

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геоморфологии и геоэкологии

**Исследование нивально-гляциальных систем с помощью данных
дистанционного зондирования Земли(на примере ледника Алибек)**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

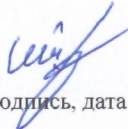
Студента _____ 4 _____ курса _____ 431 _____ группы

направления _____ 05.03.03 - Картография и геоинформатика _____

_____ географического факультета _____

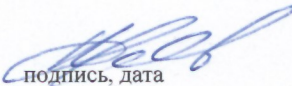
_____ Тюкова Дениса Владимировича _____

Научный руководитель
старший преподаватель
должность, уч. степень, уч. звание


подпись, дата

П.А. Шлапак
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой
доцент, к.с-х.н., доцент
должность, уч. степень, уч. звание


подпись, дата

В.А. Гусев
инициалы, фамилия

Саратов 2022

Введение. Мониторинг состояния современных районов горного и предгорного оледенения в условиях непрерывно меняющегося климатического режима представляют высокую значимость, которую можно объяснить значительными темпами в изменении нивально-гляциальных систем. Оценка влияния данных компонентов окружающей среды на прилегающие к ним территории и составление прогноза дальнейшего состояния ставят перед исследователями довольно серьезную задачу по поиску наиболее универсальных и практичных алгоритмов, позволяющих осуществлять мониторинг состояния снежно-ледовых поверхностей без непосредственного контакта с объектом исследования.

Целью бакалаврской работы является - изучение методов дистанционного мониторинга труднодоступных районов горного оледенения.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- рассмотреть существующие алгоритмы изучения ледников гор и предгорий,
- на основе данных дистанционного зондирования построить модели спектрального индекса для снежно-ледовых поверхностей,
- определить структурные компоненты тела ледника и рассмотреть их динамику за последние 4 десятилетия,
- сопоставить полученные результаты с метеорологическими данными и провести корреляционный анализ зависимости состояния ледника от факторов окружающей среды,
- составить наиболее вероятный прогноз состояния ледника Алибек,
- оценить возможность замены наблюдений на местности дистанционной формой исследования.

Теоретической основой для написания работы послужили: научная, учебная и методическая литература, электронные ресурсы удаленного доступа.

Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка используемой литературы и приложений.

Основное содержание работы.

1 Теоретическая основа метода дистанционного исследования объектов земной поверхности

Первый раздел включает в себя определение понятия ДДЗ, объяснение принципов работы съемочных систем, основные виды получаемых материалов входе проведения исследований, а также различные методики первичной обработки и прочих манипуляций над ДДЗ.

Под **дистанционным зондированием Земли** понимается *наблюдение и измерение энергетических и поляризационных характеристик излучения объектов в различных диапазонах электромагнитного спектра, главной целью которого является определение местоположения, вида, свойств и временной изменчивости объектов окружающей среды без непосредственного контакта с ними измерительного прибора [1,2].*

Для понимания функциональных способностей и общей системы рассмотрим структуру, характеристики аппаратуры, производимые материалы - процедуру их создания и последующие этапы обработки, а также физические основы работы ДЗЗ.

Физические основы дистанционного зондирования - наблюдение за состоянием объектов на поверхности Земли основывается на регистрации спектральных характеристик объектов, а точнее их спектральной яркости (далее СЯ) [3,4].

Особенности спектральных характеристик объектов выражены в первую очередь в том, что каждый класс объектов имеет свою отражающую способность, способность поглощать или излучать электромагнитные волны. Изучение этих характеристик является необходимым условием при рассмотрении интерпретации объектов по набору СЯ или их соотношениям.

Структура дистанционного зондирования - структуру системы ДЗЗ представляют 2 основных сегмента: комплекс дистанционных, а именно аэро- и космо- методов исследования; наземный сегмент.

Основные стадии обработки данных ДДЗ - Обработка данных

зондирования во многом является подготовительным этапом перед получением по изображению разнообразной тематической информации и совершенно точно качество производимых на разных стадиях обработки работ определяет качество получаемой тематической карты, а как следствие ее информативность и практическую пользу для различного рода исследований.

Среди методов предварительной обработки ДДЗ можно выделить следующие: радиометрическая коррекция; атмосферная коррекция; геометрическая коррекция; ортотрансформирование изображений [1,5,6].

Виды съемок и используемые виды техники в ДДЗ - В первую очередь классификация подразумевает разделение всех видов съемочных аппаратов и съемочных процессов на пассивные и активные. Основное отличие между данными видами состоит в типе регистрируемого излучения, которое поступает на сенсор съемочного аппарата либо после манипуляции непосредственно на самом аппарате, которое запускает искусственное излучение и регистрирует его отражение, либо как при пассивном методе, когда регистрации подвергаются лучи либо отраженного солнечного излучения, либо собственное излучение Земли.

