнің ең ұзақ ұзақтығы (190...200 тәулік) облыстың орталық бөлігінде тау бөктеріндегі шөлейт аймақта байқалады. Вегетациялық кезеңнің ең жоғары жылумен қамтамасыз етілуі (3800...4000 °С) облыстың орталық бөлігінде тау бөктеріндегі шөлейт аймақта байқалады. Алматы облысының солтүстік және орталық бөлігінде жылу қажеттілігі орташа дақылдар мен жылу сүйгіш дақылдар жылумен қамтамасыз етілген. Тау бөктеріндегі аймақта жылу сүйгіш дақылдар жылумен қамтамасыз етілмейді, ал таулы егіншілік аумақтарында жаздық кеш дақылдар да жылумен қамтамасыз етілмейді. Вегетациялық кезеңнің ұзақтығы мен жылумен қамтамасыз етілу карталары салынды. Алынған нәтижелер ауыл шаруашылығындағы практикалық және ғылыми мәселелерді шешуде пайдалы болады. Мысалы, дақылдарды ұтымды орналастыру, аймақтың дамуын жоспарлау, азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету.

Түйін сөздер: кезең ұзақтығы, ауаның орташа тәуліктік температурасы, жауын-шашын, вегетациялық кезең, жылумен қамтамасыз ету.

ОЦЕНКА ТЕПЛОБЕСПЕЧЕННОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА В АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ

М. А. Жунисова^{1*}, С. С. Байшоланов² *к.г.н., ассоциированный профессор*

¹АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан

²ЧУ «Международный научный комплекс Астана», Астана, Казахстан

E-mail: takpal80@mail.ru

Были установлены современные климатические нормы основных показателей теплообеспеченности вегетационного периода в Алматинской области за период с 1991 по 2021 год. Сопоставляя сумму суточных температур воздуха выше 10 °С и 15 °С 90 %-ой обеспеченности с теплопотребностью сельскохозяйственных культур, по метеорологическим станциям были определены виды сельскохозяйственных культур, которые полностью обеспечены теплом. Наибольшая продолжительность вегетационного периода (190...200 суток) наблюдается в центральной части области в предгорной полупустынной зоне. Наибольшая теплообеспеченность вегетационного периода (3800...4000 °С) отмечается в центральной части области в предгорной полупустынной зоне. В северной и центральной части Алматинской области обеспечены теплом культуры умеренней теплопотребности и теплолюбивые культуры. В предгорной зоне теплолюбивые культуры не обеспечены теплом, а в горных земледельческих территориях – также не обеспечены теплом и поздние яровые культуры. Были построены карты продолжительности и теплообеспеченности вегетационного периода. Полученные результаты будут

полезны при решении практических и научных задач в сельском хозяйстве. Например, рациональное размещение сельскохозяйственных культур, планирование развития региона, обеспечение продовольственной безопасности.

Ключевые слова: продолжительность периода, среднесуточная температура воздуха, осадки, вегетационный период, теплообеспеченность.

Information about author/Автор туралы мәліметтер/Сведения об авторе:

Baisholanov Saken – Candidate of geographical sciences, associate professor (docent), Chief Researcher of the CHU «Astana International Scientific Complex», Kabanbai Batyr Avenue, Building 8, Astana, saken_baisholan@mail.ru

Zhunisova Makpal – Researcher, JSC «Institute of Geography and Water Safety», Seifullina ave., 458/1, Almaty, Makpal80@mail.ru

Байшоланов Сәкен Советұлы – география ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), «Астана Халықаралық ғылыми кешені» ЖМ бас ғылыми қызметкері, Қабанбай Батыр даңғылы, 8 ғимарат, Астана, saken_baisholan@mail.ru

Жүнісова Макпал Асанқызы – «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, ғылыми қызметкері, Сейфуллина даңғылы, 458/1, Алматы, Makpal80@mail.ru

Байшоланов Сакен Советович – кандидат географических наук, ассоциированный профессор (доцент), главный научный сотрудник ЧУ «Международный научный комплекс Астана», проспект Кabanбай Батыр, здание 8, Астана, saken_baisholan@mail.ru

Жунисова Макпал Асановна – научный сотрудник, АО «Институт географии и водной безопасности», пр. Сейфуллина, 458/1, Алматы, Makpal80@mail.ru

Authors' contribution/ Авторлардың қосқан үлесі/ Вклад авторов:

Baisholanov S. – concept development, methodology development, conducting a research, preparing and editing the text, visualization

Zhunisova M. – concept development, conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization

Байшоланов С. С. – тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Жүнісова М. А. – тұжырымдаманы әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Байшоланов С. С. – разработка концепции, разработка методологии, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

Жунисова М. А. – разработка концепции, проведение статистического анализа, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В 2023 ГОДУ НА ПРИМЕРЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ТАЙЫНША СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

И.И. Жумагулов¹ к.с.-х.н., доцент, Ж.Ж. Сатбалдиева^{2*}

¹ Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, Астана, Казахстан.

² Республиканское государственное предприятие «Казгидромет», Астана, Казахстан.

E-mail: zhanetta_s@list.ru

По результатам оценки возможных сельскохозяйственных потерь из-за изменений климата, проведенных в рамках подготовки Седьмого национального сообщения Республики Казахстан об изменении климата, в том числе и по Северо-Казахстанской области, где согласно прогнозу, к 2050 году ожидается снижение влагообеспеченности вегетационного периода на 11...16 % и усиление засушливости климата на 10...15 % относительно современных показателей. В результате таких изменений это может привести к снижению урожайности яровой пшеницы на 30...40 %. Целью данного исследования было установление связи между урожайностью яровой пшеницы сорта Авиада и метеорологическими условиями на наблюдательном участке метеостанции Тайынша Северо-Казахстанской области за 2023 год. Для этого были исследованы фактические метеорологические параметры за указанный год, такие как температурный режим и количество осадков, гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК), запасы продуктивной влаги в почве, суммы эффективных температур, а также особенности роста и развития яровой пшеницы сорта Авиада в вегетационный период 2023 года и её урожайность. Было установлено, что недостаточное количество выпавших осадков в критические фазы развития яровой пшеницы создали стрессовые условия в период созревания зерна, и как следствие, повлияли на её урожайность. Кроме того, смещение летних осадков на август...сентябрь привели к потерям урожая вовремя и после её уборки. Данная статья отображает результаты научно-исследовательской практики, которая проходила на МС Тайынша с мая по август 2023 года.

Ключевые слова: осадки, температура воздуха, влагообеспеченность, засушливость, вегетационный период, яровая пшеница, урожайность.

Поступила:10.06.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-51-59

ВВЕДЕНИЕ

В засушливых условиях Северного Казахстана метеорологические факторы определяют в значительной степени продуктивность яровой пшеницы. Изменения климата, происходящие в настоящее время приводят к снижению урожайности зерновых культур, вследствие недостатка почвенной влаги и высоких температур во время вегетационного периода. В рамках подготовки Седьмого национального сообщения Республики Казахстан об изменении климата была произведена оценка возможных сельскохозяйственных потерь из-за изменений климата, в том числе и по Северо-Казахстанской области, где к 2050 году ожидается снижение

влагообеспеченности вегетационного периода на 11...16 % и усиление засушливости климата на 10...15 % относительно современных показателей. В результате таких изменений это может привести к снижению урожайности яровой пшеницы на 30...40 % (Сельское хозяйство Казахстана//Седьмое национальное Сообщение..., 2017).

В Северо-Казахстанской области Республики Казахстан посевные площади сельскохозяйственных культур составляют около 4300 тыс. га, из них около 3000 тыс. га заняты под зерновыми и бобовыми культурами. Под яровой пшеницей занято около 2400 тыс. га (Байшоланов С.С., Павлова В.Н и др., 2017).

По данным ряда исследователей недостаток почвенной влаги в период вегетации зерновых и других сельскохозяйственных культур снижает их продуктивность. Особенно негативно влияет на рост растений дефицит атмосферных осадков в зависимости от климатического региона в период апрель...июль месяцы (Байшоланов С.С., Полевой А.Н., 2017).

По данным Жумагулова И.И. и других авторов в засушливых условиях сухостепной зоны Северного Казахстана атмосферные осадки являются основным фактором, влияющим на урожайность сельскохозяйственных культур в богарных условиях. Изучение сроков выпадения и количества осадков на урожайность яровой пшеницы и ячменя в годы исследований показало, что при не существенных различиях по сумме годовых осадков основным фактором, определяющим уровень урожайности культур, являются июньские и июльские осадки, которые приходятся на критические фазы развития яровой пшеницы и ячменя по требованию к влаге (Жумагулов И.И. и др., 2021).

В работе авторов Asadi S., Vannayan M., Monti A. (2019) зависимость урожайности пшеницы и ярового ячменя и суточного количества осадков за 30 летний период показывает высокую коррелятивную зависимость урожайности и осадков в критический период цветения зерновых культур. В засушливые годы отсутствие осадков в критические фазы развития растений снижает в несколько раз урожайность культур по сравнению с благоприятными годами.

Результаты исследований в Красноуфимском селекционном центре (Россия)

показали, что в засушливые годы урожайность зерна овса снизилась в два раза, с 6,0 т/га до 3,0 т/га. Отмечается, что, кроме дефицита осадков, на зерновую продуктивность оказывает также влияние среднесуточная температура воздуха в течение вегетационного периода (Гольдварг Б.А. и др., 2019).

Целью данного исследования являлось определение влияния метеорологических условий на продуктивность яровой пшеницы в условиях Северо-Казахстанской области.

На наблюдательном участке метеорологической станции «Тайынша» (производственные посевы ТОО Тамыз Агро Инвест) Северо-Казахстанской области сети РГП Казгидромет были проведены метеорологические наблюдения и изучены фенологические фазы развития и формирование урожайности яровой пшеницы в зависимости от фактических метеорологических показателей в 2023 году.

На опытном участке выращивался сорт яровой пшеницы Авиада. Авиада – внутривидовая гибридизация озимого сорта Партизанка и ярового Оренбургская 1. Среднеспелый сорт, вегетационный период 85...90 дней, устойчив к полеганию. По хлебопекарным качествам – хороший филлер. Умеренно восприимчив к пыльной головне, восприимчив к твердой головне, корневым гнилям.

Метеостанция «Тайынша» (широта 53.83, долгота 69.78, высота над уровнем моря 153 м.) находится на территории Тайыншинского района Северо-Казахстанской области к юго-востоку от районного центра Тайынша (рисунки 1).



Рис. 1. Метеорологическая площадка

Метеорологическая площадка расположена на ровном, открытом месте. Преобладающая застройка – одноэтажные дома. Улицы широкие, хорошо продуваемые. С северной и северо-восточной сторон горизонт открытый. Метеорологическая площадка открытая, характер защищающих препятствий – разреженная застройка, перемежаемая разновысокой растительностью.

На сегодняшний день на станции производятся наблюдения за температурой воздуха, атмосферным давлением и влажностью воздуха, количеством выпавших осадков, скоростью и направлением ветра, температурой почвы. А также ведутся агрометеорологические наблюдения за яровыми зерновыми и картофелем, согласно плана наблюдений в период вегетации с посева до уборки. В зимний период осуществляются наблюдения за высотой снежного покрова, промерзанием почвы (грунта), проведение снегомерных съемок. Ежедекадно с 3 декады апреля до 3 декады октября определяются запасы продуктивной влаги до метрового слоя почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились согласно общепринятым методикам: «Наставления по производству агрометеорологических наблюдений на гидрометеорологических станциях и постах», РГП «Казгидромет», Астана 2011 г.

В работе использованы данные метеорологической станции Тайынша Республиканского государственного предприятия «Казгидромет» Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Также использованы средние по административным районам Северо-Казахстанской области урожайности яровой пшеницы (фактический урожай, в массе после доработки).

В качестве основных агрометеороло-

гических показателей были использованы:

– суммы осадков за холодный период года (октябрь...апрель 2022 г.) и за вегетационный период (май...сентябрь 2023 г). Осадки холодного периода года весной формируют запасы продуктивной влаги в почве. От осадков с мая по август непосредственно зависит вегетация яровых культур;

– среднесуточная температура воздуха в вегетационный период (с мая по август 2023 г).

– сумма активных (выше 5 °С) температур воздуха за май...август, характеризует теплообеспеченность вегетационного периода;

– запасы продуктивной влаги в почве определялись по методу Разумовой (Наставление, 2011).

Засушливость вегетационного периода оценивалась по гидротермическому коэффициенту Селянинова (ГТК), наиболее подходящим для условий Казахстана:

$$ГТК = \sum R_{(5-8)} / 0.1 \sum T_{(5-8)},$$

где $\sum R_{(5-8)}$ – сумма осадков за май...август; $\sum T_{(5-8)}$ – сумма суточных температур воздуха выше 10 °С за май...август.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ наблюдавшихся осадков за холодный период года (октябрь...апрель 2022 г.) и за вегетационный период (май...сентябрь 2023 г.) показал, что сумма осадков за весь период составила 323 мм. Осадки выпадали в недостаточном количестве в период с января по апрель, летний максимум осадков с июля сместился на август, сентябрь. Это осложнило уборочные работы и негативно сказалось на качестве зерна яровой пшеницы. Осадки холодного периода года весной формируют запасы продуктивной влаги в почве. От осадков с мая по август непосредственно зависит вегетация яровых культур. (Таблица 1).

Таблица 1

Количество осадков, мм

МС Тайынша	2022 год			2023 год								
	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Сумма осадков	25	48	9	12	11	16	5	12	42	30	60	53
клим. норма	27	22	18	14	11	13	21	30	42	67	47	28
отклонение	-2	+26	-9	-2	0	-3	-16	-18	0	-37	+27	+25

Из таблицы 1 видно, что в критические фазы развития яровой пшеницы, которые приходятся на июнь...июль осадки выпали на метеостанции «Тайынша» в количестве 72, при норме 109 мм.

Высота снежного покрова в зимний пе-

риод на наблюдательном участке составила от 10 до 13 см. Глубина промерзания почвы на участке метеостанции «Тайынша» составляла на первую декаду марта 162 см, в третьей декаде – 40 см. (Табл. 2).

Таблица 2

Высота снежного покрова (см), и глубина промерзания почвы(см) в 2023 году

МС Тайынша	Январь			февраль			Март
	1	2	3	1	2	3	1
Высота снежного покрова	11	12	10	11	13	12	13
Глубина промерзания	100	108	129	139	150	150	162

Анализ таблицы 2 показывает, что высота снега в холодный период года была незначительной, что не позволило проводить работы по снегозадержанию. В период сева важными являются запасы влаги в почве, которые формируются осадками холодного периода года.

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы определялись в двух точках метеостанции «Тайынша». Изменения ЗПВ по декадам зависели от количества выпавших осадков и температурного режима во время вегетации яровой пшеницы (Табл. 3).

Таблица 3

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, мм

ЗПВ/ декады	Май			Июнь			июль			Август		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Участок 1	113	107	63	53	110	132	73	101	94	70	56	90
Участок2	108	80	161	135	118	154	87	105	94	95	86	121
Среднее	110	93	112	94	114	143	80	103	94	83	71	106

Анализ таблицы 3 показывает, что в целом запасы продуктивной влаги в почве оцениваются как удовлетворительные. В пределах одного наблюдательного участка на метеостанции «Тайынша» наблюдаются различия по запасам продуктивной влаги, которые зависят в основном от рельефа участка.

Критерии оценки ЗПВ: более 100 % от НПВ (наименьшей полевой влагоемкости) -

избыточное увлажнение; 80...100 % от НПВ - оптимальное увлажнение; 50...80 % от НПВ - удовлетворительное увлажнение; менее 50 % от НПВ - недостаточное увлажнение (Наставление, 2011).

Температурный режим воздуха в течении вегетации при дефиците атмосферных осадков оказывает значительное влияние на рост и развитие яровой пшеницы (Табл. 4).

Таблица 4

Среднесуточная температура воздуха во время вегетации, °С

Температура, °С	Май			Июнь			Июль			Август		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Т средняя	12,6	11,2	19,3	25,6	18	14,9	24,6	24,2	22,2	22,6	17,3	15,5
норма	11,3	14,0	15,3	17,3	19,2	19,8	19,8	19,9	19,7	19,4	18,3	16,0
отклонение	+1,3	-2,8	+4,0	+8,3	-1,2	-4,9	+4,8	+3,3	+2,5	+3,2	-1,0	-0,5

Показатели средней температуры воздуха в 2023 году по декадам в мае месяце колебались в пределах 11,2...19,3 °С. Средний показатель температуры воздуха в июне был 14,9...25,6 °С. Средняя температура воздуха в июле была 22,2...24,6 °С. Средний показатель температуры воздуха в августе был

15,5...22,6 °С. В начале июня, в июле, а также в начале августа средние температуры воздуха были выше нормы на +3+8 °С.

Развитие всходов, кущение, колошение, цветение и налив зерна зависят от суммы активных температур в период вегетации (Табл. 5).

Таблица 5

Суммы активных температур в 2023 году (°С).

МС Тайынша	май			июнь			июль			август		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
T _{акт}	310	422	615	871	1051	1200	1446	1688	1910	2136	2309	2464
Норма	248	386	544	712	908	1114	1320	1521	1741	1932	2115	2293
Отклон.	62	36	71	152	143	86	126	167	169	204	194	171

Из таблицы 5 видно, что во все месяцы вегетационного периода суммы активных температур были выше средних многолетних значений (норма), так, с июня по август сумма активных температур превысила норму на 171 °С. При недостаточном увлажнении (осадков вегетационного периода), можно характеризовать, что рост и развитие растений проходило в стрессовых условиях.

Засушливость вегетационного периода оценивается показателем ГТК. Оценка значений коэффициента ГТК определялись согласно критериям: ГТК 1,6...1,3 – влажная, ГТК 1,3...1,0 – слабозасушливая; ГТК 1,0...0,7 – засушливая, ГТК 0,7...0,4 – очень засушливая, ГТК меньше 0,4 – сухая (Сельское хозяйство Казахстана // Седьмое национальное Сообщение, 2017; Байшоланов С.С. Павлова В.Н и др., 2017) (табл. 6).

Таблица 6

Показатели ГТК в 2023 году

Станция	ГТК за апрель	ГТК за май	ГТК за июнь	ГТК за июль	ГТК за август
Тайынша	0,29	0,26	0,72	0,41	1,05

В вегетационный период 2023 года преобладала атмосферная засушливость, за исключением августа (когда осадков выпало больше нормы в 2 раза) и июня (осадки были в пределах средних многолетних значений).

Наименьшие значения ГТК наблюдались в апреле и мае. Прохождение фенологических фаз яровой пшеницы в основном

зависит от метеорологических условий вегетационного периода. 2023 год на основании результатов исследований можно характеризовать как засушливый.

Формирование растений яровой пшеницы охватывает длительный период в жизни растений и решающим образом влияет на его урожай (табл. 7).

Таблица 7

Фазы роста и развития яровой пшеницы за вегетационный период 2023 года

МС/набл. участок	Фенологические фазы развития яровой пшеницы по датам						
	Посев	Всходы	3-й лист	Колошение	Молоч. спелость	Воск. спелость	Полн. спелость
Тайынша/ ТОО «Тамызагро- инвест»	16.05	26.05	10.06	04.07	26.07	06.08	16.08
Длительность фазы, дней	-	10	15	24	22	11	10

Высокий температурный фон и засушливость летнего периода сократили срок вегетации пшеницы. Вегетационный период яровой пшеницы сорта Авиада в 2023 году составил 82 дня. По сортовой характеристике у сорта вегетационный период составляет 85...90 дней.

Урожайность яровой пшеницы в 2023 году составила 8,4 ц/га, что является относительно низкой, по сравнению со среднестатистическими данными по урожайности яровой пшеницы в данном регионе, а также по сравнению с предыдущими годами (рис. 2).

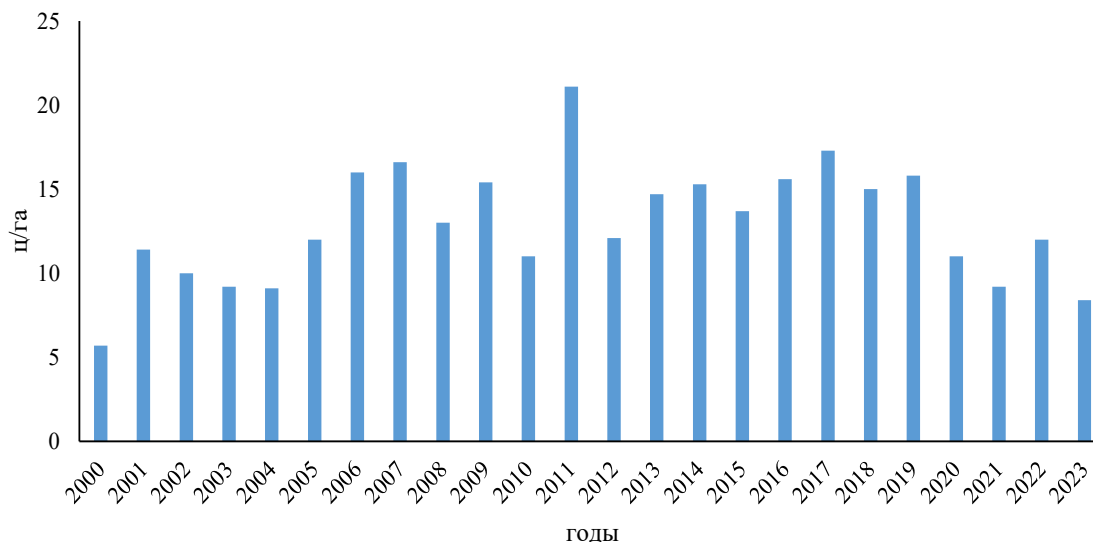


Рис. 2. Фактическая урожайность яровой пшеницы в Тайыншинском районе с 2000 по 2023 год

Для сравнения приведена фактическая урожайность с 2000 года, которая показывает, что самая высокая урожайность наблюдалась в 2011 году и составила 21,1 ц/га, самая низкая урожайность отмечалась в 2000 году и составила 5,7 ц/га. Во все остальные годы урожайность яровой пшеницы была сравнительно выше, чем в 2023 году.

Однако в данной статье были рассмотрены агрометеорологические условия за вегетационный период 2023 года, как результат научно-исследовательской практики, проходившей на метеорологической станции Тайынша с мая по август 2023 года.

На формирование такой низкой урожайности повлиял комплекс факторов, таких как: засушливость весеннего периода (ГТК 0,26), недостаточное количество осадков в критическую фазу развития яровой пшеницы (смещение сроков летних осадков) при высоких температурах, а также потери во время уборки урожая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В засушливых условиях Северного Казахстана климатические и погодные условия оказывают значительное влияние на рост,

развитие и урожайность яровой пшеницы.

В проведенных исследованиях по изучению влияния погодных условий на урожайность яровой пшеницы изучался комплекс метеорологических факторов на базе метеостанций «Тайынша» в производственных посевах ТОО «Тамыз Агро Инвест» Северо-Казахстанской области.

В ходе исследований определялись запасы продуктивной влаги перед посевом яровой пшеницы в метровом слое почвы. Результаты показали в основном удовлетворительные показатели по сравнению со среднемноголетними данными. В метровом слое почвы за вегетационный период 2023 года на опытных участках наблюдалось удовлетворительное и недостаточное увлажнение (63...154 мм).

Осадки вегетационного периода были преимущественно меньше среднемноголетних данных (май, июль), в июне они были в пределах нормы, в августе – выше средних значений.

Температурный режим воздуха был выше среднемноголетних показателей. Суммы активных температур были выше средних многолетних значений, при недостаточном количестве атмосферных осадков вегетационного периода. На основании этого можно

характеризовать, что рост и развитие растений пшеницы проходило в стрессовых условиях.

Анализ урожайных данных показал, что 2023 год был засушливым для роста и развития пшеницы. Урожайность яровой пшеницы была низкой, вследствие недостатка осадков и высоких температур в критические фазы развития. При данных метеорологических условиях необходимо использовать агрономические приемы, способствующие минимизации потерь урожая (Аринов К. и др., 2016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельское хозяйство Казахстана // Седьмое национальное Сообщение и третий двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. — Астана, 2017. — С. 203–215.
2. Байшоланов С. С., Павлова В. Н. и др. Агроклиматические ресурсы Северо-Казахстанской области: научно-прикладной справочник. — Астана, 2017. — 125 с. — № 19. — С. 82–89.
3. Байшоланов С.С., Полевой А.Н. Агроклиматическое зонирование северной зерносеющей территории Казахстана // Украинский гидрометеорологический журнал. — 2017. — № 19. — С. 82–89.
4. Жумагулов И.И., Амантаев Б.О., Муханов Н.К., Кульжабаев Е.М. // Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. — 2021. — № 3 (91). — С. 28–36.
5. Мустафина А.Б. Основные особенности влияния погодных условий на урожайность зерновых культур в Республике Татарстан // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 2 (372). С. 144–153.
6. Asadi S., Bannayan M., Monti A. The association of crop production and precipitation; a comparison of two methodologies // Arid land research and management. T.33 (2), 2019, С. 155–176.
7. Гольдварг Б.А., Боктаев М.В., Филиппов Е.Г., Донцова А.А. Влияние количества осадков в период вегетации на урожайность районированных сортов ярового ячменя в засушливой центральной зоне республики Калмыкия // Зерновое хозяйство России. — 2019. — № 5. — С. 14–17.
8. Наставление по производству агрометеорологических наблюдений на гидрометеорологических станциях и постах. ПР РК 52.4.05.09. Выпуск 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть 1. Основные агрометеорологические наблюдения. Книга 1. Производство агрометеорологических наблюдений. Издание официальное. Алматы: Республиканское государственное предприятие «Казгидромет», 2009.
9. Hunt E. D. Svoboda, M., Wardlaw B., Hubbard K.,

Hayes, M., Arkebauer, T. Monitoring the effects of rapid onset of drought on non-irrigated maize with agronomic data and climate -based drought indices// Agricultural and forest meteorology. 2014. T.191, С. 1–11.

10. Абаев Н.Н., Турашов Ш.Е., Нысанбаева А.С., Болатов К.М. Применение данных дистанционного зондирования земли для оценки урожайности зерновых культур северо-казахстанской области. Гидрометеорология и экология. 2020. — № 2 (97). — С. 23–34.
11. Кардашина В.Е., Николаева Л.С. Влияние агрометеорологических условий на урожайность и развитие овса // Пермский аграрный вестник. — 2018. — № 1(21). — С. 70–76.
12. Аринов К., Мусынов К., Шестакова Н., Серекпаев Н., Апушев А. Растениеводство. — Астана: Фолиант, 2016. — С. 208–244.
13. Магафурова Ф.Ф., Хуснутдинов В.В. Урожайность и технологические качества зерна различных сортов пшеницы в условиях предуральской зоны республики Башкортостан // Известия Уфимского научного центра РАН. — 2018. — № 3-6. — С. 34–36.

REFERENCES

1. Sel'skoe khozyaistvo Kazakhstana // Sed'moe natsional'noe Soobshchenie i tretii dvukhgodichnyi Doklad Respubliki Kazakhstan Ramochnoi konventsii OON ob izmenenii klimata. — Astana, 2017. — P. 203–215.
2. Baisholanov S. S., Pavlova V. N. i dr. Agroklimaticheskie resursy Severo-Kazakhstanskoi oblasti: nauchno-prikladnoi spravochnik. — Astana, 2017. — 125 s. — № 19. — P. 82–89.
3. Baisholanov S.S., Polevoi A.N. Agroklimaticheskoe zonirovaniye severnoi zernoseyushchei territorii Kazakhstana // Ukrainskii gidrometeorologicheskii zhurnal. — 2017. — № 19. — P. 82–89.
4. Zhumagulov I.I., Amantaev B.O., Mukhanov N.K., Kul'zhabaev E.M. // Izdenister, natizheler – Issledovaniya, rezul'taty.—2021.—№3(91).—P 28–36.
5. Mustafina A.B. Osnovnyye osobennosti vliyaniya pogodnykh uslovii na urozhainost' zernovykh kul'tur v Respublike Tatarstan // Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy. 2019. № 2 (372). P. 144–153.
6. Asadi S., Bannayan M., Monti A. The association of crop production and precipitation; a comparison of two methodologies // Arid land research and management. T.33 (2), 2019, P. 155–176.
7. Gol'dvarg B.A., Boktaev M.V., Filippov E.G., Dontsova A.A. Vliyanie kolichestva osadkov v period vegetatsii na urozhainost' raionirovannykh sortov yarovogo yachmenya v zasushlivoi tsentral'noi zone respubliky Kalmykiya // Zernovoe khozyaistvo Rossii. — 2019. — № 5. — P. 14–17.
8. Nastavlenie po proizvodstvu agrometeorologicheskikh nablyudenii na gidrometeorologicheskikh stantsiyakh

- i postakh. PR RK 52.4.05.09. Vypusk 11. Agrometeorologicheskie nablyudeniya na stantsiyakh i postakh. Chast' 1. Osnovnye agrometeorologicheskie nablyudeniya. Kniga 1. Proizvodstvo agrometeorologicheskikh nablyudeni. Izdanie ofitsial'noe. Almaty: Respublikanskoe gosudarstvennoe predpriyatie «Kazgidromet», 2009.
9. Hunt E. D., Svoboda, M., Wardlow B., Hubbard K., Hayes, M., Arkebauer, T. Monitoring the effects of rapid onset of drought on non-irrigated maize with agronomic data and climate-based drought indices // Agricultural and forest meteorology. 2014. T.191, P.1-11.
10. Abaev N.N., Turashov Sh.E., Nysanbaeva A.S., Bolatov K.M. Primenenie dannykh distantsionnogo zondirovaniya zemli dlya otsenki urozhainosti zernovykh kul'tur severo-kazakhstanskoi oblasti. Hidrometeorologiya i ekologiya. 2020. – № 2 (97). – P. 23-34.
11. Kardashina V.E., Nikolaeva L.S. Vliyanie agrometeorologicheskikh uslovii na urozhainost' i razvitie ovsa // Permskii agrarnyi vestnik. — 2018. — № 1(21). — P. 70–76.
12. Arinov K., Musynov K., Shestakova N., Serepaev N., Apushev A. Rasteniyevodstvo. — Astana: Foliant, 2016. — P. 208–244.
13. Magafurova F.F., Khusnutdinov V.V. Urozhainost' i tekhnologicheskie kachestva zerna razlichnykh sortov pshenitsy v usloviyakh predural'skoi zony respublikii Bashkortostan // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2018. – № 3-6. – P. 34–36.

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ТАЙЫНША МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ СТАНЦИЯСЫНДА 2023 ЖЫЛЫ ЖАЗДЫҚ БИДАЙ ӨНІМДІЛІГІНЕ МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДЫҢ ӘСЕРІН ТАЛДАУ

И.И. Жұмагулов¹ *а-ш.ғ.к., доцент*, **Ж.Ж. Сатбалдиева^{2*}**

¹ С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

² «Қазгидромет» Республикалық мемлекеттік кәсіпорын, Астана, Қазақстан

E-mail: zhanetta_s@list.ru

Қазақстан Республикасының климаттың өзгеруі бойынша жетінші Ұлттық хабарламасын дайындау шеңберінде жүргізілген зерттеулер Солтүстік Қазақстан облысында ауыл шаруашылығы өнімдеріне климаттық өзгерістердің ықтимал әсерін бағалауға бағытталған. Болжамға сәйкес, 2050 жылға қарай Солтүстік Қазақстан облысында вегетациялық кезеңдегі ылғалмен қамтамасыз ету қазіргі көрсеткіштермен салыстырғанда 11...16 %-ға төмендейді, ал климаттық құрғақшылық 10...15 %-ға артуы мүмкін. Бұл өзгерістер жаздық бидай өнімділігінің 30...40 %-ға төмендеуіне әкелуі ықтимал. Зерттеудің мақсаты – 2023 жылы Тайынша метеостанциясының бақылау учаскесіндегі Авиада сортының жаздық бидай өнімділігі мен метеорологиялық жағдайлар арасындағы байланысты анықтау. Осы мақсатта 2023 жылғы температура, жауын-шашын мөлшері, гидротермиялық ылғал коэффициенті (ГТК), топырақтағы өнімді ылғал қоры, тиімді температуралардың қосындылары сияқты метеорологиялық көрсеткіштер зерттелді. Сонымен қатар, жаздық бидайдың өсу және даму ерекшеліктері ескеріліп, сол жылғы өнімділік мәліметтері сарапталды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жаздық бидай дамуының маңызды кезеңдерінде жауын-шашынның жеткіліксіз болуы астықтың пісу кезеңінде стресстік жағдай туғызып, өнімділікке теріс әсер етті. Сондай-ақ, тамыз-қыркүйек айларында жауын-шашынның артуы егін жинау кезінде және одан кейінгі кезеңде астықтың жоғалуына себеп болды. Бұл мақалада Тайынша метеостанциясында 2023 жылдың мамыр...тамыз айларында өткен ғылыми-зерттеу тәжірибесінің нәтижелері сипатталған.

Түйін сөздер: жауын-шашын, ауа температурасы, ылғалмен қамтамасыз ету, құрғақшылық, вегетациялық кезең, жаздық бидай, өнімділік.

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE
PRODUCTIVITY OF SPRING WHEAT IN 2023 AT THE TAIYN SHA WEATHER STATION
OF THE NORTH KAZAKHSTAN REGION**

I.Zhumagulov¹ c.a.s., associate professor, Zh. Satbaldiyeva^{2*}

¹ Kazakh agrotechnical research university named by S. Seifullin, Astana, Kazakhstan

² «Kazhydromet» Republican State Enterprise, Astana, Kazakhstan

E-mail: zhanetta_s@list.ru

According to the results of the assessment about possible agricultural losses due to climate change, conducted as part of the preparation of the Seventh National Communication of the Republic of Kazakhstan on Climate Change, including for the North Kazakhstan region, where, according to the forecast, by 2050 a decrease in moisture supply during the growing season by 11...16 % and an increase in climate aridity by 10...15 % relative to current indicators are expected. As a result of such changes, this may lead to a decrease in the yield of spring wheat by 30...40 %. The aim of this study was to establish the relationship between the yield of Aviada spring wheat and meteorological conditions at the observation site of the Taiynsha meteorological station in the North Kazakhstan region for 2023. For this purpose, the actual meteorological parameters for the specified year were studied, such as temperature and precipitation, hydrothermal moisture coefficient (HTC), productive moisture reserves in the soil, sums of effective temperatures, as well as the growth and development characteristics of spring wheat of the Aviada variety during the vegetation period of 2023, its yield. It was found that insufficient precipitation during the critical phases of spring wheat development created stressful conditions during the grain ripening period, and, as a result, affected its yield. In addition, the shift of summer precipitation to August...September led to crop losses during and after harvesting. This article represents the results of the research internship that took place at Taiynsha meteorological station from May to August 2023.

Keywords: precipitation, air temperature, moisture supply, aridity, growing season, spring wheat, yield.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Жумагулов Игилик Имангалиевич – к.с.-х.н, доцент, преподаватель Казахского агротехнического исследовательского университета им. С.Сейфуллина, г. Астана, пр. Женис 67, *igilik_zhumagulov@mail.ru*

Сатбалдиева Жанат Жумадиловна – ведущий инженер Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», г. Астана, пр. Мангилик ел 11/1, *zhanetta_s@list.ru*

Жұмағұлов Игілік Иманғалиұлы – а.ш.ғ.к, доцент, Қазақ аграрлық зерттеу университетінің оқытушысы, Астана қ., Жеңіс даңғылы 67, *igilik_zhumagulov@mail.ru*

Сатбалдиева Жанат Жұмаділқызы – «Казгидромет» РМК, Ғылыми-зерттеу орталығының жетекші инженері, Астана қаласы, Мәңгілік ел даңғылы 11/1, *zhanetta_s@list.ru*

Zhumagulov Igilik – c.a.s, associate professor, teacher at Kazakh agrotechnical university named by S.Seifullin, Astana, Zhenis ave., 67, *igilik_zhumagulov@mail.ru*

Satbaldiyeva Zhanat – leading engineer at Scientific-research centre of RSE «Kazhydromet», Mangilik el ave., 11/1, *zhanetta_s@list.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors' contribution:

Жумагулов И.И. – разработка концепции, разработка методологии

Сатбалдиева Ж.Ж. – проведение исследования, проведение статистического анализа

Жумағұлов И.И. – тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу

Сатбалдиева Ж.Ж. – зерттеуді жүргізу, статистикалық талдау жүргізу

Zhumagulov I. – concept development, methodology development

Satbaldiyeva Zh. – conducting research, conducting statistical analysis

**ПОВТОРЯЕМОСТЬ АДВЕКТИВНО-РАДИАЦИОННЫХ ТУМАНОВ НАД
АПШЕРОНСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ (АЗЕРБАЙДЖАН)****Х.В. Мамедова***Национальная авиационная академия AZ1044, Баку, Азербайджан
E-mail: hajar.mammadova@azans.az*

В статье рассмотрены физико-метеорологические характеристики адвективно-радиационных туманов, образующихся на Апшеронском полуострове и близлежащих островах, в том числе зависимость атмосферных элементов, влияющих на образование туманов от метеорологической дальности видимости, месячные и многолетние тренды тумана. С этой целью были использованы исходные данные авиационных метеорологических станций на акватории за 1999...2022 гг. Отсутствие на Апшеронском полуострове и архипелаге горных массив окруженное морем, воздушные массы воздействующие на район в течение всего года, определяют его синоптические условия. С помощью физико-метеорологических и статистических анализов установлено, что основная часть адвективно-радиационных туманов образующихся в акватории Апшерона повторяются в марте...апреле. При данном типе туманов установлено, что дальность метеорологической видимости изменяется в зависимости от скорости ветра и состояния неба. В период адвективно-радиационных туманов на акватории наблюдаются чаще всего юго-восточные ветры. Анализы показывают, что повышение среднемесячной и годовой температуры воздуха на полуострове в последнее время повлияло на повторяемость адвективно-радиационных туманов. Изучение пространственно-временных распределений туманов может создать условия для эффективной организации работы авиации.

Ключевые слова: климатические изменения, метеорологическая дальность видимости (МДВ), физико-метеорологический анализ, роза ветров, тренд, корреляция.

Поступила: 24.06.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-60-70

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивные колебание физических свойств атмосферы по вертикали и горизонтали связано с неравномерным нагревом земной поверхности солнцем, что часто создает условия для образования ряда опасных явлений в ее нижних слоях. Эффективная и безопасная организация работы на воздушном транспорте тесно связана с синоптическими процессами в нижних слоях атмосферы. К опасным явлениям для авиации относятся: гроза, град, обледенение, турбулентность, туман, кучево-дождевые облака и др.

Ухудшение метеорологической дальности видимости (МДВ) создает особую опасность для летательных аппаратов на аэродроме. Такие ситуации несут в себе особый риск в крупных международных аэропортах. Например, «Трагедия

на Тенерифе», считающаяся до сих пор самой смертоносной авиакатастрофой, также произошла из-за ухудшения видимости на взлетно-посадочной полосе (Ибрагимов Г.С., 2017; www.faa.gov/lessons_learned/transport_airplane/accidents/PH-BUF).

Апшеронский полуостров и прилегающие к нему острова, где проводилось исследование, являются регионом страны, где интенсивно осуществляются полеты авиации. Имеется один международный аэропорт (Г.Алиев), один малый аэропорт (Забрат) и три вертодрома (Пираллахи, Чилов, Нефт Дашлары). Аэропорт Г. Алиева является центральным аэропортом Республики. Аэропорт Забрат имеет особое логистическое значение в осуществлении местных вертолетных перевозок и учебно-тренировочных полетов.

Учитывая вышесказанное, проведение физико-метеорологических и математико-статистических исследований туманов в целом по стране, особенно в акватории Апшерона, на фоне увеличения временных рядов и изменения климатического режима является одним из актуальных вопросов.

А. М. Шихлинский, Г. И. Гулиев, Н.Ш.Гусейнов, Р.Н.Махмудов, А.М.Мамедов и др. провели обширные исследования по изучению туманов в разные периоды в районе исследований, числа дней повторяемости туманов периоды повторяемости в течение года, характеристики метеорологических параметров во время тумана и вероятности их повторяемости (Гусейнов Н.Ш. и др., 2013; Гусейнов Н.Ш. и др., 2013; Гусейнов Н.Ш. и др., 2014; Махмудов Р.Н., 2018; Пыхтунова В.М. и др., 1970; Шихлинский Э.М. и др., 1968).

