

АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D05203-Гидрология»

Биримбаевой Ляззат Муратбековны

«Современные изменения и перспективная оценка минимального стока рек Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна»

Общая характеристика работы. Диссертационное исследование посвящено оценке современных изменений и сценарному прогнозу минимального стока рек Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна в условиях климатической неопределенности и представлено серией статей, опубликованных в журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science.

Актуальность темы исследования. В условиях усиливающихся климатических изменений и нарастающего антропогенного воздействия на водные экосистемы для засушливого и экономически значимого Западного региона Казахстана, где водные ресурсы крайне ограничены, особую значимость приобретает научно обоснованная оценка минимального стока рек. Надежное определение характеристик минимального стока в таких условиях представляет собой не только важную научную задачу, но и практическую необходимость, связанную с обеспечением устойчивого водопользования, разработкой адаптационных мер, минимизацией рисков гидрологических засух и формированием долгосрочной водохозяйственной стратегии управления водными ресурсами.

Современные исследования подтверждают, что климатические изменения существенно трансформируют водный режим рек: рост температуры выше климатической нормы, изменчивость осадков и учащение экстремальных явлений привели к утрате представлений о стационарности речного стока. Климат Казахстана изменяется быстрее, чем в среднем по земному шару: если глобальный тренд повышения среднегодовой температуры в период 1976-2021 гг. составил 0,18 °С за десятилетие, то по территории страны он достиг 0,32 °С, а в Западно-Казахстанской области – до 0,54 °С за десятилетие. Это требует пересмотра подходов к расчету и прогнозированию минимального стока.

Минимальный сток отражает наиболее уязвимые периоды водохозяйственной системы и определяет возможности водопользования. В условиях дефицита воды он становится критическим фактором для промышленности, сельского хозяйства и коммунального сектора, а снижение ниже экологически допустимого уровня приводит к деградации экосистем, утрате биоразнообразия и росту экологических рисков.

Индустриальный сектор Западного региона Казахстана занимает доминирующее место в структуре экономики страны, что обуславливает особую значимость бесперебойного водоснабжения региона. Ключевыми направлениями экономики региона являются разработка нефтегазовых месторождений, сельское хозяйство и рыбное хозяйство. Здесь сосредоточены крупнейшие в стране нефтегазовые месторождения – Тенгиз, Карачаганак, Кашаган, функционирование которых требует значительных объемов воды для обеспечения технологических процессов. Сочетание высокой водоемкости отраслей, роста населения и природной засушливости повышает уязвимость региона к маловодьям.

Дополнительную значимость исследованию придает трансграничный характер Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна. Основная река региона – Жайык – формируется на территории Российской Федерации, а нижнее течение и притоки находятся в пределах Казахстана, причем часть притоков имеет трансграничный сток. В этих условиях оценка минимального стока приобретает международное измерение, требующее согласованных действий по управлению водными ресурсами и выполнения международных обязательств в рамках устойчивого трансграничного водопользования.

Таким образом, исследование современных изменений и перспективной оценки минимального стока рек Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна имеет комплексную научную и практическую значимость. Оно позволяет выявить реакцию речных систем на сочетание климатических и антропогенных факторов, обосновать параметры устойчивого водопользования, снизить экологические и социально-экономические риски, а также сформировать научную базу для разработки эффективных стратегий адаптации водного хозяйства к климатическим изменениям.

Цель работы – оценка современных изменений и сценарный прогноз минимального стока рек Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна на долгосрочную перспективу в условиях климатической неопределенности.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в диссертационной работе был рассмотрен ряд задач:

- обзор научной литературы и нормативных документов по оценке минимального стока и сценарного прогноза на долгосрочную перспективу в условиях изменяющегося климата;

- сбор и анализ гидрометеорологических данных за весь период наблюдений на гидрологических постах и метеорологических станциях исследуемой территории для выявления многолетних тенденций гидрометеорологических характеристик;

- оценка и анализ современных изменений минимального стока рек исследуемой территории;

- оценка и анализ климатических факторов, влияющих на формирование минимального стока рассматриваемой территории;

- сценарный прогноз минимального стока на горизонты 2040, 2060 и 2080 годов на основе климатических сценариев моделей СМIP6.

Объект исследования. Территория Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна, охватывающая 4 области Республики Казахстан: Западно-Казахстанскую, Атыраускую, Мангистаускую и большую часть Актюбинской области.

Предмет исследования: формирование, динамика и изменение минимального речного стока рек Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна под воздействием климатических факторов в исторической ретроспективе и в долгосрочной перспективе.

Источники информации и материалы исследования. В работе были использованы официальные кадастровые материалы РГП «Казгидромет»: ежесуточные данные стационарных наблюдений о расходах воды на гидрологических постах, ежесуточные метеорологические данные о количестве осадков и температуре воздуха. Для сценарного прогноза использовалась база данных Проекта ISIMIP о количестве осадков и температуре воздуха. Для всестороннего анализа использовались: научные статьи из зарубежных и Российских наукометрических баз, научные статьи Казахстанских научных журналов, отчеты международных структур и региональных организаций и др.

