

## **АННОТАЦИЯ**

к диссертационной работе на соискание ученой степени  
доктора философии (PhD) по специальности  
6D071100 – Геодезия

**Нуракынова Серика Маратовича**

### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ГОРНЫХ КРИОСФЕР С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

#### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа посвящена исследованию состояния компонентов горной криосферы Жетысу Алатау, включая ледники и каменные глетчеры, с использованием спутниковых технологий. Основное внимание уделено оценке состояния ледников, их геодезического баланса массы, а также инвентаризации каменных глетчеров в условиях изменения климата. Результаты исследования имеют важное значение для понимания динамики изменения ледников и их влияния на водные ресурсы региона, а также предложены методики, которые могут быть применены к другим горным районам Центральной Азии.

#### **Актуальность темы**

Актуальность исследований обусловлена необходимостью оценки и проведения мониторинга динамики изменений площади ледников, геодезического баланса масс ледников всего горного массива и инвентаризации каменных глетчеров, ввиду недостаточной полноты наземных данных.

*Изменение площади ледника.* Первая подробная инвентаризация ледников Жетысуского Алатау – «Каталог ледников» (Каталог ледников СССР, 1980), основанная на аэрофотоснимках 1956 года, была опубликована в 1980 году. В 2004 году Черкасовым П.А. составлен второй кадастр ледников, с использованием топографических карт масштаба 1:25 000, на основе аэрофотоснимков, сделанных в 1972 году, и еще два отдельных исследования были проведены в 1990-е и 2000-е годы. Основные результаты исследований за этот период носили описательный характер и сохранились только в неопубликованных отчетах.

*Инвентаризация активных каменных глетчеров.* Каменные глетчеры широко распространены в горной системе Жетысу Алатау и являются одним из основных показателей уровня многолетней мерзлоты. Исследования, в

которых представлены данные о каменных глетчерах, достаточно ограничены. Однако каменные глетчеры Жетысу Алатау за последние несколько десятилетий почти не исследовались.

*Исследования баланса массы ледника.* Несмотря на относительно большое количество ледников, расположенных в этом районе, данные о состоянии баланса массы ледников остаются скудными. Чтобы заполнить пробел в прямых гляциологических наблюдениях и охватить более крупные горные районы, изменения объемов ледников оценивались в различных масштабах водосбора – от локальных до региональных исследований с использованием данных дистанционного зондирования. Однако детальные региональные временные ряды оценки баланса массы с высоким временным разрешением все еще отсутствуют для Жетысуского Алатау.

В этой связи детальное исследование ледников и каменных глетчеров, знания о текущем состоянии компонентов горной криосферы Жетысуского Алатау в условиях изменения климата и сравнение характеристик ледников и каменных глетчеров с другими частями Жетысу Алатау, являются очень важными для понимания регионального состояния криосферы Жетысу Алатауской горной системы в целом.

**Цель работы** – изучение и проведение оценки состояния оледенения горных хребтов Жетысуского Алатау с расчетом геодезического баланса массы на основе спутниковых технологий и инвентаризация каменных глетчеров.

#### **Задачи, решаемые в работе**

1. Создание базы архивных и актуальных спутниковых данных. Проведение оценки исторического состояния оледенения горных хребтов Жетысу Алатау;

2. Картографирование ледников по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с использованием полуавтоматической методики соотношения полос (метод band ratio). Оценка точности картографирования ледников;

3. Идентификация и картографирование активных каменных глетчеров с использованием оптических и радарных снимков;

4. Определения высоты равновесной линии (ELA) для оледенения Жетысуского Алатау;

5. Создание бистатических цифровых моделей рельефа (ЦМР) с использованием данных ДЗЗ. Коррекция значений высот с учётом разницы микроволнового проникновения в X, C диапазонах по данным SRTM-X и SRTM-C;

6. Оценка изменений высоты и геодезического баланса массы ледников с использованием данных ДЗЗ. Проведение оценки геодезического баланса массы ледников с использованием численных методов.