Цель исследовательской работы. Целью исследований, является определение физико-метеорологических характеристик адвективно-радиационных туманов и повторяемость по месяцам и годам на Апшеронском полуострове.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходные данные, использованные в исследовательской работе, основаны на метеорологических наблюдениях, охватывающих 2000...2022 годы аэропорта Г.Алиева, аэропорта Забрат, вертодромов Пираллахи, Чилор и Нефт Дашлары в 2008...2022 годах. В работе с применением математических и физико-статистических методов исследованы характеристики распределения метеорологической дальности видимости (МДВ) в адвективно-радиационных туманах в зависимости от повторяемости направления и скорости ветра для различных порогов в течение года. Метеорологическая дальность видимости измерялось с помощью трансмиссиометров с дискретностью 30 минут. К анализу были привлечены результаты автоматических наблюдений за приземным ветром, температурой воздуха, точки росы и относительной влажностью. При расчетах использовались статистические методы обработки и программные средства Stokstat, ArcGIS.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку Апшеронский полуостров и одноименный архипелаг, расположенный на западном берегу Каспийского моря, на южной оконечности гор Большого Кавказа, имеет простое морфологическое строение и сложное физико-географическое положение, синоптические условия этого района в течение всего года формируются за счет воздействующих на район воздушных масс. В регионе холодные воздушные массы поступающие с севера, формируют холодные и влажные погодные условия с сильными ветрами, а воздушные массы поступающие с юга – жаркие и сухие (Гусейнов Н.Ш. и др., 2013; Гусейнов Н.Ш. и др., 2017; Агроклиматический атлас, 1993; Гусейнов Н.Ш., 2011; Гусейнов Н.Ш., 2006; Huseynov N.Sh. и др., 2013). В фазах перехода от холодного времени года к теплоте интенсивная инсоляция земной поверхности днем при ясной и безветренной погоде, увеличение эффективной радиации на земную поверхность в ранние часы суток в акватории приводят к сильному похолоданию, так же слабые южные, юго-восточные и северо-западные течения создают благоприятную синоптическую обстановку к образованию адвективно-радиационных туманов (Гусейнов Н.Ш. и др., 2015; Гусейнов Н.Ш. и др., 2002; Климатический режим и метеорологические условия туманов в аэропорту Баку, 1988; Национальный Атлас Азербайджанской Республики, 2014; Танрывердиев Х.К. и др., 2015).

Расположение восточной части полуострова во впадине относительно с ровной поверхностью позволяет более длительному существованию образовавшихся адвективно-радиационных туманов. Небольшая площадь островов и окружение морем не исключает сильных туманов, образующихся на поверхности моря в благоприятных метеорологических условиях в переходные периоды года. Анализы показывают, что 17 % процесса образования туманов, происходивших на акватории в 1999...2022 гг., были адвективно-радиационными туманами.

Основную роль в формировании адвективно-радиационных туманов на акватории играют воздушные массы и местные условия.

Этот вид тумана образуется в условиях малой скорости ветра и при ясном небе, а рассеивание происходит при усилении ветра и ясном небе в первой половине дня.

Для детального изучения адвективно-радиационных туманов необходимо, в частности, изучить ход метеорологических элементов и параметров и изучить физико-метеорологические условия образования туманов в атмосфере.

Именно поэтому в период исследования изучались ветры, наблюдаемые при разных критериях метеорологической дальности видимости. Анализы, основанные на многолетних наблюдениях, показывают, что в формирующихся на Апшеронском полуострове адвективно-радиационных туманах в диапазоне МДВ 0...200 м, наиболее повторяющимися ветрами являются юго-восточные ветры. При юго-восточных направлениях ветра 62 %, северо-восточных 15 % и западных 12 % случаев скорость ветра была менее 3 м/с. При этом диапазоне дальности видимости 73,4 % ветров со скоростью 4...7 м/сек были юго-восточными, 13,8 % – северо-западными и 6,4 % – западными. По мере увеличения скорости ветра при адвективно-радиационных туманах увеличивается и доля повторяемости юго-восточных ветров.

При значениях метеорологической дальности видимости в пределах 201...400 м наблюдается юго-восточный ветер 38 %, северо-западный 11 %, западный 7 % при ско-

рости менее 3 м/с, а при скорости 4...7 м/с преобладают южные и юго-восточные ветры.

Во время адвективно-радиационных туманов при дальности видимости 401...600 м и скорости ветра менее 3 м/с, преобладали юго-восточные ветры (49 %), далее северо-западные (19 %) и западные (15 %). При скорости ветра 4...7 м/с, юго-восточные ветры составляли 62 %, северо-западные – 17 %, западные – 9 %. При более сильном ветре (8...12 м/с) 78 % ветров были юго-восточными, по 11 % приходилось на северо-западные и южные направления.

При метеорологической видимости в диапазоне 601...1000 м, при скорости ветра менее 3 м/с, преобладали юго-восточные ветры (45 %), за ними следовали северо-западные (27 %) и западные (14 %). При увеличении скорости ветра до 4...7 м/с, юго-восточные ветры оставались доминирующими (45 %), с долей северо-западных ветров в 24 % и западных в 18 %. При еще более сильном ветре, со скоростью 8...12 м/с, юго-восточные ветры достигали 67 %, южные – 22 %, и северо-западные составляли 11,1 %. Безветренная погода в этих условиях видимости не наблюдалась.

Если обратить внимание на пределы повторяемости скорости и направления ветра в разных пределах видимости адвективно-радиационных туманов, то в большинстве случаев видно, что с увеличением скорости ветра увеличивается доля повторяемости юго-восточных ветров (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Вариации метеорологической дальности видимости в адвективно-радиационных туманах в зависимости от различных значений скорости и направлений ветра

МДВ, м	Скорость, м/с	Штиль	Направление							
			С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
1...200	< 3	-	0.9	1.4	4.6	61.6	5.1	0.5	11.6	14.4
	4...7	-	0.0	0.0	1.1	73.4	1.1	4.3	6.4	13.8
	8...12	-	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Многолетний	0.6	0.6	1.0	3.5	64.9	3.8	1.6	9.9	14.1
201...400	< 3	-	3.4	0.8	5.1	38.1	6.8	0.0	11.0	34.7
	4...7	-	1.8	0.0	0.0	55.3	2.6	2.6	21.1	16.7
	8...12	-	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	50.0
	Многолетний	0.4	2.6	0.4	2.6	46.4	4.7	1.3	15.7	26.0
401...600	< 3	-	4.2	1.4	2.8	48.6	8.3	0.0	15.3	19.4
	4...7	-	1.3	0.0	5.1	62.0	6.3	0.0	8.9	16.5
	8...12	-	0.0	0.0	0.0	77.8	11.1	0.0	0.0	11.1
	Многолетний	0.0	2.5	0.6	3.8	56.9	7.5	0.0	11.3	17.5
601...1000	< 3	-	2.0	1.0	6.0	45.0	4.0	1.0	14.0	27.0
	4...7	-	0.0	0.0	6.5	45.4	0.9	5.6	17.6	24.1
	8...12	-	0.0	0.0	0.0	66.7	22.2	0.0	0.0	11.1
	Многолетний	0.5	0.9	0.5	6.0	45.9	3.2	3.2	15.1	24.8

На рисунке 1 приведены розы ветров при метеорологической дальности видимости 0...200 м, 201...400 м, 401...600 м и 601...1000 м по доле многолетней повторяемости ветра в адвективно-радиационных туманах. При метеорологической дальности видимости в диапазоне 0...200 м. повторяемость юго-восточных ветров составляет 65 %, северо-западных 14 % и западных 10 %, при видимости 201...400 м. юго-восточные ветры 46 %, северо-западные 26 %, западные 16%, при видимости 401...600 м. юго-восточные ветры 57 %, северо-западные 17,5 %, западные 11 % и при видимости 601...1000 м юго-восточные ветры 46 %, северо-западные 25 %, западные ветры 15 %.

В зависимости от скорости ветра

во время адвективно-радиационных туманов на акватории Абшерона повторялись юго-восточные ветры 45,9...64,9 %, северо-восточные – 14...26 %, западные – 9,9...15,7 %.

В исследовании также уделялось внимание особенностям распределения скорости ветра во время адвективно-радиационных туманов по данным МДВ. Так, во время туманов с увеличением скорости ветра его плотность уменьшается. В этих туманах в основном наблюдались повторяющиеся ветры со скоростью менее 3 м/с. По мере увеличения скорости ветра более высокие пределы метеорологической дальности видимости (МДВ) повторяются чаще.

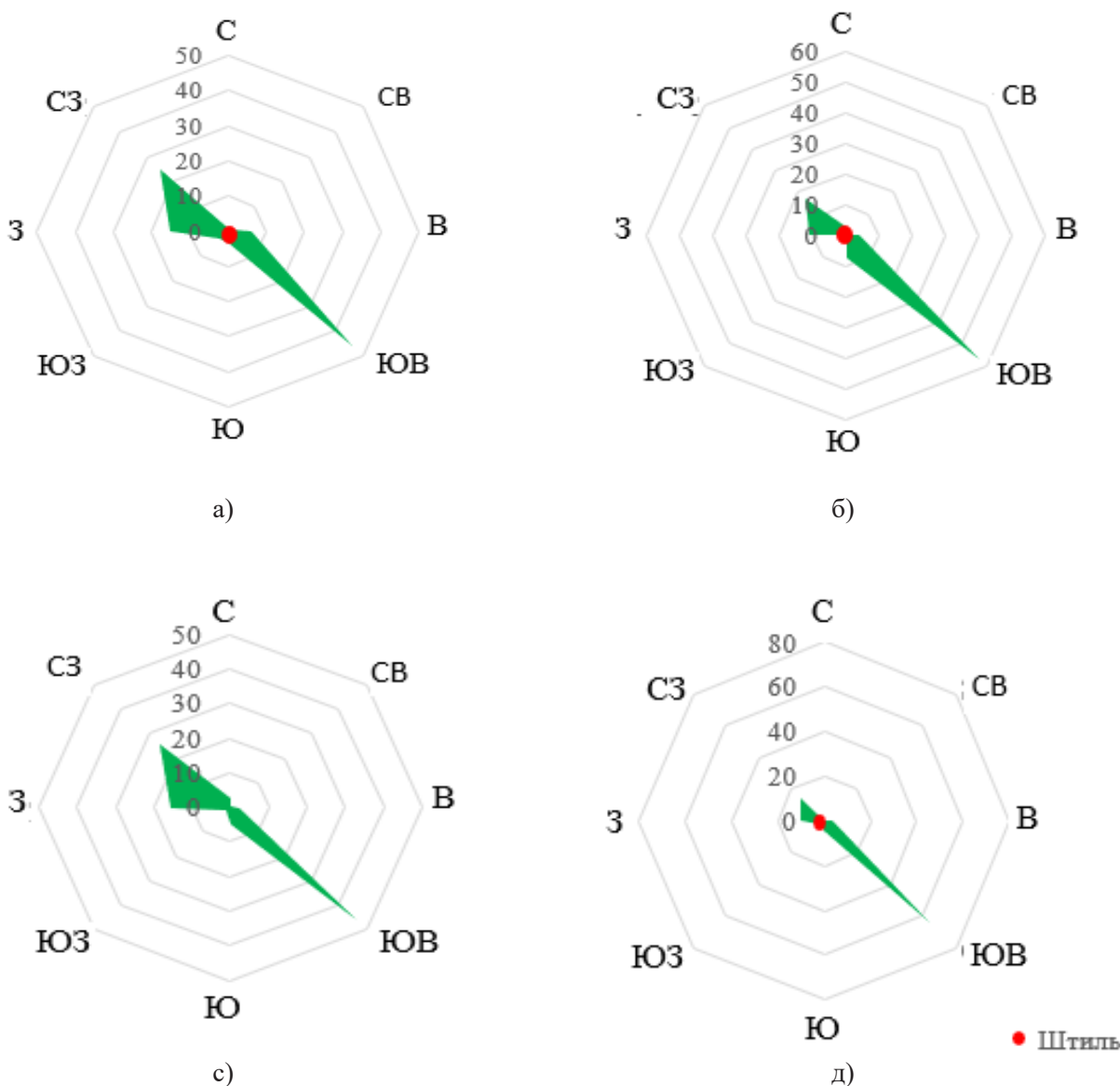


Рис.1. Розы ветров, наблюдаемые в различных диапазонах МДВ 601...1000 м. (а), 401...600 м. (б), 201...400 м. (с), 0...200 м. (д) по многолетним данным

Исследование показывает, что плотность тумана увеличивается в основном в безветренную погоду и снижаются показатели МДВ. По многолетним данным при адвективно-радиационных туманах скорость ветра менее 3 м/с имеет долю повторяемости 54 %, а ветры в пределах 4...7 м/с 43 %.

Более высокие скорости ветра наблюдались в пределах видимости 401...1000 м (Табл. 2).

В исследовании учитывались также повторяемости пределов МДВ при адвективно-радиационных туманов в районах, расположенных в акватории Апшерона.

Таблица 2

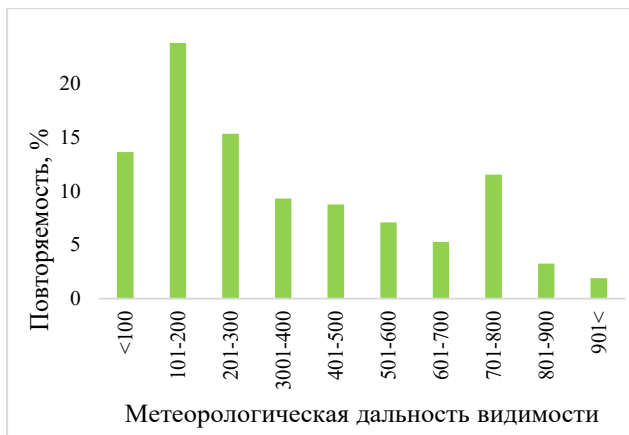
Многолетние вариации МДВ (%) и скорости ветра в адвективно-радиационных туманах

Скорость, м/с	Метеорологическая дальность видимости, м			
	1...200	201...400	401...600	601...1000
< 3	68.4	50.2	45.0	45.9
4...7	30.0	48.5	49.4	49.5
8...12	0.3	0.9	5.6	4.1
13 <	0.0	0.0	0.0	0.0
Штиль	1.3	0.4	0.0	0.5

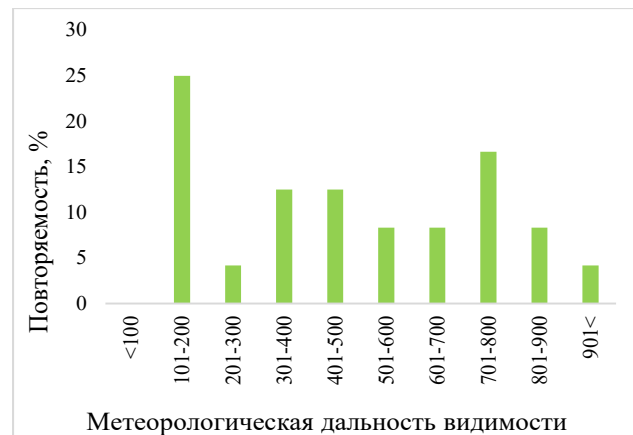
Анализ таблицы показывает, что адвективно-радиационные туманы чаще всего наблюдаются при скорости ветра до 7 м/сек.

На рисунке 2 приведена повторяемость адвективно-радиационных туманов на Апшеронском полуострове и на островах по различным градациям метеорологической

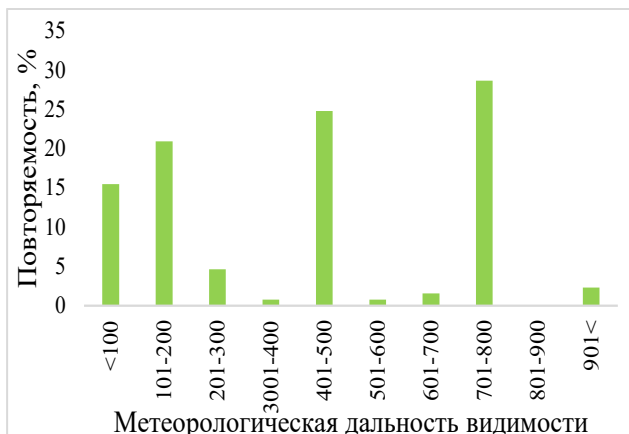
дальности видимости. Анализ показывает, что наибольшее повторяемость метеорологической дальности видимости в пределах 101...200 м наблюдается на суше. В море чаще всего метеорологическая дальность видимости при адвективно-радиационных туманах составляет 401...500 м.



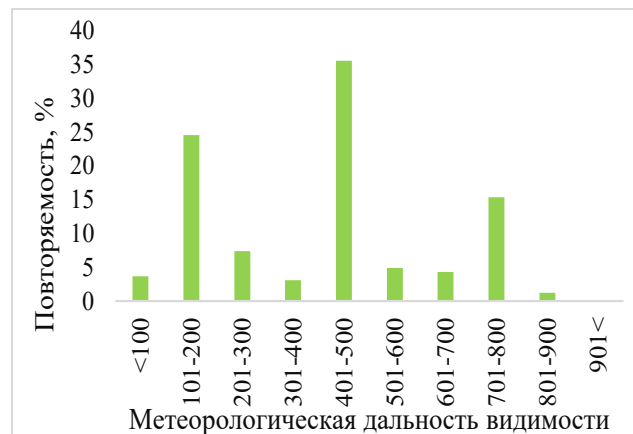
а)



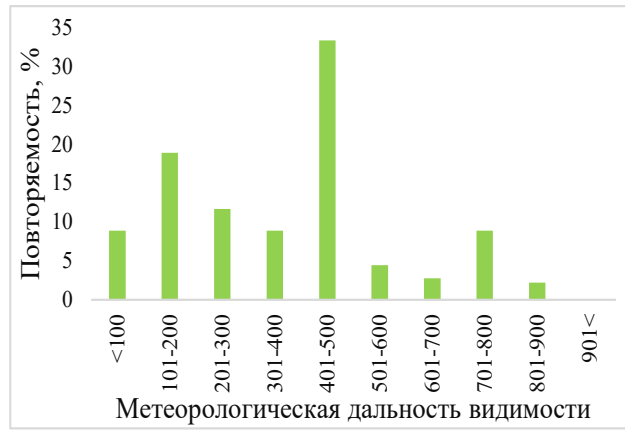
б)



в)



г)



е)

Рис. 2. Повторяемость (%) адвективно-радиационного тумана на станциях Г.Алиев (а), Забрат (б), Пираллахи (с), Чилов (д), Нефт Дашилары (е) по градациям МДВ

На рисунке 3 приведен годовой ход адвективно-радиационных туманов на Апшеронском полуострове. Наибольшая повторяемость адвективно-радиационных туманов наблюдается с декабря по май месяцы, с максимумом в марте. В теплое полугодие повторяемость адвективно-радиационных туманов минимально.

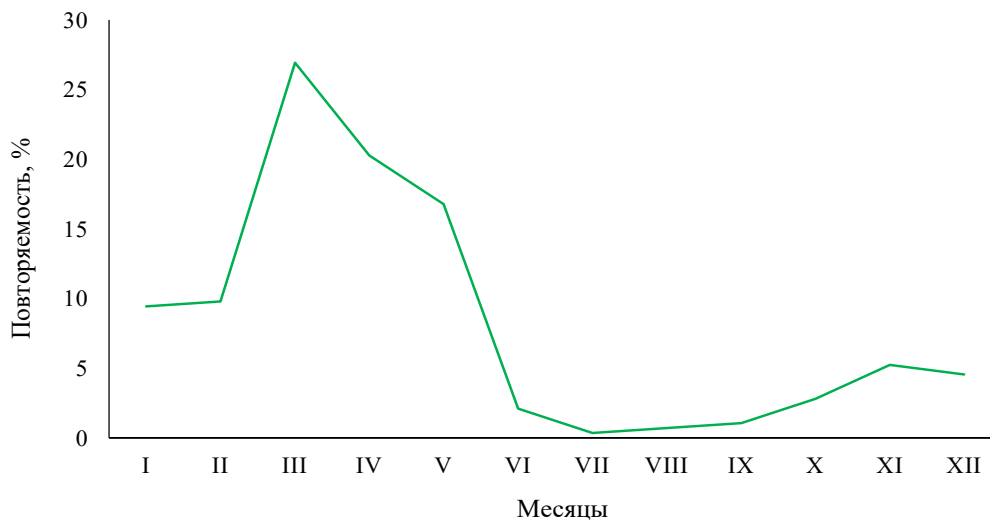


Рис. 3. Годовой ход адвективно-радиационных туманов (%) на Апшеронском полуострове, май...декабрь

На рисунке 4 представлен многолетний годовой ход повторяемости адвективно-радиационных туманов и динамика изменения температуры воздуха в аэропорту Г. Алиев. Анализ графика показывает, что за рассматриваемый период повторяемость адвективно-радиационных туманов уменьшается, в то же время температура воздуха увеличивается. Известно, что при образовании туманов основными факторами является температура и влажность воздуха. При снижении температуры воздуха до температуры точки росы, при высокой относительной влажности образовывается туман. Для

изучения условий образования туманов на той или иной территории основное внимание уделяется на термо и гигрометрические характеристики воздушных масс. С этой точки зрения в статье рассматривается распределение температуры воздуха. В результате региональных климатических изменений на рассматриваемой территории за 2000...2022 гг. температура воздуха увеличилась на 0,7...1,0 (Гусейнов Н.Ш. и др., 2015; Махмудов Р.Н., 2018; Учёт адвективных и трансформационных изменений температуры воздуха при прогнозе низких облаков в г. Баку, 2005; Huseynov N.Sh. и др., 2022).

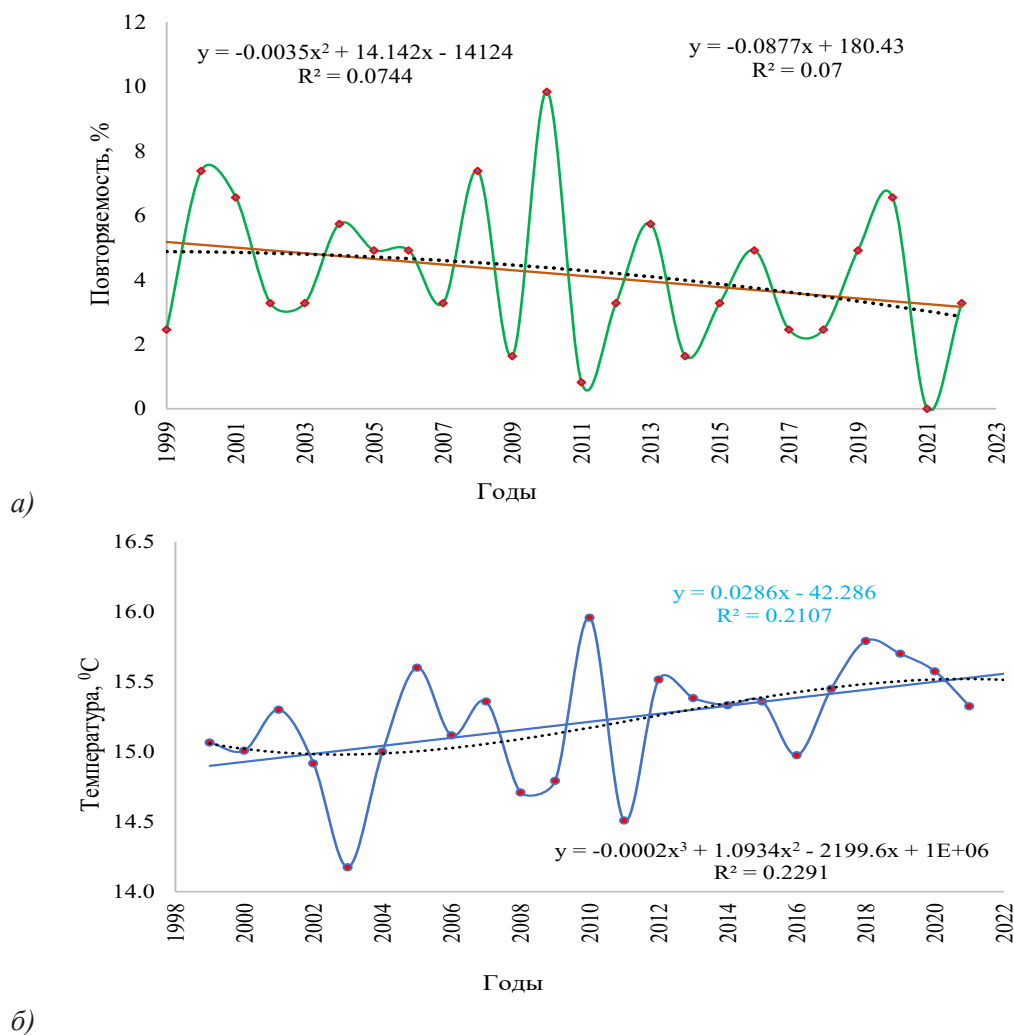


Рис. 4. Многолетний годовой ход повторяемости адвективно-радиационных туманов (а) и динамика температуры воздуха (б) в аэропорту Г. Алиева

Из-за современного изменения климата, увеличение температуры воздуха приводит к высушиванию воздушных масс, вследствие, чего уменьшается повторяемость туманов.

Криволинейный тренд, изображенный на графике, показывает, что годовая повторяемость туманов имеет тенденцию к уменьшению в течение многолетнего периода.

Было проведено статистическое уточнение, так как коэффициент детерминации этого криволинейного тренда не соответствует первоначальным условиям. Поскольку коэффициент детерминации этого криволинейного тренда не удовлетворяет исходному условию, ($R \geq 0.7$, $n \geq 10$) было проведено статистическое уточнение.

Криволинейный тренд статистически важен

для 23-летних рядов времени с вероятностью 90 % на уровне двустороннего значения ($2\alpha=0.1$).

В многолетнем периоде случайные величины располагаются в разных направлениях криволинейного тренда, в отдельные годы наблюдается большая средняя квадратическая погрешность, что требует добавления 3-летнего графика сглаживания.

Наклон кривой аппроксимации показывает, что, хотя снижение повторения туманов постепенно продолжалось примерно до 2013 года, оно немного ускорилось с 2014 года.

Тенденция аппроксимации статистически значима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате физико-метеорологических анализов адвективно-радиационных туманов

на Апшеронском полуострове и архипелаге в результате исследований получены следующие основные выводы:

1. При адвективно-радиационных туманах чаще всего наблюдались юго-восточные ветры (46...65 %), северо-восточные (14...26 %) и западные (10...16 %).

2. При адвективно-радиационных туманах с увеличением скорости ветра увеличивается и повторяемость юго-восточных ветров, МДВ прямо пропорциональна скорости ветра.

3. В исследуемом регионе адвективно-радиационные туманы наблюдаются в основном в холодное полугодие с максимумом в марте.

4. За исследуемый период в результате изменения климата температура воздуха увеличена на 0,7...1,0 °С, и наблюдается уменьшение количества туманов.

Анализ адвективно-радиационных туманов в Апшеронском районе будут использоваться в дальнейшем для их прогнозирования, планирования авиаперевозок, картографирования, оценка логистических интересов государства и организации транспортных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусейнов Н.Ш., Маликов Б.М., Мамедова Х.В. Физико-статистический анализ туманной погоды в международных аэропортах Азербайджанской Республики. Известия Национальной Академии Авиации. – 2013. – № 1. – С. 5.
2. Гусейнов Н.Ш., Маликов Б.М., Гаджиев А.Х., Мамедова Х.В. «Анализ температурного режима в международных аэропортах Азербайджанской Республики». Научные известия Национальной Академии Авиации. – 2013. – № 2.
3. Гусейнов Н.Ш., Акбарова Н.К. Анализ условий образования тумана в аэропорту Гейдар Алиев // Программа конференции «Проблемы развития транспорта Азербайджана», посвященной 91-летию со дня рождения Гейдара Алиева. – Национальная авиационная академия. – Баку, 6-7 мая 2014 г.
4. Гусейнов Н.Ш., Гаджиев А.Х. Оценка современной динамики температуры воздуха на Апшеронском полуострове // Материалы Республиканской научно-практической конференции по мировым экономическим условиям и экономико-географическому положению Азербайджана. – БГУ, 2017. – 285-290 с.
5. Агроклиматический атлас Азербайджанской Республики [Атлас]. – Баку: Государственный Геодезический Комитет Азербайджанской Республики, 1993. – 104 с.
6. Гусейнов Н.Ш., Султанов В.З., Меликов Б.М.

Динамика изменения температуры воздуха на Апшеронском полуострове // Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: материалы международной конференции. – Минск, 5-8 мая 2015 г. – С. 117-119.

7. Гусейнов Н.Ш. Синоптическая метеорология. – Баку: Сада, 2011. – С. 316.

8. Гусейнов Н.Ш., Набиев Р.Н., Султанов В.З. Анализ температуры воздуха в аэропорту Баку по данным AWOS // Ученые записки НАА. – 2002. – Т. 4, № 3. – С. 5.

9. Гусейнов Н.Ш. Вертикальное распределение метеорологических элементов в пограничном слое атмосферы // Труды РГГМУ. – 2006. – № 2. – С. 7.

10. Государственный Комитет СССР по Гидрометеорологии, Азербайджанское республиканское управление по гидрометеорологии. Климатический режим и метеорологические условия туманов в аэропорту Баку // – Баку: Азербайджанское республиканское управление по гидрометеорологии, 1988. – С. 52.

11. Ибрагимов Г. С. Оценка метеорологических условий при развитии особой ситуации в авиации, связанных с человеческим фактором // Баку: Материалы II научно-практической молодежной конференции с международным участием творческий потенциал молодежи в решении авиакосмических проблем, февральские чтения, Национальная Авиационная Академия, 2017. – С. 286.

12. Махмудов Р. Н. Современные изменения климата и опасные гидрометеорологические явления / Р. Н. Махмудов. – Баку: Национальная Авиационная Академия, 2018. – 232 с.

13. Национальный Атлас Азербайджанской Республики [Атлас] / – Баку: Государственный комитет по Земле и Картографии, - 2014. - 444 с.

14. Пыхтунова В.М. [и др.]. Справочник по климату СССР, Облачность и атмосферные явления. (Дагестанская АССР, Азербайджанская ССР и Нахичеванская АССР) – Ленинград: Гидрометеоиздат, –1970. –259 с.

15. Танрывердиев Х.К., Халилов Х.А., Халилов М. Ю. [и др.]. География Азербайджанской Республики. Физическая география [Том I] / – Баку: Европа, – 2015. – 530 с.

16. Учёт адвективных и трансформационных изменений температуры воздуха при прогнозе низких облаков в г. Баку // Метеорология и гидрология. – Москва, 2005. – № 7. – С. 6.

17. Шихлинский Э.М. [и др.]. Климат Азербайджана / – Баку: изд. Академии Наук Азерб. ССР, 1968. – С. 360.

18. Huseynov N.Sh., Huseynov J.S. Distribution of the Contemporary Precipitation Regime and the Impact of Climate Change on it within the Territory of Azerbaijan // Journal of Geography & Natural Disasters. – 2022. Vol. 12, Is. 4. – № 1000254, Pp. 1-7.

19. Huseynov N.Sh., Malikov B.M., Mammadova H.V. Physico-statistical analyses of foggy weather conditions at the International Airports of the Republic of Azerbaijan // Proceedings of the National Aviation Academy. – Baku, 2013.

20. Federal Aviation Administration (Электронный ресурс) URL: www.faa.gov/lessons_learned/transport_airplane/accidents/PH-BUF (дата обращения: 20.05.2024)

REFERENCES

- Guseinov N.Sh., Malikov B.M., Mamedova Kh.V. Fiziko-statisticheskii analiz tumannoi pogody v mezhdunarodnykh aeroportakh Azerbaidzhanskoi Respubliki. *Izvestiya Natsional'noi Akademii Aviatsii*. – 2013. – No 1. – P. 5.
- Guseinov N.Sh., Malikov B.M., Gadzhiev A.Kh., Mamedova Kh.V. «Analiz temperaturnogo rezhima v mezhdunarodnykh aeroportakh Azerbaidzhanskoi Respubliki». *Nauchnye izvestiya Natsional'noi Akademii Aviatsii*. – 2013. – No 2.
- Guseinov N.Sh., Akbarova N.K. Analiz uslovii obrazovaniya tumana v aeroportu Geidar Aliev // Programma konferentsii «Problemy razvitiya transporta Azerbaidzhana», posvyashchennoi 91-letiyu so dnya rozhdeniya Geidara Alieva. – Natsional'naya aviatsionnaya akademiya. – Baku, 6-7 maya 2014 y.
- Guseinov N.Sh., Gadzhiev A.Kh. Otsenka sovremennoi dinamiki temperatury vozdukha na Apsheronском полуострове // *Materialy Respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii po mirovym ekonomicheskim usloviyam i ekonomiko-geograficheskomu polozheniyu Azerbaidzhana*. – BGU, 2017. – 285-290 p.
- Agroklimaticheskii atlas Azerbaidzhanskoi Respubliki [Atlas] / -Baku: Gosudarstvennyi Geodezicheskii Komitet Azerbaidzhanskoi Respubliki, 1993. – 104 p.
- Guseinov N.Sh., Sultanov V.Z., Melikov B.M. Dinamika izmeneniya temperatury vozdukha na Apsheronском полуострове // *Problemy gidrometeorologicheskogo obespecheniya khozyaistvennoi deyatelnosti v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata: materialy mezhdunarodnoi konferentsii*. – Minsk, 5-8 maya 2015 y. – P. 117-119
- Guseinov N.Sh. *Sinopticheskaya meteorologiya*. – Baku: Sada, 2011. – P. 316.
- Guseinov N.Sh., Nabiev R.N., Sultanov V.Z. Analiz temperatury vozdukha v aeroportu Baku po dannym AWOS // *Uchenye zapiski NAA*. – 2002. – T. 4, № 3. – P. 5.
- Guseinov N.Sh. Vertikal'noe raspredelenie meteorologicheskikh elementov v pogranichnom sloe atmosfery // *Trudy RGGMU*. – 2006. – № 2. – P. 7.
- Gosudarstvennyi Komitet SSSR po Gidrometeorologii, Azerbaidzhanskoe respublikanskoe upravlenie po gidrometeorologii. *Klimaticheskii rezhim i meteorologicheskie usloviya tumanov v aeroportu Baku*// – Baku: Azerbaidzhanskoe respublikanskoe upravlenie po gidrometeorologii, 1988. – P.52.
- Ibragimov G. S. Otsenka meteorologicheskikh uslovii pri razvitiі osoboi situatsii v aviatsii, svyazannykh s chelovecheskim faktorom // Baku: *Materialy II nauchno-prakticheskoi molodezhnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem tvorcheskii potentsial molodezhi v reshenii aviakosmicheskikh problem, fevral'skie chteniya, Natsional'naya Aviatsionnaya Akademiya*, 2017. – P. 286.
- Makhmudov R. N. *Sovremennye izmeneniya klimata i opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya* / R. N. Makhmudov. – Baku: Natsional'naya Aviatsionnaya Akademiya, 2018. – P. 232.
- Natsional'nyi Atlas Azerbaidzhanskoi Respubliki [Atlas] / - Baku: Gosudarstvennyi komitet po Zemle i Kartografii, 2014. – P. 444.
- Pykhtunova V.M. [i dr.]. *Spravochnik po klimatu SSSR, Oblachnost' i atmosferynye yavleniya*. (Dagestanskaya ASSR, Azerbaidzhanskaya SSR i Nakhichevanskaya ASSR) – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970. – P. 259.
- Tanryverdiev X.K., Khalilov Kh.A., Khalilov M. Yu. [i dr.]. *Geografiya Azerbaidzhanskoi Respubliki. Fizicheskaya geografiya [Tom I]* / – Baku: Evropa, – 2015. – P. 530.
- Uchet advektivnykh i transformatsionnykh izmenenii temperatury vozdukha pri prognoze nizkikh oblakov v g. Baku // *Meteorologiya i gidrologiya*. – Moskva, 2005. – № 7. – P. 6.
- Shikhlin'skii E.M. [i dr.]. *Klimat Azerbaidzhana* / – Baku: izd. Akademii Nauk Azerb. SSR, – 1968. – P. 360.
- Huseynov N.Sh., Huseynov J.S. Distribution of the Contemporary Precipitation Regime and the Impact of Climate Change on it within the Territory of Azerbaijan // *Journal of Geography & Natural Disasters*. – 2022. Vol. 12, Is. 4. – № 1000254, Pp. 1-7.
- Huseynov N.Sh., Malikov B.M., Mammadova H.V. Physico-statistical analyses of foggy weather conditions at the International Airports of the Republic of Azerbaijan // Proceedings of the National Aviation Academy. – Baku, 2013.
- Federal Aviation Administration (Electronic resource) URL: www.faa.gov/lessons_learned/transport_airplane/accidents/PH-BUF (date of reference: 20.05.2024)

АПШЕРОН ТҮБЕГІНДЕГІ АДВЕКТИВТІ-РАДИАЦИЯЛЫҚ ТҰМАНДАРДЫҢ ҚАЙТАЛАНУЫ (ӘЗІРБАЙЖАН)

Х.В. Мамедова

Ұлттық авиация академиясы AZ1044, Баку, Әзірбайжан

E-mail: hajar.mammadova@azans.az

Мақалада Апшерон түбегінде және жақын аралдарда пайда болатын адвективті-радиациялық тұмандардың физикалық-метеорологиялық сипаттамалары, соның ішінде тұманның пайда болуына әсер ететін атмосфералық элементтердің метеорологиялық көріну қашықтығына тәуелділігі, айлық және көпжылдық тұман тенденциялары қарастырылады. Осы мақсатта 1999...2022 жылдардағы экваториядағы авиациялық метеорологиялық станциялардың бастапқы деректері пайдаланылды. Апшерон түбегі мен архипелагында теңізбен қоршалған тау массивтерінің болмауы, жыл бойына аймаққа әсер ететін ауа массалары оның синоптикалық жағдайларын анықтайды. Физика-метеорологиялық және статистикалық талдаулардың көмегімен, Апшерон экваториясында пайда болатын адвективті-радиациялық тұмандардың негізгі бөлігі наурыз...сәуір айларында қайталанатыны анықталды. Тұманның бұл түрінде метеорологиялық көріну диапазоны желдің жылдамдығына және аспанның күйіне байланысты өзгертіні анықталды. Адвективті-радиациялық тұман кезінде экваторияда оңтүстік-шығыс желдері жиі кездеседі. Талдаулар түбектегі орташа айлық және жылдық ауа температурасының жоғарылауы соңғы кездері адвективті-радиациялық тұмандардың қайталануына әсер еткенін көрсетеді. Тұманның кеңістіктік-уақыттық таралуын зерттеу авиацияның жұмысын тиімді ұйымдастыруға жағдай жасай алады.

Түйін сөздер: тренд, корреляция, климаттық өзгерістер, метеорологиялық көріну қашықтығы (МКК), физико-метеорологиялық талдау, жел өрнек.

REPEATIBILITY OF ADVECTIVE-RADIATION FOG OVER THE ABSHERON PENINSULA (AZERBAIJAN)

H. Mammadova

National Aviation Academy AZ1044, Baku, Azerbaijan

E-mail: hajar.mammadova@azans.az

The article examines the physical and meteorological characteristics of advective-radiation fogs formed on the Apsheron Peninsula and nearby islands, including the dependence of atmospheric elements that influence the formation of fogs on the meteorological visibility range, monthly and long-term fog trends. For this purpose, the initial data of aviation meteorological stations in the water area for 1999...2022 were used. The absence of a large morphometric unit on the Apsheron Peninsula and the archipelago, surroundings by the sea, and air masses affecting the area throughout the year determine its synoptic conditions. With the help of physical-meteorological and mathematical-statistical analyses, it has been established that the bulk of advective-radiation fogs formed in the Apsheron waters are repeated in march...april. With this type of fog, it has been established that the range of meteorological visibility varies depending on wind speed and sky conditions. During the period of advective-radiation fogs, south-eastern winds are most often observed in the water area. Analyzes show that an increase in average monthly and annual air temperatures on the peninsula has recently affected the frequency of advective-radiation fogs. Studying the spatiotemporal distributions of fogs can create conditions for the effective organization of aviation work.

Keywords: climate change, meteorological visual range (MVD), physical and meteorological analysis, wind rose, trend, correlation.

Сведения об авторе/Автор туралы мәліметтер/Information about author:

Мамедова Хаджар Видадикызы - инженер по качеству, «Азербайджан Хава Йоллары» Закрытое Акционерное Общество «Азераеронавигация» Управление Воздушным Движением Международный аэропорт им. Гейдара Алиева, *hajar.mammadova@azans.az*

Мамедова Хаджар Видадикызы – сапа инженері, «Әзірбайжан Хава Йоллары» Жабық Акционерлік Қоғамы, «Әзіреронавигация» Гейдар Әлиев атындағы Халықаралық Әуе Қозғалысын Басқару әуежайы, *hajar.mammadova@azans.az*

Mammadova Hajar Vidadi - quality engineer, «Azerbaijan Hava Yolları» CJSC «Azeraeronavigation» Air Traffic Department Haydar Aliyev International Airport, *hajar.mammadova@azans.az*

СОСТОЯНИЕ КАРБОНАТНО-КАЛЬЦИЕВОГО РАВНОВЕСИЯ КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ЕРТИСС.М. Романова^{1*}, Е.Г. Крупа^{1,2}, А.С. Серикова¹¹РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан²ТОО «Казахстанское Агентство Прикладной экологии», Алматы, Казахстан

E-mail: sofiyarom@mail.ru

Приведены материалы собственных исследований карбонатно-кальциевого равновесия в казахстанской части бассейна р. Ертис, проведенных в июле 2023 г. Установлено, что реки и озера Ертисского бассейна различаются по состоянию карбонатно-кальциевого равновесия. Это различие обусловлено рядом факторов: карбонатной щелочностью, общей минерализацией, величиной рН, температурой воды, которые в свою очередь зависят от физико-географических условий региона. Реки Кара Ертис, его притоки и сам Ертис на всех участках имеют воду ненасыщенную карбонатом кальция, содержащую агрессивный CO_2 в концентрациях (0,02...5,50 мг/дм³), не представляющих опасности для бетонных сооружений на портландцементе. Величина пересыщения воды CaCO_3 в реках колеблется в пределах 0,03...0,92. В обособленных озерах Орловское, Курколь и Ески Ертис отмечалось превышение основных показателей равновесия по сравнению с реками, вода в них становится пересыщенной карбонатом кальция в среднем в 1,16...5,82 раза. Вода озера накопителя сточных вод Балкылдак не содержит агрессивный CO_2 , однако по содержанию нормируемых ионов магния, хлоридных и сульфатных ионов вода проявляет агрессивное действие на цементный камень гидротехнических сооружений разной степени.

