

АННОТАЦИЯ

Диссертации на соискание степени доктора философии (Ph.D)
по специальности «6D061000 – Гидрология»
Болатовой Айгерим Ардаковны

На тему «Оценка и моделирование гидрографа стока рек Оба и Ульби в условиях изменения климата»

Актуальность диссертационного исследования. Устойчивое развитие страны в условиях изменения климата требует особого внимания к вопросам водной безопасности и рационального управления водными ресурсами. Ертисский водохозяйственный бассейн играет важную роль в обеспечении экономического роста и устойчивого развития региона, а его притоки являются ключевыми источниками водных ресурсов. В условиях изменения климата возрастает необходимость в научных исследованиях, направленных на оценку стока двух основных притоков Ертиса. Эти притоки формируют значительную часть водного баланса бассейна, обеспечивая водой такие секторы экономики, как промышленность, сельское хозяйство и снабжение населения питьевой водой. Эффективная оценка изменения стока требует применения современных гидрологических моделей, позволяющих учитывать широкий спектр климатических факторов и сценариев. Такие модели обеспечивают более точный прогноз динамики водных ресурсов, включая изменения влагозапасов снежного покрова, которые являются основным источником формирования стока в регионе. Применение этих моделей позволяет не только провести объективную оценку текущего состояния водных ресурсов, но и спрогнозировать возможные изменения в условиях изменения климата. Результаты исследований станут научно-методической основой для оптимизации использования водных ресурсов притоков Ертиса, обеспечения региональных потребностей и разработки стратегий адаптации к климатическим изменениям. Современный подход к управлению водными ресурсами, основанный на моделировании, станет важным шагом к укреплению водной безопасности и устойчивого развития Ертисского водохозяйственного бассейна.

Основные притоки Ертиса - реки Оба и Ульба имеют стратегическое значение для региона. Они питают важные водохранилища, включая Шульбинское, обеспечивают орошение сельхозугодий, снабжают населенные пункты и предприятия, а также используются в гидроэнергетике. Кроме того, эти водные объекты способствуют сохранению экологического равновесия и устойчивому развитию водных экосистем Восточного Казахстана. Одной из не исследованных научных проблем является недостаток данных и моделей для оценки гидрологических последствий изменения климата именно для рек Оба и Ульба. Это касается как изменения сезонного распределения стока, так и возможности увеличения частоты и интенсивности экстремальных гидрологических явлений, таких как паводки или засухи. Для решения этих

проблем проведен анализ гидрологических данных, моделирование изменения стока с использованием климатических сценариев, а также оценка влияния климатических изменений на водное хозяйство региона. В рамках этих исследований особое внимание уделено интеграции данных о климате, гидрологии и водопользовании для оценки изменения водных ресурсов на ближайшие десятилетия.

Таким образом, исследование изменения водного режима рек Оба и Ульба под влиянием изменения климата является важным шагом для оценки и управления водными ресурсами Казахстана. Проведение таких исследований поможет не только прогнозировать изменения в водном балансе, но и разработать эффективные меры по адаптации к изменению климата, что в будущем обеспечит стабильное водоснабжение и устойчивость экосистем в регионе.

Диссертационная работа посвящена исследованию динамики изменения стока рек Оба и Ульби в условиях изменения климата.

Объект исследования – реки Оба и Ульби.

Предмет исследования – динамика изменения стока в условиях изменения климата.

Цель исследования - оценить возможные изменения стока рек Оба и Ульби и притока воды в Шульбинское водохранилище при прогнозируемом изменении климата в 21 веке.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Сбор и статистическая обработка гидрологических данных по створам бассейнов рек Оба и Ульби.

- Калибровка и адаптация гидрологической модели SWIM (The Soil and Water Integrated Model) для расчёта стока на реках Оба и Ульби.

- Оценка изменений годового и талого стока рек Оба и Ульби в 21 веке с использованием модели SWIM по данным расчётов ансамбля климатических моделей.

- Оценка возможного изменения притока воды в Шульбинское водохранилище в 21 веке.

Источники материалов исследования – архивные и фондовые материалы (минимальная, максимальная, средняя температура воздуха, атмосферные осадки, ветер, влажность воздуха, высота снежного покрова, расходы воды) РГП «Казгидромет» МЭП РК, данные климатических проекций на основе моделей системы Земля (МСЗ) CMIP5, были выбраны пять симуляций климата моделями системы Земля CMIP5, принятыми для проекта ISIMIP: GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM и NorESM1-M.