Еще одним основанием для разделения является - технология получения снимков разных спектральных диапазонов, при таком разбиении на классы мы говорим о следующих технологиях получения: снимки в видимом, ближнем и среднем ИК диапазоне, полученные с помощью фотографического оборудования. Снимки в радиодиапазоне, получением которых занимаются радиолокационные и микроволновые радиометрические системы. Снимки в тепловом инфракрасном диапазоне.

2 Особенности использования ДДЗ в современных исследованиях ледников

Во втором разделе представлены разные примеры, существующих работ внутри научного сообщества, каждая из которых содержит значительный объем информации об областях оледенения, расположенных на земной поверхности, а также различные методики их изучения.

Так в качестве первой работы была рассмотрено исследование ледников, в рамках которого устанавливались морфолого-морфометрические показатели оледенения одной из слабо изученных областей Монгольского Алтая, а также была рассмотрена взаимосвязь орографических параметров данного региона с расположенными на нем ледниками [7].

Второй рассматриваемой работой по исследованию ледников методом обработки данных дистанционного зондирования является статья 2008 года, которая получила название «Изменения структуры и динамики ледника Фритьоф на Шпицбергене за последние 70 лет по данным дистанционных исследований» [8].

Суть данной работы заключалась в том, чтобы получить наиболее актуальную картину современного состояния ледника, а также рассмотреть динамику состояния относительно исследований первой половины 20 века и работ 1990 года [9].

3 Исследование ледника «Алибек», теоретические положения

В третьем разделе приводятся теоретические положения из области гидрологии и гляциологии, необходимые для понимания специфики объекта исследования. Также представлен теоретический материал необходимый для обоснования используемой в работе модели спектрального индекса NDSI.

Определение ледников - ледником называют массу фирна и льда, которая была образована путем длительного накопления и преобразования твердых атмосферных осадков, масса которая обладает собственным движением [10].

Морфологические типы ледников - сама по себе задача исследования поверхностей относящихся к классу снежно-ледовых предполагает рассмотрение вопроса о типологии ледников, классификация которых представляет собой весьма сложную картину, основу которой составляет деление на три крупные группы: покровные, горно-покровные и горные ледники [11].

Дешифрирование ледников по снимкам земной поверхности - говоря о дешифрировании снежно-ледовых поверхностей, мы должны принимать во

внимание тот факт, что мы используем алгоритм с некоторой долей автоматизации выделения покрытой снегами и льдом площади. Возможным использованием подобного алгоритма становится благодаря тому, что снежно-ледовые поверхности имеют высокую отражательную способность в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра, с резким снижением ее в среднем ИК диапазоне, что позволяет очень четко отделить исследуемые объекты от облачности или других объектов.

Одним из наиболее распространенных таких алгоритмов или индексов является индекс снега NDSI (Normalized difference snow index), который высчитывается по формулам с использованием яркостных значений диапазонов ближнего и среднего ИК, а также зеленого каналов [12].

Рассмотрев необходимые теоретические положения по процессу интерпретации районов горного оледенения, переходим к практической составляющей работы с ледником Алибек.

4 Исследование ледника «Алибек», практические этапы исследования

Краткое описание ледника Алибек - Алибек - ледник долинного типа с северо-восточной экспозицией (Горная территория в Карачаево-Черкесии, бассейн Теберды, Северный Кавказ) [13].

Анализируя сезонные состояния ледника по результатам оцифровки, можно сделать вывод о том, что само тело ледника и его общие границы лишь незначительно меняются в размерах, за счет процессов таяния и сноса снегового покрова, но структурные элементы ледника: зона аккумуляции и стока - сильно подвержены изменению, которые имеют неоднородный характер в связи с орографическим фактором, что можно наблюдать на более затененных участках.

Данные приложения относятся к периоду 2000-2010х гг, они позволяют оценить лишь сезонные изменения в строении ледника, однако динамику самого тела необходимо рассматривать на основе 4-х периодов, которые дают более полную картину об общей тенденции ледника к отступанию.

Основные различия наблюдаются достаточно четко - изменения нижней границы ледника и смещение ее на десятки метров, помимо этого изменения затрагивают положение и границы снеговой линии. Наблюдение за подобными изменениями, параллельно с анализом средних многолетних показателей температуры, предоставляет нам необходимый пласт информации, на основе можно сделать вывод о взаимосвязи климатического режима, а если быть точнее температурного режима с состоянием структур, относящихся к данному горному району оледенения.

Помимо этой взаимосвязи, динамика прослеживается еще по одному индикатору - морфологии отложений, которые были созданы непосредственно за счет движения ледников, этими отложениями являются морены.

Моренами называют - ледниковые отложения, которые представляют собой неоднородную смесь обломочного материала, образованную в результате абразивной экзарации и последующего движения ледника [14].