Ключевые слова: карбонатное равновесие, насыщенность воды карбонатом кальция, ионный состав, величина рН, диоксид углерода, гидрохимия, экология.

Поступила: 19.02.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-71-86

ВВЕДЕНИЕ

Из числа подвижных равновесий между природными водами, газами и твердыми веществами важнейшим является карбонатно-кальциевое. Состоянием этого равновесия определяется ряд процессов, представляющих теоретический и практический интерес для гидрохимии, океанологии, гидробиологии, гидрогеологии, галургии и других наук, прямо или косвенно связанных с использованием воды.

Карбонатно-кальциевое равновесие хорошо изучено для морских и океанических вод (Dickson A.G. et al., 2007; Dabrowski Wojciech et al., 2010; Матвеева Н.П., Тарасов М.Н., 1974) и в меньшей степени для рек, водохранилищ и озер, особенно для водоемов аридной зоны (Никаноров А.М., 2015). Это связано с большим разнообразием морфометрических характеристик рек и озер, непостоянством химического состава воды в течение года по

сравнению с морской и океанической водой, что создает определенные трудности при исследовании карбонатной системы.

И тем не менее при гидрохимических исследованиях всестороннее изучение состояния карбонатно-кальциевого равновесия в природных водах является обязательным в настоящее время, поскольку вносит коррективы, например, в расчетах прогнозирования ионного и солевого состава вод при создании крупных водохранилищ в засушливой зоне (Достай Ж.Д. и др., 2012); прогнозирования коррозионных свойств природной воды в системах водоснабжения (Dabrowski W. et al., 2010); исследовании сорбции образовавшимися в воде кристаллами карбоната кальция микроэлементов (Алекин, Моричева, 1960; Попова Т.П., 1961), в том числе тяжелых металлов (Dabrowski A. et al., 2004; Кахраманов Н.Т., 2013; Годымчук А.Ю., 2003), биогенных элементов и

органических веществ (Климов Е.С., 2011; Романова С.М., 2012) и как следствие этого самоочищающей способности природных вод от загрязняющих веществ (Николаева Е.А., Громова О.Б., 2021); образовании накипи в технических оборудовании (Чичиров А.А. и др., 2010; Казимиров Е.К., Казимиров О.Е., 2017), характеристики воздействия природной воды на строительные сооружения из бетона (Мигунов В.Н., 2013); суффозионных процессов (Хоменко В.П., 2006). Состоянием карбонатно-кальциевого равновесия в значительной мере определяется интенсивность и направление биологических процессов в водоемах, процессов солеобразования в системе «природная вода-почва» (Минкина Т.М. и др., 2012), а также разнообразные условия растворения или осаждения карбонатов кальция в воде.

Растворимость CaCO_3 в воде может быть количественно учтена для любых условий путем расчета, но кинетика этого процесса весьма сложна из-за склонности CaCO_3 образовывать достаточно устойчивые пересыщенные растворы (Алекин О.А., Моричева Н.П., 1964; Минкина Т.М. и др., 2012).

Карбонатная система речных вод непосредственным образом связана с химическим выветриванием пород, слагающих бассейн реки, поскольку главным продуктом химического выветривания являются гидрокарбонаты кальция и магния. Появление этих продуктов в речных водах обусловлено растворением карбонатных минералов, находящихся в ложе реки (Bernier et al., 1983; Драйвер, 1985), а также химическим выветриванием глинистых минералов (Mortatti and Probst, 2003). Есть мнение, что процесс выветривания минералов через органические комплексоны (например, гумусовые вещества, многоосновные органические кислоты) с последующей их минерализацией объясняет существование гидрокарбонатных вод вне зависимости от минералогического состава водовмещающих пород (Bernier and Rao, 1997).

Геологическое строение бассейна реки Ертис довольно сложное, регион относится к южной части Западно-Сибирской плиты, сложенной породами осадочного, магматического и метаморфического генезиса от допалеозойских до современных возрастов,

а также к северо-восточной части Казахского мелкосопочника (Сарыарки) (Инсебаев Т.А. и др., 2007; Геологическое строение., 2000). Длительный континентальный период мезозоя создал благоприятные условия для развития процессов денудации и накопления в этой связи толщи коры выветривания. Рыхлые накопления кайнозоя в этой части области ограничены. Наибольшие области их развития приурочены к Приертиской равнине, где они совместно с отложениями мезозоя покрывают древний палеозойский фундамент. В формировании состава воды немаловажную роль играет и почвенный покров водосборной площади Ертиса и его притоков. Так, в Павлодарской области повсеместно распространены солонцы и солончаки, которые встречаются в комплексах с другими почвами, что объясняется близким залеганием третичных соленосных глин, сухостью климата и маловодностью. Они изобилуют на окраинах мелкосопочника, в котловинах соленых озер, на равнинах и в долинах рек (Инсебаев Т.А. и др., 2007).

Панин М.С. и Гельдымамедова Э.А. приводят данные, описывающие характерные физико-химические свойства каштановых почв, глубоко вскипающих маломощных и среднемощных легкосуглинистых и супесчаных, распространенных в г. Павлодар и области. Так, в этих почвах содержание гумуса 1,26...1,97 %, ила – 7,02...12,24 %, сумма фракции физической глины – 10,58...20,58 %, содержание карбонатов – 1,34...4,66 %, рН водной вытяжки 6,66...6,94. (Панин М.С., Гельдымамедова Э.А., 2006).

Важной характеристикой карбонатно-кальциевого равновесия является степень насыщенности воды CaCO_3 . Отрицательные ее значения указывают на склонность CaCO_3 к растворению, а положительные значения – к склонности карбоната кальция к осаждению. Причем карбонат кальция может осаждаться в разных формах: кальцит, арагонит, ватерит, монокарбонат кальция и гексакарбонат кальция, аморфный CaCO_3 . Так, аморфный CaCO_3 может осаждаться при сильном пересыщении в интервале значений рН от 6,5 до 9,5 (Roques H., 1996). Продукты растворения неустойчивой формы монокарбоната кальция могут различаться по составу, что необходимо

учитывать при исследовании карбонатного равновесия (Benefield L.D. et al., 1982).

На основании исследований карбонатного равновесия в поверхностных водах (Янатьева О.К., 1954; Эленбогена Р.Н., 1970; Матвеева Н.П., 1972; Матвеева, Тарасов, 1974; Романова, Кунанбаева, 2005; Федорова Т.К., 1968) установлено, что состояние насыщенности или пересыщенности природных вод CaCO_3 свидетельствует лишь о возможности образования осадка, т. е. далеко не всегда из пересыщенных растворов происходит выпадение осадка карбоната кальция. Осаждение или растворение CaCO_3 , связанное с удалением или поступлением ионов Ca^{2+} , HCO_3^- и CO_3^{2-} обусловлено, естественно, состоянием карбонатного равновесия, и приводит к изменению ионного состава природной воды, а именно класса, группы и даже типа воды.

Изучение карбонатно-кальциевого равновесия в речных водах СНГ показало, что насыщенность вод CaCO_3 в реках, текущих из влажных областей в засушливые, по мере аридизации климата увеличивается, и в теплый период они могут быть в 5...10 раз пересыщены CaCO_3 (Крюков, Шульц, 1955; Алекин, Моричева, 1955, 1957, 1959; Лазарев, 1957; Соколенко и др., 1981; Романова, 2012). Левченко В.М. и Ешимбаев Д. установили, что из пересыщенных до трех раз вод низовьев и дельты р. Амударьи CaCO_3 выпадает в осадок и используется водными организмами (Левченко В.М., Ешимбаев Д., 1969).

Ибрагимов А.И., исследуя состояние равновесия в бассейне р. Сырдарьи, установил значительные величины пересыщения (3,4...19,5) воды карбонатом кальция, особенно в воде притоков (Ибрагимов А.И. и др., 1973). Аналогичные выводы были получены и другими авторами на реках Иле (Романова С.М., 2003), Тобол (Ибрагимов М.А. и др., 1974). В воде оросительных систем в низовье р. Иле было отмечено выпадение хемогенного карбоната кальция в форме кальцита из пересыщенных вод в 35...40 раз (Романова С.М., 2003). Алекин О.А. и Моричева Н.П. (Алекин О.А., Моричева Н.П., 1961) на основании обобщения большого числа данных отмечали, что во вне паводковый период теплого времени года большинство рек центральной и южной части европейской территории России

(Волга, Дон, Кама, Обь, Енисей) при содержании ионов HCO_3^- в воде более 120 мг/дм³ и значении $\text{pH} > 8,0$ пересыщены в отношении CaCO_3 , однако выпадения в осадок карбоната кальция не наблюдалось. С другой стороны, реки с содержанием в воде $\text{HCO}_3^- < 60$ мг/дм³ при любых значениях pH , будут практически всегда не насыщены CaCO_3 .

Dabrowski W. с соавторами (2010) исследовал карбонатное равновесие речных вод Польши и на примере р. Раба установили, что концентрации агрессивного CO_2 были самыми высокими в речной воде, чему соответствовали отрицательные значения величины пересыщения карбонатом кальция. Ими не выявлена простая корреляция между CO_2 агр и величиной пересыщения, возможно, по причине низкой точности определения CO_2 . В связи с этим авторы рекомендуют использовать расчетные данные по концентрации диоксида углерода.

Сведений по изучению карбонатно-кальциевого равновесия в р. Ертис весьма ограничено. Отдельные вопросы этого равновесия в воде р. Ертис, в числе других рек СНГ, были рассмотрены в работах Н.М. Страхова, О.А. Алекина, Н.П. Моричевой. Впервые состояние карбонатно-кальциевого равновесия в воде рек Ертисского бассейна было детально исследовано в 1973...1975 гг. (Пильгук В.Я., 1975), продолжено в 1979...1982 гг. (Ибрагимов М.А. и др., 1986; Амиргалиев Н.А., 1981), разные годы с 1985...1994, 2005, 2012 гг. (Романова С.М., 2005, 2008, 2012; Достай Ж.Д. и др., 2012) на р. Ертис и канале им. Сатпаева (Ертис-Караганда). Так, М.А. Ибрагимовой с соавторами было установлено, что вода р. Ертис в верховье и среднем течении в многолетнем цикле (1979...1982 гг.) несколько отличалась по состоянию равновесия в разные сезоны года, содержала агрессивный диоксид углерода от 0,5 до 9,0 мг/дм³, была ненасыщенная карбонатом кальция, при этом величина пересыщения была постоянно меньше единицы.

С 2012 г. до настоящего времени исследование карбонатно-кальциевого равновесия в Ертисском бассейне в пределах Казахстанской части не проводилось. В июле 2023 г. нами начаты комплексные физико-химические исследования водных объектов казахстанской части бассейна р. Ертис.

Цель работы – изучить состояние карбонатного равновесия воды основных объектов бассейна Ертиса (р. Кара Ертис и его притоки, р. Ертис по его течению, пойменные озера Курколь, Орловское, Старица и озеро-накопитель сточных вод Балкылдак), выявить агрессивные свойства воды и возможность осаждения карбоната кальция в речной и озерной воде. Полученные данные можно учитывать при расчете водно-солевого баланса, выноса солей реками, разработке рекомендаций по предотвращению накипеобразования, разрушения гидротехнических сооружений на портландцементе, а также для учета сложных взаимосвязей между абиотическими и биотическими показателями гетерогенной природной экосистемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

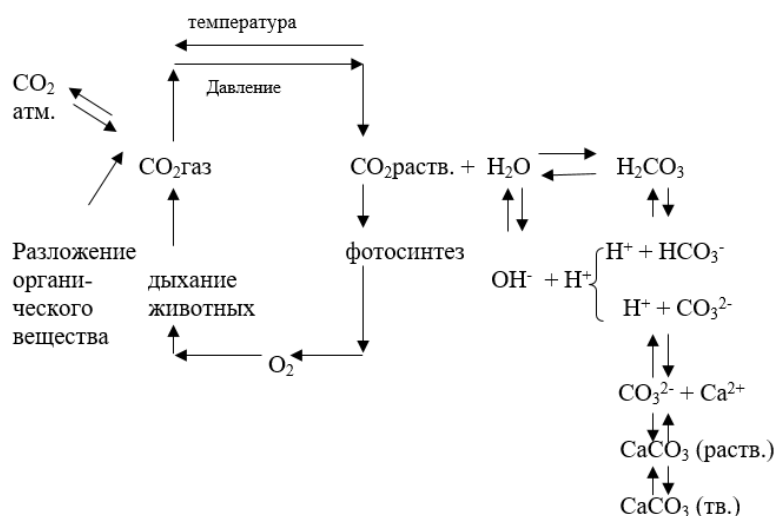
Сбор материала проводили в июле 2023 г. Было обследовано 6 водотоков, 3 озера и 1 озеро-накопитель сточных вод. Для гидрохимического анализа отобрано 44 пробы воды, в том числе 7 проб левобережных (р. Кендирлик, р. Жарлы) и правобережных (р. Калжыр, р. Куршим) притоках, 5 – в Кара Ертис, 22 – в реке Иртыш на территории Павлодарской и Абайской областей, 10 проб – в пойменных озерах Орловское, Курколь, Ески Ертис (Старица) и накопителе Балкылдак. Координатная привязка станций выполне-

на с помощью GPS-навигатора GarminTrex. Пробы воды отобраны в пределах восточных долгот 47.620...51.825 и северных широт 84.936...77.185 (рисунки 1,2).

В работе применялись полевые, лабораторные и расчетные методы анализа. Отбор проб воды, их хранение, транспортировка и подготовка к анализу проводилась в соответствии с рекомендациями Гидрохимического института и утвержденными ГОСТ РК Р 51593-2003 (Семенов А.Д., 1977; ГОСТ РК Р 51593 – 2003).

Химический анализ на содержание главных ионов проводился из неконсервированных проб по общепринятым в гидрохимической практике методам согласно межгосударственным стандартам, указанным в ГОСТ РК Р 51232-2003 (СТ РК ГОСТ Р 51232 – 2003; Семенов А.Д., 1977). Величина pH измерялась с помощью цифрового pH-метра AMTAST. Определение концентрации Ca^{2+} ионов проведено комплексонометрическим методом с индикатором мурексидом; ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} методом объемного прямого титрования с индикаторами фенолфталеином и метилоранжем.

Согласно современным представлениям, схема карбонатно-кальциевого равновесия имеет следующий вид* (Никаноров А.М., 2015).



*Линия, соответствующая давлению, направлена по часовой стрелке, температуре – против часовой стрелки.

Как видно из схемы, основными компонентами карбонатного равновесия являются: CO₂, H₂CO₃, HCO₃⁻, CO₃²⁻, Ca²⁺, aH⁺, взаимосвя-

занные между собой отдельными равновесиями. Каждое из отдельных равновесий с количественной стороны характеризуется

соответствующей константой, определяющей соотношение между концентрациями компонентов при данных условиях. Ионная сила раствора рассчитывалась как полу сумма произведений концентрации ионов в ммоль/дм³ эквивалент на квадрат заряда главных ионов, а величины коэффициентов активности ионов Ca²⁺, HCO₃⁻ и CO₃²⁻ были вычислены по формуле, приводимой в теории сильных электролитов (Еремин В.В. и др., 2019). Расчет содержания свободного, равновесного и агрессивного диоксида углерода, величины произведения активностей ионов Ca²⁺ и CO₃²⁻, величины пересыщения воды карбонатом

кальция произведен по методике и рекомендациям О.А. Алекина и Н.П. Моричевой (Алекин О.А., Моричева Н.П., 1965) и автора (Романова С.М., Пономаренко О.И., 2015) без учета образования ионных пар и комплексов.

В ходе анализа процент ошибок не превышал допустимых значений их погрешности. Все пробы воды анализировались в трехкратной повторности. Для получения достоверных выводов применялась математическая обработка (Чарыков А.К., 1984). Статистическую обработку результатов проводили с использованием Microsoft Excel 2010.

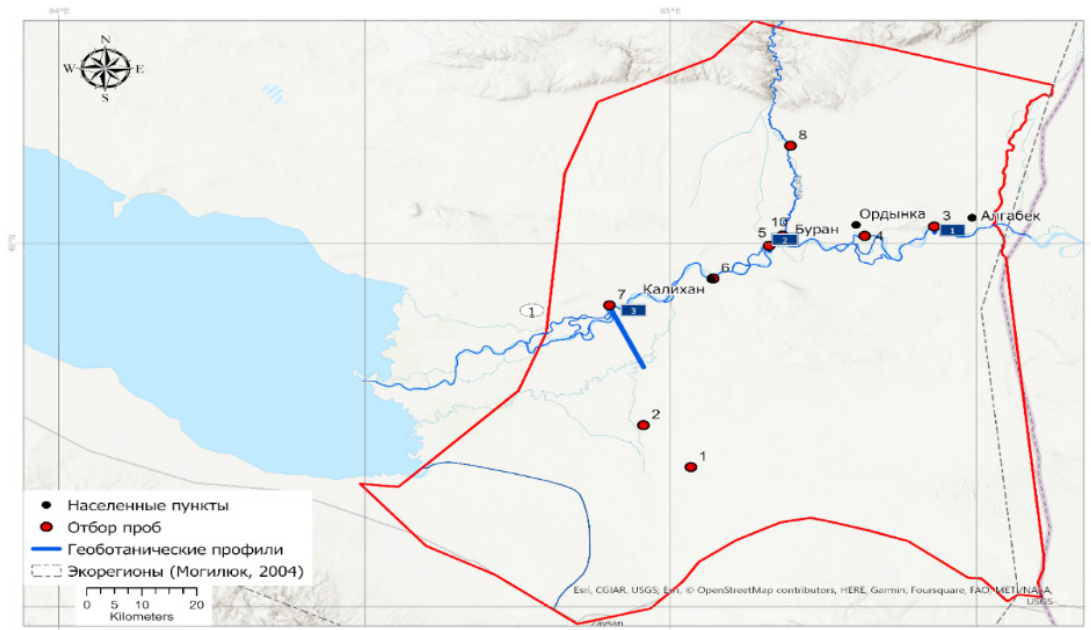


Рис 1. Карта бассейна р. Кара Ертыс с пунктами отбора проб воды

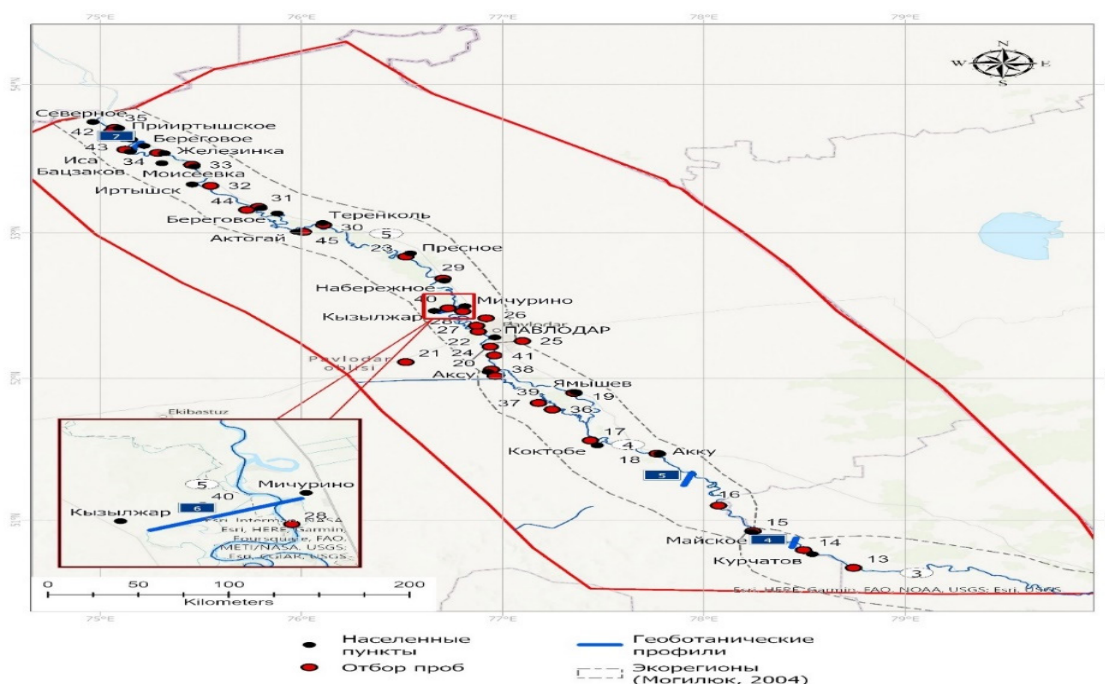


Рис 2. Карта бассейна р. Ертыс в пределах Павлодарской области

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поступление главных ионов, в том числе Ca^{2+} и HCO_3^- , в бассейн р. Ертис происходит не только за счет простого вымывания веществ из почв водосборной площади, донных отложений рек и озер, но и процессов, протекающих в системе «природная вода-почва» (выщелачивание, гидролиз и др.), а также внутриводоемных процессов (фотосинтез, сульфатредукция и др.).

Для р. Кара Ертис характерна очень малая минерализация воды (93,0...102,7 мг/дм³), в ионном составе хорошо выражено преобладание ионов Ca^{2+} и HCO_3^- , остальные главные ионы играют подчиненную роль. Корреляционная связь ионов кальция и гидрокарбонатных ионов с минерализацией достаточно тесная (средний коэффициент корреляции 0,82). Реакция водной среды слабо щелочная со значениями рН 7,10...7,72.

Разнообразие природно-климатических условий бассейна Ертиса обуславливают некоторые различия и в химическом составе воды отдельных притоков. Правобережные горные реки Калжыр и Куршим характеризуются малой и средней минерализацией (113,2...123,2 и 259,6...325,3 мг/дм³, соответственно), преобладанием HCO_3^- и Ca^{2+} в ионном составе. Значения рН воды в р. Куршим 7,38...7,72, а в р. Калжыр 7,32...7,47. Левобережные притоки Кендерлик и Жарлы, хотя и отличаются от правобережной большей маловодностью, тем не менее имеют ультрапресную воду (общая минерализация 89,3 и 101,9 мг/дм³, соответственно), преобладание в ионном составе также Ca^{2+} и HCO_3^- . Значение рН воды в этих притоках 7,94 и 7,74, соответственно. Итак, вода основного течения р. Кара Ертис и его притоков, кроме р. Куршим, может быть отнесена к классу ультрапресных, а р. Куршим – к пресным (Никаноров А.М., 2015).

Следующая серия проб была отобрана на участке среднего течения р. Ертис вниз по течению от г. Семей до границы Казахстана с Российской Федерацией (п. Урлютюб). На этом участке в р. Ертис не впадают притоки с постоянным расходом воды, (р. Шаган

является временным водотоком, пересыхающим в летнее время), русло реки разветвленное, местами извилистое с большим количеством островов. Общая минерализация воды р. Ертис изменяется в пределах 170,7...188,2 мг/дм³, из ионов преобладающими остаются Ca^{2+} (18,0...24,1 мг/дм³) и HCO_3^- (85,4...103,7 мг/дм³). На этом участке резко отличалась проба, отобранная выше г. Курчатова по течению основного русла, где минерализация достигла 638,1 мг/дм³, а преобладающими ионами стали SO_4^{2-} (343,5 мг/дм³) и Na^+ (157,7 мг/дм³), что естественно, отразилось на значениях ионной силы раствора, коэффициентах активности ионов, содержании диоксида углерода и величине пересыщения воды карбонатом кальция. Факт повышенной минерализации воды Ертиса на этом участке возможно связан с большим поступлением сульфатов с грунтовыми водами, инфильтрующимися через серосодержащие породы (Хамзина Ш.Ш., 2013). Значения рН воды на участке среднего течения р. Ертис 7,32...8,16.

В среднем течении были отобраны пробы из обособленных озер Ески Ертис (Старица), Орловское и Курколь с предельными значениями минерализации, соответственно, 236,8...251,7; 234,7...298,0 и 240,6...274,6 мг/дм³. Преобладающими ионами в воде оз. Ески Ертис и Курколь являлись Ca^{2+} и HCO_3^- , а в воде оз. Орловское Na^+ и HCO_3^- . Вода озер более щелочная, чем в основном русле Ертиса, здесь значения рН изменяются в пределах 7,92...9,45 при максимальном значении в оз. Орловское.

Исследовано также заброшенное озеро-накопитель (отстойник) Балкылдак, находящийся в пределах черты г. Павлодара. Вода в нем повышенной солености (19400 мг/дм³), метаморфизованная, с явным преобладанием ионов натрия (28,5 % от суммы ионов) и хлоридных ионов (56,1 % от суммы ионов). На долю ионов кальция и гидрокарбонатных ионов приходится всего 0,18 и 0,02 % от суммы ионов, соответственно.

Показатели, характеризующие состояние равновесия в воде исследуемых объектов различны (таблицы 1,2, рисунки 3,4).

Таблица 1

Пределные значения основных компонентов карбонатно-кальциевого равновесия
в Ертисском бассейне, июль 2023 г.

Значение	Т°С	аН.10 ⁻⁸	СО ₂ , мг/ дм ³			СО ₃ ²⁻ ·10 ⁻⁶ , моль/дм ³	аСа.а СО ₃	*S/St
			свобод- ный	равно- весный	агрес- сивный			
р. Кендирлик, левый приток (п.Даир)								
min	26,5	1,51	1,10	0,15	1,20	3,83	0,78	0,17
max	28,7	1,82	1,43	0,17	1,10	2,87	0,51	0,12
р. Калжыр (правый приток)								
min	19,2	1,90	2,47	0,28	0,64	1,44	0,39	0,08
max	21,5	4,17	4,93	0,46	3,70	3,37	0,91	0,37
р. Куршим (правый приток)								
min	15,5	3,39	9,60	3,02	0,03	3,29	2,18	0,44
max	18,7	4,79	15,78	6,57	0,05	3,69	2,38	0,45
р. Кара Ертис								
min	22,7	3,80	3,30	0,14	2,81	0,55	0,11	0,03
max	23,5	7,94	7,89	0,31	5,50	1,22	0,29	0,06
р. Ертис (выше г. Павлодар)								
min	23,8	0,69	1,03	0,81	0,02	3,93	1,90	0,41
max	25,9	2,19	2,70	1,11	0,28	12,32	4,19	0,92
р. Ертис (г. Павлодар)								
min	23,1	2,04	3,15	0,96	0,19	3,07	1,26	0,27
max	25,7	2,63	4,00	1,31	0,74	4,53	1,85	0,41
р. Ертис (ниже г. Павлодар)								
min	24,4	1,32	1,84	0,80	0,14	2,50	0,97	0,21
max	25,7	3,16	4,53	1,20	1,54	7,01	2,62	0,59
Ески Ертис, п. Костомар (Старица)								
min	24,6	0,96	1,92	2,33	0	11,46	4,68	1,02
max	25,1	1,12	2,24	2,51	0	12,24	5,82	1,27
оз. Орловское								
min	22,6	0,03	0,02	0,14	0	9,30	4,21	0,89
max	23,0	1,20	2,43	2,16	0,12	269,9	69,95	14,75
оз. Курколь (выше г. Аксу)								
min	21,7	0,35	0,71	3,03	0	18,62	9,35	1,95
max	22,1	0,64	1,43	2,24	0	29,59	14,60	3,04
озеро накопитель Балкылдак								
	24,9	4,79	14,89	65,58	0	6,60	20,08	4,37

*Примечание: S/St величина пересыщения воды карбонатом кальция

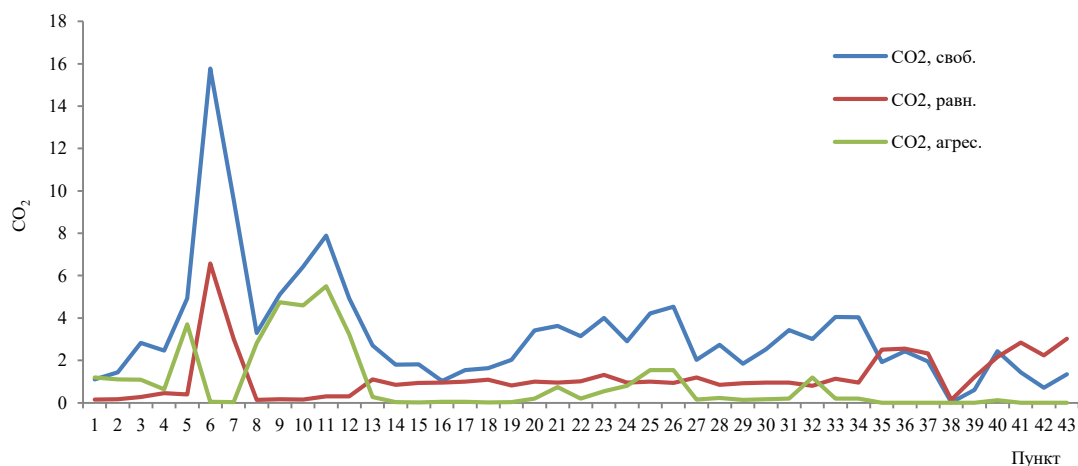


Рис.3. Содержание диоксида углерода (мг/дм³) в бассейне р. Ертис (без озера-накопителя Балкылдак)

Примечание: ось X – пункты отбора проб: 1-р. Кендирлик; 2-р. Жарлы; 3-7 р. Кара Ертис; 8-10 р. Калжыр; 11-12 – р. Куршим; 13-19 – р. Ертис, выше г. Павлодар; 20-22,24,25 – р. Ертис, г. Павлодар; 23,26-34 – р. Ертис, ниже г. Павлодар; 35-37 – оз. Орловское; 38-40- оз. Курколь; 41-43 – оз. Ески Ертис

Так, содержание свободного CO_2 в воде притоков Кендирлик (1,10 мг/дм³) и Жарлы (1,43 мг/дм³) больше его равновесной концентрации, соответственно, 0,15 и 0,17 мг/дм³. Это приводит к появлению агрессивного диоксида углерода (1,20 и 1,10 мг/дм³) и вода становится ненасыщенной карбонатом кальция, величина пересыщения меньше 1 (0,12 и 0,70). Вода горных притоков Калжыр и Куршим, имея меньшую температуру воды (15,5 °C и 20,7 °C), чем левобережные при-

токи Кендирлик и Жарлы (26,5 °C и 28,7 °C), содержит и больше свободного диоксида углерода (в среднем 3,41 и 12,69 мг/дм³) и равновесного диоксида углерода (в среднем 0,38 и 4,79 мг/дм³) (рисунок 3). При этом в воде притоков Калжыр и Куршим содержание CO_2 свободного больше равновесного в 2,6...9,0 раз, величина пересыщения воды карбонатом кальция меньше 1 (0,18 и 0,44), присутствует агрессивный CO_2 в количестве 0,04 и 1,81 мг/дм³, соответственно.

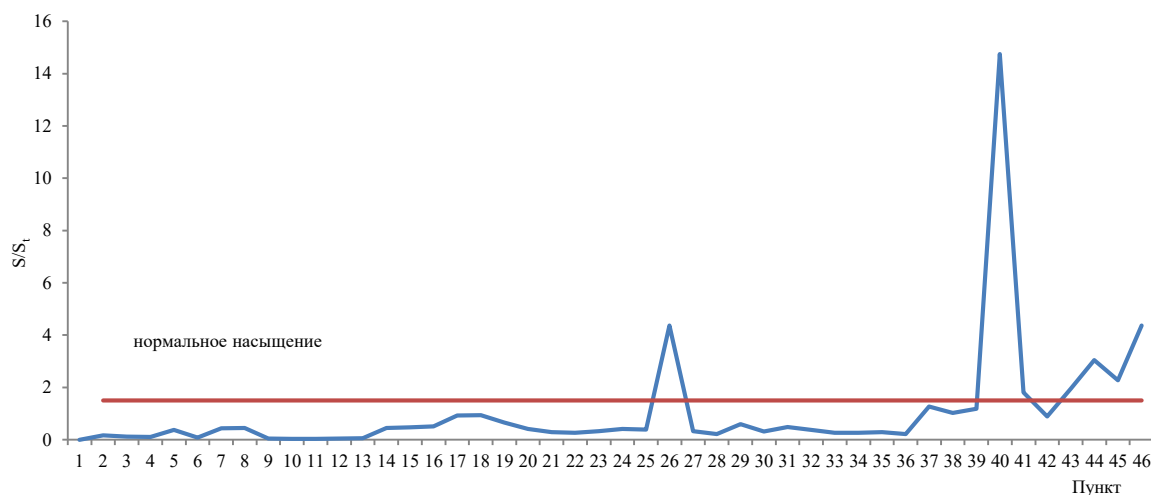


Рис.4. Величина пересыщения воды карбонатом кальция в бассейне р. Ертис, июль 2023 г.

Усл.обозн.: 1. р. Кендирлик; 2. р. Жарлы; 8...10. р. Калжыр; 11...12. р. Куршим; 3...7. р. Кара Ертис; 13...19. р. Ертис, выше г. Павлодара; 20...22,24. р. Ертис, район г. Павлодара; 23,27...36. р. Ертис, ниже г. Павлодара; 43...45. оз. Ески Ертис (Старица); 37...39. оз. Орловское; 40...42. оз. Курколь; 26. оз. Балкылдак

Таблица 2
Содержание CO_2 , CO_3^{2-} , величины произведения растворимости CaCO_3 и пересыщения воды карбонатом кальция в бассейне р. Ертис, среднее значение со стандартной ошибкой, июль 2023

Пункт отбора проб	CO_2 , мг/дм ³			$\text{CO}_3^{2-} \cdot 10^{-6}$, моль/дм ³	аCa.а CO_3	S/St
	свободный	равновесный	агрессивный			
р. Кендирлик	1,10	0,15	1,20	3,83	0,78	0,70
р. Жарлы	1,43	0,17	1,10	2,87	0,51	0,12
р. Калжыр	3,41±1,01	0,38±0,07	1,81±1,26	2,43±0,50	0,63±0,14	0,18±0,12
р. Куршим	12,69±3,09	4,79±1,77	0,04±0,01	3,49±0,20	2,28±0,1	0,44±0,01
р. Кара Ертис	5,53±1,30	0,21±0,07	4,18±0,92	1,16±0,23	0,24±0,05	0,04±0,01
р. Ертис, выше г. Павлодара	1,79±0,33	0,96±0,08	0,06±0,60	7,10±1,70	2,64±0,62	0,62±0,19
р. Ертис, район г. Павлодара	3,42±0,32	1,05±0,10	0,49±0,24	3,82±0,45	1,50±0,18	0,34±0,05
р. Ертис, ниже г. Павлодара	3,24±0,81	0,97±0,09	0,55±0,52	4,22±1,14	1,54±0,39	0,33±0,09
Ески Ертис (Старица)	2,10±0,22	2,47±0,09	0	11,98±0,34	5,30±0,41	1,16±0,09
оз. Орловское	1,07±0,94	1,27±0,69	0	100,4±112,9	27,5±28,2	5,82±5,95
оз. Курколь	1,16±0,30	2,70±0,31	0	23,19±4,27	11,62±1,99	2,42±0,41
оз. Балкылдак	14,89	65,58	0	6,60	20,08	4,37

В воде р. Кара Ерчис наблюдалось превышение содержания свободного диоксида углерода над равновесным в среднем на $5,32 \text{ мг/дм}^3$, присутствие агрессивного CO_2 в среднем $4,18 \text{ мг/дм}^3$.

На участке среднего течения р. Ерчис вниз по течению также было отмечено превышение концентрации CO_2 свободного над равновесным в среднем на $1,87 \text{ мг/дм}^3$ в районе выше г. Павлодара, на $2,37 \text{ мг/дм}^3$ в г. Павлодар и $2,27 \text{ мг/дм}^3$ ниже г. Павлодар и г. Аксу.

Реки Кара Ерчис и сам Ерчис на всех участках имеют воду ненасыщенную карбонатом кальция, содержащую агрессивный CO_2 ($2,81 \dots 5,50 \text{ мг/дм}^3$) и $0,02 \dots 1,54 \text{ мг/дм}^3$, соответственно) (таблица 1, рисунок 3). Величина пересыщения воды CaCO_3 колеблется в пределах $0,03 \dots 0,06$ в р. Кара Ерчис и $0,21 \dots 0,92$ в Ерчисе (рисунок 4). Следует отметить, что вода рек Кара Ерчис и его притоков, Ерчис обладает выщелачивающей агрессивностью, поскольку содержание HCO_3^- - ионов не превышает 120 мг/дм^3 (Пособие к СНиП..., 2006). Кроме того, поскольку в июле 2023 г. концентрация агрессивного CO_2 в исследуемых речных водах не превышает существующей нормы (больше 15 мг/дм^3), то такая вода не представляет опасности для бетона на портландцементе (Межгосударственный стандарт..., Пособие к СНиП..., 2006). Основные компоненты карбонатно-кальциевого равновесия воды р. Ерчис (г. Павлодар) и канала им. К. Сатпаева (г. Экибастуз), полученные автором настоящего сообщения в предыдущие годы, а именно в летний период 1980...1986 гг. и 1993 г. при исследовании накипеобразующих свойств воды, следующие: содержание CO_2 свободного $1,2 \dots 6,9$, CO_2 равновесного $0,2 \dots 1,3$, CO_2 агрессивного $0,2 \dots 2,0 \text{ мг/дм}^3$, величина пересыщения воды карбонатом кальция $0,3 \dots 0,8$ (Романова С.М., 2012). Эти данные согласуются с показателями за летний период 2023 г. Заметим, что в предыдущие годы максимальное содержание свободного и агрессивного диоксида углерода было несколько больше (на $4,2$ и $1,1 \text{ мг/дм}^3$, соответственно). Хотя содержание агрессивного диоксида углерода в воде р. Ерчис не превышает допустимых норм, тем не менее есть сведения, что вода рек Ерчисского бассейна оказывает разрушающее действие на бетон гидротехнических сооружений. Так, натурные исследования, проведенные в Бухтарминской бетонной плотине и бетоне напорных

сооружений Усть-Каменогорской ГЭС в период строительства, показали, что в процессе длительной фильтрации воды сквозь образующиеся трещины в бетоне происходит их постепенное разрушение, увеличение в объеме, а также локальное самоуплотнение (Мигунов В.Н., 2013).

Исследуя состояние карбонатно-кальциевого равновесия в озерах, было отмечено превышение равновесного содержания CO_2 над свободным в среднем в воде оз. Ески Ерчис на $0,37$, оз. Орловское – $0,20$ и оз. Курколь – $1,54 \text{ мг/дм}^3$. Озерная вода более щелочная, одной из причин которой является интенсивно протекающий фотосинтез с высвобождением OH^- ионов и свободного кислорода. Также в воде озер содержится большая концентрация CO_3^{2-} ионов (в среднем $11,98 \cdot 10^{-6} \dots 100,4 \cdot 10^{-6} \text{ моль/дм}^3$), чем в речной воде (в среднем $1,16 \dots 7,10 \text{ мг/дм}^3$). Все это приводит к пересыщению воды озер карбонатом кальция в $1,16 \dots 5,82$ раза, агрессивного CO_2 в воде не обнаружено (таблица 2, рисунок 4).

При таких величинах пересыщения из озерных вод возможно выпадение в осадок карбоната кальция. Это связано с изменениями содержания компонентов подвижного карбонатного равновесия. Так, при уменьшении концентрации свободной CO_2 (в процессе фотосинтеза или выделения в атмосферу) повышается значение рН и концентрация ионов CO_3^{2-} , и создаются условия для пересыщения воды CaCO_3 , что способствует сдвигу равновесия в сторону образования и осаждения карбоната кальция. Исследование корреляционных связей между компонентами карбонатного равновесия в бассейне Ерчиса позволили выявить очень тесную связь между величинами пересыщения воды карбонатом кальция и перманганатной окисляемостью (коэффициент корреляции $0,92$), что может свидетельствовать о стабильности карбонатной системы. Специальными исследованиями О.А. Алекина и Н.П. Моричевой на искусственных растворах и реках России доказано (1964), а многолетними работами на реках, озерах и водохранилищах Казахстана Романовой С.М. с соавторами (Романова С.М., Пономаренко О.И., 2015) подтверждено, что органическое вещество проявляет стабилизирующее действие на пересыщение природной воды карбонатом кальция. Корреляционная связь средней силы выявлена между величиной пересыщения и концентрацией карбонатных ионов (коэффициент корреляции $0,36$).

Вода озера накопителя сточных вод Балкылдак отличается самым высоким содержанием равновесного CO_2 , равного $65,58 \text{ мг/дм}^3$, которое превышает концентрацию свободного диоксида углерода в 4,4 раза и не содержит агрессивный CO_2 . Здесь величина пересыщения воды карбонатом кальция превышает нормальную величину произведения растворимости при данных условиях в 4,37 раза.