**Объект исследования** – Компоненты криосферы Жетысу Алатауских горных хребтов.

**Предмет исследования** – Состояние компонентов горных криосфер Жетысу Алатауских горных хребтов.

**Методы исследования** позволяют достичь цели поставленной в диссертационной работе и раскрыть суть и содержание полученных научных результатов. Для решения поставленных задач были использованы следующие методы:

– для определения площади ледников был использован метод порогового значения отношения полос (band ratio), основанный на анализе мультиспектральных оптических снимков в сочетании с визуальной интерпретацией, обеспечивает достаточную точность при выделении границ ледников;

– для инвентаризации каменных глетчеров были использованы два базовых подхода: геоморфологический (с использованием ЦМР и высокоточных оптических данных) и кинематический (данные радарной интерферометрии (InSAR));

– для расчета изменения высоты поверхности ледников проведено математическое сравнение двух ЦМР: историческая (SRTM) и актуальная.

#### **Описание основных результатов исследования:**

- проведено дешифрирование ледников во всех семи бассейнах рек деля Жетысу Алатау, выполнен анализ скорости сокращения площади ледников с использованием спутниковых данных;

- создан каталог каменных глетчеров Жетысу Алатау по данным архивов оптических снимков. Проведена классификация каменных глетчеров по показателю активности с применением технологии InSAR, обработка методом SBAS (Small Baselines Subset);

- проведена оценка изменений высоты и баланса массы ледников в региональном масштабе для Жетысуского Алатау по данным ДЗЗ;

- полученные результаты научных исследований по Жетысускому Алатау можно масштабировать для оценки баланса массы по всем ледниковым горным системам Казахстана. Разработанная методика обработки спутниковых данных позволяет определить пространственно-временную динамику объема ледников и их влияние на речной сток, как одного из основных источников возобновляемых природных ресурсов;

- предложенные методики и рекомендации позволяют снизить трудоемкость и стоимость исследований состояния оледенения горных регионов Центральной Азии.

### **Научная новизна**

1. Разработаны научно-методические основы изучения состояния криосферы Жетысуского Алатау с использованием спутниковых технологий;
2. Рассчитан геодезический баланс масс ледников всего Жетысуского (Джунгарского) Алатау в региональном масштабе с использованием данных ДЗЗ с высоким временным и пространственным разрешением;
3. Проведена инвентаризация активных каменных глетчеров Жетысуского Алатау с использованием технологий дифференциальной интерферометрии и мультиспектральных оптических снимков высокого разрешения и производных продуктов в виде ЦМР. Проведена модификация методики идентификации каменных глетчеров и впервые проведена классификация по происхождению для исследуемой территории;
4. Определены нижние и верхние границы криолитозоны для Жетысуского Алатау;
5. Рассчитаны скорости деградации площади ледников Жетысуского Алатау с использованием спутниковых данных.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Значимость работы обусловлена разработкой и созданием научно-методических основ для изучения компонентов горных криосфер, способствующих более детальному изучению и пониманию влияния изменения климата в целом на водные ресурсы.

Научная значимость – апробация и внедрение международной методики инвентаризации ледников и каменных глетчеров для Жетысуского Алатау может быть масштабирована для изучения компонентов горных криосфер других высокогорных регионов РК и Центральной Азии.

Практическая значимость – созданы цифровые каталоги ледников и каменных глетчеров по образцу международному стандарту организаций International Permafrost Association (IPA), Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) и International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), которые могут быть включены в систему международных каталогов данных, повышая доступность научному сообществу для восполнения информационного пробела по региону исследования. Результаты исследований могут быть использованы в качестве дополнительных данных специалистами для задач построения и расчета гидрологических моделей.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:** применением теории ошибок измерений для исследования точности различных методов сбора геопространственных данных, статистических методов, в том числе проведением расчетов по определению среднеквадратических ошибок площадей ледников и каменных глетчеров, а также методов сравнительного анализа климатических данных для определения влияния температурных трендов и осадков на повышенную скорость сокращения площадей ледников.