Методологическая база исследования. Применяемые в диссертационной работе подходы основываются на применении общенаучных и специализированных статистических методов исследования, интегрированного метода моделирования. Изменение периодов с относительной устойчивой величиной среднего многолетнего значения исследуемых гидрометеорологических характеристик было

проанализировано с помощью суммарных интегральных кривых. Были использованы следующие ежедневные данные WATCH: средняя, максимальная и минимальная температуры воздуха, осадки, скорость ветра, влажность воздуха и солнечная радиация. Перед использованием данных WATCH для моделирования был проведен анализ сопоставимости данных, полученных с трех метеостанций и расположенных рядом с ними виртуальных метеостанций (WATCH). Метеорологические данные: среднесуточная температура воздуха и осадки были собраны с трех наземных метеорологических станций (Лениногорск, Шемонаиха и Усть-Каменогорск), а также загружены данные с близлежащих виртуальных станций с веб-сайта WATCH. При оценке и анализе влияния изменения климата на сток рек Оба и Ульби использовались гидрологическая модель SWIM и климатические проекции на основе моделей системы Земля (МСЗ) CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 - проект взаимного сравнения связанных моделей, этап 5) предложенные проектом ISIMIP (The Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project - Проект межсекторального сравнения моделей воздействия). В ISIMIP используются мультимодельные ансамбли, что позволяет количественно оценить неопределенности от разных источников на различных этапах моделирования. Водный сектор является одним из самых важных в ISIMIP, и подразделяется на два подсектора: региональный и глобальный. Для данного исследования были выбраны пять симуляций климата моделями системы Земля CMIP5, принятыми для проекта ISIMIP: GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM и NorESM1-M. Проведена оценка точности воспроизведения данных моделью с применением статистических критериев, как коэффициент корреляции, детерминации и эффективности по критерию Нэша-Саттклифа (NSE), процентная ошибка (PBIAS), среднеквадратическая ошибка (RMSE). Оценка будущих изменений стока на исследуемых реках произведена ансамблевым методом прогнозирования, которая основана на данных проекции ISIMIP фазы CMIP5 по двум сценариям изменения климата RCP 4.5 и RCP 8.5.

Научная новизна исследования определяется следующим:

- Впервые оценены изменения стока рек Оба и Ульби в 21 веке с учетом климатических изменений.
- Впервые адаптирована и применена эко-гидрологическая модель SWIM (The Soil and Water Integrated Model) для моделирования гидрографа рек Оба и Ульби в условиях изменения климата.
- Впервые оценены возможные изменения притока воды в Шульбинское водохранилище на основе сценариев изменения климата.

Основные положения, выносимые на защиту:

- 1) Анализ рядов гидрометеорологических показателей в бассейнах рек Оба (с. Шемонаиха) и Ульби (с. Ульби Перевалочная) показал рост средней многолетней величины средней годовой температуры воздуха с 1990-х годов, незначительное уменьшение осадков начиная с 1995-х годов, а также некоторое снижение водности исследуемых рек с 1995 года в условиях изменения климата.

2) Проведенные исследования показали применимость эко-гидрологической модели SWIM для моделирования гидрографа стока рек Оба и Ульби за период наблюдений 1961–2020 гг., что подтверждает возможность использования модели SWIM для сценарных расчетов стока этих рек при прогнозируемых изменениях климата.

3) Моделирование речного стока бассейнов рек Оба и Ульби в условиях глобального потепления на основе сценариев изменения климата (RCP 4.5 и RCP 8.5) указывает на некоторое увеличение стока в бассейне реки Оба и на смещение пика расхода воды с мая на апрель (на один месяц раньше) в обоих исследуемых бассейнах.

Описание основных результатов исследования.