Вода озера накопителя не обладает выщелачивающей агрессивностью, поскольку содержание гидрокарбонатных ионов больше $120,0 \text{ мг/дм}^3$ (Пособие к СНиП...). Поскольку содержание главных ионов оказывает влияние на ионную силу раствора, необходимую для расчета компонентов карбонатного равновесия, сочли уместным дать характеристику агрессивности воды озера Балкылдак по нормируемым ионам (хлоридным, гидрокарбонатным и ионам магния). Известно, что агрессивное действие воды на цементный камень проявляется, начиная с концентрации 2500 мг/дм^3 хлоридных ионов (Межгосударственный стандарт..., Пособие к СНиП...). В воде озера Балкылдак концентрация Cl -ионов равна $10885,7 \text{ мг/дм}^3$, т.е. превышает норму в 4,4 раза. Кроме того, вода отстаивника по содержанию сульфатных ионов ($988,9 \text{ мг/дм}^3$), проявляет умеренное агрессивное воздействие, а по концентрации Mg^{2+} ионов ($912,0 \text{ мг/дм}^3$) - незначительное агрессивное воздействие на цементный камень гидротехнических сооружений, выщелачивая из него частицы композиционных материалов. Количественная сторона этого вопроса и практическое использование воды озера-накопителя Балкылдак требует дополнительных исследований. В связи с вышеизложенным рекомендуем использовать воду отстаивника Балкылдак с осторожностью, применяя необходимые меры по водоочистке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что реки и озера бассейна р. Ертис различаются по состоянию карбонатно-кальциевого равновесия. Это различие обусловлено рядом факторов: карбонатной щелочностью (содержанием гидрокарбонатных и карбонатных ионов, диоксида углерода, ионов кальция), общей минерализа-

цией, величиной pH, температурой воды, которые в свою очередь зависят от физико-географических условий района исследования.

Для р. Кара Ертис и его притоков Кендирлик, Жарлы, Калжыр и Куршим характерна малая и средняя минерализация воды ($89,3...102,7 \text{ мг/дм}^3$), классифицируется как ультрапресная и пресная, в ионном составе хорошо выражено преобладание ионов Ca^{2+} и HCO_3^- , остальные главные ионы играют подчиненную роль. Корреляционная связь ионов кальция и гидрокарбонатных ионов с минерализацией в воде рек достаточно тесная со средним коэффициентом корреляции 0,82. Реакция водной среды слабо щелочная со значениями pH $7,10...7,94$. Карбонатно-кальциевый состав воды Ертиса сохраняется и в летний период 2023 г.

Реки Кара Ертис, его притоки и сам Ертис на всех участках имеют воду ненасыщенную карбонатом кальция, содержащую агрессивный CO_2 ($2,81...5,50 \text{ мг/дм}^3$, $0,03...3,70 \text{ мг/дм}^3$ и $0,02...1,54 \text{ мг/дм}^3$, соответственно), в концентрациях, не представляющих опасности для бетонных сооружений на портландцементе. Величина пересыщения воды CaCO_3 колеблется в пределах $0,03...0,06$ в р. Кара Ертис, $0,08...0,45$ в притоках и $0,21...0,92$ в Ертисе.

В воде обособленных озер отмечено превышение равновесного содержания CO_2 над свободным в среднем на $0,20...1,54 \text{ мг/дм}^3$. Озерная вода более щелочная, содержит большую концентрацию CO_3^{2-} ионов (в среднем $11,98 \cdot 10^{-6}...100,4 \cdot 10^{-6} \text{ моль/дм}^3$), чем речная вода (в среднем $1,16...7,10 \text{ мг/дм}^3$), становится пересыщенной карбонатом кальция в $1,16...5,82$ раза и не содержит CO_2 агрессивного. Хемогенной садки карбоната кальция обнаружено не было.

Вода озера накопителя сточных вод Балкылдак отличается самым высоким содержанием равновесного CO_2 ($65,58 \text{ мг/дм}^3$), превышающее концентрацию свободного диоксида углерода и нормальную величину произведения растворимости при данных условиях в 4,4 раза. Вода оз. Балкылдак хотя не содержит агрессивный CO_2 , однако по содержанию нормируемых ионов магния, хлоридных и сульфатных ионов вода проявляет агрессивное действие на цементный камень гидротехнических сооружений

разной степени. Так, по содержанию хлоридных ионов агрессивное воздействие превышает норму в 4,4 раза, по содержанию сульфатных ионов (988,9 мг/дм³) проявляет умеренное воздействие, а по концентрации Mg²⁺ ионов (912,0 мг/дм³) - незначительное воздействие на бетон. Количественная сторона этого вопроса и практическое использование воды озера-накопителя Балкылдак требует дополнительных исследований.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта «Оценка состояния биоресурсов в казахстанской части бассейна Иртыша в условиях трансграничного использования водных ресурсов и климатических изменений» (ИРН: BR18574062-OT-23).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А., Моричева Н.П. К вопросу о происхождении и будущем ионного состава Аральского моря // Гидрохимические материалы. – 1955. – Т. 25. – С. 3-15.
2. Алекин О.А., Моричева Н.П. К вопросу о стабильности карбонатной системы в природных водах // ДАН СССР. – 1957. – Т. 117, №6. – С. 1030-1034.
3. Алекин О.А., Моричева Н.П. Стабильность карбонатной системы в природных водах // Труды III Всесоюзного гидрологического съезда. – 1959. – Т. 10. – С. 40-44.
4. Алекин О.А., Моричева Н.П. К изучению сорбции микроэлементов карбонатной системой природных вод // ДАН СССР. – 1960. – Т.133, №4. – С. 893-896.
5. Алекин О.А., Моричева Н.П. К вопросу о роли организмов и выделении карбонатов из природных вод // Гидрохимические материалы, – 1961. – Т. 34. – С. 95-106.
6. Алекин О.А., Моричева Н.П. Факторы, нарушающие пересыщенность растворов карбонатом кальция // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. –Т. 37. – С. 42-48.
7. Амиргалиев Н.А. Гидрохимия канала Иртыш-Караганда. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 199 с
8. Геологическое строение Казахстана/ Ред. Г.Р. Бекжанов. – Алматы. – 2000. – 396 с.
9. Годымчук А.Ю. Технология изготовления карбонатных сорбентов для очистки воды от катионов тяжелых металлов: Автореф. дис...канд. техн. наук. – Томск. – 2003. – 24 с.
10. Государственный стандарт Республики Казахстан. Вода питьевая. Отбор проб. СТ РК ГОСТ Р 51593 2003. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30015917&pos=22;–46#pos=22;–46
11. Государственный стандарт Республики Казахстан. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества СТ РК ГОСТ Р 51232 – 2003. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739359.pdf>
12. Достай Ж.Д., Романова С.М., Турсунов Э.А. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Том VII. Ресурсы речного стока Казахстана. Книга 3. Качество поверхностных вод Казахстана и вопросы международного вододелия (монография). – Алматы: Институт географии МОН РК. – 2012. – 216 с.
13. Достай Ж.Д., Романова С.М., Рыскалиева Р.Г. Ертiс гидроэкологиялык аймагынын суынын сапасы // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Сер. Хим. №1 (65). Материалы Межд. конф., посвященной 100-летию Беремжанова Б.А., Алматы, – 2012. – С.167-170.
14. Драйвер Дж. Геохимия природных вод. М.: Мир, 1985. – 440 с.
15. Еремин В.В., Каргов С.И., Успенская И.А., Кузьменко Н.Е., Лунин В.В. Основы физической химии. Ч.1. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория знаний. – 2019. – 348 с.
16. Ибрагимов А.И. Физико-химическая характеристика воды р.Сырдарья: автореф. ... дисс. канд. хим. наук: Алма-Ата. – 1973. – 33 с.
17. Ибрагимова М.А., Романова С.М., Беремжанов Б.А. Физико-химическое исследование воды р. Тобол // Химия и хим. технология. – Алма-Ата: Казахский университет. – 1974. – Т. 16. – С. 10-18.
18. Ибрагимова М.А., Беремжанов Б.А., Романова С.М., Таранина Г.В. Формирование гидрохимического режима водохранилища-охладителя Экибастузской ГРЭС-1 // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат. – 1986. – Т.XCVI. – С.142-154
19. Инсебаев Т. А., Азербайев А. Д., Абдрахманова А. Д., Рандюк И. В., Шегенова З. К. Павлодарская область: страницы истории (1938–2008). – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, – 2008. – Ч. 1. – 330 с.
20. Казимиров Е.К., Казимиров О.Е. Оптимальное решение проблемы накипеобразования в действующих водооборотных системах охлаждения // Водочистка, – 2017. – №12. – С.52-58.
21. Кахраманов Н.Т., Гаджиева Р.Ш., Гулиева А.М., Агагусейнова М.М. Состояние проблем сорбционной очистки воды от тяжелых металлов // Вода:Химия и Экология, №6, июнь – 2013. – С.40-52
22. Климов Е.С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод/ Е.С.Климов, М.В. Бузаева.- Ульяновск: УлГТУ. – 2011. – 201с.
23. Крюков П.А., Шульц Н.Е. О карбонатном равновесии в почвенных растворах // Гидрохимические материалы. – 1955. – Т. 23. – С.110-137.

24. Лазарев К.Г. Гидрохимический очерк равнинной части течения реки Аму-Дарья. М.: Изд-во АН СССР, – 1957. – 107 с.
25. Левченко В.М., Ешимбаев Д. Карбонатно-кальциевое равновесие в водоемах низовьев и дельты Аму-Дарьи // Гидрохимические материалы, – 1969. – Т. 51. – С.17-21
26. Матвеева Н.П. Изученность карбонатно-кальциево-горного равновесия в природных водах. Обнинск, – 1972. – 40с.
27. Матвеева Н.П., Тарасов М.П. Влияние некоторых факторов на выделение CaCO_3 из искусственных растворов и природных вод // Гидрохимические материалы, – 1974. – Т. 61. – С. 62-73.
28. Межгосударственный стандарт. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. ГОСТ 31384-2008.
29. Мигунов В.Н. Экспериментально-теоретическое исследование коррозии и долговечности железобетонных конструкций с трещинами. Часть 1: моногр. / В.Н. Мигунов. – Пенза: ПГУАС, – 2013. – 332 с.
30. Минкина Т.М., Ендовицкий А.П., Калинин В.П., Федоров Ю.А. Карбонатно-кальциевое равновесие в системе вода-почва. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, – 2012. – 376 с.
31. Моричева Н.П., Алекин О.А. Временная инструкция по определению рН, CO_2 свободной, равновесной, агрессивной. – М.: Наука, – 1965. – 18 с.
32. Никаноров А.М. Фундаментальные и прикладные проблемы гидрохимии и гидроэкологии. – Ростов н/Дону: Из-во ЮФУ, – 2015. – 573с.
33. Николаева Е.А., Громова О.Б. Влияние основных факторов на самоочищение природных вод // Международный научно-исследовательский журнал, – 2021. – №4(106), ч.2. – С.19-23. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.028>
34. Панин М.С., Гельдымамедова Э.А. Эколого-геохимическая характеристика почв г. Павлодара Республики Казахстан // Вестник. Том. гос. ун-та. – 2006. – № 292-1. – С. 171–177.
35. Пильгук В.Я. Физико-химия воды р.Иртыш в условиях создания водохранилищ: автореф... канд. хим. наук. – Алма-Ата: КазГУ. – 1975. – 30 с.
36. Попова Т.П. О совместном осаждении некоторых микрокомпонентов природных вод с карбонатом кальция // Геохимия. – 1961. – Т. 12. – С. 14-21.
37. Пособие к СНиП 2.03.11-85 Защита от коррозии бетонных и железобетонных строительных конструкций. М.: ФГУП ЦПП, 2006 – 91 с.
38. Романова С.М., Кунанбаева Г.С. Карбонатно-кальциевое равновесие в природных водах (учебное пособие). Алматы: Казахский университет, – 2005. – 32 с.
39. Романова С.М. Гидрохимия и гидроэкология оросительных систем Республики Казахстан (бассейн р. Или). – Алматы: ДООИВА Братство, – 2003. – 181 с.
40. Романова С.М. Характеристика гидрохимического режима канала Ертис-Караганда. Сообщение 5. Накипеобразующие свойства воды // Гидрометеорология и экология, – 2008. – Вып. 2-3 (49-50. – С. 99-104).
41. Романова С.М., Пономаренко О.И. Химические равновесия в природных водах. – Алматы: Қазақ ун-ті, – 2015. – 180с.
42. Романова С.М. Бессточные водоемы Казахстана. Том 2. Качество воды: учебное пособие. – Алматы: Қазақ университеті, – 2012. – 165 с.
43. Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1977. – 541 с.
44. Соколенко Э.А., Зеличенко Е.Н., Кавокин А.А. Теоретические основы процессов засоления-рассоления почв. Алма-Ата: Наука. – 1981. – 297 с.
45. Федорова Т.К. Исследование карбонатно-кальциевого равновесия в дождевых и поверхностных водах некоторых районов Средней Азии и Казахстана // Проблемы освоения пустынь. – Ашхабад. – 1968. – №1. – С. 67-71.
46. Хамзина Ш.Ш., Шарипова З.М., Омарова Г.М. Водные ресурсы Павлодарской области, их охрана и рациональное использование: Учебное пособие, – Павлодар: Инновац. Евраз. ун-т. – 2013. – 248 с.
47. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз сульфидных процессов. – М.: ГЕОС, – 2006. – 216 с.
48. Чарыков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа. – Л.: Химия. – 1984. – 168 с.
49. Чичиринов А.А., Чичирова Н.Д., Волков М.А., Мургазин А.И. Мониторинг физико-химических процессов в системе оборотного охлаждения Набережно-челнинской ТЭЦ // Проблемы энергетики. Известия вузов. – 2010. – №3-4. – С. 146-150.
50. Эленбогена Р.Н. Комплексообразование ионов в природных водах различной минерализации и химического состава и его назначение // Труды ВОДГЕО, – 1970. – Вып. 24. – С. 113-117.
51. Янатьева О.К. О физико-химической характеристике некоторых карбонатных пород // ДАН СССР. – 1954. – т. 94. – №4. – С.777-779.
52. Benefield L.D., Judkins J.F., Weand B.L., Process chemistry for water and wastewater treatment, Prentice-Hall, Inc. Englewoods Cliffs, New Jersey, – 1982. – 212 p.
53. Berner R.A., Rao J-L. Alkalinity buildup during silicate weathering under a snow cover. Aquatic Geochemistry, – 1997. – V.2. – P. 301-312.
54. Berner R.A., Lasaga A.G., Garrels R.M. The carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years. Amer. J. Sci., – 1983. – V. 283. – P. 641-683.
55. Dabrowski A. Selective removal of the heavy metals ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method / A. Dabrowski, Z. Hubicki, E. Robens // Chemosphere, – 2004. – V.56. – P. 91-105.

56. Dabrowski Wojciech, Buchta Robert, Dabrowska Barbara, Mackie R. Ian Calcium Carbonate Equilibria In Water Supply Systems//Environment Protection Engineering, – 2010. – Vol. 36. – No. 2. – P.75-94.
57. Dickson A.G., Sabine C.L. and Christian J.R. (Eds.). Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements. PICES Special Publication 3, – 2007. – 191p.
58. Mortatti J., Probst J.-L. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. Chem. Geology, – 2003. – V.197. – P.177-196.
59. Roques H., Chemical Water Treatment – Principles and Practice, VCH Publishers Inc., New York – Weinheim-Cambridge, – 1996. – 620p.
- ### REFERENCES
- Alekin O.A., Moricheva N.P. K voprosu o proiskhozhdenii i budushchem ionnogo sostava Aral'skogo morya // Gidrokhimicheskie materialy, –1955. – T. 25. – p. 3-15.
 - Alekin O.A., Moricheva N.P. K voprosu o stabil'nosti karbonatnoi sistemy v prirodnykh vodakh // DAN SSSR, – 1957. – T. 117. – №6. – p. 1030-1034.
 - Alekin O.A., Moricheva N.P. Stabil'nost' karbonatnoi sistemy v prirodnykh vodakh // Trudy III Vsesoyuznogo gidrologicheskogo s'ezda, – 1959. – T. 10. – p. 40-44.
 - Alekin O.A., Moricheva N.P. K izucheniyu sorbtsii mikroelementov karbonatnoi sistemoi prirodnykh vod// DAN SSSR, – 1960. – T.133, – №4. – p. 893-896.
 - Alekin O.A., Moricheva N.P. K voprosu o roli organizmov i vydelenii karbonatov iz prirodnykh vod// Gidrokhimicheskie materialy, – 1961. – T. 34. – p. 95-106.
 - Alekin O.A., Moricheva N.P. Faktory, narushayushchie peresyshchennost' rastvorov karbonatom kal'tsiya // Gidrokhimicheskie materialy. – L.: Gidrometeoizdat, – 1964. – T. 37. – p. 42-48.
 - Amirgaliev N.A. Gidrokimiya kanala Irtysh-Karaganda. – L.: Gidrometeoizdat, –1981. – 199p
 - Geologicheskoe stroenie Kazakhstana/ Red. G.R. Bekzhanov. – Almaty. – 2000. – 396 p.
 - Godymchuk A.Yu. Tekhnologiya izgotovleniya karbonatnykh sorbentov dlya ochistki vody ot kationov tyazhelykh metallov: Avtoref. dis...kand. tekhn. nauk. – Tomsk, – 2003. – 24 p.
 - Gosudarstvennyi standart Respubliki Kazakhstan. Voda pit'evaya. Otkorob. ST RK GOST R 51593 2003. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30015917&pos=22; – 46#pos=22; – 46
 - Gosudarstvennyi standart Respubliki Kazakhstan. Voda pit'evaya. Obshchie trebovaniya k organizatsii i metodam kontrolya kachestva ST RK GOST R 51232 – 2003. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739359.pdf>
 - Dostai Zh.D., Romanova S.M., Tursunov E.A. Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie. Tom VII. Resursy rechnogo stoka Kazakhstana. Kniga 3. Kachestvo poverkhnostnykh vod Kazakhstana i voprosy mezhdunarodnogo vododeleniya (monografiya). – Almaty: Institut geografii MON RK, – 2012. – 216p.
 - Dostai Zh.D., Romanova S.M., Ryskalieva R.G. Ertis gidroekologiyalyk aimagynyn suynyn sapasy// Vestnik KazNU im. Al'-Farabi. Ser. Khim. №1 (65). Materialy Mezhd. konf., posvyashchennoi 100-letiyu Beremzhanova B.A., Almaty, – 2012. – p.167-170.
 - Driver Dzh. Geokhimiya prirodnykh vod. M.: Mir, – 1985. – 440 p.
 - Eremin V.V., Kargov S.I., Uspenskaya I.A., Kuz'menko N.E., Lunin V.V. Osnovy fizicheskoi khimii. Ch.1. 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Laboratoriya znaniy, – 2019. – 348 p.
 - Ibragimov A.I. Fiziko-khimicheskaya kharakteristika vody r.Syrdar'i: avtoref. ... diss. kand. khim. nauk: Alma-Ata, – 1973. – 33 p.
 - Ibragimova M.A., Romanova S.M., Beremzhanov B.A. Fiziko-khimicheskoe issledovanie vody r. Tobol // Khimiya i khim. tekhnologiya. – Alma-Ata: Kazakhskii universitet. – 1974. – T. 16. – p. 10-18.
 - Ibragimova M.A., Beremzhanov B.A., Romanova S.M., Taranina G.V. Formirovanie gidrokhimicheskogo rezhima vodokhranilishcha-okhladitelya Ekibastuzskoi GRES-1// Gidrokhimicheskie materialy. – L.: Gidrometeoizdat. – 1986. – T.XCVI. – p.142-154
 - Insebaev T. A., Azerbaev A. D., Abdrakhmanova A. D., Randyuk I. V., Shegenova Z. K. Pavlodarskaya oblast': stranitsy istorii (1938–2008). – Pavlodar: PGU im. S. Toraigyrova, – 2008. – Ch. 1. – 330 p.
 - Kazimirov E.K., Kazimirov O.E. Optimal'noe reshenie problemy nakipeobrazovaniya v deistvuyushchikh vodooborotnykh sistemakh okhlazhdeniya // Vodoochistka, – 2017. – №12. – p.52-58.
 - Kakhrakhmanov N.T., Gadzhieva R.Sh., Gulieva A.M., Agaguseinova M.M. Sostoyanie problem sorbtsionnoi ochistki vody ot tyazhelykh metallov // Voda:Kimiya i Ekologiya, №6, iyun' – 2013. – p.40-52
 - Klimov E.S. Prirodnye sorbenty i kompleksy v ochistke stochnykh vod/ E.S.Klimov, M.V. Buzaeva.- Ul'yanovsk: UIGTU, – 2011. – 201p.
 - Kryukov P.A., Shul'ts N.E. O karbonatnom ravnesii v pochvennykh rastvorakh // Gidrokhimicheskie materialy, – 1955. – T. 23. – p.110-137.
 - Lazarev K.G. Gidrokhimicheskii ocherk ravninnoi chasti techeniya reki Amu-Dar'ya. M.: Izd-vo AN SSSR, – 1957. – 107 p.
 - Levchenko V.M., Eshimbaev D. Karbonatno-kal'tsievoye ravnesie v vodoemakh nizov'ev i del'ty Amu-Dar'i // Gidrokhimicheskie materialy, – 1969. – T. 51. – p.17-21
 - Matveeva N.P. Izuchennost' karbonatno-kal'tsievogo ravnesiya v prirodnykh vodakh. Obninsk, – 1972. – 40 p.
 - Matveeva N.P., Tarasov M.P. Vliyaniye nekotorykh faktorov na vydeleniye SaSO₃ iz iskusstvennykh rastvorov i prirodnykh vod // Gidrokhimicheskie materialy, – 1974. – T. 61. – p. 62-73.

28. Mezghosudarstvennyi standart. Zashchita betonnykh i zhelezobetonnykh konstrukttsii ot korrozii. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. GOST 31384-2008.
29. Migunov V.N. Eksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie korrozii i dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstrukttsii s treshchinami. Chast' 1: monogr. / V.N. Migunov. – Penza: PGUAS, – 2013. – 332 p.
30. Minkina T.M., Endovitskii A. P., Kalinichenko V.P., Fedorov Yu.A. Karbonatno-kal'tsievoe ravnovesie v sisteme voda-pochva. – Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, – 2012. – 376 p.
31. Moricheva N.P., Alekin O.A. Vremennaya instrukttsiya po opredeleniyu rN, SO₂ svobodnoi, ravnovesnoi, agressivnoi. – M.: Nauka, – 1965. – 18 p.
32. Nikanorov A.M. Fundamental'nye i prikladnye problemy gidrokhimii i gidroekologii. – Rostov n/Donu: Iz-vo YuFU, – 2015. – 573 p.
33. Nikolaeva E.A., Gromova O.B. Vliyanie osnovnykh faktorov na samoochishchenie prirodnykh vod// Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal, – 2021. – №4(106), ch.2. – p.19-23. DOI:https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.028
34. Panin M.S., Gel'dymamedova E.A. Ekologo-geokhicheskaya kharakteristika pochv g. Pavlodara Respubliki Kazakhstan // Vestnik. Tom. gos. un-ta. – 2006. – № 292-I. – p. 171–177.
35. Pil'guk V.Ya. Fiziko-khimiya vody r.Irtysh v usloviyakh sozdaniya vodokhranilishch: avtoref... kand. khim. nauk. – Alma-Ata: KazGU. – 1975. – 30 p.
36. Popova T.P. O sovместном osazhdenii nekotorykh mikrokomponentov prirodnykh vod s karbonatom kal'tsiya // Geokhimiya. – 1961. – T. 12. – p. 14-21.
37. Posobie k SNIIP 2.03.11-85 Zashchita ot korrozii betonnykh i zhelezobetonnykh stroitel'nykh konstrukttsii. – 91 p.
38. Romanova S.M., Kunanbaeva G.S. Karbonatno-kal'tsievoe ravnovesie v prirodnykh vodakh (uchebnoe posobie). Almaty: Kazakhskii universitet, – 2005. – 32 p.
39. Romanova S.M. Gidrokhimiya i gidroekologiya orositel'nykh sistem Respubliki Kazakhstan (bassein r. Ili). – Almaty: DOIVA Bratstvo, – 2003. – 181 p.
40. Romanova S.M. Kharakteristika gidrokhimicheskogo rezhima kanala Ertis-Karaganda. Soobshchenie 5. Nakipeobrazuyushchie svoistva vody//Gidrometeorologiya i ekologiya, –2008. – Vyp. 2-3 (49-50. – p. 99-104).
41. Romanova S.M., Ponomarenko O.I. Khimicheskie ravnovesiya v prirodnykh vodakh. – Almaty: Kazak un-ti, – 2015. – 180p.
42. Romanova S.M. Besstochnye vodoemy Kazakhstana. Tom 2. Kachestvo vody: uchebnoe posobie. – Almaty: Kazak universiteti, – 2012. – 165p.
43. Semenov A.D. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi. – L.: Gidrometeoizdat. – 1977. – 541 p.
44. Sokolenko E.A., Zelichenko E.N., Kavokin A.A. Teoreticheskie osnovy protsessov zasoleniya-rassoleniya pochv. Alma-Ata: Nauka. – 1981. – 297 p.
45. Fedorova T.K. Issledovanie karbonatno-kal'tsievogo ravnovesiya v dozhdevykh i poverkhnostnykh vodakh nekotorykh raionov Srednei Azii i Kazakhstana// Problemy osvoeniya pustyn'. – Ashkhabad. – 1968. – №1. – p. 67-71.
46. Khamzina Sh.Sh., Sharipova Z.M., Omarova G.M. Vodnye resursy Pavlodarskoi oblasti, ikh okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie: Uchebnoe posobie, – Pavlodar: Innovats. Evraz. un-t. – 2013. – 248 p.
47. Khomenko V.P. Zakonomernosti i prognoz suffuzionnykh protsessov. – M.: GEOS, – 2006. – 216 p.
48. Charykov A.K. Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov khimicheskogo analiza. – L.: Khimiya. – 1984. – 168 p.
49. Chichirov A.A., Chichirova N.D., Volkov M.A., Murgazin A.I. Monitoring fiziko-khimicheskikh protsessov v sisteme oborotnogo okhlazhdeniya Naberezhnochelninskoi TETs // Problemy energetiki. Izvestiya vuzov. – 2010. – №3-4. – p. 146-150.
50. Elenbogena R.N. Kompleksoobrazovanie ionov v prirodnykh vodakh razlichnoi mineralizatsii i khimicheskogo sostava i ego naznachenie // Trudy VODGEO, – 1970. – Vyp. 24. – p. 113-117.
51. Yanat'eva O.K. O fiziko-khimicheskoi kharakteristike nekotorykh karbonatnykh porod// DAN SSSR. – 1954. – t. 94. – №4. – C.777-779.
52. Benefield L.D., Judkins J.F., Weand B.L., Process chemistry for water and wastewater treatment, Prentice-Hall, Inc. Englewoods Cliffs, New Jersey, – 1982. – 212 p.
53. Berner R.A., Rao J-L. Alkalinity buildup during silicate weathering under a snow cover. Aquatic Geochemistry, – 1997. – V.2. – P. 301-312.
54. Berner R.A., Lasaga A.G., Garrels R.M. The carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years. Amer. J. Sci., – 1983. – V. 283. – P. 641-683.
55. Dabrowski A. Selective removal of the heavy metals ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method / A. Dabrowski, Z. Hubicki, E. Robens // Chemosphere, –2004. – V.56. – P. 91-105.
56. Dabrowski Wojciech, Buchta Robert, Dabrowska Barbara, Mackie R. Ian Calcium Carbonate Equilibria In Water Supply Systems//Environment Protection Engineering, – 2010. – Vol. 36. – No. 2. – R.75-94.
57. Dickson A.G., Sabine C.L. and Christian J.R. (Eds.). Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements. PICES Special Publication 3, – 2007. – 191p.
58. Mortatti J., Probst J.-L. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. Chem. Geology, – 2003. – V.197. – P.177-196.
59. Roques H., Chemical Water Treatment – Principles and Practice, VCH Publishers Inc., New York – Weinheim-Cambridge, – 1996. – 620p.

ҚАЗАҚСТАН БӨЛІГІНДЕГІ ЕРТІС ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНІҢ КАРБОНАТ-КАЛЬЦИЙ ТЕПЕ-ТЕНДІГІНІҢ ЖАЙ-КҮЙІ

С.М. Романова^{1*} з.ғ.д., Е.Г. Крупа^{1,2} б.ғ.д., А.С. Серікова¹

¹ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан

²«Қазақстан қолданбалы экология агенттігі» ЖШС, Алматы, Қазақстан

E-mail: sofiyarom@mail.ru

Мақалада Қазақстан бөлігіндегі Ертіс өзені бассейнінің карбонат-кальций тепе-теңдігі бойынша 2023 жылғы шілдеде жүргізілген зерттеулерінің материалдары келтірілген. Айырмашылық бірқатар факторларға байланысты: карбонатты сілтілік, жалпы минералдану, рН мөлшері, судың температурасы, олар өз кезегінде аймақтың физикалық-географиялық жағдайына байланысты. Қара Ертіс өзендері, оның салалары және Ертістің барлық учаскелерде кальций карбонатымен қанықпаған, құрамында коррозиялық CO_2 бар ($0,02...5,50$ мг/дм³), портландцементтегі бетон құрылымдарына қауіп төндірмейді. Өзендердегі CaCO_3 суының шамадан тыс қанығу мөлшері $0,03...0,92$ аралығында. Орловка, Күркөл және Ескі Ертіс оқшауланған көлдерде өзендермен салыстырғанда тепе-теңдіктің негізгі көрсеткіштерінің артуы байқалды, олардағы су кальций карбонатымен орта есеппен $1,16...5,82$ есе қаныққан. Балқылдақ сарқынды су жинақтағыш көлінің суында агрессивті CO_2 болмады, алайда нормаланатын магний иондарының, хлоридті және сульфатты иондардың құрамы бойынша су әртүрлі дәрежедегі гидротехникалық құрылыстардың цемент тасына агрессивті әсер етеді.

Түйін сөздер: Карбонат тепе-теңдігі, судың кальций карбонатымен қанықтылығы, иондық құрамы, рН мөлшері, көмірқышқыл газы, гидрохимия, экология.

THE STATE OF THE CARBONATE-CALCIUM EQUILIBRIUM OF THE KAZAKH PART OF THE ERTIS RIVER BASIN

S.M. Romanova^{1*} Doctor of Geographical Sciences, E.G. Krupa^{1,2} Doctor of Biological Sciences, A.S. Serikova¹

¹RSE «Institute of Zoology», Almaty, Kazakhstan

²LLP «Kazakhstan Agency of Applied Ecology», Almaty, Kazakhstan

E-mail: sofiyarom@mail.ru

The materials of our own studies of the carbonate-calcium equilibrium in the Kazakh part of the Ertis river basin, conducted in July 2023, are presented. It has been established that the rivers and lakes of the Ertis basin differ in the state of carbonate-calcium equilibrium. This difference is due to a number of factors: carbonate alkalinity, total mineralization, pH value, water temperature, which in turn depend on the physical and geographical conditions of the region. The Kara Ertis River, its tributaries and Ertis itself in all areas have water unsaturated with calcium carbonate, containing aggressive CO_2 in concentrations ($0.02...5.50$ mg/dm³), which do not pose a danger to concrete structures on Portland cement. The amount of supersaturation of CaCO_3 water in rivers ranges from $0.03...0.92$. In the isolated lakes Orlovskoye, Kurkol and Eski Ertis, an excess of the main equilibrium indicators was noted compared to rivers, the water in them becomes supersaturated with calcium carbonate by an average of $1.16...5.82$ times. The water of the Balkyldak wastewater storage lake does not contain aggressive CO_2 , however, according to the content of normalized magnesium ions, chloride and sulfate ions, the water shows an aggressive effect on the cement stone of hydraulic structures of varying degrees.

Keywords: carbonate equilibrium, water saturation with calcium carbonate, ionic composition, pH value, carbon dioxide, hydrochemistry, ecology.

Сведения об авторах/Information about authors/Авторлар туралы мәліметтер:

Романова С.М. – доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, *sofiyarom@mail.ru*

Крупа Е.Г. – доктор биологических наук, заведующий лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, *elena_krupa@mail.ru*

Серикова А.С. – научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, *serikova.aiz@mail.ru*

Романова С.М. – география ғылымдарының докторы, гидробиология және экотоксикология зертханасының бас ғылыми қызметкері, «Зоология институты» РМК, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, *sofiyarom@mail.ru*

Крупа Е.Г. – биология ғылымдарының докторы, «Зоология институты» РМК, гидробиология және экотоксикология зертханасының меңгерушісі, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, *elena_krupa@mail.ru*

Серикова А.С. – «Зоология институты» РМК, гидробиология және экотоксикология зертханасының ғылыми қызметкері, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, *serikova.aiz@mail.ru*

Romanova S.M. – Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, RSE «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, *sofiyarom@mail.ru*

Krupa Ye.G. – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, RSE «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, *elena_krupa@mail.ru*

Serikova A.S. – Researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, RSE «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, *serikova.aiz@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution:

Романова С.М. – разработка концепции, корректировка методологии, ресурсы, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

Крупа Е.Г. – разработка концепции, корректировка методологии, создание программного обеспечения

Серикова А.С. – проведение статистического анализа, проведение исследования

Романова С.М. – тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Крупа Е.Г. – әдістемені әзірлеу, әдістемені әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Серикова А.С. – статистикалық талдау, зерттеу жүргізу

Romanova S. – concept development, methodology development, resources, conducting research, preparing and editing the text, visualization

Krupa E. – concept development, methodology development, creating software, preparing and editing the text, visualization

Serikova A. – conducting statistical analysis, conducting research

ЭМУЛЯЦИЯ ПОКАЗАНИЙ ДАТЧИКОВ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ УМНОГО ГОРОДА

Р.И. Мухамедиев^{1,2} *д.и.н.*, А.Г. Терехов² *к.т.н.*, А.А. Оксененко¹, А.С. Еримбетова^{1,2*} *PhD., к.т.н.*, Я.И. Кучин^{1,2}, А. Сымагулов^{1,2}, Д.Р. Құсайын¹, П. Рыстыгулов¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

²Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан
E-mail: aigerian8888@gmail.com

Загрязненность воздуха городской среды представляет собой серьезную угрозу здоровью людей. Для ее контроля используются как отдельные датчики, так и системы, позволяющие оценить концентрацию пылевых частиц PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ и органических соединений. Однако, надежность системы датчиков не может быть 100 процентной. Время от времени те или иные датчики в распределенной системе выходят из строя. По этой причине весьма полезной является эмуляция их показаний на основании показаний оставшихся датчиков. В работе описан набор данных и предложена модель машинного обучения, которая на основе показаний работоспособных датчиков и погодных условий в местах сбора данных, моделирует показания датчика, вышедшего из строя. Оценена точность подобной эмуляции по отдельным видам загрязнений (коэффициент детерминации в пределах от 0.43 до 0.61).

Ключевые слова: качество воздуха, умный город, машинное обучение.

Поступила: 13.05.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-87-99

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды являются одной из серьезных проблем развития городов. Вследствие климатических особенностей, развития сельского хозяйства и промышленности, быстрого роста автомобильного транспорта, городов и недостаточного экологического контроля, ситуация в Казахстане одна из наиболее напряженных (Russell A. et al., 2018). Например, в 2022 году Казахстан занял 33-е место из 115 стран (чем выше место, тем выше загрязненность) по уровню загрязнения городов в мире (DKnews.kz, 2023). Устойчивый характер загрязненности связан как с географическими особенностями некоторых городов, находящихся в предгорных котловинах, как например, Алматы (рис.1), а также наличием промышленных производств, осуществляющих выбросы опасных веществ (например, Усть-Каменогорск).

Сказывается также недостаточное

количество и низкое качество полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) и возникающие вследствие этого стихийные свалки мусора.

Казахстан занимает второе место в мире по потреблению угля на душу населения в секторе домашних хозяйств (Kerimray A. et al., 2017). Парк автомобилей характеризуется высоким износом, а транспортные выбросы составляют почти треть всех выбросов в атмосферу (Әділет, 2023). Свой вклад вносит низкое качество топлива (Kazenergy, 2017). Основная часть производства электроэнергии и тепла (66 %) основана на сжигании угля (Kerimray A. et al., 2017, Karatayev M. et al.) при этом выделяется большое количество опасных загрязнителей воздуха. Совместно с выбросами автомобильного транспорта это делает воздушный бассейн Алматы (крупнейшего города Казахстана) наиболее загрязненным (Current Pollution Index, 2023, Kerimray A. et al., 2020). Как следствие наблюдается значительный рост легочных

заболеваний, почти вдвое превышающий средний уровень на постсоветском пространстве (Nugmanova D. et al., 2018). Снижение концентрации пылевых частиц является одним из путей решения этой серьезной социальной проблемы. Дополнительным средством является



Рис. 1. Иллюстрация котловинного воздушного загрязнения

Однако, как распределенная техническая система, портал обладает ограниченными возможностями предоставления данных вследствие естественного износа датчиков и возможных проблем связи. Для частичного решения данной проблемы в настоящей работе исследуется возможность эмуляции показаний датчиков качества воздушной среды на основе показаний ветровой модели потала Yandex и показаний датчиков, оставшихся работоспособными. Кроме этого, используя модель машинного обучения в работе исследуется влияние отдельных показателей погоды на результаты предсказаний.

Работа включает:

- Раздел Материалы и методы, который описывает данные, процесс их получения и применяемую модель машинного обучения.
- Раздел Результаты, где приводятся основные результаты многочисленных вычислительных экспериментов.
- Раздел Обсуждение результатов, где обобщаются и обсуждаются основные результаты.
- Заключение, в котором подводятся

применение систем информирования населения. Для этого нужны системы контроля концентрации пыли в воздухе.

В Казахстане имеются системы, информирующие жителей городов о состоянии загрязненности воздушной среды, например, портал airkaz.kz. (рисунок 2).

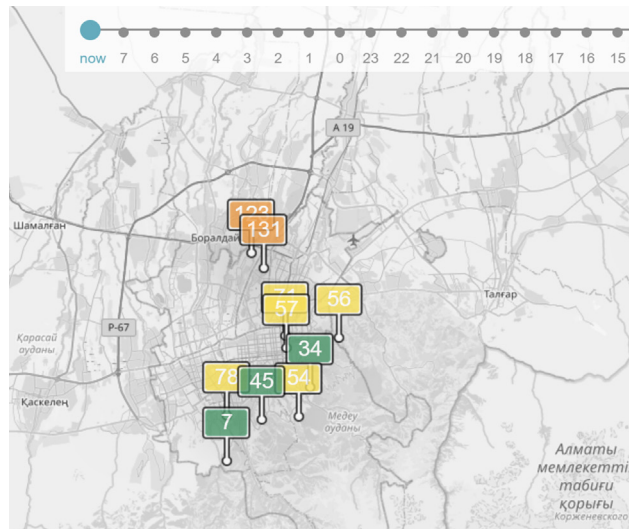


Рис. 2. Портал airkaz.kz информирующий о показаниях датчиков PM2.5 в городах Казахстана

итоги, перечисляются ограничения текущего этапа исследования и перспективы дальнейших работ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование основано на применение регрессионных моделей машинного обучения. Для реализации метода был сформирован набор данных, который включает показатели качества воздуха и погодные данные собираемые несколько раз в день в трех точках города Алматы с января по март 2024 года. Упомянутые точки сбора данных нумеровались цифрами 0...1...6 (Рисунок 3). Расстояние между точками 1 и 6 составляет 2.7 км, тогда как расстояние между 0 и 1 около 7 км.

В качестве прибора, оценивающего воздушные загрязнения, применялся мобильный комплект датчиков загрязненности воздуха Atmotube Pro (рисунок 4). Прибор позволяет измерять концентрацию пылевых частиц (PM1, PM2.5, PM10) и органических соединений (VOCs), а также давление, влажность воздуха и температуру.

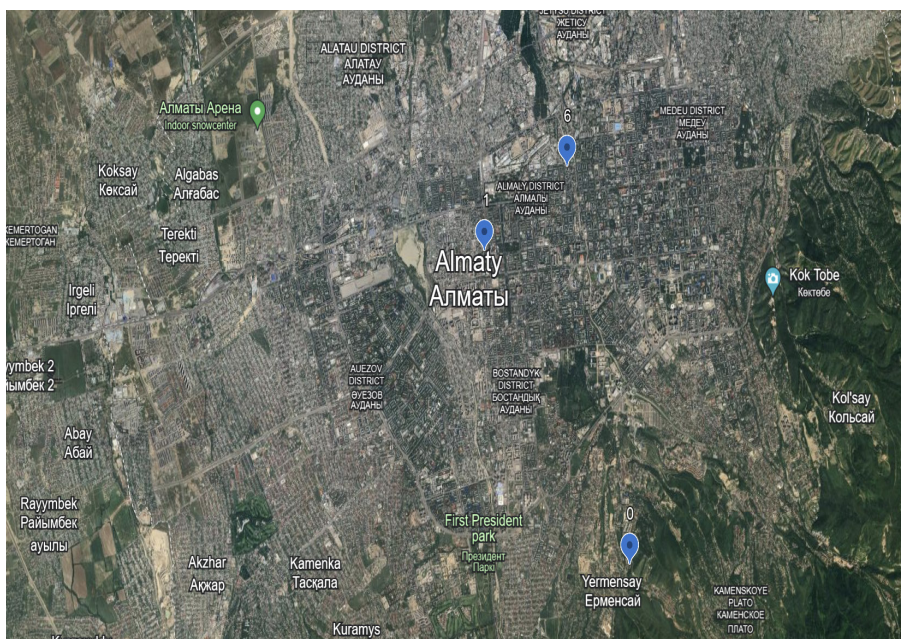


Рис. 3. Места сбора данных на карте Алматы отмечены цифрами 0...1...6



Рис. 4. Мобильный прибор измерения качества воздуха

В качестве источника погодных портал <https://yandex.kz/pogoda>. Данные в каждой точке измерения собирались в таблицы, фрагмент которой показан в табл. 1.