**Связь темы с планом научно-исследовательских работ и различными Государственными программами.**

Работа выполнялась в рамках проекта Комитета науки МНВО РК: «Оценка баланса массы ледников в региональном масштабе и инвентаризация каменных глетчеров Жетысуского Алатау с использованием данных дистанционного зондирования» на 2020-2022 гг. (AP08856470).

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Впервые получены численные значения скорости деградации площади ледников Жетысуского Алатау с использованием спутниковых данных;
2. Впервые был создан каталог каменных глетчеров Жетысуского Алатау по данным комплексного анализа оптических и радарных спутниковых данных, и производных продуктов ЦМР;
3. Проведена модификация методики идентификации каменных глетчеров и впервые выполнена классификация по происхождению для исследуемой территории;
4. Впервые была проведена оценка геодезического баланса массы горных ледников Жетысуского Алатау с использованием спутниковых данных с учетом особенностей характеристик исследуемой территории;
5. Впервые определены факторы, влияющие на сокращение объема ледников Жетысуского Алатау.

**Публикации и апробация работы.** По теме диссертации опубликованы 5 работ. 3 статьи были опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в базу данных Scopus и Web of Science. Из них 2 статьи в журнале «Remote sensing» (перцентиль 91, Q1) и одна статья (обзор) в журнале «Water» (перцентиль 84, Q1). Также, 2 статьи были опубликованы в журналах, одобренных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики

Казахстан и сделано 2 доклада и подан 1 тезис на международных научно-практических конференциях, форумах и конгрессах.

Исследования проведены в рамках грантового проекта по теме «Оценка баланса массы ледников в региональном масштабе и инвентаризация каменных глетчеров Жетысуского Алатау с использованием данных дистанционного зондирования» (ИРН АР08856470), в ТОО «Институт ионосферы».

#### **Личный вклад докторанта в подготовку каждой статьи:**

Нурақынов С.М. внес значительный вклад в подготовку статей по исследованию ледников и каменных глетчеров Жетысуского Алатау, ориентируясь на использовании спутниковых данных и современных технологий для анализа изменений в криосфере. Его вклад включает в себя сбор данных и их тематическую обработку, подбор и развитие методов анализа данных, модификация методики определения каменных глетчеров и подготовка текстов к публикации.

В статье «The First Inventory of Rock Glaciers in the Zhetysu Alatau: The Aksu and Lepsy River Basins» С.М. Нурақынов участвовал в проведении инвентаризации каменных глетчеров Жетысуского Алатау, в частности, в сборе и анализе данных о каменных глетчерах в бассейнах рек Аксу и Лепсы. Он модифицировал методику идентификации каменных глетчеров и впервые, для исследуемой территории, провел классификацию каменных глетчеров по происхождению. Также занимался обработкой и интерпретацией полученных радарных данных с использованием технологий InSAR.

В статье «Accelerated glacier area loss in the Zhetysu (Dzhungar) Alatau Range (Tien Shan) for the Period of 1956–2016» С.М. Нурақынов является основным автором, выполнил оценку динамики изменения площадей ледников в Жетысуском Алатау. Участвовал в анализе спутниковых данных для расчета изменений площади ледников за период с 1956 по 2016 годы, а также в применении методов дистанционного зондирования для оценки сокращения ледников в этом регионе. Внес основной вклад в разработку методики оценки скорости деградации ледников и в подготовку результатов статьи.

В статье «Application of Artificial Intelligence in Glacier Studies: A State-of-the-Art Review» С.М. Нурақынов основной автор обзора, посвященного применению искусственного интеллекта в изучении ледников. Он занимался сбором и анализом существующих исследований по использованию технологий искусственного интеллекта для анализа ледников, а также

разработкой структуры статьи и написанием обзора о текущем состоянии этой области.