

АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы на соискание степени доктора философии (Ph.D) по образовательной программе 8D07303 – Картография

ЕГИЗБАЕВОЙ АСЕТ САГАТБЕКОВНЫ на тему

Моделирование и прогноз сезонных колебаний стока рек в бассейне озера Балхаш на основе ДЗЗ

К середине XXI века технологические достижения открыли новые возможности для исследования и управления водными ресурсами. Развитие цифровых технологий способствовало применению дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), машинного обучения и географических информационных систем (ГИС) для анализа гидрологических процессов, прогнозирования речного стока и моделирования водных систем. Эти методы помогают эффективно управлять водными ресурсами, сохранять экологическое равновесие и разрабатывать стратегии адаптации к изменениям климата.

Актуальность темы исследования. Бассейн озера Балхаш является важным регионом Центральной Азии, играющим ключевую роль в обеспечении водными ресурсами сельского хозяйства, промышленности и бытовых нужд. Однако климатические изменения, глобальное потепление и антропогенные факторы угрожают экологической устойчивости и водной безопасности региона. Увеличение нагрузки на водные ресурсы нарушает гидрологическое равновесие и усугубляет проблему дефицита воды.

Трансграничный характер бассейна Балхаш создаёт дополнительные трудности в управлении водными ресурсами. Эффективное распределение воды требует международных переговоров между Казахстаном и Китаем, что влияет на региональную стабильность и развитие экосистем.

Доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) за 2021 год подчеркивает, что повышение глобальной температуры и сезонные колебания осадков приводят к сокращению снежного покрова, уменьшению речного стока и деградации экосистем. Климатические сценарии (SSP2-4.5 и SSP5-8.5) прогнозируют увеличение стока зимой и его снижение весной и летом, что создаёт новые вызовы для управления водными ресурсами.

В Послании Президента Казахстана Касым-Жомарта Токаева 2023 года особо отмечена необходимость внедрения современных технологий и разработки нового Водного кодекса для уменьшения дефицита воды и повышения экологической и национальной безопасности. Разработка научно обоснованных решений для эффективного использования водных ресурсов и адаптации к изменениям климата становится всё более актуальной.

Предмет исследования. Изучение сезонной динамики речного стока в бассейне озера Балхаш, а также совершенствование методов моделирования и прогнозирования на основе интеграции ДЗЗ и гидрологических моделей.

Цель и задачи исследования. Анализ и прогнозирование сезонных колебаний речного стока в бассейне озера Балхаш на основе данных ДЗЗ и гидрологических моделей. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- Комплексный анализ гидрологических и климатических особенностей бассейна озера Балхаш, включая исследование сезонной динамики температурных изменений, осадков, влажности почвы и снежного покрова с высокой точностью.
- Разработка пространственных тематических карт, отражающих распределение снежного покрова, изменения землепользования и показатели засухи с использованием данных ДЗЗ (MODIS, Sentinel, Landsat).
- Регионализация гидрологической модели HBV и её интеграция с алгоритмами дешифрования данных ДЗЗ для повышения точности прогнозирования речного стока и выявления экстремальных
- Оценка влияния температуры и осадков на гидрологические процессы с применением климатических сценариев SSP2-4.5 и SSP5-8.5.
- Разработка алгоритма оперативного выявления экстремальных гидрологических явлений, таких как наводнения и засухи, на основе данных ДЗЗ, гидрологических моделей и алгоритмов машинного обучения.

Методы исследования. Исследование основано на применении современных методов для анализа сезонной динамики речного стока в бассейне озера Балхаш. Данные ДЗЗ использовались для изучения пространственно-временной динамики стока и изменений снежного покрова и землепользования. Модель HBV применялась для моделирования и прогнозирования стока с учётом климатических сценариев (SSP2-4.5, SSP5-8.5).

ГИС-технологии обеспечили визуализацию гидрологических процессов и пространственных особенностей региона. Для повышения точности результатов использовались математические и статистические методы (корреляция, регрессия, R^2 , NSE, PBIAS).

Для оперативной оценки наводнений и засух разработан скрипт на основе алгоритмов машинного обучения. Интеграция методов повысила точность исследования и создала основу для стратегий управления водными ресурсами и адаптации к изменениям климата.

Теоретико-методологические основы исследования. Основу научного обоснования исследования составляют следующие ключевые работы: Д. Цзян -

«The Role of Satellite-Based Remote Sensing in Improving Simulated Streamflow: A Review» (2019) [1], А.А. Асылбекова – «Исследование ландшафтов северного склона Иле Алатау с использованием данных дистанционного зондирования» (2010) [2], А.А. Турсынова – «Водные ресурсы Казахстана в условиях неопределенности» (2021) [3], Э.К. Талипова – «Влияние современных и будущих изменений климата на водные ресурсы бассейна реки Или» (2023) [4], С.К. Алимкулов – «Оценка внутригодового распределения стока рек северного склона Жетысу Алатау» (2022) [5], К.К. Дускаев – «Оценка максимальных расходов воды рек города Алматы» (2019) [6], В.С. Чередниченко – «Климатические колебания в Или-Балхашском бассейне и их связь с уровнем озера» (2009) [7] и В.Г. Сальников – «Климатические колебания общей циркуляции атмосферы, осадков и речного стока над территорией Казахстана» (2011) [8].