Таблица 1

Фрагмент набора данных на одной из трех точек сбора данных

year	month	day	time	AQS	PM1	PM2.5	PM10	VOCs	bar	wind_dir	wind_speed (m/sec)	temp	humidity(%)
2024	1	7	21	0	206	232	242	0.64	694	4	1	2	81
2024	1	8	0	0	101	113	119	0.13	695	2	1	1	75
2024	1	8	9	78	12.3	14.4	15	0.36	698	7	0	4	88
2024	1	8	12	69	23.9	27.9	31.5	0.45	699	6	1.7	6	78
2024	1	8	15	72	21.7	25.3	27.8	0.35	698	2	1.9	5	83
2024	1	8	18	55	41.6	46.3	46.2	0.72	698	6	1.6	3	88
2024	1	8	21	0	140	158	169	1.14	698	6	1.6	3	88
2024	1	9	0	50	47.2	52	54.2	0.25	697	5	0	2	90
2024	1	9	9	80	12.9	15.1	16	0.33	697	4	0	1	73
2024	1	9	12	21	91.1	100	104	0.46	697	0	1.6	5	64
2024	1	9	15	23	86.6	99.8	104	0.32	696	2	1.7	6	63

Набор данных каждого датчика включает ежедневные показания, записанные в 9...12...15...18 и 21 час. PM1, PM2.5, PM10 – концентрация пылевых частиц в мкг на метр кубический размером 1...2.5 и 10 мкм, соответственно. VOCs (volatile organic compound) – концентрация органических

соединений, AQS (air quality score) – интегрированный показатель качества воздуха, bar – давление воздуха. Кроме этого, погодные данные (портал Яндекс):

- wind_dir – направление ветра в румбах (0 – север, 8 – юг, 12 – запад);
- wind_speed – скорость ветра в м/сек;

- temp – температура в точке измерения;
- humidity – влажность воздуха в процентах.

Всего исходный набор данных содержит либо 208, либо 384 строки данных и 78 колонок. Меньшее количество строк соответствует синхронизированному по времени файлу, содержащему данные всех трех точек измерения. Данный файл можно получить по ссылке https://www.dropbox.com/scl/fi/r25jfow8k3uuwlyqa0n8x/air_pollution_0_1_6.xlsx?rlkey=wej2da7x0be5wr3zu6e9q23dq&dl=0. В зависимости от цели регрессионной модели целевым параметром выбирались PM1, PM2.5, PM10, VOCs и AQS на одном из трех датчиков. Данные целевого датчика исключались из набора данных. Погодные данные в точке установки целевого датчика оставались в составе набора данных.

Модель машинного обучения и оценка ее качества

В качестве регрессионной модели использован ensemble learning method based the gradient boosted trees algorithm LightGBM (Ke G. et al., 2017, Bentéjac C. et al., 2021) достоинством которого является высокая скорость обучения и хорошее качество получаемых результатов моделирования даже при принятых по умолчанию настройках гиперпараметров модели. LightGBM является алгоритмом ансамбля деревьев решений, который использует технику усиления (boosting), когда следующие деревья ансамбля обучаются с учетом градиента ошибки предыдущих деревьев. То есть следующее дерево настраивается так, что целевым значением является не целевое значение регрессионной модели (target value – $y^{(i)}$) $_{i=1}^m$ ($y^{(i)}$ – целевое значение для i -го примера из m обучающих примеров), а антиградиент функции ошибки предыдущего набора деревьев $-L'(y^{(i)}, h_{\theta}(x^{(i)}))_{i=1}^m$. То есть при обучении каждого следующего дерева вместо традиционных пар $(x^{(i)}, y^{(i)})$ используются пары $(x^{(i)}, -L'(y^{(i)}, h_{\theta}(x^{(i)})))$, где $h_{\theta}(x)$ функция гипотезы предыдущего на-

бора деревьев. Аналогичный метод усиления используется и алгоритмом Extremely gradient boosting (Chen T. et al., 2016), который также достигает высоких результатов моделирования в самых разных областях практики.

По окончании обучения модели ее необходимо оценить. Оценка качества работы модели машинного обучения чаще всего строится на общепринятом наборе метрик. Как известно, для регрессионных моделей машинного обучения основными метриками качества являются те, которые перечислены в таблице 2 (Mukhamediev R. et al., 2023, Mukhamediev R. et al., 2022).

При этом, поскольку собранный набор данных относительно не велик (390 записей) и достаточно вариативен, для оценки результатов моделирования разделение данных на тренировочные и тестовые проводилось многократно. Другими словами, качество работы модели оценивалось с применением cross-validation of random permutations ShuffleSplit, так же как это сделано в работах авторов исследований (Mukhamediev R. et al., 2023, Mukhamediev R. et al., 2023). В этом случае происходит многократное разделение данных на тренировочную и тестовую часть случайным образом, обучение и тестирование модели машинного обучения с последующим усреднением результата. Для получения статистически значимых оценок качества подобное разделение проводилось 200 раз. По окончании вычислений программа формирует итоговый результат, пример которого показан в таблице 3.

В таблице, кроме названия регрессионной модели (LGBM) и основных показателей MAE, MSE, R^2 , R, приводится дисперсия основных показателей качества (Var) и продолжительность выполнения расчетов (Duration).

Вычислительные эксперименты проведены на компьютере, оснащенный процессором Intel(R) Core(TM) i7-10750H, с 32 GB оперативной памяти и дискретной видеокартой Nvidia Quatro T2000.

Таблица 2

Метрики качества моделей регрессии

Показатель точности	abbreviation	Equation	Пояснение
Коэффициент детерминации	R^2 <i>r2_score</i>	$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}$ $SS_{res} = \sum_{i=1}^{m_k} (y^{(i)} - h^{(i)})^2$ $SS_{tot} = \sum_{i=1}^{m_k} (y^{(i)} - \bar{y})^2, \bar{y} = \frac{1}{m_k} \sum_{i=1}^{m_k} y^{(i)}$	где $y^{(i)}$ – фактическое значение; $h^{(i)}$ – расчетное значение (значение функции гипотезы) для i -го примера; $m_k \in m$ – часть обучающей выборки (множества размеченных объектов).
Средняя абсолютная ошибка	MAE	$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n (y^{(i)} - h^{(i)})}{n}$	при оценке работы модели на тестовом множестве n это размер тестового множества
Средняя квадратичная ошибка	MSE	$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y^{(i)} - h^{(i)})^2}{n}$	
Коэффициент линейной корреляции	R	$R(y, h) = \frac{\sum_{i=1}^n (h^{(i)} - \bar{h})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (h^{(i)} - \bar{h})^2}}$ $\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h^{(i)}$	

Таблица 3

Пример оценки качества работы регрессионной модели

Regressor name	MAE	MSE	R^2	R	Var MAE	Var MSE	Var R^2	Var R	Duration
LGBM	20.225	876.11	0.35	0.61	3.592	46346.73	0.008	0.004	13.2117

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Корреляция между целевым параметром

Результат оценки загрязненности в точке 0 по данным значений погоды в этой же точке и приведен в таблице 4.

и входными параметрами модели показана на рисунке 5.

Таблица 4

Качество работы модели оценки уровня PM2.5 по данным собранным в точке 0

Regressor name	MAE	MSE	R^2	R	Var MAE	Var MSE	Var R^2	Var R	Duration
LGBM	20.638	879.303	0.367	0.613	3.507	37821.57	0.009	0.004	10.8266

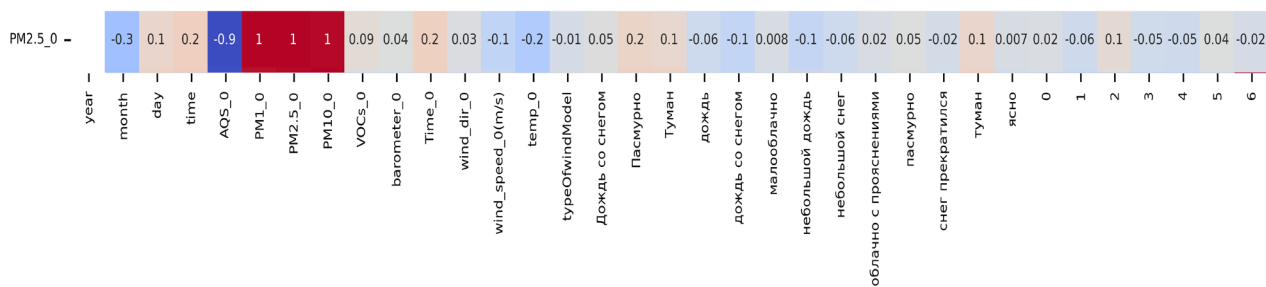


Рис. 5. Корреляция между целевым параметром модели (PM2.5) и входными переменными

Таблица корреляции показывает взаимосвязь между входными параметрами, однако она не показывает то, как эти входные параметры повлияли на выводы модели. Для этого можно воспользоваться моделью интерпретации SHapley Additive exPlanations (SHAP) (Lundberg S.M. et al., 2017).

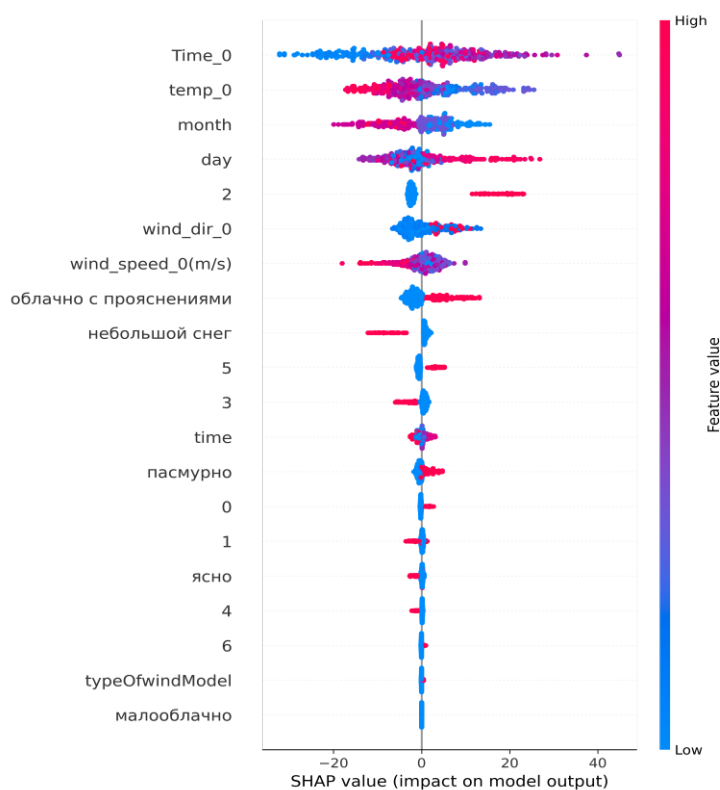


Рис. 6. Влияние входных параметров на результаты работы регрессионной модели

Дополнительным способом улучшения результатов моделирования является исключение некоторых малозначимых параметров, и параметров дающих противоречивые результаты. Для этого воспользуемся матрицей корреляции SHAP величин (рисунок 7). Попутно заметим, что параметр time на рисунке 6 во первых малозначим, во вторых противоречив, то есть его большие и малые значения влияют на выводы модели примерно одинаково.

Удалив незначимые параметры

(пустые строки в матрице корреляции) и параметр time немного улучшим результаты до $R^2=0.3705$.

Результаты экспериментов по расчету показаний датчиков с применением данных другого датчика приведены в таблице 5. В ней показаны значения коэффициента детерминации для расчетных значений PM2.5 при использовании погодных данных в точке измерения, где датчик считается отказавшим, и полных данных (погода и загрязненность воздуха) другой точки.

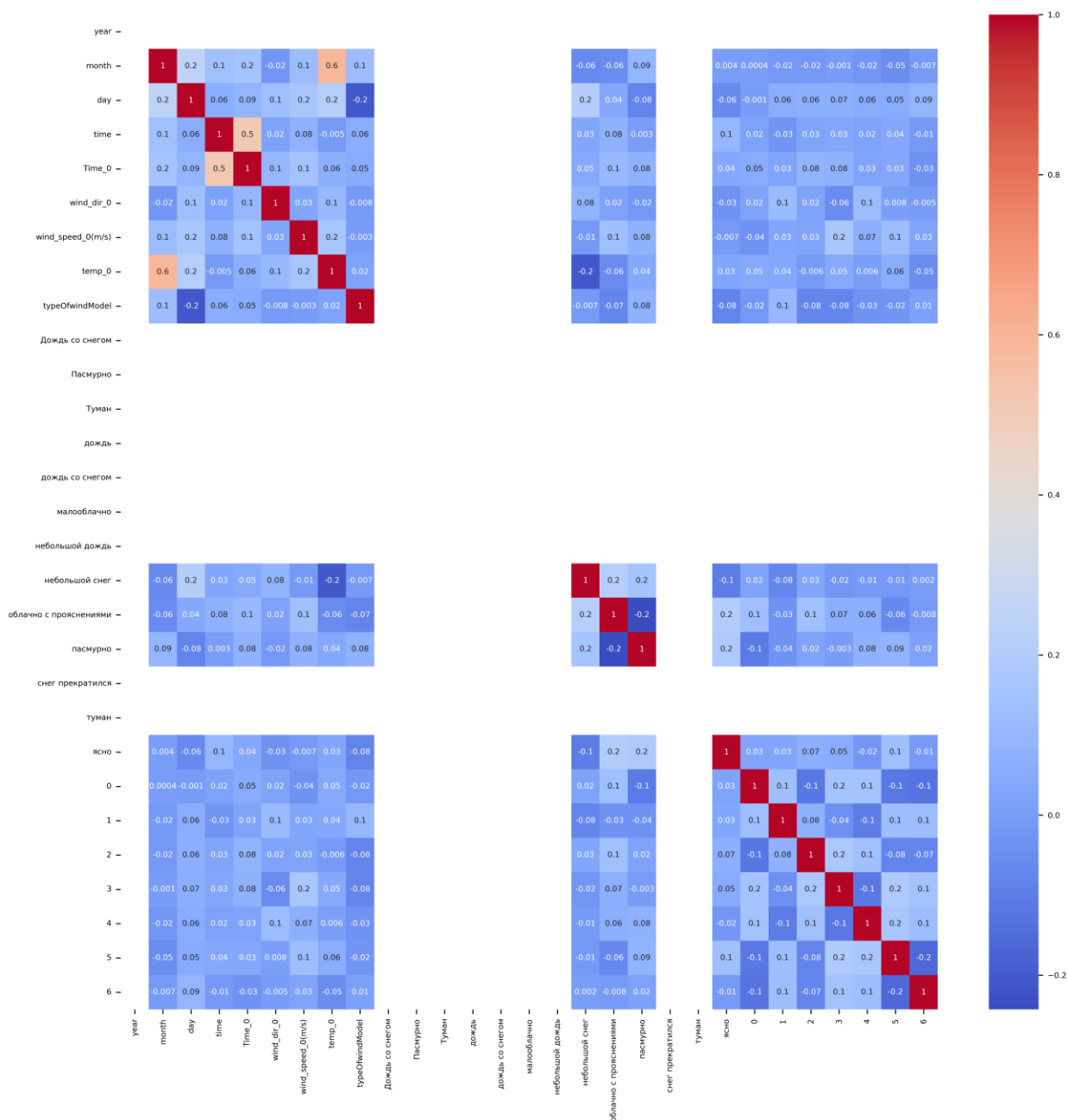


Рис. 7. Матрица корреляции SHAP величин

Таблица 5

Значения R² при расчете PM2.5 при различных сочетаниях входных данных

Расчет PM2.5 в указанной точке	Используемые данные		
	0	1	6
0	0.367	0.46	0.327
1	0.313	0.303	0.609
6	0.278	0.641	0.27

Значения в таблице следует интерпретировать следующим образом. Строки обозначены номерами датчиков, в которых рассчитывается значение PM2.5 с помощью предобученной модели машинного

обучения с дополнением полных данных (погода и загрязненность воздуха) в точке измерения, обозначенной номером столбца. Например, значение R² на пересечении строки 0 и столбца 0 означает результат работы

модели только при использовании данных точки 0. В свою очередь, значение на пересечении строки 0 и столбца 1 показывает результат, когда использовались погодные данные точки 0 и полные данные точки 1 для расчета значения PM2.5 в точке 0.

Полученные результаты подтверждают некоторые интуитивные ожидания, связанные с циркуляцией воздуха в предгорных районах. Например, интерпретируя результаты, показанные на рисунке 4, касающиеся точки 0, можно констатировать следующее:

1. Чем более раннее время получения данных (утро) тем ниже загрязненность PM2.5.
2. Чем выше температура воздуха, тем ниже загрязненность.
3. Чем больше номер месяца, тем ниже загрязненность.
4. Чем меньше направление ветра (точнее) тем ниже загрязненность.
5. Когда погода «облачно с прояснениями» или «пасмурно» - загрязненность выше.
6. Чем ниже скорость ветра в точке измерения, тем выше загрязненность.
7. Небольшой снег снижает загрязненность.

Таблица корреляции (рисунок 3) показывает, что при отказе одного из датчиков измерения концентрации пыли его показания легко восстановить так как значения AQS, PM1, PM2.5, PM10 сильно коррелированы. Например, предсказание PM2.5 в точке 1 лишь по погодным данным дает значение $R^2 = 0.313$. Однако, проведя вычислительный эксперимент при известных значениях PM10, видим, что точность расчета PM2.5 возрастает до $R^2 = 0.902$. Другими словами, можно довольно точно восстанавливать значения запыленности одного размера частиц по данным другого размера пылевых частиц.

Как следует из таблицы 5 качество расчета загрязненности воздуха может значительно возрастать, особенно если в расчетах используются данные с близкорасположенного датчика. Например, если предсказывать показания в точке 0 с использованием данных 1, то значение R^2 увеличивается на 25 %. В тоже время для точки 6, с использованием данных 1, значение увеличивается более чем в 2 раза с 0.27 до 0.64. Можно сказать, что это ожидае-

мо, так как точка 6 примерно в два раза ближе к 1. Однако, если соответствующая пара подбрана не верно (например, 0 и 6) то качество расчета может даже уменьшаться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе мы рассматриваем распределенную систему сбора данных о качестве воздуха в городской среде. Мы обсудили задачу восстановления показателей отказавшего датчика по данным работоспособных датчиков в других точках измерения. Для решения задачи разработана модель машинного обучения с целью восстановления (расчета) показателей качества воздуха в случае отказа датчика. Модель обучена с использованием собственноручно собранного набора данных. Полученные результаты показывают, что возможно частичное восстановление показаний с ошибкой в пределах 20 мкм. При этом максимальные значения концентрации PM2.5 могут быть более 100, а минимальные менее 2. Расчеты подтверждают интуитивно ожидаемый результат – чем ближе работоспособный источник данных, тем точнее расчетные показатели загрязненности в точке, где датчик не работоспособен. Однако, в некоторых случаях добавление данных другой точки измерения может даже ухудшать результат (предсказание в точке 0 на основе 6 и 0). При этом если комплект датчиков отказал частично, то наличие значений хотя бы одного из показателей загрязненности позволяет весьма точно предсказывать остальные показатели.

Кроме этого, модель машинного обучения подтверждает наличие горнодолинной циркуляции воздуха в городе Алматы в период с января по март 2024 года и процессы очистки воздуха в утренние часы. Вместе с тем, анализируя полученные данные можно отметить, что в зимний период, во время морозов, данная циркуляция становится малоощутимой, что в значительной мере усугубляет проблему естественной вентиляции воздуха в городе Алматы в зимний период. В силу ограниченности временного цикла исследования и объема собранных данных можно отметить следующие ограничения проведенного исследования:

1. Ограниченность набора данных. Набор данных лишь за три месяца одного года и лишь в трех точках сбора данных.

2. Модель машинного обучения использовалась без оптимизации входных параметров и гиперпараметров.

Для исключения указанных недостатков в будущем полезно:

1. Расширить набор датчиков, используемых для измерения загрязненности воздуха.

2. Увеличить временной промежуток сбора данных.

3. Добавить погодные данные фиксируемые в различных частях города.

4. Проанализировать полезность методов, подбирающих параметры моделей машинного обучения (Scikit-learn, 2024, Scikit-optimize, 2014) и оптимизирующих список входных переменных модели (Raschka S., 2018).

5. Применить некоторые приемы генерации дополнительных входных параметров, например, плавающее окно данных.

Несмотря на отмеченные выше ограничения текущего этапа исследования, работа восполняет пробел, по количественной оценке, возможности восстановления показателей распределенной сети датчиков качества воздуха городской агломерации и текущих параметров горно-долинной циркуляции, оказывающей существенное влияние на перенос загрязненных воздушных масс.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP23488745 «Оперативная оценка засоленности почвы с применением маловысотных беспилотных летательных платформ», № BR21881908 «Комплекс экологического сопровождения городской агломерации» и № BR24992908 «Система поддержки агротехнических мероприятий в растениеводстве на базе комплекса средств мониторинга и методов искусственного интеллекта (Agroscope)».

Вспомогательные материалы

Набор данных можно скачать по ссылке https://www.dropbox.com/scl/fi/r25jfw8k3uwlyqa0n8x/air_pollution_0_1_6.xlsx?rlkey=wej2da7x0be5wr3zu6e9q23dq&dl=0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Russell A., Ghalaieny M., Akhmetov K.K., Mukanov Y., McCann M., Vitolo C., Althonayan A. A spatial survey of environmental indicators for Kazakhstan: an examination of current conditions and future needs // International Journal of Environmental Research. – 2018. – Vol. 12. – P. 735-748. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0134-7>
- Международное информационное агентство «DKnews.kz». Казахстан в топ-позициях по уровню загрязнения. – URL: <https://dknews.kz/ru/ekslyuziv-dk/221987-kazahstan-v-top-pozicijah-po-urovnyu-zagryazneniya> (дата обращения 20.07.2023).
- Kerimray A., Rojas-Solórzano L., Amouei Torkmahalleh M., Hopke P. K., Ó Gallachóir B.P. Coal use for residential heating: Patterns, health implications and lessons learned // Energy for Sustainable Development. – 2017. – Vol. 40. – P.19–30. – DOI:10.1016/j.esd.2017.05.005
- Информационно-правовая системанормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». О Стратегическом плане Министерства транспорта и коммуникаций Республики Казахстан на 2011 - 2015 годы. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1100000129> (дата обращения 21.07.2023).
- KAZENERGY. Национальный энергетический доклад 2017 KAZENERGY. – URL: http://www.kazenergy.com/upload/document/energy-report/NationalReport17_ru.pdf (дата обращения 21.07.2023).
- Kerimray A., Rocco M., Rojas-Solórzano L., Gallachoir B. Causes of energy poverty in a cold and resource-rich country: evidence from Kazakhstan // Local Environment. – 2017. – DOI: 10.1080/13549839.2017.1397613.
- Karatayev M., Pedro R., Mourao Z.S., Konadu D.D., Nilay S., Michèle C. The water-energy-food nexus in Kazakhstan: challenges and opportunities // Energy Procedia. – 2017. – Vol.125. – P.63-70. – DOI: 10.1016/j.egypro.2017.08.064.
- Current Pollution Index by City. – URL: https://www.numbeo.com/pollution/rankings_current.jsp (дата обращения 21.07.2023).
- Kerimray A., Azbanbayev E., Kenessov B., Plotitsyn P., Alimbayeva D., Karaca, F. Spatiotemporal Variations and Contributing Factors of Air Pollutants in Almaty, Kazakhstan // Aerosol and Air Quality Research. – 2020. – Vol.20. – P.1340-1352. – DOI:10.4209/aaqr.2019.09.0464.
- Nugmanova D., Feshchenko Yu., Iashyna L., Gyrina O., Malynovska K., Mammadbayov E., Akhundova I., Nurkina N., Tariq L., Makarova J., Vasylyev A. The prevalence, burden and risk factors associated with chronic obstructive pulmonary disease in Commonwealth of Independent States (Ukraine, Kazakhstan and Azerbaijan): Results of the CORE study // BMC Pulmonary Medicine. – 2018. – 18. – DOI: 10.1186/s12890-018-0589-5.

11. Ke G., Meng Q., Finley T., Wang T., Chen W., Ma W., Ye Q., Liu T.-Y. Lightgbm. A highly efficient gradient boosting decision tree // *Advances in neural information processing systems*. – 2017. – Vol.30. – P.3149-3157.

12. Bentéjac C., Csörgő A., Martínez-Muñoz G. A comparative analysis of gradient boosting algorithms // *Artificial Intelligence Review*. – 2021. – Vol. 54. – P.1937-1967.

13. Chen T., Guestrin C. Xgboost: A scalable tree boosting system // *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining*. – 2016. – P. 785-794.

14. Mukhamediev R., Amirgaliyev Y., Kuchin Y., Aubakirov M., Terekhov A., Merembayev T., Yelis M., Zaitseva E., Levashenko V., Popova Y., et al. Operational Mapping of Salinization Areas in Agricultural Fields Using Machine Learning Models Based on Low-Altitude Multispectral Images // *Drones*. – 2023. – Vol.7(357). <https://doi.org/10.3390/drones7060357>

15. Mukhamediev R.I., Kuchin Y., Amirgaliyev Y., Yunicheva N., Muhamedijeva E. Estimation of Filtration Properties of Host Rocks in Sandstone-Type Uranium Deposits Using Machine Learning Methods // *IEEE Access*. – 2022. – Vol.10. – P.18855–18872.

16. Mukhamediev R.I., Merembayev T., Kuchin Y., Malakhov D., Zaitseva E., Levashenko V., Popova Y., Symagulov A., Sagatdinova G., Amirgaliyev Y. Soil Salinity Estimation for South Kazakhstan Based on SAR Sentinel-1 and Landsat-8,9 OLI Data with Machine Learning Models // *Remote Sens*. – 2023. – Vol.15, 4269. – DOI:<https://doi.org/10.3390/rs15174269>

17. Mukhamediev R.I., Terekhov A., Sagatdinova G., Amirgaliyev Y., Gopejenko V., Abayev N., Kuchin Y., Popova Y., Symagulov A. Estimation of the Water Level in the Ili River from Sentinel-2 Optical Data Using Ensemble Machine Learning // *Remote Sens*. – 2023. – Vol. 15, 5544. – DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15235544>

18. Lundberg S.M., Lee S.-I. A unified approach to interpreting model predictions // *Adv. Neural Inf. Process. Syst.* – 2017. – 30. – P.1–10.

19. Scikit-learn. Machine Learning in Python. Available online: <https://scikit-learn.org/stable/> (accessed on 1 February 2024)

20. Scikit-optimize. Sequential model-based optimization in Python <https://scikit-optimize.github.io/stable/> (accessed on 1 February 2024)

21. Raschka S. MLxtend: Providing machine learning and data science utilities and extensions to Python's scientific computing stack // *Journal of Open Source Software*. – 2018. – 3. – 638. – DOI:10.21105/joss.00638.

REFERENCES

1. Russell A., Ghalaieny M., Akhmetov K.K., Mukanov Y., McCann M., Vitolo C., Althonayan A. A spatial survey of environmental indicators for Kazakhstan: an examination of current conditions and future needs // *International Journal of Environmental Research*. – 2018. – Vol. 12. – P. 735-748. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0134-7>
2. Mezhdunarodnoe informatsionnoe agentstvo «DKnews.kz». Kazakhstan v top-pozitsiyakh po urovnyu zagryazneniya. – URL: <https://dknews.kz/ru/eksklyuziv-dk/221987-kazahstan-v-top-poziciyah-po-urovnyu-zagryazneniya> (data obrashcheniya 20.07.2023).
3. Kerimray A., Rojas-Solórzano L., Amouei Torkmahalleh M., Hopke P. K., Ó Gallachóir B.P. Coal use for residential heating: Patterns, health implications and lessons learned // *Energy for Sustainable Development*. – 2017. – Vol. 40. – P.19–30. – DOI:10.1016/j.esd.2017.05.005
4. Informatsionno-pravovaya sistemnormativnykh pravovykh aktov Respubliki Kazakhstan «Әділет». О Strategicheskome plane Ministerstva transporta i kommunikatsii Respubliki Kazakhstan na 2011 - 2015 gody. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1100000129> (data obrashcheniya 21.07.2023).
5. KAZENERGY. Natsional'nyi energeticheskii doklad 2017 KAZENERGY. – URL: http://www.kazenergy.com/upload/document/energy-report/NationalReport17_ru.pdf (data obrashcheniya 21.07.2023).
6. Kerimray A., Rocco M., Rojas-Solórzano L., Gallachoir B. Causes of energy poverty in a cold and resource-rich country: evidence from Kazakhstan // *Local Environment*. – 2017. – DOI: 10.1080/13549839.2017.1397613.
7. Karatayev M., Pedro R., Mourao Z.S., Konadu D.D., Nilay S., Michèle C. The water-energy-food nexus in Kazakhstan: challenges and opportunities // *Energy Procedia*. – 2017. – Vol.125. – P.63-70. – DOI: 10.1016/j.egypro.2017.08.064.
8. Current Pollution Index by City. – URL: https://www.numbeo.com/pollution/rankings_current.jsp (data obrashcheniya 21.07.2023).
9. Kerimray A., Azbanbayev E., Kenessov B., Plotitsyn P., Alimbayeva D., Karaca, F. Spatiotemporal Variations and Contributing Factors of Air Pollutants in Almaty, Kazakhstan // *Aerosol and Air Quality Research*. – 2020. – Vol. 20. – P.1340-1352. – DOI:10.4209/aaqr.2019.09.0464.
10. Nugmanova D., Feshchenko Yu., Iashyna L., Gyryna O., Malynovska K., Mammadbayov E., Akhundova I., Nurkina N., Tariq L., Makarova J., Vasylyev A. The prevalence, burden and risk factors associated with chronic obstructive pulmonary disease in Commonwealth of Independent States (Ukraine, Kazakhstan and Azerbaijan): Results of the CORE study // *BMC Pulmonary Medicine*. – 2018. – 18. – DOI: 10.1186/s12890-018-0589-5.

11. Ke G., Meng Q., Finley T., Wang T., Chen W., Ma W., Ye Q., Liu T.-Y. Lightgbm. A highly efficient gradient boosting decision tree // *Advances in neural information processing systems*. – 2017. – Vol.30. – P.3149-3157.
12. Bentéjac C., Csörgő A., Martínez-Muñoz G. A comparative analysis of gradient boosting algorithms // *Artificial Intelligence Review*. – 2021. – Vol. 54. – P.1937-1967.
13. Chen T., Guestrin C. Xgboost: A scalable tree boosting system // *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining*. – 2016. – P. 785-794.
14. Mukhamediev R., Amirgaliyev Y., Kuchin Y., Aubakirov M., Terekhov A., Merembayev T., Yelis M., Zaitseva E., Levashenko V., Popova Y., et al. Operational Mapping of Salinization Areas in Agricultural Fields Using Machine Learning Models Based on Low-Altitude Multispectral Images // *Drones*. – 2023. – Vol.7(357). <https://doi.org/10.3390/drones7060357>
15. Mukhamediev R.I., Kuchin Y., Amirgaliyev Y., Yunicheva N., Muhamedijeva E. Estimation of Filtration Properties of Host Rocks in Sandstone-Type Uranium Deposits Using Machine Learning Methods // *IEEE Access*. – 2022. – Vol.10. – P.18855–18872.
16. Mukhamediev R.I., Merembayev T., Kuchin Y., Malakhov D., Zaitseva E., Levashenko V., Popova Y., Symagulov A., Sagatdinova G., Amirgaliyev Y. Soil Salinity Estimation for South Kazakhstan Based on SAR Sentinel-1 and Landsat-8,9 OLI Data with Machine Learning Models // *Remote Sens*. – 2023. – Vol.15, 4269. – DOI:<https://doi.org/10.3390/rs15174269>
17. Mukhamediev R.I., Terekhov A., Sagatdinova G., Amirgaliyev Y., Gopejenko V., Abayev N., Kuchin Y., Popova Y., Symagulov A. Estimation of the Water Level in the Ili River from Sentinel-2 Optical Data Using Ensemble Machine Learning // *Remote Sens*. – 2023. – 15, 5544. – DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15235544>
18. Lundberg S.M., Lee S.-I. A unified approach to interpreting model predictions // *Adv. Neural Inf. Process. Syst.* – 2017. – 30. – P.1–10.
19. Scikit-learn. Machine Learning in Python. Available online: <https://scikit-learn.org/stable/> (accessed on 1 February 2024)
20. Scikit-optimize. Sequential model-based optimization in Python <https://scikit-optimize.github.io/stable/> (accessed on 1 February 2024)
21. Raschka S. MLxtend: Providing machine learning and data science utilities and extensions to Python’s scientific computing stack // *Journal of Open Source Software*. – 2018. – 3. – 638. – DOI:10.21105/joss.00638.

ҚАЛАЛЫҚ АҚЫЛДЫ ҚАЛА ОРТАСЫНДАҒЫ АУА САПАСЫ ДАТЧИКТЕРІНІҢ ЭМУЛЯЦИЯСЫ

Р.И. Мухамедиев^{1,2} и.э.д., А.Г. Терехов² т.э.к., А.А. Оксененко¹, А.С. Еримбетова^{1,2*} PhD., к.т.н., Я.И. Кучин^{1,2}, А. Сымагулов^{1,2}, Д.Р. Құсайын¹, П. Рыстыгулов¹

¹ Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

² ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан

E-mail: aigerian8888@gmail.com

Қалалық ауаның ластануы адам денсаулығына үлкен қауіп төндіреді. Оны бақылау үшін РМ1, РМ2.5, РМ10 шаң бөлшектерінің және органикалық қосылыстардың концентрациясын бағалау үшін жеке сенсорлар да, жүйелер де қолданылады. Бірақ сенсорлық жүйенің сенімділігі 100 пайыз бола алмайды. Кейде бөлінген жүйедегі белгілі бір сенсорлар істен шығады. Осы себепті, қалған сенсорлардың көрсеткіштеріне негізделген олардың көрсеткіштерін эмуляциялау өте пайдалы. Жұмыс деректер жиынтығын сипаттайды және деректерді жинау орындарындағы функционалды сенсорлардың көрсеткіштері мен ауа-райы жағдайларына негізделген, сәтсіз сенсордың көрсеткіштерін модельдейтін машиналық оқыту үлгісін ұсынады. Ластанудың жекелеген түрлері үшін мұндай эмуляцияның дәлдігі бағаланды (детерминация коэффициенті 0.43-тен 0.61-ге дейін).

Түйін сөздер: ауа сапасы, ақылды қала, машиналық оқыту.

EMULATION OF AIR QUALITY SENSORS IN AN URBAN SMART CITY ENVIRONMENT

R. Mukhamediev^{1,2} *doctor of engineering science*, **A. Terekhov**² *candidate of technical science*,
A. Oksenenko¹ **A. Yerimbetova**^{1,2*} *PhD., candidate of technical science*, **Ya. Kuchin**^{1,2}, **A. Symagulov**^{1,2},
D. Kusayin¹, **P. Rystygulov**¹

¹*Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan*

²*Institute of Information and Computing Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan*

E-mail: aigerian8888@gmail.com

Urban air pollution poses a serious threat to human health. To monitor it, both individual sensors and systems are used to assess the concentration of dust particles PM1, PM2.5, PM10 and organic compounds. However, the reliability of the sensor system cannot be 100 percent. From time to time, certain sensors in a distributed system fail. For this reason, it is very useful to emulate their readings based on the readings of the remaining sensors. The work describes a data set and proposes a machine learning model, which, based on the readings of functional sensors and weather conditions at the data collection sites, simulates the readings of a failed sensor. The accuracy of such emulation for certain types of pollution has been assessed (the coefficient of determination ranges from 0.43 to 0.61).

Keywords: air quality, smart city, machine learning.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Мухамедиев Равиль Ильгизович – д.и.н., профессор, Заведующий лабораторией прикладного машинного обучения Satbayev University, г. Алматы, Сатпаева, 22, Главный научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, г. Алматы, Шевченко, 28, *ravil.muhamedyev@gmail.com*

Терехов Алексей Геннадьевич – к.т.н., Главный научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, г. Алматы, Шевченко, 28, *aterekhov1@yandex.ru*

Оксененко Алексей Алексеевич – Инженер, заведующий лабораторией беспилотных летательных аппаратов Satbayev University, эксперт по дронам Международной авиационной федерации, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, *alex-ok@bk.ru*

Еримбетова Айгерим Сембековна – PhD, к.т.н., профессор Satbayev University, Казахстан, Алматы, Сатпаева 22, Ведущий научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Казахстан, г. Алматы, Шевченко, 28, *aigerian8888@gmail.com*

Кучин Ян Игоревич – магистр инженерных наук, старший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, г. Алматы, Шевченко, 28, *ykuchin@mail.ru*

Сымагулов Адилхан – магистр технических наук, инженер-программист Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, г. Алматы, Шевченко, 28, *asmogulove00@gmail.com*

Құсайын Диас – бакалавр студент Satbayev University, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, *diac.kusain@gmail.com*

Рыстыгулов Панабек Абашович – магистр технических наук, PhD студент Satbayev University, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, *panabek1993@gmail.com*

Мухамедиев Равиль Ильгизович – инж. ғылым. докторы, профессор, Сәтбаев университетінің Қолданбалы машиналық оқыту зертханасының меңгерушісі, Алматы қ., Сәтбаев, 22; ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Шевченко, 28, *ravil.muhamedyev@gmail.com*

Терехов Алексей Геннадьевич – техн. ғылым. кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының бас ғылыми қызметкері, Алматы қ., Шевченко, 28, *aterekhov1@yandex.ru*

Оксененко Алексей Алексеевич – инженер, Сәтбаев университетінің ұшқышсыз ұшатын аппараттар зертханасының меңгерушісі, Халықаралық авиация федерациясының ұшқышсыз аппаратының сарапшысы, Алматы қ., Сәтбаев, 22, *alex-ok@bk.ru*

Еримбетова Айгерим Сембековна – PhD, техн. ғылым. кандидаты, Сәтбаев университетінің профес-

соры, Алматы қ., Сәтбаев, 22, ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының жетекші ғылыми қызметкері, Алматы қ., Шевченко, 28, aigerian8888@gmail.com

Кучин Ян Игоревич – инж. ғылым. магистрі, ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының аға ғылым қызметкері, Алматы қ., Шевченко, 28, ykuchin@mail.ru

Сымагулов Адилхан – техн. ғылым. магистрі, ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының инженер-программисті, Алматы қ., Шевченко, 288, asmogulove00@gmail.com

Құсайын Диас – Сәтбаев университетінің бакалавр студенті, Алматы қ., Сәтбаев, 22, diac.kusain@gmail.com

Рыстыгулов Панабек Абашович – техн. ғылым. магистрі, Сәтбаев университетінің PhD студенті, Алматы қ., Сәтбаев, 22, panabek1993@gmail.com

Mukhamediev R. – Doctor of Science (Engineering), professor, Head of The Applied Machine Learning Laboratory of Satbayev University, Almaty, Satbayev, 22, Chief Researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Shevchenko, 28, ravil.muhamedyev@gmail.com

Terekhov A. – Candidate of Technical Science, Chief Researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Shevchenko, 28, aterekhov1@yandex.ru

Oxenenko A. – Engineer, Head of Unmanned Aerial Vehicle Laboratory of Satbayev University, drone expert in Fédération Aéronautique Internationale, Almaty, Satbayev, 22, alex-ok@bk.ru

Yerimbetova A. – PhD, Candidate of Technical Science, Associate Professor, professor of Satbayev University, Leading Researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, aigerian8888@gmail.com

Kuchin Yan – Master of Engineering Science in Computer Systems, Senior Researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Shevchenko, 28, ykuchin80@gmail.com

Symagulov A. – Master of Technical Science, software engineer Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Kazakhstan, Almaty, Shevchenko, 28, asmogulove00@gmail.com

Kussaiyn D. – bachelor of Satbayev University, Almaty, Satbayev, 22, diac.kusain@gmail.com

Rystygulov P. – Master of Technical Science, PhD student of Satbayev University, Almaty, Satbayev, 22, panabek1993@gmail.com

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution:

Мухамедиев Р.И. – разработка методологии

Терехов А.Г. – разработка концепции

Оксененко А.А. – проведение исследования

Еримбетова А.С. – ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

Кучин Я.И. – создание программного обеспечения

Сымагулов А. – создание программного обеспечения, проведение исследования

Құсайын Д. – создание программного обеспечения

Рыстыгулов П.А. – проведение исследования

Мухамедиев Р.И. – әдістемені әзірлеу

Терехов А.Г. – тұжырымдаманы әзірлеу

Оксененко А.А. – зерттеу жүргізу

Еримбетова А.С. – ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Кучин Я.И. – бағдарламалық жасақтама жасау

Сымагулов А. – бағдарламалық жасақтама жасау, зерттеу жүргізу

Құсайын Д. – бағдарламалық жасақтама жасау

Рыстыгулов П.А. – зерттеу жүргізу

Mukhamediev R. – methodology development

Terekhov A. – concept development

Oxenenko A. – conducting a research

Yerimbetova A. – resources, preparing and editing the text, visualization

Kuchin Yan – creating software

Symagulov A. – creating software, conducting a research

Kussaiyn D. – creating software

Rystygulov P. – conducting a research

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДОСБОР БАССЕЙНА РЕКИ ТОБЫЛ ОТ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ С МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Ж.С. Мустафаев^{1*} *д.т.н., профессор*, А.Т. Козыкеева² *д.т.н., доцент*, Б.Е. Тастемирова² *PhD*,
Л.М. Рыскулбекова² *PhD*

¹АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

E-mail: z-mustafa@rambler.ru

На основе системного анализа структуры и динамики использования водных ресурсов в водосборе бассейна реки Тобыл, изучена динамика формирования геоэкологических условий водопользования в отраслях экономики в условиях Костанайской области Республики Казахстан. Определена нагрузка возвратными водами и загрязняющими веществами, которые показали, что характеризуются высокой катастрофической нагрузкой, требующих регулирования природной и антропогенной деятельностью для обеспечения в перспективе устойчивого развития региона. Разработанная укрупненная схема водопользования в водосборе бассейна реки Тобыл (казахстанская часть), позволяющая формирование математических, физических и химических признаков уравнения водохозяйственного и гидрохимического балансов, позволила получить математическую модель качества воды и предельно-допустимого объема сброса возвратных вод речных бассейнов, которая обеспечивает соблюдение санитарно-эпидемиологического норматива и позволит сохранить экологическое состояние водных объектов и планировать водоохранные мероприятия для формирования желаемого уровня качества воды в реке.