Методы исследования включают в себя комплекс современных методов и подходов, основанных на сочетании климатических сценариев, климатических моделей, статистического анализа и геоинформационных методов. Среди методов и подходов, предлагаемых к решению поставленных задач, в качестве основных использованы: системный метод, сравнительный метод, количественный (математический) метод, статистический метод, картографический метод, метод компьютерной обработки информации и логического моделирования, концепция устойчивого развития. Гидрологические изменения во времени определены на основании анализа гидрометеорологических рядов. Пространственные изменения гидрологических характеристик и обработка картографических материалов выполнены на основе геоинформационных технологий.

Описание основных результатов исследования. В диссертационной работе получены результаты современных изменений и перспективной оценки минимального стока рек Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна. Установлено

разнонаправленное поведение стока: для летне-осеннего периода характерно значительное сокращение минимального стока (до 28 % на рр. Улькен Кобда, Каракобда), вплоть до полного пересыхания малых водотоков, тогда как для зимней межени выявлен устойчивый рост минимального стока, связанный с увеличением числа и продолжительности оттепелей, снижением глубины промерзания почвы и увеличением подземного питания.

Выявлено, что в современный период усилились гидрологические засухи: увеличились их частота, продолжительность и интенсивность, впервые зафиксированы продолжительные серии маловодных лет (11–13 лет подряд). Установлены экстремальные значения индекса SPEI (до –2,39), подтверждающие высокую климатическую уязвимость региона.

Прогнозные расчеты свидетельствуют о снижении минимального стока в теплый период до 64 % к концу XXI века (особенно в южной части бассейна – рр. Жем, Ойыл, Темир) при одновременном росте зимнего стока на фоне роста зимней температуры воздуха (до +7,2 °С) и увеличения количества осадков (до 71 %).

Обоснованность и достоверность полученных данных подтверждена применением совокупности различных статистических и аналитических методов, таких как критерий применимости и качества методики, корреляционный анализ и др. Подробное описание использованных данных и методов позволяют воспроизводить результаты исследования.

Научная новизна работы:

- Оценены пространственно-временные изменения минимального стока рек Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна;
- Впервые проведена комплексная оценка влияния климатических факторов на формирование минимального стока;
- Установлены современные тенденции продолжительности и частоты проявления гидрологических засух, выявлены группировки маловодных лет;
- Выявлены районы наиболее уязвимые к гидрологическим засухам;
- Разработана методика сценарного прогнозирования минимального стока, адаптированного к специфике региона;
- Впервые выполнена перспективная оценка минимального стока на горизонты 2040, 2060 и 2080 годов с использованием ансамбля моделей CMIP6.

Научная и практическая значимость работы. Научная значимость исследования состоит в обосновании влияния современных климатических изменений на формирование минимального стока рек Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна в условиях аридизации климата и антропогенного воздействия, а также в выявлении закономерностей его пространственно-временной изменчивости. Полученные результаты расширяют научные представления о гидрологическом режиме рек аридной зоны, механизмах формирования минимального стока и его изменчивости, что имеет важное значение для дальнейших исследований в области гидрологии засушливых территорий.

Практическая значимость исследования заключается в формировании научно обоснованной базы для водохозяйственного планирования в условиях климатической неопределенности на примере Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна. Сценарные оценки минимального стока позволяют учитывать риски маловодных периодов при распределении водных ресурсов, снижая вероятность дефицита воды и трансграничных конфликтов. Предложенные подходы способствуют адаптации экосистем и экономики к изменяющемуся климату, минимизации экологических рисков и рациональному использованию водных ресурсов. Разработанная методика универсальна и применима к другим бассейнам Казахстана и Центральной Азии. Полученные результаты могут быть использованы в системах мониторинга, при подготовке нормативных документов и в международных переговорах по вопросам трансграничных вод.

Полученные результаты могут быть использованы органами государственного управления, международными организациями и исследовательскими центрами при

разработке национальных и региональных программ адаптации к изменению климата и совершенствовании системы управления водными ресурсами и природными рисками.

Практические рекомендации. Предлагаемые превентивные меры по адаптации управления водными ресурсами:

1. Совершенствование управления водными ресурсами в условиях маловодья: разработка и внедрение систем раннего предупреждения о маловодных периодах на основе гидрологических и климатических моделей; реализация мер водосбережения и повышения эффективности водопользования; подготовка планов действий для минимизации негативных последствий дефицита воды для населения, экономики и экосистем.

2. Адаптация к климатическим рискам и засухам: разработка стратегий управления климатическими рисками, интеграция результатов гидрологических и климатических моделей с долгосрочными прогнозами для создания комплексной стратегии адаптации; внедрение современных технологий рационального использования и перераспределения водных ресурсов; снижение уязвимости хозяйственного комплекса региона к засухливым периодам.