Кроме того, в исследовании были использованы работы по гидрологическому моделированию и применению численных методов: В.А. Шелутко – «Численные методы в гидрологии» (1991) [9], В.Г. Андриянов – «Внутригодовое распределение речного стока: основные закономерности и их использование в гидрологических и водохозяйственных расчетах» (1960) [10], а также учебное пособие С.К. Даулеткалиев, Д.К. Жусупбеков, М.М. Молдахметов – «Методы математической обработки гидрологической информации» (2012) [11].

Теоретическая значимость работы. Исследование основано на концепциях гидрологии, климатологии и картографии с применением данных ДЗЗ, ГИС и гидрологического моделирования для изучения сезонной динамики речного стока в бассейне озера Балхаш. Теоретические положения опираются на геопространственный анализ, технологии ДЗЗ и оценку влияния климатических изменений на гидрологические процессы.

Полученные результаты способствуют совершенствованию методов моделирования и прогнозирования, а также пространственно-временному анализу гидрологических процессов. Эти положения вносят вклад в развитие гидрологии и картографии и совершенствование образовательных программ в этой области.

Практическая значимость работы. Научная новизна данного исследования заключается в разработке новых методов и решений для оценки динамики климатических изменений и водных ресурсов в бассейне озера Балхаш. Результаты исследования включают новые подходы к точному прогнозированию и анализу сезонных изменений речного стока с использованием интеграции данных ДЗЗ и гидрологических моделей.

Кроме того, одним из новых методов является оценка засухи на основе Индекса состояния растительности (VHI), а также предлагается использование

современных технологий SAR (синтезированной апертурной радиолокации) для анализа затопленных территорий.

Научная новизна работы. Научная новизна данного исследования заключается в комплексном анализе сезонной динамики водных ресурсов бассейна озера Балхаш на основе данных ДЗЗ и гидрологической модели **HBV**, что проводится впервые. В ходе работы выявлена взаимосвязь между снежным покровом и речным стоком, а также разработаны прогнозные сценарии на 2030 и 2050 годы для оценки влияния климатических изменений.

Модели **HBV** и **E-Flow** были эффективно применены для управления водными ресурсами и оценки устойчивости экосистем. С использованием данных ДЗЗ и технологий ГИС проведён пространственный анализ, а также разработаны трёхмерные карты, отражающие изменения водного баланса.

Результаты исследования способствовали повышению точности прогнозирования водных ресурсов и предоставили научную основу для разработки стратегий адаптации к изменениям климата и сохранения экосистем. Кроме того, был разработан специальный алгоритм для оперативного реагирования на природные бедствия, такие как наводнения и засухи.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. В исследовании сезонной динамики речного стока в бассейне озера Балхаш модели E-Flow и HBV, интегрированные с данными ДЗЗ (MODIS, Sentinel, Landsat) и гидрометеорологической информацией, определены как надёжные методы анализа, обеспечивающие высокую точность в оценке сезонных и пространственных характеристик водных ресурсов.
2. Модель HBV показала эффективность как усовершенствованный метод моделирования для прогнозирования влияния климатических и антропогенных факторов на водные ресурсы, а также для разработки стратегий их управления, благодаря калибровке региональных параметров и использованию климатических сценариев SSP2-4.5 и SSP5-8.5.
3. Разработан специальный алгоритм для оперативного выявления и оценки засух и наводнений на основе технологий ДЗЗ и модели HBV, предложенный в качестве эффективного инструмента для управления водными ресурсами, быстрого реагирования на природные бедствия и снижения климатических рисков.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ. Диссертационная работа выполнена в рамках научно-технической программы BR10764920 «Технологии орошения и технические средства в условиях ввода новых орошаемых земель, реконструкции и модернизации существующих оросительных систем», реализуемой в рамках программно-целевого

финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2021–2023 годы.

Вклад автора в получении научного результата. Научные исследования, проведенные в рамках диссертации, основываются на опубликованных статьях и результатах личных научных изысканий автора, без участия сотрудников лаборатории. Автор сформулировал собственные выводы и провел индивидуальное исследование.

Апробация результатов исследовательской работы. Основные результаты исследования обсуждались на международных и республиканских конференциях с 2021 по 2024 год и получили высокую оценку научного сообщества. Результаты были представлены на конференциях «Фараби әлемі» (Алматы, Казахстан), GARSS 2022, Youth Forum (Чианграй, Таиланд, 2023) и International Journal of Geoinformatics Conference (Куала-Лумпур, Малайзия, 2021), где они были высоко оценены в области управления водными ресурсами и климатических изменений.

Обсуждение и одобрение исследовательской работы. По результатам исследования опубликовано 7 научных работ в казахстанских и зарубежных изданиях, а также на международных научно-практических конференциях. Из них 4 статьи опубликованы в журналах, индексируемых в базах данных Elsevier, Web of Science и Scopus. Кроме того, Хирш индекс соискателя в базе Scopus - 4, а в Web of Science - 2.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников (198 наименования), 15 таблиц, 51 рисунков и 16 приложений. Объем работы - 148 страницы.