Ключевые слова: бассейн реки, водосбор, нагрузка, схема, уравнение, баланс, модель, качество воды, возвратные воды, водопользование.

Поступила: 18.08.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-100-113

ВВЕДЕНИЕ

Водные ресурсы речных бассейнов, являясь одним из наиболее важных компонентов природной среды, являются средой обитания человека и одновременно служит основным потенциалом осуществления его хозяйственной деятельности. Вода как необходимый составной элемент ряда технологических процессов природно-производственного комплекса, и естественный ресурс – жилищно-коммунального хозяйства имеет первостепенное значение для функционирования практически всех отраслей экономики, а также удовлетворения бытовых и культурных потребностей населения. Природная возобновляемость водных ресурсов и, в определенных пределах, их способность к самоочищению, обусловили экстенсивный, расточительный характер использования воды на протяжении всей истории человеческого

развития. В результате экологическое состояние многих водных объектов, в особенности, малых рек, ухудшилось, а качество воды перестало удовлетворять санитарно-эпидемиологическим требованиям. В связи с этим, для формирования геоэкологической деятельности, для улучшения водохозяйственной обстановки на водосборе речных бассейнах, одной из важнейших задач научного изучения на современном этапе использования водных ресурсов в отраслях экономики становится оценка совокупной антропогенной нагрузки с идентификацией основных источников загрязнения.

Одним из фундаментальных направлений по оценке антропогенной нагрузки речных бассейнов являются направления, развиваемые в работах:

– М. Е. Вершинской, В.В. Шабанова, В.Н. Маркина (2016), для эколого-водохозяйственной оценки водных систем,

включающих гидрологические и гидро-химические процессы использовали Комплексную схему использования водных ресурсов речных бассейнов;

– Л.Н. Бимагамбетовой, А.К. Имангалиевой (2017), где в результате комплексной оценки составлен блок-схема распределения массы загрязняющих веществ бассейна реки Тобыл по схеме Российской Федерации-Республики Казахстан-Российской Федерации, для оценки трансграничного загрязнения водных объектов;

– С. С. Ломакина (2019), где разработали рекомендации в области организации геоэкологического мониторинга: теоретическую базу и методику для дальнейшего изучения территории с позиции использования ее в хозяйственном процессе;

– С. В. Ясинского и др. (2020), для изучения прямой антропогенной нагрузки на водосборе речных бассейнов использован ландшафтно-гидрологический метод, созданный в Институте географии Академии наук Российской Федерации;

– В. И. Данилова-Данильяна и др. (2020), для оценки особенностей формирования диффузного загрязнения водных объектов выявлены научно-методические, правовые и организационные проблемы регулирования их с учетом характера поступления загрязняющих веществ в природную среду и сложностью связей между антропогенным воздействием на водосбор и откликом водного объекта (с изменением качества воды и экологического состояния) на такое воздействие;

– Н. В. Стоящевой (2020), где выполнен обзор методических подходов к оценке антропогенной нагрузки на водные объекты, приводящей к изменению качества вод связанным объемом сбрасываемых загрязненных сточных вод.

Таким образом, системные исследования, направленные на выявление антропогенных изменений, а также последствий этих изменений, влияющих на экологическое состояние среды показали, что прикладная и математическая модели оценки антропогенных нагрузок носят аналитический характер, учитывающих природные средообразующие и антропогенные факторы, территориальную организацию водопользования, а также схемы комплексного

использования водных ресурсов речных бассейнов, включающих утилизацию возвратных вод.

Цель исследований – на основе всесторонней оценки геоэкологических условий формирования и использования водных ресурсов в водосборах бассейна реки Тобыл разработать на основе анализа качества поверхностных вод методы определения предельно-допустимого объема сброса возвратных вод.

Объект исследований – Река Тобыл является одной из главных водных артерий Северного Казахстана. Зона формирования стока р. Тобыл расположена на восточных отрогах Южного Урала и Тургайской столовой страны. Река Тобыл образуется слиянием реки Бозбие и Кокпектысай и впадает в реку Ертыс с левого берега у города Тобольск. Водосборный бассейн Тобыл составляет 395 тыс. км², из них часть ее водосбора, площадью 121 тыс. км², расположена в пределах Костанайской области, а общая длина реки 1591 км, из них протяженностью 682 км представляет верхнее течение реки (Бурлибаев М.Ж. и др., 2014).

Река Тобыл берет начало в Оренбургской области, далее с запада в него вливается приток Желкуар, формирующийся на территории Челябинской области. Следующим крупным притоком являются реки Аят и Уй, формирующихся на территории Челябинской области, а низовья - принадлежат Казахстану (рисунок 1).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование структуры и динамики водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл с точки зрения бассейнового подхода предполагает разностороннее изучение природных условий формирования водных ресурсов в совокупности с анализом социально-экономической ситуации в пределах рассматриваемого речного бассейна. В ходе изучения социально-экономической организации водопользования устанавливаются приоритетные цели использования водных ресурсов, определяющие в последующем круг существующих водохозяйственных проблем и мероприятий по рационализации их использования. Одним из важнейших этапов исследования является оценка интенсивности

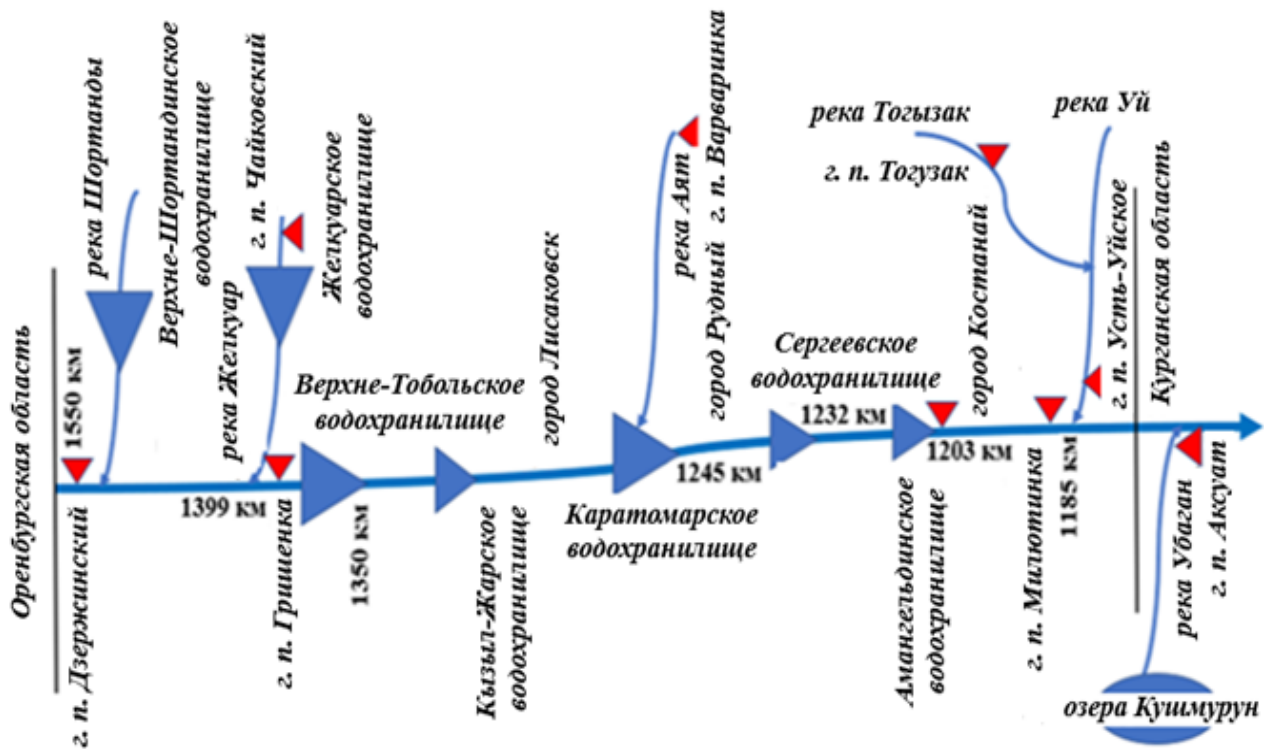


Рис.1. Схема водохозяйственных участков по бассейну реки Тобыл

антропогенной нагрузки с выделением и идентификацией основных источников загрязнения водосбора бассейна реки Тобыл для обеспечения экологической устойчивости природной системы и охраны окружающей среды.

В водохозяйственной практике для оценки антропогенной нагрузки на водосборах речных бассейнов, приводящей к изменению качества вод, применяют показатели нагрузки сточными водами и загрязняющими веществами.

Нагрузка сточными водами водосбора речных бассейнов определяется либо как отношение общего объема сточных вод к объему среднегодового стока реки по следующей формуле (Л.М. Корытный, Л.А. Безруков, 1990; Стоящева Н.В., 2018; А.В. Селезнева, 2003; А.А. Королев, Г.С. Розенберг, Д.Б. Гелашвили и другие, 2007):

$$A=100 \times q_i / Q_i, \quad (1)$$

и либо как обратное соотношение, характеризующих кратность разбавления сточных вод (Л.М. Корытный, Л.А. Безруков,

1990; М.С. Орлов, Е.А. Абрамова, В.А. Щерба, 2014; А.П. Голиков, 1982; М.П. Ратанова, 1990; Типология промышленных узлов..., 1990; Л.А. Безруков, Ю.А. Мисюркеев, 1995; Т.С. Бибилова, 2011)

$$N=100 \times Q_i / q_i, \quad (2)$$

где A – нагрузка сточными водами (%); N – кратность разбавления сточными водами; q_i – объем сточных вод, сбрасываемых в водоток, км³/год; Q_i – среднегодовой объем стока реки, км³/год.

Помимо нагрузки сточными водами существует показатель нагрузки содержащимися в них загрязняющими веществами (m , усл. тонна/км³) с учетом их условной массы, который определяется как отношение условной массы всех загрязняющих веществ в составе сточных вод (M , усл. тонна) к водному стоку реки (Q_i , км³/год) (А.В. Селезнева, 2003):

$$m=M/Q_i, \quad (3)$$

При этом, следует отметить, что формула 1, рекомендованная для определения нагрузки сточных вод не учитывает водозабор, обеспечивающий потребности отраслей экономики. Влияние водозабора на определение нагрузки сточных вод оценивается величиной параметра $A_{\text{вв}}$ в соответствие с формулой, связывающей объем сточных вод, сбрасываемых в водный объект ($W_{\text{свбр}}$), со среднегодовым стоком реки в данном створе с учетом объема водозабора $W_{\text{нрс}} - W_{\text{овз}}$:

$$A_{\text{вв}} = 100 \times W_{\text{свбр}} / (W_{\text{нрс}} - W_{\text{овз}}); \quad (4)$$

$$N_{\text{вв}} = (W_{\text{нрс}} - W_{\text{овз}}) / W_{\text{свбр}}; \quad (5)$$

$$m_{\text{вв}} = M / (W_{\text{нрс}} - W_{\text{овз}}), \quad (6)$$

где $W_{\text{нрс}}$ - объем стока реки в начале расчетного створа; $W_{\text{овз}}$ - объем водозабора с речных бассейнов для отраслей экономики; $A_{\text{вв}}$ - нагрузка возвратными водами (%); $N_{\text{вв}}$ - кратность разбавления сточными водами; $m_{\text{вв}}$ - уровень условной нагрузки загрязняющими веществами возвратных вод.

Для классификации водосбора речных бассейнов по уровню условной нагрузки загрязняющими веществами возвратных вод можно применить балльную оценку условной массы загрязняющих веществ (табл. 1), предложенную В.А. Скорняковым (1999).

Таблица 1

Балльная оценка условной массы загрязняющих веществ (В.А. Скорняков, 1999)

Уровень нагрузки, усл. тонна/км ³	<0,01	0,01...0,1	0,2...0,5	0,5...1,0	1,0...10,0
Оценочный балл	1	2	3	4	5
Уровень нагрузки, усл. тонна/км ³	11...50	50...100	100...500	500...1000	>1000
Оценочный балл	6	7	8	9	10

На основе количественной классификации условной массы загрязняющих веществ в составе возвратных вод сбрасываемых в водосборы речных бассейнов, разработана качественная классификация балльной системы, характеризующая уровень нагрузки загрязняющих веществ:

- < 0,01 (1) – нагрузки нет;
- 0,01...0,1 (2) – следы нагрузки наблюдаются;
- 0,2...0,5 (3) – очень низкая нагрузка;
- 0,5...1,0 (4) – низкая нагрузка;
- 1,0...10,0 (5) – средняя нагрузка;
- 11,0...50,0 (6) – значение нагрузки выше среднего;
- 50,0...100,0 (7) – высокая нагрузка;
- 100,0...500,0 (8) – очень высокая нагрузка;
- 500,0...1000,0 (9) – катастрофическая нагрузка;
- > 1000 (10) – очень катастрофическая нагрузка.

Методической основой исследований стали приемы эвристического анализа формирования уравнения водохозяйственного баланса водосбора речных бассейнов и структурного моделирования водопользования для формирования системы уравнения для расчета изменения загрязненности поверхностной речной воды, базирующихся совместное

применение физико-химических и биологических методов оценки отдельных компонентов водной экосистемы (Zh. S. Mustafayev, 2022; Ж.С. Мустафаев и др., 2022; Zh. S. Mustafayev et al., 2023; Ж. С. Мустафаев, Б. Т. Кенжалиева, Г. Т. Далдабаева, 2024).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе информационно-аналитических материалов отчета о деятельности РГУ «Тобол - Торгайская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов» Комитета по водным ресурсам Министерства водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан (Отчет..., 2005-2020), включающих водные ресурсы речных бассейнов, объем водопотребления в отраслях экономики, сброс сточных, шахтно-рудничных и коллекторно-дренажных вод речных бассейнов, рельеф местности, поля фильтрации и возвратных вод с загрязняющими веществами, охватывающих 1996...2020 годы, определена динамика водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл и на основе их определены нагрузки возвратными водами, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2

Динамика водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл и нагрузки возвратными водами

Годы	Объем водных ресурсов, млн м ³	Объем водопотребления, млн м ³	Объем возвратных вод, млн м ³				Нагрузка возвратными водами, %
			речных бассейнов	рельеф местности	поля фильтрации	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8
1996	159,90	219,93	15,30	-	95,18	110,48	9,57
1997	74,91	176,53	13,19	-	80,00	93,19	17,60
1998	440,79	132,59	12,11	-	75,12	87,23	2,74
1999	125,86	108,79	11,83	-	82,38	94,21	9,40
2000	949,56	107,34	9,01	-	75,68	84,69	0,94
2001	301,64	93,19	8,65	-	77,13	85,79	2,87
2002	858,53	88,14	15,11	-	72,90	88,01	1,75
2003	142,18	90,66	13,31	-	67,30	80,61	9,36
2004	482,56	97,32	18,03	-	69,34	87,37	3,74
2005	977,74	81,20	19,81	1,24	57,59	78,64	2,03
2006	164,64	90,05	13,27	1,95	74,92	90,57	8,06
2007	372,17	82,83	30,52	0,35	81,17	112,04	8,20
2008	318,55	87,03	33,85	0,32	73,11	107,28	10,63
2009	192,08	84,61	29,64	0,21	57,00	86,85	15,43
2010	141,30	83,31	53,49	0,26	54,28	108,03	37,86
2011	204,38	79,06	38,71	0,25	57,10	95,06	18,94
2012	272,19	81,66	24,27	0,59	54,31	79,17	8,92
2013	419,48	88,78	19,34	0,16	21,23	40,73	4,61
2014	441,56	93,79	16,30	0,39	41,35	58,04	3,69
2015	259,89	86,26	21,54	0,20	34,10	55,84	8,29
2016	577,20	84,74	22,20	74,9	49,76	146,86	3,85
2017	397,00	87,80	35,89	14,00	39,87	89,76	9,04
2018	226,10	78,89	35,03	13,63	35,86	84,52	15,49
2019	231,20	76,43	11,88	0,16	40,68	52,72	5,14
2020	312,21	81,54	23,59	0,13	36,58	60,30	7,56

Анализ динамики объема водных ресурсов реки Тобыл на границе Российской Федерации и Республики Казахстан показал, что в период исследования изменяется от 74,91 до 949,56 млн м³, которые характеризует их значительную вариабельность по годам. При этом объем водопотребления уменьшается от 219,93 до 71,54 млн м³, а объем возвратных вод изменяется в пределах от 78,64 до 112,04 млн м³ и последовательно увеличивается объем возвратных вод сбрасываемых речных бассейнов от 15,30 до 53,49 млн м³, что приводит к увеличению нагрузка возвратными водами на

территориях водосбора речных бассейнов.

Для анализа химического состава сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты в пределах Костанайской области использованы данные Костанайского филиала ГУ «Тобол-Торгайского Департамента экологии» (Информационный бюллетень..., 2005-2020) и «Костанайского областного центра санитарной эпидемиологической экспертизы» (Национально экологический бюллетень..., 2005-2020) и на основе их определены условные нагрузки загрязняющими веществами (табл.3).

Таблица 3

Средний объем переноса загрязняющих веществ возвратными водами в водосборах бассейна реки Тобыл

Показатели	Средний объем переноса загрязняющих веществ, тонна год			
	2005	2010	2015	2020
1	2	3	4	5
Взвешенные вещества	804,48	582,22	470,00	554,20
Хлориды (<i>Cl</i>)	10459,68	200,00	21673,00	17450,10
Сульфаты (<i>SO₄</i>)	4100,67	110,0	14361,80	11423,0
Нефтепродукты	0,19	0,04	0,01	0,03
Азот аммонийный (<i>NH₄</i>)	0,99	0,66	0,39	0,45
Азот нитратный (<i>NO₂</i>)	43,58	14,36	40,37	25,32
Азот нитратный (<i>NO₃</i>)	0,02	13,37	32,00	23,10
Железо общее (<i>Fe</i>)	3,96	0,00	4,69	2,56
Медь (<i>Cu</i>)	28,52	1011,0	64,83	55,40
Цинк (<i>Zn</i>)	38,63	375,50	41,57	150,23
Кальций (<i>Ca</i>)	1991,94	3467,22	1436,07	1653,20
Магний (<i>Mg</i>)	1337,18	2375,76	1414,10	1562,43
Сумма (М, усл. тонна)	18779,84	57543,37	38093,93	32900,02
(<i>W_{нрс}</i> – <i>W_{овз}</i>), км ³	0,896	0,058	0,173	0,231
Уровень нагрузки (<i>m</i> , усл. тонна/км ³)	20959,64	99558,10	220196,13	142424,32
Оценочный балл	10	10	10	10

Анализ среднего объема переноса загрязняющих веществ возвратными водами в водосборах бассейна реки Тобыл за рассматриваемый период увеличивается от 18779,84 до 32900,02 условной тонны, и последовательно и параллельно увеличивается уровень нагрузки от 20959,64 до 142424,32 условной тонны/км³.

Геоэкологическая оценка нагрузки возвратными водами в водосборах бассейна реки Тобыл позволила выделить проблемные водотоки и реки с «очень слабой» нагрузкой, так как основную нагрузку принимают ландшафтные системы в виде полей фильтрации, которые на основе теории геохимических барьеров, почва как активно функционирующие органо-минеральное тело, обеспечивает прохождение разнообразных физико-химических, биохимических, биологических и микробиологических процессов (А.И. Перельман, 1966).

В ходе геоэкологического анализа условий водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл в разрезе определения влияния объемов водопотребления на формирование их водных ресурсов обычно проводится сопоставление с размерами естественного во-

дного стока, что позволяет обосновать необходимость проведения политики кардинального водосбережения и не допущения загрязнения их возвратными водами в цель обеспечения экологической устойчивости природной системы. Аналогичное сопоставление объемов сброса возвратных вод по отношению к величине среднегодового стока водосбора бассейна реки Тобыл характеризует, в определенном смысле экологическую емкость водотока, то есть насколько «сильна» его самоочищающая способность и сможет ли он «справиться» с поступающей массой загрязняющих веществ возвратными водами (Д. Ц. Цибудеева, 2014).

В то же время объемы сбрасываемых в водосборы бассейна реки Тобыл возвратных вод даже с учетом сопоставления со среднегодовым объемом стока рек не дают полного представления об интенсивности антропогенных нагрузок, так как не учитывают их гидрохимических особенностей, которые насыщены различными загрязняющими веществами, где водосбор бассейна реки Тобыл по классификации объему переноса загрязняющих веществ, относится к реке испытывающей катастрофическую нагрузку (таблица 3).

В последнее время наибольшее распространение получила методика оценки качества воды речных бассейнов, разработанных на основе связи гидрохимических и гидробиологических показателей, характеризующих геоэкологическое состояние водной экосистемы (В.В. Шабанов, В.Н. Маркин, 2008; В.Н. Маркин, 2009), которая широко принимают для эколого-водохозяйственной оценки водосбора речных бассейнов (Ж.С. Мустафаев и др., 2018; А.Т. Козыкеева, Jozef Mosiej, Б.Е. Тастемирова, 2019).

В настоящее время острой геоэкологической проблемой водосбора бассейна реки Тобыл является загрязнение воды вследствие поступления загрязненных возвратных вод. Для выявления причинно-следственной связи образования негативных явлений, разработана укрупненная схема водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл (казахстанская часть) с составлением уравнения водохозяйственного и гидрохимического баланса для детального анализа состояния водной экосистемы (рисунок 2).

На основе структурного и системного ана-

лиза водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл (казахстанская часть) в пределах Костанайской области Республики Казахстан (рисунки 1 и 2), включающих объем располагаемых водных ресурсов, объем водопотребления в отраслях экономики и возвратных вод, формирующихся коммунально-бытовыми, промышленными и сельскохозяйственными водоотведениями и их утилизаций на речных бассейнах, рельеф местности, поля фильтрации (таблица 2) и объем переноса загрязняющих веществ возвратными водами (таблица 3), изучены взаимосвязь между гидрологическими и гидрохимическими показателями. Для оценки качества воды и экологического состояния водных объектов с учетом их взаимосвязанных признаков на основе законов природы: «Все связано со всем», «Физико-химическое единство», «Оптимальности» (Реймерс, 1990) разработана модель водохозяйственного баланса водосбора бассейна реки Тобыл (казахстанская часть), учитывающее влияние природной среды на характер и масштаб использования водных ресурсов и воздействия развивающейся водно-ресурсной системы.

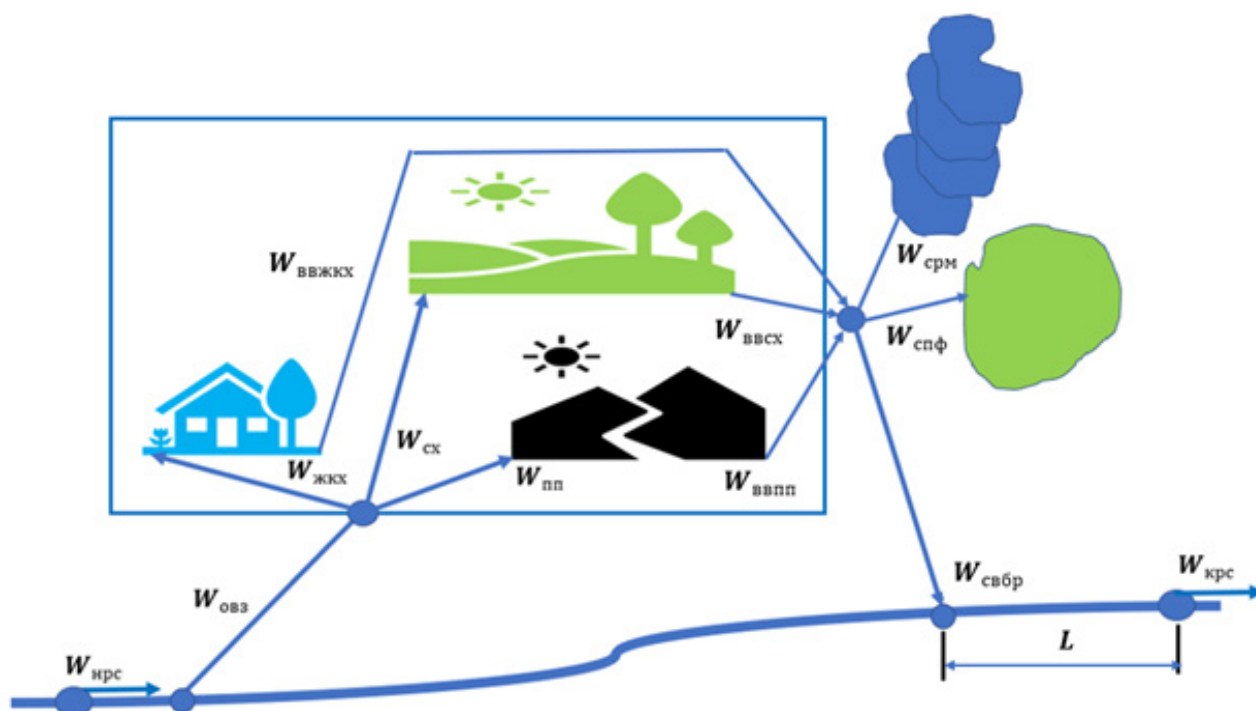


Рис.2. Укрупненная схема водопользования в водосборах бассейна реки Тобыл (казахстанская часть): $W_{нрс}$ - объем стока реки в начале расчетного створа; $W_{овз}$ - объем водозабора речного бассейна для отраслей экономики; $W_{жкх}$ - объем водопотребления жилищно-коммунального хозяйства; $W_{сх}$ - объем водопотребления сельского хозяйства; $W_{пп}$ - объем водопотребления промышленности; $W_{ввжкх}$ - объем возвратных вод жилищно-коммунального хозяйственного водопотребления; $W_{ввсх}$ - объем возвратных вод сельскохозяйственного водопотребления; $W_{ввпп}$ - объем возвратных вод промышленного водопотребления; $W_{срм}$ - объем возвратных вод, сбрасываемый на рельеф местности; $W_{спф}$ - объем возвратных вод используемых полями фильтрации; $W_{свбр}$ - объем возвратных вод сбрасываемый в речной бассейн; $W_{крс}$ - объем речного стока в конце расчетного створа

Уравнение водохозяйственного баланса водосбора бассейна реки Тобыл в простейшем случае имеет вид:

$$W_{крс} = W_{нрс} - W_{овз} + W_{свбр}, \quad (7)$$

где $W_{нрс}$ - объем стока реки в начале расчетного створа; $W_{крс}$ - объем речного стока в конце расчетного створа; $W_{овз}$ - объем водозабора речного бассейна для отраслей экономики: $W_{овз} = W_{жкх} + W_{сх} + W_{пп}$, здесь $W_{жкх}$ - объем водопотребления жилищно-коммунального хозяйства; $W_{сх}$ - объем водопотребления сельского хозяйства; $W_{пп}$ - объем водопотребления промышленности; $W_{свбр}$ - объем возвратных вод сбрасываемый в речной бассейн: $W_{свбр} = W_{овв} - W_{срм} - W_{спф}$, здесь $W_{овв}$ - сумма объемов возвратных вод: $W_{овв} = W_{ввжкх} + W_{ввсх} + W_{ввпп}$, $W_{ввжкх}$ - объем возвратных вод жилищно-коммунального хозяйственного водопотребления; $W_{ввсх}$ - объем возвратных вод сельскохозяйственного водопотребления; $W_{ввпп}$ - объем возвратных вод промышленного водопотребления; $W_{срм}$ - объем возвратных вод, сбрасываемый на рельеф местности; $W_{спф}$ - объем возвратных вод используемых полей фильтрации.

На основе водохозяйственного баланса приведен гидрохимический баланс водосбора бассейна реки Тобыл (рисунок 1):

$$W_{крс} \times C_{крс} = (W_{нрс} \times C_{нрс} - W_{овз} \times C_{нрс} + W_{свбр} \times C_{свбр}) \times \exp(-k \times L), \quad (8)$$

где $C_{крс}$ - концентрация речных вод в конце расчетного створа; $C_{нрс}$ - концентрация речных вод в начале расчетного створа; $C_{свбр}$ - концентрация возвратных вод, сбрасываемый в речной бассейн; k - коэффициент самоочищения воды, принятый равным $k = 0,001 \dots 0,006$ 1/км;

L - длина участка реки между точками сброса возвратных вод и конца расчетного створа.

Концентрация возвратных вод, сбрасываемый в речной бассейн определяется по следующему уравнению:

$$C_{свбр} = (\alpha_{жкх} \times C_{ввжкх} \times W_{ввжкх} + \alpha_{сх} \times C_{ввсх} \times W_{ввсх} + \alpha_{пп} \times C_{ввпп} \times W_{ввпп}) / W_{овв}, \quad (9)$$

где $C_{ввжкх}$ - концентрация возвратных вод жилищно-коммунального хозяйственного водопотребления; $C_{ввсх}$ - концентрация возвратных вод сельскохозяйственного водопотребления; $C_{ввпп}$ - концентрация возвратных вод промышленного водопотребления; $\alpha_{жкх}$ - доля возвратных вод жилищно-коммунального хозяйственного водопотребления; $\alpha_{сх}$ - доля возвратных вод сельскохозяйственного водопотребления; $\alpha_{пп}$ - доля возвратных вод промышленного водопотребления.

В водохозяйственной практике наиболее доступными информационно-аналитическими материалами является концентрация речных вод. Используя их, запишем выражение гидрохимического баланса в соответствии с укрупненной схемой водопользования на водосборах бассейна реки Тобыл (казахстанская часть):

$$(W_{нрс} - W_{овз}) \times C_{нрс} + W_{свбр} \times C_{свбр} = (W_{нрс} - W_{овз}) \times C_{доп} + W_{свбр} \times C_{доп}; \quad (10)$$

$$(W_{нрс} - W_{овз}) \times C_{нрс} - (W_{нрс} - W_{овз}) \times C_{доп} = W_{свбр} \times C_{доп} - W_{свбр} \times C_{свбр}, \quad (11)$$

где $C_{доп}$ - предельно-допустимая концентрация речных вод.

После решения уравнения гидрохимического баланса водосбора речных бассейнов относительно объема возвратных вод, сбрасываемый в реки, получим выражение для определения виртуального объема $W_{свбр}$:

$$W_{свбр} = [(W_{нрс} - W_{овз})(C_{нрс} - C_{доп})] / (C_{доп} - C_{свбр}). \quad (12)$$

В определенных условиях соотношение $(C_{нрс} - C_{доп}) / (C_{доп} - C_{свбр})$ представляет собой модификацию коэффициента, характеризующего индекса загрязнения воды (ИЗВ = $C_i / ПДК_i$, где $ПДК_i$ - предельно-допустимая концентрация вещества; C_i - концентрация загрязняющего вещества) и предельно-допустимой загрязненности воды речных бассейнов ($K_{доп}$):

$$K_{доп} = (C_{нрс} - C_{доп}) / (C_{доп} - C_{свбр}), \quad (13)$$

тогда предельно-допустимый объем возвратных вод, который может быть сброшен в водосбор речных бассейнов определяется по

следующей формуле:

$$W_{\text{свбр}} = (W_{\text{нрс}} - W_{\text{овз}}) \times K_{\text{доп}} \quad (14)$$

Физико-химический смысл $K_{\text{доп}}$ представляет собой осредненную кратность сверх нормативного превышения концентрации загрязняющего вещества ($C_{\text{нрс}} - C_{\text{доп}}$) над предельно-допустимой концентрацией загрязненностью возвратных вод ($C_{\text{доп}} - C_{\text{свбр}}$).

Величину коэффициента, характеризующего предельно-допустимую загрязненность воды речных бассейнов ($K_{\text{доп}}$) находим из уравнения водно-гидрохимического баланса в следующем виде:

$$W_{\text{крс}} \times -K_{\text{доп}}^{\text{крс}} = (W_{\text{нрс}} \times K_{\text{доп}}^{\text{нрс}} - W_{\text{овз}} \times K_{\text{доп}}^{\text{овз}} + W_{\text{свбр}} \times K_{\text{доп}}^{\text{свбр}}) \times \exp(-k \times L) \quad (15)$$

откуда получаем:

$$K_{\text{доп}}^{\text{крс}} = (W_{\text{нрс}} \times K_{\text{доп}}^{\text{нрс}} - W_{\text{овз}} \times K_{\text{доп}}^{\text{овз}} + W_{\text{свбр}} \times K_{\text{доп}}^{\text{свбр}}) \times \exp(-k \times L) / W_{\text{крс}} \quad (16)$$

где $K_{\text{доп}}^{\text{крс}}$ - коэффициент предельно-допустимой загрязненности воды речных бассейнов в конце расчетного створа; $K_{\text{доп}}^{\text{нрс}}$ - коэффициент предельно-допустимой загрязненности воды речных бассейнов в начале расчетного створа; $K_{\text{доп}}^{\text{свбр}}$ - коэффициент предельно-допустимой загрязненности возвратных вод, сбрасываемые в речные бассейны.

При этом воды сверх предельно-допустимого объема возвратных вод, которые могут быть сброшены в водосборы речных бассейнов и которые могут быть утилизированы на рельефах местности и полях фильтрации, определяются по следующему уравнению:

$$W_{\text{срм}} - W_{\text{спф}} = W_{\text{овв}} - W_{\text{свбр}} \quad (17)$$

Таким образом, разработанная математическая модель и методика определения качества воды, полученных при совместном решении уравнения гидрохимического и водохозяйственного баланса применительно водосбору бассейна реки Тобыл позволяет определить геоэкологический обоснованные нормативы: лимит водопотребления, исходя из возможности водных ресурсов речных бассейнов; предельно-допустимые сбросы веществ, поступающих в водосборы речных бас-

сейнов от сосредоточенных и рассредоточенных источников загрязнения, исходя из условия достижения заданного качества воды, соответствующие требованиям природных и антропогенных водопотребителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе изучения динамики формирования водных ресурсов в водосборах бассейна реки Тобыл и геоэкологических условий водопользования в отраслях экономики в условиях Костанайской области Республики Казахстан, определены нагрузки возвратными водами и загрязняющими веществами, которые показали, что они характеризуются высокой катастрофической нагрузкой, требующих регулирования природных и антропогенных деятельности для обеспечения в перспективе устойчивого развития региона.

Комплексная оценка водохозяйственного состояния природно-территориальных комплексов в водосборах бассейна реки Тобыл в пределах Костанайской области Республики Казахстан на основе составления и анализа системы уравнений водного и геохимического балансов для водных экосистем и их водосборов позволила провести оценку состояния речного бассейна, тенденцию его изменения и антропогенного влияния и построение комплекса математических моделей, описывающих формирование водного стока и химического состава вод в речном бассейне.

Разработанное на основе уравнения водохозяйственного и гидрохимического балансов водосбора бассейна реки Тобыл методологическое обеспечение, позволяющее прогнозирование качество воды с учетом геоэкологических условий водопользования, обеспечивает соблюдение санитарно-эпидемиологического норматива и позволит сохранить экологическое состояние водных объектов и планировать водоохранные мероприятия для формирования желаемого уровня качества воды в реке.

Структурный и системный анализ модели водохозяйственного баланса водосбора бассейна реки Тобыл (казахстанская часть) как методологической основы управления гидрологического и гидрохимического режимов дает возможность использовать ее не только для этого бассейна, но и для других водохозяйственных бассейнов Республики Казахстан, а также можно адаптировать для любых речных бассейнов с учетом территориальной организации водопользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вершинская М.Е., Шабанов В. В., Маркин В.Н. Эколого-водохозяйственная оценка водных систем: Монография / М.Е. Вершинская, В.В. Шабанов, В.Н. Маркин. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2016. – 148 с.
2. Бимагамбетова Л.Н., Имангалиева А.К. Анализ распространения загрязняющих веществ в бассейне реки Тобол // Вестник КазАТК, 2017.- № 1 (100). – 48-52 с.
3. Ломакина С. С. Геоэкологический мониторинг поверхностных вод Северного Казахстана с использованием дистанционных методов и гис-технологий: Геоэкология (науки о Земле): 25.00.36, Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук.- Омск, 2019. – 124 с.
4. Ясинский С. В., Кашутина Е. А., Сидорова М. В., Нарыкова А. Н. Антропогенная нагрузка и влияние водосбора на диффузный сток биогенных элементов в крупный водный объект (на примере водосбора Чебоксарского водохранилища) // Водные ресурсы, 2020. – том 47. – № 5. – 630–648 с.
5. Данилов-Данильяна В. И., Полянина В. О., Фашевская Т. Б., Кирпичникова Н. В., Козлова М. А., Веницианова Е. В. Проблема снижения диффузного загрязнения водных объектов и повышение эффективности водоохраных программ // Водные ресурсы, 2020.- том 47.- № 5.- 503–514 с.
6. Стоящева Н.В. Антропогенная нагрузка на водные объекты бассейна Верхней Оби в разные по водности периоды: динамика и прогноз // Водное хозяйство России. – 2020. – № 3. – С. 52-67.
7. Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., Симернова Д.А., Сокальский В.А., Айтурсев А.М., Линник А.С., Милуков Д.Ю. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана. - Алматы: Канагат, 2014. – том 2. – 552 с.
8. Корытный Л.М., Безруков Л.А. Водные ресурсы Ангаро-Енисейского региона (геосистемный анализ). – Новосибирск: Наука, 1990. – 216 с.
9. Стоящева Н.В. Оценка антропогенной нагрузки на водные объекты бассейна верхней Оби в разные по водности периоды // Известия АО РГО, 2018. – № 4 (51). – 17-26 с.
10. Селезнева А.В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения // Известия Самарского научного центра РАН. – 2003. – Т. 5. – № 2. – С. 268-277.
11. Королев А.А., Розенберг Г.С., Гелашвили Д.Б., Панютин А.А., Иудин Д.И. Экологическое зонирование территории Волжского бассейна по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа (на примере Верхней Волги) // Известия Самарского научного центра РАН. – 2007. – Т. 9. – № 1. – С. 265-269.
12. Орлов М.С., Абрамова Е.А., Щерба В.А. К оценке антропогенной нагрузки на воды речных бассейнов Подмосквья и Крыма // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10. – № 2 (13). – С. 681-684.
13. Голиков А.П. Территориальная организация водного хозяйства СССР. – Харьков: Вища школа, 1982. – 144 с.
14. Ратанова М.П. Типология промышленных узлов по их воздействию на окружающую среду // Географическое прогнозирование и охрана природы. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 120-128 с.
15. Безруков Л.А., Мисюркеев Ю.А. Географо-картографическая оценка использования, загрязнения и охраны рек Иркутской области // География и природные ресурсы. – 1995. – № 2. – С. 40-50.
16. Бибикова Т.С. Сравнительный анализ антропогенных воздействий на водные ресурсы России, Белоруссии, Украины в постсоветский период // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38. – № 5. – С. 515-523.
17. Скорняков В.А. Учет распределения природных факторов и антропогенных нагрузок при оценке качества воды в реках // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – Вып. 1. – 238-262 с.
18. Mustafayev Zh. S. Forecast of surface water quality in river basins using physical and chemical indicators of natural systems // Reports of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, 2022. – №3.– 132-144 p.
19. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Алдиярова А.Е., Рыскулбекова Л.М. Математическая модель динамики качества поверхностных вод водосборов речных бассейнов // Вестник КазНУ, серия географическая. – 2022. – №2. – С. 75-83.
20. Mustafayev Zh. S., Kenzhaliyeva B. T., Daldabayeva G. T., Alimbayev E. N. Hydrochemical exploration and ecological state of the territory in the lower down of the Syrdarya river // N E W S of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2023.– №4. – P. 157-175.
21. Мустафаев Ж. С., Кенжалиева Б. Т., Далдабаева Г. Т. Способ определения нормативов предельно-допустимой концентрации загрязняющих веществ в водных объектах речных бассейнов // Мелиорация земель в решении геоэкологических проблем Евразии: Материалы международной научно-практической конференции «Костяковские чтения». – М.: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. – 303-309 с.
22. Отчет о деятельности РГУ «Тобол - Торгайская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов». – Костанай, 2005-2022. – 252 с.
23. Информационный бюллетень «Современные проблемы Тобол-Торгайского бассейна». – Костанай, 2005-2020. – 115 с.