Для анализа были взяты гидрометеорологические данные с метеорологических станций Шемонаиха (1936 – 2020 гг.), Усть-Каменогорск (1930 – 2020 гг.), Лениногорск (1935 – 2020 гг.) с периода открытий станций и по 2020 гг., а также с гидрологических постов р.Оба – с.Шемонаиха и р.Ульби – с.Ульби Перевалочная с 1931 по 2020 гг. Исходя из данных суммарных интегральных кривых прослеживается повышение среднегодовых температур воздуха с начала 1970-х годов. Средняя многолетняя величина средней годовой температуры воздуха с 1970-х годов повысилась на 0.82 °С на МС Лениногорск, 0.89 °С на МС Усть-Каменогорск и 1.58 °С на МС Шемонаиха. Значения сумм годовых осадков незначительно снижается начиная с конца 1970-х годов и начала 1980-х годов на 5% на МС Лениногорск, 8% на МС Усть-Каменогорск, что как показал дальнейший анализ отразилось и на стоковых характеристиках рек. Наблюдается снижение водности реки Оба – с.Шемонаиха на 12% и реки Ульби – с.Ульби Перевалочная на 10% в результате расчетов характеристик годового стока рек за периоды с относительно устоявшейся средней многолетней величиной годовых расходов, нормой и ее значениями в условиях климатических изменений показателей водного и теплового баланса. При этом необходимо отметить, что намеченная тенденция увеличения сумм осадков за год и средних годовых расходов воды исследуемых рек Ертыса с начала 2010 годов, в последующем может стать устойчивой и в дальнейшем может привести к увеличению осадков территории и стока притоков Ертыса. Автором дана оценка изменения климата в бассейнах рек Оба и Ульби на основе данных моделей МСЗ. Построены графики долгосрочной среднемесячной динамики осадков и температуры для базового периода (1981-2010), середины столетия (2041-2070) и конца столетия (2071-2099) по сценариям изменения климата RCP4.5 и RCP8.5 для двух исследуемых бассейнов. Согласно результатам моделей МСЗ ожидается, что количество осадков в обоих водосборах увеличится на 8-12% по обоим сценариям к середине века по сравнению с базовым периодом. Повышение температуры в прогнозном периоде при RCP8.5 может превысить 3.5°С в обоих бассейнах. После калибрации модели SWIM и анализа входных климатических данных моделей МСЗ было произведено моделирование стока рек Оба и Ульби на перспективу на основе среднего и жесткого сценариев изменения климата

(RCP4.5 и 8.5) с целью анализа воздействия прогнозируемых изменений климата на наличие водных ресурсов в исследуемых бассейнах. Согласно полученным результатам, общее увеличение среднегодового стока в пределах от 6 до 8% можно ожидать для реки Оба, и меньшие изменения, не превышающие 5%, для реки Ульби. Сдвиги в сезонности были обнаружены в обоих климатических сценариях, где весенний пик появляется в апреле в будущем вместо мая в базовый период. Прогнозируемые сдвиги в сезонности в основном связаны с повышением температуры, что может вызвать более раннее таяние снега.

Научно-практическая значимость исследовательской работы заключается в оценке долгосрочных сценариев изменения стока рек Оба и Ульби, что имеет важное значение для водохозяйственного планирования в условиях изменения климата. Полученные результаты могут быть использованы для разработки стратегий устойчивого управления водными ресурсами рассматриваемых бассейнов, включая оптимизацию водозабора и регулирование стока.

Исследование создаст научную базу для обоснования адаптационных мер, включая оптимизацию режимов работы водохранилищ и улучшение управления паводковыми рисками. Полученные результаты могут быть полезны при разработке нормативных и стратегических документов в сфере водного управления. Несмотря на то, что работа фокусируется на конкретных речных бассейнах, её подходы и выводы могут быть адаптированы и для других регионов Казахстана с аналогичными гидрологическими условиями.

Личный вклад автора. Все анализируемые результаты работы получены соискателем лично, которые в решении поставленных задач диссертационного исследования заключались:

- 1) в сборе и анализе исходной информации;
- 2) в сборе, обработке и анализе сценариев изменения климата;
- 3) в адаптации и калибровке гидрологической модели SWIM;
- 4) в выполнении гидрологических расчетов

Апробация исследования. Основные результаты диссертационной работы были доложены:

- на 5-м Международном семинаре по метеорологической науке и технологиям в Центральной Азии, Китай, Нанкин, 14 -16 октября 2019 г.;
- на 7-м Международном семинаре по метеорологической науке и технологиям в Центральной Азии, 15–17 ноября 2022 г. (онлайн).

По материалам диссертационного исследования опубликованы 6 печатных работ, в том числе 1 статья в индексируемом отечественном журнале, 1 статья в индексируемом международном журнале, 2 статьи в журналах рекомендованных ККСОН и 2 статьи в материалах международных конференций.

Структура диссертации. Диссертация изложена на 120 страницах и состоит из определений, обозначений и сокращений, введения, 5 глав, заключения и списка использованных источников из 81 наименования; содержит 20 таблиц, 29 рисунков, 5 формулы и 6 приложений.