Состояние ледника Алибек, его пространственное положение, а также изменение длины и площади очень четко фиксируется в настоящий момент времени благодаря ряду исследований основанных на методе дистанционного зондирования. Дешифрирование получаемых входе зондирования снимков позволяет определить основные характеристики ледника, выделить его структурные элементы и произвести достаточно точный анализ состояния и динамики ледника без непосредственного контакта и необходимости в проведении экспедиций, что существенно облегчает процесс изучения и мониторинга крайне важного элемента окружающей среды.

Рассматривая динамику параметров ледника на основе построенных моделей спектрального индекса NDSI, а также рассчитанных показателей площади и объема массы ледника [13] можно сформировать ряд выводов о характере изменений основных гляциоклиматических показателей. Общая картина деградации ледника претерпевает замедление темпов, что обуславливается истощением снежно-ледовых масс в нижней абляционной части тела ледника. Уменьшение площади ледника и объема заключенных в

нем снежно-ледовых масс имеют разную степень затухания. Замедление темпов в уменьшении объема куда более сильно выражено, нежели затухание темпов изменения площади, подобная картина может быть объяснена постепенным смещением деградирующей толщи снежно-ледовых масс от нижних границ, наиболее подверженных к таянию и испарению, к более мощной части ледника. Для того, чтобы произвести оценку температуры поверхности с наибольшей точностью было принято решение использовать автоматизированные алгоритмы, а именно использовать специализированный модуль программы Quantum GIS «Land Surface temperature».

Выбор именно этого метода объясняется сразу несколькими положениями: во-первых, итоговые данные будут учитывать состояние атмосферы на момент съемки; во-вторых, учету будет также подлежать и подстилающая поверхность, данные о которой получают путем составления в программе Quantum GIS модели спектрального индекса NDVI; в-третьих, задействованные при расчете спектрального индекса NDVI каналы с 30- метровым разрешением позволят получить по итогу модель распределения температурных характеристик с гораздо более высоким разрешением.

Рассматривая построенные модели можно отметить - определение характеристик нежелательно проводить для данного объекта за зимний период, поскольку рельеф местности создает отенение части ледника, перекрывая доступ солнечного излучения и соответственно снижая отраженное от поверхности ледника излучение. Помимо слабой эффективности модели, описывающую состояние ледника в зимний период, подобная картина наблюдается также при рассмотрении весеннего периода, хотя качество итоговой модели значительно лучше и позволяет оценить контраст температур между структурными компонентами ледник. Анализируя построенные модели летней и осенней сцен, можно сказать, что в данные периоды наиболее точно определяется состояние поверхности ледника, которое иллюстрирует неравномерное распределение температурных характеристик по поверхности тела ледника, а сам температурный контраст между зонами абляции и

аккумуляции достигает нескольких градусов.

Для составления более полного вывода о характере термического режима приповерхностного слоя тела ледника требуются дополнительные полевые изыскания, а именно снегомерная съемка, определение толщины льда, расчет содержащейся в коре таяния воды [15].

Графики, составленные на основе данных об осадках не иллюстрируют устойчивых трендов.

График средних сезонных значений температуры показывает тренд постепенного увеличения температурных характеристик, в особенности стоит отметить тенденции к увеличению средних значений зимних и летних сезонов.

Рассмотренные показатели позволяют сделать вывод, что ключевым фактором влияющим на состояние снежно-ледовых поверхностей района исследования является температурный режим.

Заключительный этап практических работ это анализ взаимосвязанности между основными параметрами ледника, а именно взятые показатели изменения длины правой ветки ледника и условиями окружающей среды, к которым были отнесены данные о температурном режиме за последние десятилетия.

При расчетах использовалась формула определения коэффициента корреляции Пирсона, которая позволяет получить данные о характерной для выбранных к рассмотрению показателей линейной зависимости. Данные, которые были проанализированы представляют собой массив информации об изменении длины правой ветки ледника Алибек и данные об изменении температурного режима для отдельно взятого летнего периода, а также массив с среднегодовыми температурными характеристиками за последние 4 десятка лет.

В первом случае рассчитанный коэффициент (-0,946) свидетельствует о строгой отрицательной корреляции, что подтверждает гипотезу о значительной взаимосвязи между меняющимися показателями температуры за летний сезон и состоянием тела ледника.

В случае, когда мы рассматриваем состояние ледника относительно меняющихся показателей среднегодовой температуры, мы получаем коэффициент корреляции равный (-0,714), что соответствует значительной степени зависимости состояния ледника от меняющегося климатического режима.

Заключение.

Сформулированные на старте исследования задачи были выполнены, а результат их выполнения позволил составить следующий ряд выводов:

1. Применяемые в работе модели спектрального индекса NDSI имеют высокую практическую значимость, поскольку позволяют в автоматическом режиме определять по снимкам объекты относящиеся к классу снежно-ледовых поверхностей с высокой степенью точности.