24. Национально экологический бюллетень Костанайской области. – Костанай, 2005-2020. – С. 135.
25. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1966. – 392 с.
26. Цибудеева Д. Ц. Геоэкологические условия водопользования в речных бассейнах Республики Бурятия: диссертация ... кандидата географических наук: 25.00.36. – Барнаул, 2014. – 202 с.
27. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Оценка качества воды и экологического состояния водных объектов // Водоочистка, Водоподготовка, Водоснабжение. – 2008. – №10. – С. 28-37.
28. Маркин В.Н. Нормирование антропогенной нагрузки на реки // Природообустройство. – 2009. – №5. – С. 86-91.
29. Козыкеева А.Т., Jozef Mosiej, Тастемирова Б.Е. Комплексная оценка гидрохимического режима стока водосбора бассейна реки Тобол // Исследования, результаты. – 2019. – №1(81). – С. 97-103.
30. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Арвидас Повилайтис, Альдиярова А.К., Калмашова А.Н. Геоэкологическая оценка водосбора бассейна реки Есиль в условиях антропогенной деятельности // Исследования, результаты. – 2018. – №3(79). – С. 101-112.
31. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
7. Burlibaev M.Zh., Shenberger I.V., Burlibayeva D.M., Simernova D.A., Sokal'skiy V.A., Aitureev A.M., Linnik A.S., Milyukov D.Yu. Problems of pollution of the main transboundary rivers of Kazakhstan. – Almaty: Kanagat, 2014. – Volume 2. – 552 p.
8. Korytny L.M., Bezrukov L.A. Water resources of the Angara-Yenisei region (geosystem analysis). – Novosibirsk: Nauka, 1990. – 216 p.
9. Stoyashcheva N.V. Assessment of anthropogenic load on water bodies of the upper Ob basin in periods of different water content // Izvestiya AO RGO, 2018. - No. 4 (51). – 17-26 p.
10. Selezneva A.V. Anthropogenic load on rivers from point sources of pollution // Bulletin of the Samarara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2003. – Vol. 5. – No. 2. – P. 268-277.
11. Korolev A.A., Rosenberg G.S., Gelashvili D.B., Panyutin A.A., Iudin D.I. Ecological zoning of the Volga basin territory by the degree of wastewater load based on the basin principle (on the example of the Upper Volga) // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2007. – Vol. 9. – No. 1. – P. 265-269.
12. Orlov M.S., Abramova E.A., Shcherba V.A. On the assessment of anthropogenic load on the waters of river basins of the Moscow region and Crimea // Geopolitics and ecogeodynamics of regions. – 2014. – V. 10. – No. 2 (13). – P. 681-684.
13. Golikov A.P. Territorial organization of water management of the USSR. – Kharkov: Vishcha shkola, 1982. – 144 p.
14. Ratanova M.P. Typology of industrial hubs by their impact on the environment // Geographical forecasting and nature conservation. – Moscow: Moscow State University Publishing House, 1990. – 120-128 p.
15. Bezrukov L.A., Misyurkeev Yu.A. Geographical and cartographic assessment of the use, pollution and protection of rivers in the Irkutsk region // Geography and natural resources. – 1995. – No. 2. – P. 40-50.
16. Bibikova T.S. Comparative analysis of anthropogenic impacts on water resources of Russia, Belarus, Ukraine in the post-Soviet period // Water resources. – 2011. – Vol. 38. – No. 5. – P. 515-523.
17. Skornyakov V.A. Accounting for the distribution of natural factors and anthropogenic loads when assessing water quality in rivers // Problems of hydrology and hydroecology. – M.: Moscow State University Publishing House, 1999. – Issue. 1. – 238-262 p.
18. Mustafayev Zh. S. Forecast of surface water quality in river basins using physical and chemical indicators of natural systems // Reports of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, 2022. – №3. – 132-144 p.
19. Mustafayev Zh.S., Kozykeyeva A.T., Aldiyarova A.E., Ryskulbekova L.M. Mathematical model of the dynamics of surface water quality in river basin catchments // Bulletin of KazNU, geographical series. – 2022. – No. 2. – P. 75-83.

REFERENCES

1. Vershinskaya M.E., Shabanov V.V., Markin V.N. Ecological and water management assessment of water systems: Monograph / M.E. Vershinskaya, V.V. Shabanov, V.N. Markin. – M.: Publishing house RGAU-MSHA, 2016. – 148 p.
2. Bimagambetova L.N., Imangalieva A.K. Analysis of the distribution of pollutants in the Tobol River basin // Vestnik KazATK, 2017. – No. 1 (100). – 48-52 p.
3. Lomakina S. S. Geoecological monitoring of surface waters of Northern Kazakhstan using remote sensing methods and GIS technologies: Geoecology (Earth sciences): 25.00.36, Dissertation for the degree of candidate of geographical sciences. – Omsk, 2019. – 124 p.
4. Yasinsky S. V., Kashutina E. A., Sidorova M. V., Narykova A. N. Anthropogenic load and the influence of the catchment area on the diffuse flow of biogenic elements into a large water body (using the catchment area of the Cheboksary Reservoir as an example) // Water resource, 2020. – Volume 47. – No. 5. – 630-648 p.
5. Danilov-Danilyana V. I., Polyanina V. O., Fashchevskaya T. B., Kirpichnikova N. V., Kozlova M. A., Venitsianova E. V. The problem of reducing diffuse pollution of water bodies and increasing the effectiveness of water protection programs // Water Resources, 2020. – Vol. 47. – No. 5. – 503-514 p.
6. Stoyashcheva N. V. Anthropogenic load on water bodies of the Upper Ob basin in different periods of water content: dynamics and forecast // Water management of Russia. – 2020. – No. 3. – P. 52-67.

20. Mustafayev Zh. S., Kenzhaliyeva B.T., Daldabayeva G.T., Alimbayev E. N. Hydrochemical exploration and ecological state of the territory in the lower down of the Syrdarya river // N E W S of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2023. – №4. – P. 157-175.
21. Mustafayev Zh. S., Kenzhaliyeva B. T., Daldabaeva G. T. Method for determining standards for maximum permissible concentrations of pollutants in water bodies of river basins // Land reclamation in solving geoecological problems of Eurasia: Proceedings of the international scientific and practical conference «Kostyakov Readings». – M.: FGBNU «FNC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov», 2024. – 303-309 p.
22. Report on the activities of the RGU «Tobol-Torgay Basin Inspectorate for Regulation of Use and Protection of Water Resources». – Kostanay, 2005-2022. – 252 p.
23. Information bulletin «Modern problems of the Tobol-Torgay basin». – Kostanay, 2005-2020. – 115 p.
24. National environmental bulletin of the Kostanay region. - Kostanay, 2005-2020. – 135 p.
25. Perelman A.I. Landscape geochemistry. M.: Higher school, 1966. – 392 p.
26. Runova T.G., Volkova I.N., Nefedova T.G. Territorial organization of nature management. – M.: Science, 1993. – 102-109 p.
27. Shabanov V.V., Markin V.N. Assessment of water quality and ecological state of water bodies // Water purification, Water treatment, Water supply. – 2008. – №10. – P. 28-37.
28. Markin V.N. Standardization of anthropogenic load on rivers // Nature management. – 2009. – №5. – P. 86-91.
29. Kozykeyeva A.T., Jozef Mosiej, Tastemirova B.E. Comprehensive assessment of the hydrochemical regime of runoff of the Tobol River basin catchment area // Research, results. – 2019. – №1(81). – P. 97-103.
30. Mustafayev Zh.S., Kozykeyeva A.T., Arvydas Povilaitis, Aldiyarova A.K., Kalmashova A.N. Geoecological assessment of the catchment area of the Yesil River basin under anthropogenic activity // Research, results. – 2018. – №3(79). – P. 101-112.
31. Reimers N.F. Nature management. Dictionary-reference book. – M.: Mysl, 1990. – 637 p.

ТОБЫЛ ӨЗЕНІНІҢ СУ ЖИНАУ АЛАБЫНА ЛАСТАНУ КӨЗДЕРІНЕН ТҮСЕТІН АНТРОПОГЕНДІК ЖҮКТЕМЕНІ ЖЕР БЕТІ СУЛАРЫНЫҢ САПАСЫН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ БАҒАЛАУ

**Ж.С. Мұстафаев^{1*} т.ғ.д., профессор, Ә.Т. Қозыкеева² т.ғ.д., доцент, Б.Е. Тастемирова² PhD,
Л.М. Рыскулбекова² PhD**

¹«Институт географии және су қауіпсіздігі» АҚ, Алматы, Қазақстан

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: z-mustafa@rambler.ru

Тобыл өзенінің су жинау алабындағы су ресурстарын пайдалану құрылымы мен динамикасына жүйелі талдау негізінде, Қазақстан Республикасының Қостанай облысындағы экономика салаларында суды пайдаланудың геоэкологиялық жағдайының қалыптасу динамикасы зерттелді. Қайтарма сулар мен ластаушы заттардың жүктемесі анықталып, олардың жоғары апатты жүктемемен сипатталатыны анықталды, бұл аймақтың болашақтағы орнықты дамуын қамтамасыз ету үшін табиғи және антропогендік қызметті реттеуді қажет етеді. Тобыл өзенінің (Қазақстан аумағындағы) су жинау алабындағы су пайдаланудың жалпы схемасы жасалып, ол су шаруашылығы мен гидрохимиялық баланс теңдеуінің математикалық, физикалық және химиялық белгілерін қалыптастыруға мүмкіндік берді. Бұл модель өзен алабындағы қайтарма сулардың шекті рұқсат етілген көлемін анықтап, судың санитарлық-эпидемиологиялық стандарттарға сай болуын қамтамасыз етеді, су нысандарының экологиялық жағдайын сақтауға және өзендегі су сапасының қажетті деңгейін қамтамасыз ету үшін су қорғау шараларын жоспарлауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: өзен алабы, су жинау алабы, жүктеме, желі, теңдеу, тепе-теңдік, модель, судың сапасы, қайтарма су, суды пайдалану.

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC LOAD ON THE TOBYL RIVER BASIN CATCHMENT FROM POLLUTION SOURCES WITH MATHEMATICAL MODELING OF SURFACE WATER QUALITY

Zh. Mustafayev^{1*} *Doctor of Technical Sciences, Professor*, **A. Kozykeyeva**² *Doctor of Technical Sciences, Associate Professor*, **B. Tastemirova**² *PhD*, **L. Ryskulbekova**² *PhD*

¹*JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan*

²*Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan*

E-mail: z-mustafa@rambler.ru

Based on a systematic analysis of the structure and dynamics of water resource usage in the catchment area of the Tobyl River basin, the dynamics of the formation of geocological conditions of water use in the economic sectors within the Kostanay region of the Republic of Kazakhstan were studied. The analysis revealed a significant load from return waters and pollutants, indicating a high and potentially catastrophic pressure that requires regulation of both natural and anthropogenic activities to ensure the region's sustainable development in the future. A generalized water use scheme for the Kazakh part of the Tobyl River basin was developed, which facilitates the formation of mathematical, physical, and chemical indicators for water management and hydrochemical balance equations. This, in turn, allowed for the creation of a mathematical model of water quality and the determination of the maximum permissible discharge volume of return waters in the river basins. The model ensures compliance with sanitary-epidemiological standards and helps preserve the ecological state of water bodies while supporting the planning of water protection measures to achieve the desired level of water quality in the river.

Keywords: river basin, catchment, loads, scheme, equation, balance, model, water quality, return water, water use.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/ Information about authors:

Мустафаев Жумахан Сулейменович – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории ландшафтоведения и проблем природопользования АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, пр. Сейфуллина, 458/1, *z-mustafa@rambler.ru*

Козыкеева Алия Тобожановна – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Водные ресурсы и мелиорация» Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, проспект Абая, 8, *aliya270863@gmail.com*

Тастемірова Бактыгүл Ельденовна - PhD, старший преподаватель кафедры «Водные ресурсы и мелиорация» Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, проспект Абая, 8, *tastemirovab@mail.ru*

Рыскулбекова Лаура Молдахановна - PhD, старший преподаватель кафедры «Водные ресурсы и мелиорация» Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, проспект Абая, 8, *ryskulbekova.laura@mail.ru*

Мустафаев Жумахан Сулейменович – т.ғ.д., профессор, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының бас ғылыми қызметкері, Алматы қ., Сейфуллина даңғылы, 458/1, *z-mustafa@rambler.ru*

Қозыкеева Әлия Тобожановна – т.ғ.д., доцент, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Су ресурстары және мелиорация» кафедрасының профессоры, Алматы қ., Абай даңғылы, 8, *aliya270863@gmail.com*

Тастемірова Бактыгүл Ельденовна - PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Су ресурстары және мелиорация» кафедрасының аға оқытушысы, Алматы қ., Абай даңғылы, 8, *tastemirovab@mail.ru*

Рыскулбекова Лаура Молдахановна - PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Су ресурстары және мелиорация» кафедрасының аға оқытушысы, Алматы қ., Абай даңғылы, 8, *ryskulbekova.laura@mail.ru*

Mustafayev Zhumakhan – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Laboratory of Landscape Science and Environmental Management Problems of JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Seifullina ave., 458/1, *z-mustafa@rambler.ru*

Kozykeyeva Aliya - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Water Resources and Land Reclamation, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Abay Avenue, 8, *aliya.kt@yandex.ru*

Tastemirova Baktykul - PhD, Senior Lecturer, Department of Water Resources and Land Reclamation, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Abay Avenue, 8, *tastemirovab@mail.ru*

Ryskulbekova Laura - PhD, Senior Lecturer of the Department of Water Resources and Land Reclamation, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Abay Avenue, 8, *ryskulbekova.laura@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Мустафаев Ж.С. – разработка концепции, разработка методологии

Козыкеева А.Т.- разработка концепции, разработка методологии, подготовка и редактирование текста

Тастемірова Б.Е.- проведение статистического анализа

Рысқұлбекова Л.М. - проведение статистического анализа и подготовка текста

Мустафаев Ж.С.– тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу

Қозыкеева Ә.Т. - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу

Тастемірова Б.Е. - статистикалық талдау жүргізу

Рысқұлбекова Л. М. - статистикалық талдау жүргізу және мәтінді дайындау

Mustafayev Zh. – concept development, methodology development

Kozykeyeva A.- concept development, methodology development, preparing and editing the text

Tastemirova B. - conducting statistical analysis

Ryskulbekova L. - conducting statistical analysis and text preparation

СУ ҚАУІПСІЗДІГІ: ФОРСАЙТ-ЗЕРТТЕУЛЕР ПРИЗМАСЫ АРҚЫЛЫ НЕГІЗГІ АСПЕКТИЛЕР МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАР

С.Қ. Әлімқұлов *г.ғ.к.*, Л.К. Махмудова* *г.ғ.к.*

«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан
E-mail: makhmudovalk@gmail.com

Қазіргі әлемде су қауіпсіздігі мәселелері барған сайын өзекті бола түсуде және қоғамның тұрақты дамуын қамтамасыз етуде шешуші мәнге ие болуда. Әлемдік қоғамдастық алдында су көздерінің ластану қаупі, климаттың өзгеруі, экожүйелердің тұрақсыздығы және су ресурстарын тиімсіз басқару сияқты күрделі міндеттер тұр. Бұл мәселелерді шешу тек шұғыл шараларды ғана емес, сонымен бірге болашақта су қауіпсіздігінің сақталуын қамтамасыз етуге қабілетті ұзақ мерзімді стратегияларды қажет етеді. Ғылыми-зерттеу жұмысы форсайт-зерттеу әдістерін пайдалана отырып, су қауіпсіздігі саласындағы заманауи мәселелерге және оларды шешудің ықтимал стратегиялық шешімдеріне талдамалық шолуды ұсынады. Мақалада қазіргі әлемдегі су ресурстарының алдында тұрған өзекті қауіптер мен сын-қатерлерге назар аударылып, осы саладағы форсайт-зерттеулер әдістерін қолданудың артықшылықтары мен тиімділігі талқыланады. Жүргізілген ғылыми зерттеулер аясында су шаруашылығы саласындағы ағымдағы жағдайды талдау және ықтимал өзгерістерді болжау арқылы болашақта су қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін стратегиялық жоспарлаудың негізгі бағыттары көрсетілген.

Түйін сөздер: су қауіпсіздігі, форсайт-зерттеулер, су ресурстарын басқару, тұрақты даму, тұжырымдама.

Қабылданды: 30.04.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-114-128

КІРІСПЕ

Су ресурстары Тұрақты даму мақсаттарын (ТДМ) жүзеге асыруда негізгі орынды алады. Дүниежүзілік су кеңесі қауіпсіз суға қол жеткізуді барлық ТДМ-ын жүзеге асыру үшін қажетті шарт деп санайды. Сондықтан суды өзіндік құнды ресурс ретінде ғана емес, сонымен бірге азық-түлік немесе энергетикалық қауіпсіздікке қол жеткізу, өмір сүру құралдарын жақсарту, әйелдердің мүмкіндіктерін кеңейту, аурулардың алдын алу, экожүйелерді қорғау, жаһандық өзгерістерге немесе басқа да көптеген салаларға төзімділікті арттыру, дамудың барлық басқа бағыттарын жүзеге асырудың қажетті шарты ретінде қарастыру қажет (Braga B., 2018). Мұндай түсінік жалпы адам өмірінің қауіпсіздігімен тығыз байланысты, бұл әлемдегі су қауіпсіздігі мәселелеріне деген қызығушылықтың артуынан көрінеді.

Су қауіпсіздігі негізгі мақсаты су ресурстарын басқаруды қамтитын тұжырымдаманы білдіреді (Van Beek E. and

Arriens W.L., 2014). Соңғы онжылдықтарда көптеген пікірталастар мен тақырыптық басылымдардан тұжырымдама әлі де дамып келетінін, жалпы қабылданған тұжырымдамалық және теориялық негізі жоқ екенін байқауға болады. Қолданыстағы су қауіпсіздігі тұжырымдамаларының көбісі субъективті, ғалымның көзқарасы мен мүдделеріне, нақты бағдарламаларға байланысты (Chiluwe Q.W. and Claassen M., 2020). Дегенмен, су қауіпсіздігі қарқынды дамып келеді, дамудың императиві ретінде су қауіпсіздігі туралы жалпы түсінік артып келеді. Өртүрлі анықтамалар жалпы негізгі құрамдас бөліктерді құрайды: су ресурстарының жеткілікті және сенімді болуын қамтамасыз ету; сумен байланысты қауіптерді азайту (Van Beek E. and Arriens W.L., 2014; Chiluwe Q.W. and Claassen M., 2020; Medeu A.P. және т.б., 2016; Grey D. and Sadoff C.W., 2007; Water Security..., 2013; Abbas F. et al., 2023; Gerlak A.K. et al., 2023; Quandt A. et al., 2022).

Демек, су қауіпсіздігі нәтижелерге

көбірек көңіл бөледі және осылайша су ресурстарын интегралды басқару тұжырымдамасынан ерекшеленеді (Van Beek E. and Arriens W.L., 2014). Су қауіпсіздігі тұжырымдамасын іс жүзінде қолдану әлі де шектеулі, СРИБ (су ресурстарын интегралды басқару) көптеген елдерде тек басшылық қағидаттары ретінде үлкен қиындықтармен жүзеге асырылуда. Дегенмен, жақын болашақтағы су қауіпсіздігінің мақсаттарымен байланыстыра отырып, су ресурстарын басқаруға интегралды көзқарас қоғам мен су арасындағы қарым-қатынасты кең мағынада дамытудың негізгі бағдары болып табылады. Ал бұл қарым-қатынастардың негізгі принциптері мен тәсілдері және олардың жалпыадамзаттық мақсаттары – Тұрақты даму мақсаттары тұрғысынан дамуы талдаудың, түсінудің және болжаудың, ең бастысы, іс-әрекетке арналған нұсқаулықтарды әзірлеудің негізі болып табылады.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Ғылыми мақаланы жазудың әдіснамалық негізі түрлі ғылыми басылымдарда (Scopus және Web of Science ғылыми дерекқорларының халықаралық рецензияланатын журналдары, БҰҰ-ның су ресурстары туралы баяндамалары, Дүниежүзілік Банктің су қауіпсіздігі және тұрақты даму бойынша есептері, су қауіпсіздігі жөніндегі ұлттық және аймақтық стратегиялары) жарияланған форсайт-зерттеулер саласындағы ғылыми жұмыстар болды. Бұл жұмыста қолданылған зерттеу әдістері келесідей:

– тиісті зерттеулерді іздеу – Scopus және Web of Science ғылыми дерекқорларындағы материалдарды іздеу кезінде қолданылды;

– мазмұнды талдау әдісі – әдебиеттерге жүйелі шолу жасауда және ғылыми мақалаларды, баяндамаларды және стратегияларды тестілік талдауда су қауіпсіздігі мәселелері мен форсайт-зерттеу мәселелерін шешуде негізгі әдістерін анықтауда қолданылды;

– мета-анализ әдісі – су қауіпсіздігі саласындағы форсайт-зерттеулер бойынша бірнеше тәуелсіз зерттеулердің нәтижелерін біріктіру, су ресурстарын дамытудың болашақ сценарийлерімен байланысты жалпы

тенденцияларды анықтауда қолданылды;

– статистикалық талдау – су қауіпсіздігін басқарудың түрлі стратегиялары мен тәсілдерінің тиімділігін бағалауда қолданылды;

– SWOT талдаудың кешенді әдісі – түрлі су қауіпсіздігі стратегияларының күшті және әлсіз жақтарын бағалауда қолданылды;

– PESTEL кешенді талдау әдісі – су қауіпсіздігіне әсер ететін саяси, экономикалық және экологиялық факторларды талдауда қолданылды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Соңғы онжылдықтарда су ресурстарының күрделі мәселелері айқындала түсті. Әлемдік ауқымдағы су балансының жай-күйі ең жоғары «қауіптілік деңгейін» көрсетуі мүмкін (Бойкова М.В., Крупникова Д.Б., 2010). Халық санының көбеюі, ауыл шаруашылығында суды тұтынудың артуы және климаттың өзгеруі су ресурстарына айқын қысым жасауда. Бұл мәселенің мойындау және оны шешу үшін әрекет ету қажеттілігі барған сайын өзекті бола түсуде. Бұл мәселені шешудің негізгі аспектілерінің бірі су экожүйелерін тиімді пайдалану мен қорғауды қоса алғанда, су ресурстарын тұрақты басқару болып табылады.

Су қауіпсіздігі – бұл су ресурстарының қауіпсіздігін қамтамасыз етудің және оларды тұрақты басқарудың әртүрлі аспектілерін қамтитын тұжырымдама. Су қауіпсіздігінің негізгі құрамдас бөліктеріне мыналар жатады: судың жеткілікті мөлшері мен сапасын қамтамасыз ету; су тасқыны қаупін азайту; құрғақшылық қаупін азайту; судың ластануын болдырмау; су ресурстарын бірлесіп басқару. Демек, су қауіпсіздігі қоршаған орта үшін ғана емес, сонымен бірге экономиканың тұрақтылығы мен әлеуметтік дамуын қамтамасыз ету үшін де маңызды. Суды интегралды басқару процестерінде жүзеге асырылатын адаптивті басқару әр түрлі деңгейдегі су қауіпсіздігіне қол жеткізудің шешуші факторы болып табылады (Van Beek E. and Arriens W.L., 2014).

Зерттеулерге сәйкес (Медеу А.Р. және т.б., 2012), су қауіпсіздігі деп қоғамның өмірлік маңызды мүдделерінің (адам денсаулығы, тіршілік ету ортасы, өндіріс)

гидрологиялық қауіптерден қорғалуының жай-күйін түсіну керек, әрі қарай мәтін бойынша ... «суға тәуелді табиғи және антропогендік құбылыстар мен процестер, сондай-ақ белгілі бір жағдайларда қоғамға зиян келтіруі мүмкін су объектілерінің қасиеттері (ағын көлемінің азаюы, ағын режимінің өзгеруі, ағын сапасының нашарлауы) гидрологиялық қауіптер деп түсініледі».

Маңыздысы, су қауіпсіздігіне қатысты нақты тәсілдер уақыт өте келе өзгеруі мүмкін және оларға әртүрлі факторлар, соның ішінде саяси өзгерістер мен жаһандық экологиялық сын-қатерлер әсер етуі мүмкін. Мемлекеттік жүйе мен саясат су қауіпсіздігі саласындағы стратегиялар мен шешімдерді қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Әрбір елдің су ресурстарын басқарудың өзіндік тәжірибесі мен әдістері бар, ал су қауіпсіздігін бағалау саясатты, мәдени ерекшеліктерді және географиялық орналасуды қоса алғанда, көптеген факторларға тәуелді (Abbas F. et al., 2023; Gerlak A.K. et al., 2023; Quandt A. et al., 2022).

Су қауіпсіздігі – бұл таза және қауіпсіз суға қолжетімділікті қамтамасыз етудің, су ресурстарын басқарудың және су қатерлерінен қорғаудың әртүрлі аспектілерін қамтитын тұжырымдама. Су қауіпсіздігін шешу тәсілдері елдің мемлекеттік жүйесі мен саясатына байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін:

I. Орталықтандырылған және авторитарлық тәсіл. Қытай, Солтүстік Корея, Сауд Арабиясы, Түркіменстан сияқты орталықтандырылған басқару күшті елдерде мемлекет су ресурстары саласында негізгі шешімдерді қабылдай алады. Бұл тәсіл суды пайдалануды қатаң реттеуге, мониторингке және бақылауға бағытталған. Мемлекет су ресурстарын басқару үшін бөгеттер мен каналдар сияқты ірі инфрақұрылымдық жобаларға инвестиция сала алады.

II. Орталықтандырылмаған және либералды тәсіл. Еуропалық Одақтың кейбір елдері сияқты либералды саясаты бар елдерде басты назар нарықтық механизмдерге және жеке қатысуға ауысуы мүмкін. Аталған тәсіл су секторындағы бәсекелестікті, инновацияларды және жеке инвестицияларды ынталандыруға бағытталған. Мемлекет

реттеуші рөлін атқара алады, құқықтық және экологиялық сенімділікті қамтамасыз ете алады.

III. Икемді немесе аралас тәсіл. Көптеген елдер су ресурстарын басқаруда орталықтандыру және орталықсыздандыру элементтерін біріктіре алады. Бұл тәсіл мемлекеттің мүдделерін де, жергілікті қоғамдастықтар мен жеке компаниялардың қажеттіліктерін де ескере алады. Мемлекет әртүрлі мүдделі тараптар арасында реттеуші және үйлестіруші рөлін атқара алады.

Су ресурстарын басқаруда мемлекеттің толық қатысуы бар елдерде су қауіпсіздігінің оң және теріс аспектілері болуы мүмкін. Жағымды жақтары:

– тиімді басқару (мемлекеттік басқару су ресурстарының тиімді бөлінуін және бақылануын қамтамасыз ете алады, осылайша су тапшылығының алдын алуға және жоюға ықпал етеді);

– қоршаған ортаны қорғау (мемлекет су экожүйелері мен биоәртүрлілікті қорғаудың қатаң ережелері мен стандарттарын жүзеге асыра алады);

– инфрақұрылым (мемлекеттің қатысуы көбінесе маңызды су инфрақұрылымын құруға ықпал етеді: бөгеттер, каналдар және сумен жабдықтау жүйелері).

Жағымсыз аспектілер: билікті орталықтандыру (үкіметтің толық араласуы биліктің орталықтандырылуына әкелуі мүмкін, бұл жергілікті қоғамдастықтардың қажеттіліктері мен мүдделерін әрдайым ескере бермеуі мүмкін); бюрократия (тым көп бюрократия мен шектеулер шешім қабылдау мен жаңа технологияларды енгізу процестерін баяулатуы мүмкін); инновацияларды тежеу (кейбір жағдайларда мемлекеттік реттеудің тым қатаңдығы суды тиімді басқарудағы инновациялар мен дамуды тежеуі мүмкін).

Су ресурстарын басқаруға либералды көзқарасы бар елдерде, әдетте, мемлекеттің аз араласу принципі сақталады, ал су ресурстарын нарықтық және жеке субъектілер белсенді түрде реттей алады. Мұндай елдердегі су қауіпсіздігінің маңызды аспектілеріне мыналар жатады:

– нарықтық бәсекелестік (жеке компаниялар мен субъектілер су ресурстарын

басқару мен бөлуге көбірек қатыса алады, бұл бәсекелестік пен тиімділікті арттыруға ықпал етуі мүмкін);

– инновациялар және инвестициялар (либералдық саясат су саласындағы инвестициялар мен инновацияларды ынталандыруы мүмкін, бұл су ресурстарын басқарудың жаңа технологиялары мен әдістерінің дамуына ықпал етеді);

– нарықтық қатынастарға негізделген реттеу (нарықтық тетіктер су ресурстарын пайдалануды, оның ішінде баға белгілеуді және су квоталарымен сауданы реттеу үшін қолданыла алады).

Дегенмен, либералдық көзқарастың жағымсыз жақтары да болуы мүмкін, мысалы, суды басқарудың әлеуметтік және экологиялық аспектілеріне жеткіліксіз назар аудару ықтималдығы, сондай-ақ монополиялану қауіптерді және жергілікті қауымдастықтардың мүдделерін жеткіліксіз қорғау. Еркін нарық пен суды үнемдеу және барлық азаматтардың суға қолжетімділігін қамтамасыз ету жөніндегі міндеттемелер арасындағы тепе-теңдікті сақтау маңызды.

Су саласындағы жоспарлы шаруашылық тұрақты пайдалануды және су қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында су ресурстарын стратегиялық жоспарлау мен басқаруды көздейді. Бұған көптеген мысалдар келтіруге болады:

Су ресурстарын дамыту жоспары – аймақтағы су ресурстарының қалай пайдаланылатынын және сақталуын анықтайтын ұзақ мерзімді жоспар құра отырып, бұл жоспарға бөгеттер салу, су қоймаларын құру және су ағынын реттеу бойынша іс-шаралар кіруі мүмкін.

Сумен жабдықтау және суды тазарту жоспары – барлық азаматтарды таза ауыз сумен қамтамасыз етудің стратегиялық жоспарын әзірлеу, бұл жоспарға сумен жабдықтау инфрақұрылымы мен тазарту имараттарын салу және жаңарту кіруі мүмкін.

Климаттың өзгеруіне бейімделу жоспары – су жүйелерін ықтимал өзгерістерге бейімдеу жоспарын әзірлеу атмосфералық жауын-шашын, ауа температурасында өзгермелі климаттық жағдайларды ескере отырып, су ресурстарын үлестіру.

Құрғақшылықпен күресу жоспары –

құрғақшылықтан зардап шегетін аймақтарда суды үнемдеуді, қайта өңдеуді және суару тәжірибесін жақсартуды қоса алғанда, қолда бар су ресурстарын тиімді пайдалану жоспары жасалуы мүмкін.

Су экожүйелерін қорғау жоспары – өзендерді, көлдерді және су экожүйелерін ластанудан және деграляциядан қорғауға арналған іс-шараларды жоспарлау және жүзеге асыру, оның ішінде қорықтар құру және табиғи су ресурстарын пайдалануға шектеулер қою.

Су тасқынына қарсы іс-шаралар жоспары – су тасқыны қаупін басқару стратегиясын әзірлеу, оның ішінде қорғану имараттарын салу, өзендерді реттеу, ескерту және алдын алу жүйелерін енгізу.

Мониторинг және бақылау жоспарлары – судың сапасын, су ресурстарының мөлшерін және нормативтік құқықтық актілердің сақталуын, сондай-ақ су ережелері мен заңдарының сақталуын бақылауды үздіксіз жүргізу жоспарларын құру.

Бұл жоспарлар мемлекеттік деңгейде де, аймақтық деңгейде де әзірленуі мүмкін және олар су қауіпсіздігін қамтамасыз ету және халық пен экономиканың қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін су ресурстарын тұрақты және тиімді басқаруды қамтамасыз етуге бағытталған.

Либералды мемлекеттік жүйемен су шаруашылығы саласындағы стратегияларды тұжырымдамалық жоспарлау нарықтық механизмдерге бағдарлауды, жеке қатысуды және инновацияларды, сондай-ақ су ресурстарын тиімді және орнықты пайдалануға ұмтылуды қамтиды. Мұндай ортадағы тұжырымдамалық жоспарлаудың негізгі аспектілері:

1. Либералдандыру және нарықтық бағдар. Стратегияларды әзірлеу нарықтық экономика қағидаттарын ескеруді және су қызметтері нарығында бәсекелестікке жағдай жасауды қамтиды. Бұл жеке инвестицияларды тартуды және баға белгілеу тетіктерін әзірлеуді қамтуы мүмкін.

2. Инновациялар және технологиялық даму. Су саласының стратегиялары су ресурстарын басқарудың жаңа технологиялары мен әдістерін енгізу мүмкіндіктерін ескеруі керек. Инновациялар тиімділікті арттыруға және суды тұтынуды азайтуға көмектеседі.

3. Стратегиялық жоспарлау. Климаттың өзгеруі, халық санының өсуі және су ресурстарының өзгеруі сияқты ағымдағы және болашақтағы қиындықтарды ескеретін ұзақ мерзімді стратегияларды әзірлеу. Бұл стратегиялар су ресурстарын басқарудың басымдықтары мен мақсаттарын анықтауы керек.

4. Реттеу және стандарттау. Мемлекеттік органдар су қызметтерінің сапасын қамтамасыз ету және су экожүйелерін қорғау үшін нормалар мен стандарттарды әзірлеуі керек. Сондай-ақ заңдар мен нормативтік құқықтық актілердің сақталуын бақылау үшін реттеуші тетіктер белгіленуі керек.

5. Мүдделі тараптардың қатысуы. Тұжырымдамалық жоспарлау қоғамның, жеке компаниялардың және жергілікті қоғамдастықтардың қатысу процесстерін қамтуы керек. Бұл әртүрлі қызығушылықтар мен қажеттіліктерді ескеруге ықпал етеді.

6. Су ресурстарын үнемдеу және тұрақтылық. Стратегиялардың маңызды құрамдас бөліктері суды үнемдеу, пайдалану тиімділігін арттыру және су жүйелерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету шаралары болып табылады.

Су саласының либералды мемлекеттік жүйесі мемлекет пен жеке сектордың белсенді ынтымақтастығын, сондай-ақ инновациялар мен нарықтық қағидаттарға бағдарландыруды көздейтінін атап өту маңызды. Бұл су ресурстарын икемді және адаптивті басқаруға ықпал етуі мүмкін, және басқалардың бәріне стандарттардың сақталуын қамтамасыз ету және әлеуметтік мүдделерді ескеру үшін мұқият реттеу мен қадағалауды талап етеді.

Су қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін әмбебап шешім жоқ және тәсілдер нақты жергілікті жағдайлар мен қажеттіліктерге бейімделуі керек, өйткені физикалық және экономикалық жағдайлар үнемі өзгеріп отырады, сондықтан су ресурстарын басқару жүйелерінің бейімделуге және өзгеруге қабілетті болуы маңызды. Демек, су қауіпсіздігі, әсіресе халық санының болжамды өсуі мен климаттың өзгеруін ескере отырып, болашақ үшін басты басымдықтардың бірі болып қала береді (Van Beek E. and Arriens W.L., 2014).

Су саласының негізгі проблемалары, осы тұжырымдама тұрғысынан, аймақ пен елге байланысты әр түрлі болуы мүмкін, бірақ

келесі негізгі аспектілерді қамтиды:

– Су тапшылығы мәселесі. Барлығына суға қолжетімділікті қамтамасыз ету үшін инфрақұрылым мен ресурстарды жақсартуды талап ететін су қауіпсіздігінің негізгі мәселесі.

– Климаттың өзгеруі құрғақшылық пен су тасқыны сияқты жиі және қарқынды табиғи апаттарға әкелуі мүмкін, бұл судың қолжетімділігі мен басқарылуына әсер етеді.

– Траншекаралық су айдындарын пайдалану мен басқаруға байланысты елдер мен аймақтар арасындағы трансшекаралық су қақтығыстары.

– Су көздерінің ластануы судың сапасына кері әсерін тигізіп, адам денсаулығы мен экожүйелерге қауіп төндіреді.

– Инфрақұрылымның, оның ішінде сумен жабдықтау және су бұру жүйелерінің жеткіліксіздігі су қызметтері мен санитарлық-гигиеналық қондырғыларға қол жетімділіктің болмауына әкелуі мүмкін.

– Су экожүйелерінің тұрақтылығы. Даму және индустрияландыру су экожүйелеріне зиянын тигізуі мүмкін, бұл биоәртүрлілік пен экологиялық тұрақтылыққа әсер етуі мүмкін.

– Су тасқыны қауіпін басқару. Су тасқыны адамдардың өмірі мен мүлкіне үлкен зиян келтіруі мүмкін, ал су тасқыны қауіпін басқару инфрақұрылым мен жоспарлауға инвестицияларды қажет етеді.

– Су ресурстарын үнемдеу. Ауыл шаруашылығында, өнеркәсіпте және қалаларда суды пайдалану су ресурстарын үнемдеуді және тиімді пайдалануды жақсартуды талап етеді.

Су қауіпсіздігі мәселелерін шешуде тұщы су тапшылығын жою жөніндегі іс-шараларды жүзеге асыру үшін шаралар қабылдау қажет екенін ескеру қажет: су ресурстарына жүктемені азайту және тұщы су ресурстарын арттыру. Су ресурстарына түсетін жүктемені азайту мыналарды қамтиды: суға экологиялық сұранысты нормалау, экономика салаларында суды үнемдеу; тұщы су ресурстарының ұлғаюына мыналар жатады: мемлекетаралық су қатынастарын жетілдіру, өзен ағындысын көпжылдық және маусымдық реттеу, тұщы судың жер асты қорларын пайдалану, тұзды сортаңды суларды тұщыландыру, жа-

уын-шашынды жасанды көбейту, су ресурстарын бассейнаралық қайта үлестіру (Медеу А.Р. және т.б., 2012).

Жоғарыда айтылғандарды қорытындылай келе, су шаруашылығы саласында су ресурстарын тиімді басқаруға және су қауіпсіздігіне әсер етуі мүмкін көптеген белгісіздіктер бар деп айтуға болады:

1. Климаттың өзгеруіне қатысты белгісіздік: климаттың өзгеруі жауын-шашынға, температураға және су айналымына қалай әсер етеді - бұл болашақ су ресурстары мен су қауіптерін болжауды қиындатады.

2. Тұтыну және халық санының өсуі. Әлемнің әртүрлі аймақтарындағы суды тұтыну деңгейі мен халық санының өсуіндегі белгісіздік су ресурстарына сұранысты болжауды қиындатуы мүмкін.

3. Траншекаралық су бассейндеріне қатысты белгісіздік. Әр түрлі елдердің шекараларын кесіп өтетін су бассейндері қақтығыстардың қайнар көзіне айналуы мүмкін және басқаруда үйлестіру мен ынтымақтастықты қажет етеді.

4. Экономикалық белгісіздік су жобалары мен инфрақұрылымды қаржыландырудың қолжетімділігіне әсер етуі мүмкін.

5. Технологиялық өзгерістердегі белгісіздік. Суды өндіру, тазарту және пайдаланудың жаңа технологияларын дамыту су саласының динамикасын өзгертуі мүмкін.

6. Саяси тұрақсыздық және заңнамадағы өзгерістер су ресурстарын реттеу мен басқаруға әсер етуі мүмкін.

7. Экологиялық қауіптер. Су көздерінің ластануы және экожүйелердің өзгеруі сияқты экологиялық қауіптердің туындауына қатысты белгісіздік дағдарыстық жағдайларға дайындықты талап етеді.

8. Әлеуметтік факторлар. Әлеуметтік өзгерістер мен тұтынушылық әдеттердің өзгеруі су қызметтеріне сұранысқа әсер етуі мүмкін.

Су ресурстарын табысты басқару және су қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін осы белгісіздіктерді ескеріп, өзгермелі жағдайларға бейімделе алатын икемді стратегиялар мен жоспарларды әзірлеу қажет. Ол сондай-ақ су өнеркәсібіндегі әртүрлі мүдделі тараптар арасындағы мониторингтің, болжаудың және ынтымақтастықтың маңыздылығын көрсетеді.