3. Устойчивое развитие агропромышленного сектора и экосистем: разработка и реализация рекомендаций по восстановлению деградированных экосистем, применению практик устойчивого землепользования и водопользования; внедрение адаптивных подходов в сельском хозяйстве, включая совершенствование методов орошения с целью повышения эффективности и снижения нагрузки на водные ресурсы.

Связь темы с планом научно-исследовательских работ и различными государственными программами. Работа выполнялась в рамках проекта МНВО РК: «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии» на 2023-2025 гг. (BR21882122-OT-24).

Основные положения, выносимые на защиту:

I. Установлены современные тенденции изменения минимального стока рек на основе анализа многолетних гидрологических временных рядов и сезонных стокоформирующих климатических характеристик Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна.

II. Установлены современные тенденции продолжительности, частоты и пространственно-временные изменения проявления гидрологических засух и выявлены группировки маловодных лет на основе анализа многолетних гидрометеорологических данных.

III. Разработана методология сценарного прогноза минимального стока в условиях климатической неопределенности на основе данных ансамбля глобальных климатических моделей CMIP6 для сценариев SSP3-7.0 и SSP5-8.5, спрогнозированы сценарные изменения минимального стока летне-осенней и зимней межени на горизонты 2040, 2060, 2080 гг.

Апробация результатов работы. В 2023-2025 годы в качестве исполнителя докторант принимала участие в рамках программно-целевого финансирования в реализации научного проекта №BR21882122-OT-24 «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии» Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Основные результаты работы были представлены на Международной конференции «Фараби Әлемі» (г. Алматы, 6-8 апреля, 2023 г.):

- **Биримбаева Л.М.** Оценка изменения стока рек Жем и Ойыл // Матер. междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». – Алматы: Қазақ университеті, 6-8 апреля 2023. – С. 104-105.

Выполнена апробация полученных по теме исследования результатов в виде двух авторских свидетельств о внесении в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом НИИС «Казпатент»:

- Серия карт: максимальная высота снежного покрова, число дней со снежным покровом за современный период, среднемноголетнее значение запаса воды в снежном покрове за современный период. Авторы: Алимкулов С.К., **Биримбаева Л.М.**, Кулебаев К.М., Сайлаубек А.М., Альжанов О.М. Свидетельство №58888 от 29.05.2025 г.;

- Схематическая карта средних глубин промерзания грунтов на территории Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна за период 1974-2024 гг. Авторы: **Биримбаева Л.М.**, Алимкулов С.К., Махмудова Л.К., Турсунова А.А., Смагулов Ж.Ж., Достаева А.Ж. Свидетельство №58933 от 29.05.2025 г.

Публикация результатов исследования. Результаты выполненной работы отражены в 8 научных статьях, в том числе 4 в рецензируемых международных журналах баз Scopus и Web of Science: Water Resources Management (Q1 по WoS, Impact factor 4.7, Перцентиль 84,7%), Water (Switzerland) (Q2 по WoS, Impact factor 3, Перцентиль 64,1%), Water and Climate Change (Q2 по WoS, Impact factor 3,1, Перцентиль 66,4%) и 4 в журналах, рекомендованных КОКШВО.

Личный вклад докторанта в подготовку статей:

В статьях «Analysis of the Spatiotemporal Variability of Hydrological Drought Regimes in the Lowland Rivers of Kazakhstan» и «Reaction of Minimal Streamflow to Natural Factors in the Context of Climate Uncertainty» Биримбаева Ляззат Муратбековна является первым автором. Расчеты, написание и оформление статей выполнялись при личном участии автора. Самостоятельно сформулирована научная проблема, определены цели и задачи исследования, а также разработаны комплексная методика оценки изменения минимального стока рек в условиях климатической неопределенности и методика выявления гидрологических засух. Докторантом проведены обзор литературы по теме исследования, сбор и критическая обработка многолетних гидрометеорологических данных; реконструкция и оценка изменений минимального стока с учетом антропогенных и природных факторов; оценка пространственно-временных проявлений гидрологических засух, определение группировок маловодных лет, участие в подготовке карт в среде ArcGIS.

Докторант является одним из авторов статьи «Transformation of seasonal distribution of river flow in the Zhaiyk-Caspian water basin under changing climate conditions». В данной работе докторант принимала участие в расчетах и интерпретации результатов исследования, подготовке карт в среде ArcGIS, в написании первоначальных версий статьи, а также в ее редактировании и доработке.

Докторант является одним из авторов и корреспондентом статьи «Seasonally Contrasting Sensitivity of Minimal River Runoff to Future Climate Change in Western Kazakhstan: A CMIP6 Scenario Analysis». В рамках исследования докторант участвовала в разработке методики сценарного прогноза минимального стока рек, расчетах и интерпретации полученных результатов, в формулировке практических рекомендаций по адаптации управления водными ресурсами. Докторант участвовала в написании первоначальных версий статьи, а также в ее редактировании и доработке.