2. Подобные алгоритмы, не исключают необходимость в проведении измерений на местности, но имеют целый ряд преимуществ, среди которых - автономность, относительная экономия ресурсов, актуальность и периодичность данных, а сами результаты подобных исследований позволяют сделать обобщенные выводы о характере изменений и состоянии объекта исследования.

3. Динамика состояния ледника Алибек за 4 десятилетия, а также анализ данных метеорологической сводки позволяют сделать вывод о значительной взаимосвязи рассмотренных показателей, о чем свидетельствует коэффициент корреляции.

4. При разработке прогнозной модели удалось установить тенденции к постепенному затуханию темпов отступления ледника, что обусловлено значительной деградацией абляционной части, снежные массы в которой наиболее подвержены к процессам таяния и испарения.

Поставленная перед выполнением работы цель по изучению основных алгоритмов, применяемых в процессе дистанционного исследования, была достигнута. На основании полученных результатов было установлено, что рассмотренные в ходе работы алгоритмы имеют высокую практическую

значимость. Данный метод исследования имеет свои специфические недостатки, однако не смотря на это позволяет рассмотреть состояние ледника в динамике и составить прогнозную модель. Применение алгоритмов не исключает необходимости в полевых наблюдениях, но позволяет получить общую картину о состоянии снежно-ледовых поверхностей в труднодоступных горных участках.

Список использованных источников.

- 1 Токарева, О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учеб. пособие/ О.С. Токарева. - Томск.: ТПУ, 2010. - 148 с.
- 2 Сутырина, Е. Н. Дистанционное зондирование земли: учеб. пособие/ Е. Н. Сутырина. – М.: ИГУ, 2013. – 165 с.
- 3 Электромагнитный спектр [Электронный ресурс]: cordon.in.ua. – URL: https://cordon.in.ua/content/E_spectra.php (дата обращения 11.01.2022). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 4 Смирнов, В.Г. под редакцией. Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей./ В.Г. Смирнов - С.-П.: ААНИИ. 2011. 240 с.
- 5 Обработка цифровых снимков в ДЗЗ [Электронный ресурс]: habr.com. – URL: <https://habr.com/ru/post/210810/>(дата обращения 19.04.2022). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 6 Обработка данных ДЗЗ – Этапы обработки данных [Электронный ресурс]: mapexpert.com.ua. – URL: http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?table=Menu&id=26 (дата обращения 11.04.2022). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 7 Отгонбаяр, Д. Каталогизация ледников и выявление особенностей современного оледенения хребта Мунххайрхан (Монгольский Алтай)/ Д. Отгонбаяр // Мир науки, культуры, образования. - 2011. № 5 (30).
- 8 Лаврентьев, И.И. Изменения структуры и динамики ледника Фритьоф на Шпицбергене за последние 70 лет по данным дистанционных исследований/ И.И. Лаврентьев // Вестн. Моск. Ун-та, сер.5, география, №6.

2008. стр. 45-50.

9 Иванов, Е.Н. Современные методы наземного изучения горных ледников юга Восточной Сибири/ Е.Н. Иванов // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. - 2018. - Т. 25. - с. 54–65. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.25.54>.

10 Михайлов, В.Н. Гидрология: Учебник для вузов/ В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов - М.: Высш. шк., 2007. - с. 463.

11 Короновский, Н.В. Геология: учебник для студ. высш. учеб. Заведений/ Н.В. Короновский, Н.А. Ясаманов. - 7-е изд., перераб. - М.: Издательский центр «Академия», 2011. - 448 с. ISBN 978-5-7695-7793-2.

12 Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения [Электронный ресурс]: psu.ru - URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchuk-perminova-tematicheskoe-deshifirovanie-i-interpretaciya-kosmicheskikh-snimkov.pdf>. (дата обращения 24.04.2021). – заглавие с экрана. - Яз. рус.

13 Бушуева, И.С. История ледника Алибек по данным дистанционного зондирования, биоиндикации, ¹⁴C и ¹⁰Be датирования./ И.С. Бушуева, О.Н. Соломина, В. Жомелли // Лёд и Снег. - 2015. - Т. 55, №3. - с. 97-106. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2015-3-97-106>.

14 Леонтьев, О.К. Общая геоморфология: Учеб. Пособие для географ. Специальностей вузов. / О.К. Леонтьев, Г.И. Рычагов - М.: Высш. школа, 1979. - 287 с.

15 Чернов, Р.А. Температурный режим поверхностного слоя ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген). / Р.А. Чернов, Т.В. Васильева, А.В. Кудиков // Лёд и Снег. - 2015. - Т. 55, № 3. - с. 38-46. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2015-3-38-46>