Су шаруашылығы мәселелерін шешу мемлекеттер, жергілікті қауымдастықтар, жеке сектор және халықаралық ұйымдар арасындағы ынтымақтастықты талап етеді. Бұл тұрғыдағы негізгі құралдар су ресурстарын басқару стратегияларын әзірлеу, инновациялар мен технологияларды енгізу, сондай-ақ экологиялық стандарттарды сақтау және суға қолжетімділікте әлеуметтік әділеттілікті қамтамасыз ету болып табылады (Доклад..., 2023).

Қазіргі әлемде әртүрлі салалардағы оқиғалар мен тенденциялар бір-бірімен болжанбайтын тәсілдермен өзара әрекеттеседі. Өзгермелі климат мәселесі сумен қамтамасыз ету, ауыл шаруашылығы және азық-түлік қауіпсіздігін қамтитын көптеген маңызды мәселелермен байланысты.

Кең мағынада форсайт – бұл ғылымның, техниканың, экономиканың және қоғамның ұзақ мерзімді перспективаларын бағалауға, стратегиялық зерттеу бағыттарын және ең үлкен әлеуметтік-экономикалық игіліктерді қамтамасыз етуге қабілетті жаңа технологияларды анықтауға бағытталған жүйелі әрекеттер.

Форсайт (Foresight) – саланың немесе облыстың болашақтағы дамуын зерттеуге және болжауға бағытталған әдістеме. Негізгі мақсат – су ресурстары және су шаруашылығы саласында неғұрлым негізделген стратегиялық шешімдерді қабылдау. Форсайттың тиімді жүйесі бұл жалпы үш кезеңнен тұратын ақпаратты қалыптастыру және басқару процесі: ақпаратты жинау; деректерді интерпретациялау және болашақтың әртүрлі нұсқаларының көріністерін беру; іс-әрекеттің стратегиялық нұсқаларын әзірлеу. Осылайша, форсайт бұл болашақтың орта және ұзақ мерзімді нұсқаларында туындауы мүмкін мүмкіндіктер мен қауіптерді анықтайтын көрегендік процесі (Форсайт..., 2014). Сонымен қатар форсайт (foresight) – белгілі бір салаға немесе облысқа (бұл жағдайда – су саласына) әсер етуі мүмкін болашақ тенденцияларды, технологиялық өзгерістерді және оқиғаларды талдауға және болжауға бағытталған әдістеме белгісіздіктерді басқару үшін (Воронов Ю.П., 2010). Форсайт әдістемелерін қолдану мүмкіндіктері:

1. Су саласына қатысты негізгі мәселе-

лер мен белгісіздіктерді анықтау. Бұл климаттың өзгеруіне, су ресурстарына қолжетімділікке, технологиялық инновацияларға және басқа аспектілерге қатысты мәселелер болуы мүмкін.

2. Су саласындағы ағымдағы тенденциялар, сондай-ақ болашақта оған әсер етуі мүмкін оқиғалар мен жасақтамалар туралы мәліметтер жинау. Бұл статистиканы, әдебиеттерді талдауды, сарапшылармен сұхбаттарды және т.б. қамтуы мүмкін.

3. Оқиғалардың дамуының әртүрлі нұсқалары мен белгісіздік деңгейлерін ескере отырып, болашақтың әртүрлі сценарийлерін әзірлеу.

4. Су саласындағы әлеуетті болашақ оқиғалар мен трендтер туралы сараптамалық бағалаулар мен пікірлер.

5. Стратегиялық басымдықтарды айқындау. Талдау мен сценарийлер негізінде белгісіздіктермен күресу және су өнеркәсібіндегі өзгерістерге бейімделу үшін қабылдануы мүмкін стратегиялық басымдықтар мен әрекеттерді анықтау.

6. Стратегияны мониторингілеу және қайта қарау. Форсайт – бұл үнемі жаңартылып отыруды қажет ететін процесс (жаңа деректер мен оқиғаларға негізделген стратегиялар мен жоспарларды қайта қарау).

Сондықтан, форсайт ұйымдар мен үкіметтерге су өнеркәсібінің қарқынды дамып келе жатқан ортасына бейімделуге және климаттың өзгеруіне, демографияға, технологияға және басқа факторларға байланысты әртүрлі белгісіздіктермен күресуге көмектесе алады.

Тарихи тұрғыдан қарағанда іс-әрекетке арналған нұсқаулықтарды немесе мемлекеттік басқару жүйесіндегі жоспарларды әзірлеуге өткен ғасырдың 30...50 жылдарынан бастап байыпты көңіл бөліне бастады. 2000 жылдарға дейін болжау технологияны дамытуға және оның әлеуметтік-экономикалық жағдайларға әсеріне көбірек бағытталғанымен және осы болашақты қайта құруға мүмкіндік беретін әрекетке азырақ назар аударылғанымен, бұл кезең форсайт технологиясының қалыптасуына елеулі үлес қосты.

Форсайт әдістемесінің XX ғасырдың екінші жартысында басталған ұзақ даму тарихы бар. Форсайт бағытындағы алғашқы

қадамдар Екінші дүниежүзілік соғыс кезінде және соғыстан кейінгі кезеңде (1940...1960 жж.) жасалған. Бұл кезде болашақты талдау мен болжаудың алғашқы әдістемелері негізінен әскери стратегия контекстінде пайда болды (АҚШ-тың әскери зерттеу орталықтары).

Келесі кезең 1960...1970 жылдар аралығын қамтиды, осы кезеңде форсайт жүйелі және ғылыми сипатқа ие болды. Ұйымдар стратегиялық жоспарлау және қауіптерді басқару (Дельфи әдісінің қолданылуын талдау туралы Жапонияның форсайт бағдарламасы) сияқты кеңірек мақсаттар үшін болжау әдістемелерін қолдана бастады. Осы кезеңде технологиялық болжаудың әдістері мен құралдары одан әрі дамыды: сандық бағалау әдістері, трендтерді экстраполяциялау, өсу модельдері, жол карталары, мониторинг және Дельфи сценарийлері (Пенькова И.В., Боднар А.И., 2017).

Үшінші кезең 1980...1990 жылдар аралығын қамтиды: форсайт академиялық және іскерлік қоғамдастықта танылды. Ол технологиялық инновациялар, экономика, ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарды қоса алғанда, әртүрлі салаларға енгізіле бастады. Осы кезеңде экономикада базалық инновациялар кластері құрылды және қалыптасты.

1990 және 2000 жылдар аралығында форсайт зерттеулерімен және әдістемелерді әзірлеумен айналысатын әртүрлі ұйымдар мен ғылыми-зерттеу институттары құрылды. Көптеген елдер форсайтты мемлекеттік басқаруға және ұлттық стратегияларды әзірлеуге енгізе бастады. Форсайтты мемлекеттік саясатта пайдаланудың мысалы ретінде сценарийлік жоспарлауды жүзеге асырған және 1993 жылы үкімет сценарийлік жоспарлауды ұзақ мерзімді стратегия мен саясатты әзірлеу құралы ретінде пайдалануды бекіткен Сингапурды қарастыруға болады (Форсайт..., 2014).

Қазіргі кезеңде ақпараттық технологиялардың дамуымен және деректердің үлкен көлеміне қол жеткізумен форсайт экологиялық тұрақтылық пен әлеуметтік-мәдени өзгерістер сияқты факторлардың кең ауқымын қарастыра бастады. Мысалы, Ұлыбританияның форсайт бойынша соңғы жобалары жаһандық ауқымдағы климаттың өзгеруін, қоршаған ортаны қорғау саласындағы саясат-

ты әзірледі, ұлттық қауіпсіздік, су қауіпсіздігі, азық-түлік қауіпсіздігі салаларында стратегиялық ұсынымдарды әзірледі қамтиды.

Форсайттың бүгінгі әдістемесі дамуын жалғастыруда және стратегиялық жоспарлауда, бизнесте де, мемлекеттік секторда да инновациялар мен өзгерістерді басқаруда маңызды рөл атқарады. Ол ұйымдарға тез өзгеретін ортаға бейімделуге және болашаққа болжам жасау негізінде неғұрлым негізделген шешімдер қабылдауға көмектеседі. Форсайт әдістемесі болашақты болжауға, атап айтқанда болашақта қандай оқиғалар, трендтер мен өзгерістер болуы мүмкін екенін талдауға және болжауға арналған. Бұл әдістеме стратегияларды әзірлеу, шешімдер қабылдау және ұйымдарды ұзақмерзімді перспективада өзгерістерге дайындау үшін қолданылады. Форсайт деректерді жүйелі талдауды, сценарийлік модельдеуді және жақсырақ ақпараттандырылған шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретін әртүрлі болашақ сценарийлердің ықтималдығын бағалауды қамтиды (Заглядывая..., 2014). Осылайша форсайт-зерттеулер – бұл ақпараттандырылған стратегиялық шешімдер қабылдауға бағытталған болашақ тенденцияларды, ықтимал сценарийлерді және әртүрлі салалардағы ұзақ мерзімді өзгерістерді зерттеудің әдіснамалық тәсілі.

Болашақ дамуды форсайт зерттеулерінде қолданылатын әдістер қиял мен техникалық күрделі зерттеулерге тенденцияларды қалыптастырудан бастап, статистикалық болжамдарға дейінгі ең кең ауқымға ие. Форсайт-зерттеулердің негізгі әдістері: сараптамалық сауалнамалар, сценарийлік жоспарлау, жол карталары, технологиялық талдау, желілік талдау, стратегиялық жоспарлау, мониторинг пен бағалау және т.б. (Popper R., 2008). Негізінде форсайт-зерттеулердің кешенділігі әртүрлі әдістер жиынтығын пайдалануды ұсынады, әдістер жиынтығы ғылыми зерттеулердің мақсаттары мен міндеттерін ескере отырып таңдалады, белгілі бір жобада қолданылуы тиіс әдістердің «мінсіз» жиынтығы жоқ екендігі белгілі. Әрбір нақты ғылыми зерттеуде әдістердің сәйкес үйлесімі қолданылады. Форсайт зерттеулерінде әртүрлі әдістер қолданылады: оқиғаларды субъективті қабылдау тұрғысынан түсінуге және бағалауға мүмкіндік беретін сапалық әдістер; айнымалыларды өлшеуге және статистикалық талдауды қолдануға мүмкіндік беретін сандық әдістер; субъективті пікірлердің, логикалық құрылымдардың және сараптамалық көзқарастардың сандық өлшемдерін қолданатын аралас әдістер (сурет 1).

Сапалық әдістер

Ой-талқы, азаматтық панельдер, конференциялар (семинарлар), сараптамалық панельдер, данышпанның болжамы, сұхбат, әдебиет талдауы, мақсаттар ағаштары (логикалық сызбалар), сценарийлер, SWOT-талдау

Сандық әдістер

Бенчмаркинг, библиометрия, индикаторлар (уақытша қатарлар талдауы), модельдеу, патенттік талдау, тенденцияларды экстраполяциялау, ықпалдарды талдау

Аралас әдістер

Айқас байланыстарды талдау, құрылымдық талдау, Дельфи, кілтті (сындық) технологиялар, көпкритерийлі талдау, сандық сценарийлер, жол карталары, стейкхолдерлер талдауы

Сур. 1. Форсайт-зерттеу әдістері (Popper R., 2008)

Осылайша, су саласындағы форсайт-зерттеулер болашақта су ресурстарын жоспарлау және орнықты басқару үшін маңызды болуы мүмкін. Бұл зерттеулер келесі аспектілерді қамтуы мүмкін:

1. *Климаттың өзгеруін болжау.* Климаттың өзгеруін және олардың тұщы судың қолжетімділігіне және су ресурстарының деңгейіне әсерін талдау.

2. *Сумен жабдықтаудың тұрақтылығы.* Демографиялық және экологиялық өзгерістер контекстінде сумен жабдықтау жүйелерінің тұрақтылығын бағалау.

3. *Технологиялық инновациялар.* Су ресурстарын тиімді басқару мен пайдаланудың жаңа технологияларын зерттеу (ресурстардың ысыраптарын азайту, шығындарды үнемдеу және қоршаған ортаға кері әсерін азайту).

4. *Экологиялық аспектілер.* Су ресурстарының экожүйелеріне адам қызметінің әсерін бағалау және оларды сақтау әдістерін іздеу.

5. *Су жанжалдарын басқару.* Әртүрлі топтар мен елдер арасындағы ықтимал су мүдделері қақтығыстарын талдау, сондай-ақ оларды шешу стратегияларын әзірлеу.

6. *Ресурстарды тиімді пайдалану.* Өнеркәсіпте, ауыл шаруашылығында және қала құрылысында су ресурстарын тұрақты пайдалануды жоспарлау.

7. *Білім беру және ақпараттандыру.* Су ресурстарын орнықты пайдалану туралы хабардарлықты арттыру мақсатында білім беру бағдарламалары мен ақпараттық кампанияларды дамыту.

Осы салалардағы форсайт-зерттеулері болашақта су ресурстарын тұрақты және тиімді басқаруды қамтамасыз ету үшін стратегиялар мен саясатты әзірлеуге көмектесуі мүмкін. Ғылымның су саласындағы форсайт-зерттеулерінің ғылыми-практикалық тәсілдері мен әдістемелері су ресурстарын тиімді басқару және өзгермелі жағдайларға бейімделу үшін әзірленуде. Олардың кейбіріне шолу:

1. *Сценарийлік талдаулар (сценарийлік жоспарлау).* Бұл тәсіл климаттың өзгеруі, технологиялық инновациялар және саяси шешімдер сияқты әртүрлі айнымалыларды ескере отырып, болашақтың әртүрлі сценарийлерін құруды қамтиды. Бұл су ресурстарының бола-

шақтағы ықтимал бағыттарын болжауға және осы сценарийлерге байланысты стратегияларды әзірлеуге мүмкіндік береді.

2. *Су жүйелерін интегралды модельдеу.* Су жүйелерінің әрекетін талдау және болжау үшін компьютерлік модельдерді пайдалану. Бұл модельдер өзен бассейндері, су қоймалары, климаттық деректер және т.б. туралы ақпаратты қамтуы мүмкін.

3. *Стейкхолдерлік талдау.* Су өнеркәсібіндегі форсайт-зерттеулерінің маңызды аспектісі үкімет, өнеркәсіп, ауыл шаруашылығы және қоршаған ортаны қорғау ұйымдарын қоса алғанда, әртүрлі стейкхолдерлердің мүдделері мен пікірлерін ескеру болып табылады. Бұл су ресурстарын басқарудың кешенді стратегияларын қалыптастыруға көмектеседі. Стейкхолдерлік талдау су саласындағы су ресурстары мен инфрақұрылымды тиімді басқарудың маңызды құралы болып табылады. Бұл салада стейкхолдерлер әртүрлі топтар мен мүдделерді қамтуы мүмкін:

– су ресурстары мен инфрақұрылымды реттеу мен басқаруға жауапты мемлекеттік органдар;

– қалалар мен өңірлерді ауыз сумен қамтамасыз ететін ұйымдар;

– суды суару және мал шаруашылығы үшін пайдаланатын ауыл шаруашылығы салалары;

– өндірістік процестерде суды пайдаланатын өнеркәсіптік кәсіпорындар;

– су экожүйелерін сақтауға және қорғауға мүдделі экологиялық ұйымдар;

– таза суға қолжетімділікке тәуелді және сумен жабдықтаудың сапасы мен қызмет көрсету құнына қатысты мәселелерге тап болған жергілікті қоғамдастықтар, қалалар мен аудандардың тұрғындары;

– су ресурстарын басқару үшін инфрақұрылым мен технологияларды әзірлейтін мамандар.

Стейкхолдерлік талдау су өнеркәсібіндегі осы топтардың әртүрлі мүдделері мен қажеттіліктерін анықтауға, сондай-ақ су ресурстарын тұрақты және тиімді басқаруды қамтамасыз ету және саладағы қақтығыстарды азайту үшін олардың талаптарын ескере отырып, су ресурстарын басқару стратегияларын әзірлеуге мүмкіндік береді.

4. *Геокеңістіктік деректерді пайдалану.*

Геоақпараттық жүйелер су ресурстарын талдауда маңызды рөл атқарады. Олар кеңістіктік деректерді визуализациялауға және талдауға мүмкіндік береді, бұл су инфрақұрылымының орналасуы туралы шешім қабылдауға және гидрологиялық жүйелердегі өзгерістерді бақылауға пайдалы.

5. *Желілік талдау.* Су ағындарын, лаптаушы заттарды тасымалдауды және су ресурстарын бөлуді зерттеу үшін желілік талдау әдістерін қолдану.

6. *Әлеуметтік-экономикалық талдау.* Бұл тәсіл суды басқару шешімдері мен стратегияларының қоғам мен экономикаға әсерін бағалайды. Бұл қандай шешімдердің ең тұрақты және тиімді болуы мүмкін екенін анықтауға көмектеседі.

7. *Мультидисциплинарлық тәсіл.* Су саласындағы форсайт-зерттеулер әдетте гидрология, метеорология, экология, инженерия, экономика және әлеуметтану сияқты әртүрлі пәндердің ынтымақтастығын талап етеді.

Форсайт-зерттеулерінде әртүрлі әдістер қолданылады: оқиғаларды субъективті қабылдау тұрғысынан түсінуге және бағалауға мүмкіндік беретін сапалық әдістер; айнымалыларды өлшеуге және статистикалық талдауды қолдануға мүмкіндік беретін сандық әдістер; субъективті пікірлердің, логикалық құрылымдардың және сарапшылардың көзқарастарының сандық өлшемдерін қолданатын аралас әдістер.

Жоғарыда аталған барлық тәсілдер мен әдістемелер су ресурстарын тиімді басқару саласындағы неғұрлым ақпараттандырылған шешімдерді қалыптастыруға және климаттың өзгеруіне және суды тұтынудың артуына байланысты қиындықтарды жеңуге көмектеседі.

Форсайт-зерттеу әдістерінің алуан түрлілігінің ішінде сценарийлік жоспарлау әдісі су саласындағы форсайт-зерттеулердің ең қолайлы және тиімді әдістерінің бірі болуы мүмкін. Қазақстанда су ресурстарын форсайт-зерттеу жұмыстары География және су қауіпсіздігі институтының ғылыми-зерттеу жобалары аясында су шаруашылығы бассейндері бойынша су ресурстарының сценарийлік болжамдары (су балансы бойынша болжамдар, көпжылдық ағындының жүрісін экстраполяциялау негізіндегі болжамдар,

метеорологиялық сипаттамалар болжамы негізінде, атмосфераның макроциркуляциясының ерекшеліктерінің болжамы негізінде, ағынды қалыптасуының тұжырымдамалық математикалық моделіне сәйкес) түрінде жүргізіледі (Водные..., 2012; Достай Ж.Д. және т.б., 2012).

Сценарийлік жоспарлау әдісін енгізу мысалдары:

– су саласында климаттық өзгерістер, демография, экономикалық факторлар және қоршаған орта жағдайлары (көптеген факторларды ескеру) сияқты су ресурстарын басқаруға әсер ететін көптеген айнымалылар бар – сценарийлік жоспарлау әдісі осы факторлардың барлығын ескеруге және баламалы даму сценарийлерін жасауға мүмкіндік береді;

– су саласындағы өзгерістерді болжау мүмкін емес және белгісіз болуы мүмкін (белгісіздікті ескеру) – сценарийлер ықтимал қауіптер мен күтпеген оқиғаларды қоса алғанда, болашақтың әртүрлі нұсқаларын қарастыруға мүмкіндік береді;

– сценарийлік жоспарлау ұйымдарға болашақтағы әртүрлі жағдайларға бейімделетін стратегияларды әзірлеуге көмектеседі (стратегиялық жоспарлау), бұл ресурстар мен қауіптерді тиімді басқаруға мүмкіндік береді;

– сценарийлерді жоспарлау мүдделі тараптар мен жұртшылықты сценарийлерді әзірлеу процесіне тартуды қамтуы мүмкін, бұл шешімдердің заңдылығы мен қолдауына ықпал етеді (мүдделі тараптардың қатысуы);

– сценарийлерді әзірлегеннен кейін таңдалған сценарийдің орындалуын қадағалау және қажет болған жағдайда жоспарларға түзетулер енгізу үшін мониторинг жүйесін орнату қажет (мониторинг және бейімдеу).

Дегенмен, сценарийлерді жоспарлау деректерді мұқият дайындауды және талдауды, сондай-ақ сарапшылар мен мүдделі тараптардың пікірлерін ескеруді қажет ететінін есте ұстаған жөн.

Кешенді көзқарасы бар болашақ сценарийлер көптеген айнымалылар мен факторларды ескере отырып, мүмкін болатын болашақтың әртүрлі аспектілерін бағалауға және ұсынуға мүмкіндік беретін құралды білдіреді. Болашақ сценарийлердің жан-жақты көрінісі әлеуетті қиындықтар мен мүмкіндіктерді тереңірек түсінуге, сондай-ақ әртүрлі болашақ

контексттерге бейімделе алатын стратегияларды әзірлеуге мүмкіндік береді. Бұл неғұрлым тұрақты және стратегиялық жоспарлаудың маңызды құралы болып табылады (Воронов Ю.П., 2010).

Сценарийлік жоспарлау өзгермелі жағдайларға бейімделуге және су ресурстарын тұрақты және тиімді басқаруға ықпал ете отырып, су шаруашылығы саласында негізделген шешімдер қабылдауға көмектеседі. Сценарийлерді әзірлеу баламалы болашақтың даму жолдарын құру үшін әртүрлі құралдар мен әдістерді қолдануды талап етеді. Сценарийлерді әзірлеуде қолдануға болатын құралдардың кейбір түрлеріне мыналар жатады: сараптамалық сауалнамалар, сценарийлік модельдеу, жеке көкжиектерді сканерлеу, арнайы бағдарламалар мен бағдарламалық қамтамасыз ету, интерактивті құралдар мен деректерді визуализациялау, компьютерлік модельдеу, сараптамалық топтар мен фокус-топтар, тарихи деректерді талдау, жүйелік ойлау және т.б. Арнайы құралдарды таңдау сценарийлерді әзірлеу мақсаттарына, қолжетімді деректерге және жобада жұмыс істейтін топтың сараптамасына байланысты. Көбінесе сенімдірек және жан-жақты нәтижелерге қол жеткізу үшін әртүрлі әдістер мен құралдардың қосындысы қолданылады.

Су шаруашылығы саласындағы сценарийлік жоспарлау су ресурстарын тиімді басқарудың және оларды тұрақты пайдаланумен байланысты мәселелерді шешудің маңызды құралы болып табылады. Сценарийлік жоспарлаудың негізгі сатылары мен қағидалары:

1. Мақсаттар мен міндеттерді анықтау. Сценарийлік жоспарлау арқылы қол жеткізілетін мақсаттар мен міндеттерді анықтау (мысалы, тұрақты сумен жабдықтауды қамтамасыз ету, экологиялық жүйелерді қорғау, су тасқыны қаупін азайту және т.б.).

2. Мәліметтерді жинау. Су ресурстарының ағымдағы жай-күйі, климаттық жағдайлар, суды тұтыну, ластаушы заттардың тасталуы және су жүйесіне әсер ететін басқа факторлар туралы мәліметтер базасы.

3. Баламалы сценарийлерді әзірлеу. Климат, халық саны, технология және саясат сияқты факторлардың өзгеруінің әртүрлі нұсқаларын ескеретін оқиғаларды дамытудың

бірнеше баламалы сценарийлерін жасау.

4. Модельдеу. Әрбір сценарийдің су ресурстарына әсерін бағалау үшін сандық модельдерді пайдалану (мысалы, су ағындысын, жер асты суларының деңгейін, су тасқыны қаупін және т.б. модельдеу).

5. Тұрақтылық пен қауіптерді бағалау. Әрбір сценарийдің тұрақтылығын бағалау, су ресурстарын басқарудың ең жақсы стратегияларын анықтау үшін ықтимал қауіптер мен осалдықтарды анықтау.

6. Шешім қабылдау. Қауіптерді модельдеу және бағалау нәтижелеріне сүйене отырып, мақсаттарға барынша сәйкес келетін ең жақсы сценарий немесе сценарийлердің комбинациясы туралы шешім қабылдау.

7. Мониторинг және бейімдеу. Таңдалған сценарийлердің орындалуын қадағалау және жаңа деректер немесе мән-жайлар өзгерген жағдайда жоспарларға түзетулер енгізу үшін мониторинг жүйесін құру.

Қазіргі әлемде әртүрлі салалардағы оқиғалар мен тенденциялар бір-бірімен болжанбайтын тәсілдермен өзара әрекеттеседі. Өзгермелі климат мәселесі сумен қамтамасыз ету, ауыл шаруашылығы және азық-түлік қауіпсіздігін қамтитын көптеген маңызды мәселелермен байланысты.

Жаһандық климаттық жүйеге қатысты болашақ сценарийлер Жер планетасындағы климатқа қатысты оқиғалардың әртүрлі ықтимал дамуын білдіреді. Бұл сценарийлер атмосферадағы, мұхиттардағы, мұз қабаттарындағы және климаттық жүйенің басқа аспектілеріндегі өзгерістерді ескереді. Климаттық жүйеге қатысты типтік сценарийлердің мысалдары:

1. Парниктік газдар шығарындылары мен көміртегі негізіндегі энергия көздерін пайдаланудың ағымдағы тенденциялары айтарлықтай өзгеріссіз жалғасады деп болжанып отырған сценарий. Бұл температураның жоғарылауына, экстремалды ауа райы жағдайларына және теңіз деңгейіне әкелуі мүмкін.

2. Парниктік газдар шығарындыларын азайту бойынша шаралар қабылданатын сценарий, бірақ олар тым өршіл емес. Бұл температураның өзгеруінің қалыпты баяулауына және климаттық әсерлерге әкелуі мүмкін.

3. Жаңартылатын энергия көздерін енгізу арқылы парниктік газдар шығарындыларын түбегейлі азайтуды көздейтін сценарий,

тиімді технологиялар және тұтынушылардың мінез-құлқындағы өзгерістер. Бұл жаһандық жылынууды және оның салдарын шектеуге әкелуі мүмкін.

4. Климаттың ықтимал төтенше өзгерістерін сипаттайтын сценарий, мысалы, неғұрлым қарқынды дауылдар, құрғақшылықтың ұзақ кезеңдері, шөлдердің кенеюі және мұздың еруі нәтижесінде теңіз деңгейінің көтерілуі.

5. Әлемдік көшбасшылардың парниктік газдар шығарындыларын азайту және климаттың өзгеруіне бейімделу бойынша бірлесіп жұмыс істеуі және келісілген шараларды қабылдауы болжанатын сценарий. Бұл қолайлы климаттық жағдайларға әкелуі мүмкін (Climate..., 2022).

Бұл сценарийлер болашақ климатты талдау және болжау, климаттың өзгеруіне бейімделу және оның салдарын азайту стратегияларын анықтау үшін қолданылады. Қазіргі уақытта және алдағы онжылдықтарда қабылданған шешімдер болашақ климаттың қандай сценарийі жүзеге асырылып жатқанына айтарлықтай әсер етеді (Восьмое..., 2022).

ҚОРЫТЫНДЫ

Су қауіпсіздігі өзгермелі экологиялық ахуал жағдайында адамзаттың тұрақты дамуын қамтамасыз етудің аса маңызды аспектілерінің бірі болып табылады. Су қауіпсіздігі саласында форсайт-зерттеу әдістерін қолдану қазіргі қауіптер мен сын-қатерлерге ден қоюға ғана емес, сонымен бірге болашақтағы даму тенденцияларын талдауға және болжауға мүмкіндік береді, бұл су ресурстарын басқарудың тиімді стратегияларын жасауға ықпал етеді. Қолданыстағы әдістер мен тәсілдерді талдау нәтижесінде форсайт-зерттеулерді қолдану арқылы іске асырылуы мүмкін бірнеше негізгі бағыттар бөлінеді:

– болжаудың жаңа технологиялары мен әдістерін пайдалана отырып, су ресурстарының жай-күйін мониторингілеу және бағалау тетіктерін жетілдіру;

– су қауіпсіздігі саласындағы инновацияларды ынталандыру, оның ішінде су ресурстарын басқару жүйесін жетілдіру және халықтың хабардарлығын арттыру;

– халықаралық ынтымақтастықты нығайту және су қауіпсіздігінің трансшекара-

лық мәселелерін тиімдірек шешу үшін жаһандық және аймақтық деңгейде іс-қимылдарды үйлестіру тетіктерін дамыту.

Форсайт-зерттеу әдістерін су қауіпсіздігін стратегиялық жоспарлауға біріктіру планетамыздың су ресурстарының тұрақты дамуы мен сақталуын қамтамасыз ету үшін қажетті қадам болып табылады. Бұл тәсіл су қауіпсіздігі мәселелерін тек ағымдағы сын-қатерлер аясында ғана емес, сонымен қатар олардың ұзақ мерзімді салдары мен даму перспективаларын ескере отырып қарастыруға мүмкіндік береді, бұл жүйелі тәсілдің маңыздылығын және болашақта су қауіпсіздігін қамтамасыз етудің тиімді стратегияларын әзірлеу үшін озық талдау және болжау әдістерін қолданудың маңыздылығын көрсетеді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Braga B. Water Is a Prerequisite for All Development // The Quest for Water. – 2018. – Volume V, No. 1. – <https://www.un.org/ru/chronicle/article/21713>
2. Van Beek E., Arriens W.L. Water security: Putting the concept into practice // TEC Background Papers, No 20. – Global Water Partnership, 2014. – https://aquadoc.typepad.com/files/gwp_tec20_web.pdf
3. Chiluwe Q.W., Claassen M. Systems perspectives on water security: An applied review and conceptual framework // Environmental Policy and Governance. – 2020. – Volume 30, Issue 6. – <https://doi.org/10.1002/eet.1889>
4. Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водная безопасность – глобальная проблема XXI века // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2016. – № 1. – С. 3-13.
5. Grey D. and Sadoff C.W. Sink or Swim? Water Security for Growth and Development // Water Policy. – 2007. – Volume 9, Issue 6 – pp. 545-571. – <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>
6. Water Security and the Global Agenda [A UN-Water Analytical Brief] – 2013. – http://i.unu.edu/media/unu.edu/publication/34287/UNWater_watersecurity_analyticalbrief.pdf
7. Abbas F., Al-Naemi S., Farooque A.A., Phillips M. A Review on the Water Dimensions, Security and Governance for Two Distinct Regions // Water. – 2023. – Volume 15, Issue 1 (208). – <https://doi.org/10.3390/w15010208>
8. Gerlak A.K., House-Peters L., Varadya R.G., Albrecht T., Zúñiga-Terán A., Routson de Grenade R., Cook C. Scott C. Water security: A review of place-based research // Environmental Science and Policy. – 2018. – Volume 82. – P. 79-89. – <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.01.009>
9. Quandt A., O'Shea B., Oke S., Ololade O.O. Policy interventions to address water security impacted by climate change: Adaptation strategies of three case studies across different geographic regions // Frontiers in Water. – 2022. – <https://doi.org/10.3389/>

across different geographic regions // *Frontiers in Water*. – 2022. – <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.935422>

10. Бойкова М.В., Крупникова Д.Б. Глобализация ресурсов природной среды: инновационная стратегия управления // *Форсайт*. – 2010. – Т. 4, № 2. – С. 4-17.

11. Медеу А.Р., Мальковский И.М., Тoleубаева Л.С. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (концепция) – Алматы, 2012. – Т. I. – 94 с.

12. Доклад о целях в области устойчивого развития. – ООН. – 2023. – 77 с.

13. Форсайт как инструмент стратегического долгосрочного планирования для развивающихся стран. – UNDP Global Centre for Public Service Excellence. – 2014. – 24 с.

14. Воронов Ю.П. Форсайт как инструмент / под. ред. В.И. Сулова. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2010. – 212 с.

15. Пенькова И.В., Боднар А.И. Теоретические основы форсайта в парадигме стратегического управления и инновационного развития // *Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление*. – 2017. – С. 50-58.

16. Заглядывая за горизонт. Концепции и опыт формулирования национальных стратегий. – UNDP Global Centre for Public Service Excellence. – 2014. – 115 с.

17. Popper R. How are foresight methods selected? // *Foresight*, 2008. – Volume 10, No 6. – P. 62-89. – <https://doi.org/10.1108/14636680810918586>

18. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока Казахстана. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана / под науч. ред. Р.И. Гальперина. – Алматы, 2012. – Т. VII. – Кн. 1. – 684 с.

19. 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. – Алматы, 2012. – Т. VII, Кн. 2. – 360 с.

20. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. – Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – 2022 – IPCC, 2022. – 2029 p.

21. Восьмое Национальное Сообщение и Пятый Двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Астана, 2022. – 491 с.

REFERENCES

1. Braga V. Water Is a Prerequisite for All Development // *The Quest for Water*. – 2018. – Volume V, No. 1. – <https://www.un.org/ru/chronicle/article/21713>

2. Van Beek E., Arriens W.L. Water security: Putting the concept into practice // *TEC Background Papers*, No 20. – Global Water Partnership, 2014. – https://aquadoc.typepad.com/files/gwp_tec20_web.pdf

3. Chilwe Q.W., Claassen M. Systems perspectives on water security: An applied review and conceptual framework // *Environmental Policy and Governance*. – 2020. – Volume 30, Issue 6. – <https://doi.org/10.1002/eet.1889>

4. Medeu A.R., Mal'kovskii I.M., Toleubaeva L.S.

Vodnaya bezopasnost' – global'naya problema XXI veka // *Voprosy geografii i geoekologii*. – Алматы, 2016. – № 1. – P. 3-13.

5. Grey D. and Sadoff C.W. Sink or Swim? Water Security for Growth and Development // *Water Policy*. – 2007. – Volume 9, Issue 6 – pp. 545-571. – <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>

6. *Water Security and the Global Agenda [A UN-Water Analytical Brief]* – 2013. – http://i.unu.edu/media/unu.edu/publication/34287/UNWater_watersecurity_analyticalbrief.pdf

7. Abbas F., Al-Naemi S., Farooque A.A., Phillips M. A Review on the Water Dimensions, Security and Governance for Two Distinct Regions // *Water*. – 2023. – Volume 15, Issue 1 (208). – <https://doi.org/10.3390/w15010208>

8. Gerlak A.K., House-Peters L., Varadya R.G., Albrecht T., Zúñiga-Terán A., Routson de Grenade R., Cook C. Scott C. Water security: A review of place-based research // *Environmental Science and Policy*. – 2018. – Volume 82. – P. 79-89. – <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.01.009>

9. Quandt A., O'Shea B., Oke S., Ololade O.O. Policy interventions to address water security impacted by climate change: Adaptation strategies of three case studies across different geographic regions // *Frontiers in Water*. – 2022. – <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.935422>

10. Boikova M.V., Krupnikova D.B. Globalizatsiya resursov prirodnoi sredy: innovatsionnaya strategiya upravleniya // *Forsait*. – 2010. – Т. 4, № 2. – С. 4-17.

11. Medeu A.R., Mal'kovskii I.M., Toleubaeva L.S. *Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie (kontseptsiya)* – Алматы, 2012. – Т. I. – 94 p.

12. *Doklad o tselyakh v oblasti ustoichivogo razvitiya*. – ООН. – 2023. – 77 p.

13. *Forsait kak instrument strategicheskogo dolgosrochnogoplanirovaniya dlyarazvivayushchikhsya stran*. – UNDP Global Centre for Public Service Excellence. – 2014. – 24 p.

14. Voronov Yu.P. *Forsait kak instrument / pod. red. V.I. Suslova*. – Novosibirsk: IEOPP SO RAN, 2010. – 212 s.

15. Pen'kova I.V., Bodnar A.I. *Teoreticheskie osnovy forsaita v paradigme strategicheskogo upravleniya i innovatsionnogo razvitiya* // *Vestnik VGU. Seriya: Ekonomika i upravlenie*. – 2017. – P. 50-58.

16. *Zaglyadyvaya za gorizont. Kontseptsii i opyt formulirovaniya natsional'nykh strategii*. – UNDP Global Centre for Public Service Excellence. – 2014. – 115 p.

17. Popper R. How are foresight methods selected? // *Foresight*, 2008. – Volume 10, No 6. – P. 62-89. – <https://doi.org/10.1108/14636680810918586>

18. *Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie. Resursy rechnogo stoka Kazakhstana. Vozobnovlyaemye resursy poverkhnostnykh vod Zapadnogo, Severnogo, Tsentral'nogo i Vostochnogo Kazakhstana / pod nauch. red. R.I. Gal'perina*. – Алматы, 2012. – Т. VII. – Кн. 1. – 684 p.

19. *Dostai Zh.D., Alimkulov S.K., Saparova A.A. Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie*.

Resursy rechnogo stoka. Vozobnovlyаемые resursy poverkhnostnykh vod yuga i yugo-vostoka Kazakhstana. – Almaty, 2012. – Т. VII, Кн. 2. – 360 p.

20. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. – Working Group III Contribution to the Sixth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – 2022 – IPCC, 2022. – 2029 p. 21. Vos'moe Natsional'noe Soobshchenie i Pyaty Dvukhgodichnyi Doklad Respubliki Kazakhstan Ramochnoi konventsii OONobizmeneniiklimata.–Astana,2022.–491p.

ВОДНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ФОРСАЙТ-ИССЛЕДОВАНИЙ

С.К. Алимқұлов *к.г.н.*, **Л.К. Махмудова** * *к.г.н.*

АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан

E-mail: makhmudovalk@gmail.com

В современном мире вопросы водной безопасности становятся все более актуальными и приобретают ключевое значение для обеспечения устойчивого развития общества. Перед мировым сообществом стоят серьезные вызовы, связанные с угрозами загрязнения водных источников, изменением климата, нестабильностью экосистем и неэффективным управлением водными ресурсами. Решение этих проблем требует не только немедленных мер, но и долгосрочных стратегий, способных обеспечить сохранение водной безопасности на будущее. Научно-исследовательская работа представляет собой аналитический обзор современных проблем в области водной безопасности и возможных стратегических решений для их решения с использованием методов форсайт-исследований. Статья освещает актуальные угрозы и вызовы, стоящие перед водными ресурсами в современном мире, и обсуждает преимущества и эффективность применения методов форсайт-исследований в этой области. В рамках проведенных научных исследований выделяются ключевые направления стратегического планирования для обеспечения водной безопасности в будущем через анализ текущего состояния и прогнозирование потенциальных изменений в водном секторе.

Ключевые слова: водная безопасность, форсайт-исследования, управление водными ресурсами, устойчивое развитие, концепция.

WATER SECURITY: KEY ASPECTS AND PROSPECTS THROUGH THE PRISM OF FORESIGHT RESEARCH

S. Alimkulov *candidate of geographical sciences*, **L. Makhmudova*** *candidate of geographical sciences*

JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan

E-mail: makhmudovalk@gmail.com

In the modern world, water security issues are becoming increasingly relevant and are key to ensuring the sustainable development of society. The world community faces serious challenges related to the threats of pollution of water sources, climate change, ecosystem instability and inefficient management of water resources. Solving these problems requires not only immediate measures, but also long-term strategies that can ensure the preservation of water security for the future. The research work is an analytical review of current problems in the field of water security and possible strategic solutions to solve them using foresight research methods. The article highlights the current threats and challenges facing water resources in the modern world, and discusses the advantages and effectiveness of applying foresight research methods in this area. Within the framework of the conducted scientific research, the key areas of strategic planning for ensuring water security in the future are highlighted through the highlighted through the analysis of the current state and forecasting potential changes in the water sector.

Keywords: water security, foresight research, water resources management, sustainable development, concept.

Авторлар туралы мәліметтер/Сведения об авторах/Information about authors:

Әлімқұлов Саят Құрбанбайұлы - география ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ басқарма төрағасының орынбасары, Алматы, Сейфуллина даңғылы, 458/1, sayat.alimkulov@mail.ru

Махмудова Ляззат Камаловна - география ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ жетекші ғылыми қызметкер, Алматы, Сейфуллина даңғылы, 458/1, makhmudovalk@gmail.com

Алимкулов Саят Курбанбаевич - кандидат географических наук, ассоциированный профессор (доцент), Заместитель Председателя Правления АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, пр. Сейфуллина, 458/1, sayat.alimkulov@mail.ru

Махмудова Ляззат Камаловна - кандидат географических наук, ассоциированный профессор (доцент), ведущий научный сотрудник АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, пр. Сейфуллина, 458/1, makhmudovalk@gmail.com

Alimkulov Sayat - Candidate of geographical sciences, associate professor (docent), Vice Chairman of the Board JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Seifullina ave., 458/1, sayat.alimkulov@mail.ru

Makhmudova Lyazzat - Candidate of geographical sciences, associate professor (docent), Leading researcher, JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Seifullina ave., 458/1, makhmudovalk@gmail.com

Авторлардың қосқан үлесі/Вклад авторов/Authors contribution

Әлімқұлов С.К. - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Махмудова Л.К. - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Алимкулов С.К. - разработка концепции, разработка методологии, подготовка и редактирование текста, визуализация

Махмудова Л.К. - разработка концепции, разработка методологии, подготовка и редактирование текста, визуализация

Alimkulov S. - concept development, methodology development, preparing and editing the text, visualization

Makhmudova L. - concept development, methodology development, preparing and editing the text, visualization