

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космической технологии»

Галимуллин Галимжан Равильевич

«Разработка и проектирование устройств ДЗЗ для мониторинга деформации  
строительных конструкций»

## **ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В074600 – Космическая техника и технологии

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева

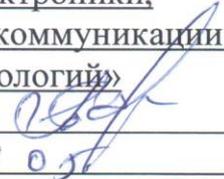
Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космическая технологий»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой

«Электроники,  
телекоммуникации и космической  
технологий»

 Таштай Е.  
«29» 05 2022 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Разработка и проектирование устройств ДЗЗ для мониторинга деформации строительных конструкций»

по специальности 5В074600 – Космическая техника и технологии

Выполнил



Галимуллин Г.Р.

Рецензент

Заведующий лабораторией  
разработки космических систем  
ДТОО «Институт космической  
техники и технологий»



 Елубаев С.

«29» 05 2022 г.

Научный руководитель  
к.т.н, заведующий  
кафедрой «Электроники,  
телекоммуникации и  
космических технологий»

 Таштай Е.

«29» 05 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

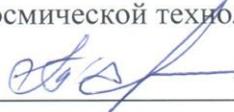
Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космические технологии»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
«Электроники, телекоммуникации  
и космической технологий»

  
Таштай Е.

«21»  2021 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

*Дипломнику Галимуллин Галимжан Равильевич*

**Тема:** «Разработка и проектирование устройств ДЗЗ для мониторинга деформации строительных конструкций».

*Утверждена приказом Ректора Университета №\_489-П/Ө от «24» декабря 2021 года.*

*Срок сдачи законченной работы «30» апреля 2022 г.*

*Исходные данные к дипломной работе: 1.Требования международных стандартов СТ РК ECSS E-ST - 10С-2011 "Космический инжиниринг. Космические разработки, проектирование. Системное проектирование"; 2. Требования СТ РК ИСО 22645-2010 "Космические системы передачи данных и информации. Стандартные форматированные элементы данных. Правила структурирования и построения"*

*Требования к структуре и содержанию*

**Перечень вопросов** подлежащих изучению и представлению в дипломной работе:

- а) Обзор и анализ специфики требований к информации ДЗЗ при решении тематических задач в строительной индустрии
- б) Физические основы дистанционного зондирования Земли
- в) Разновидности оперативных систем дистанционного зондирования Земли
- г) Тенденции применения данных ДЗЗ для мониторинга строительных конструкций
- д) Системы обработки и интерпретации данных ДЗЗ

## ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Обзор и анализ специфики требований к информации ДЗЗ при решении тематических задач в строительной индустрии	1.09.2021-31.12.2021	Выполнено
2. Физические основы ДЗЗ	1.01.2022-30.01.2022	Выполнено
3. Разновидности оперативных систем ДЗЗ	1.02.2022-15.02.2022	Выполнено
4. Тенденции применения данных ДЗЗ для мониторинга строительных конструкций	16.02.2022-31.03.2022	Выполнено
5. Системы обработки и интерпретации данных ДЗЗ	1.04.2022-15.04.2022	Выполнено
6. Написание дипломной работы	15.04.2022-30.04.2022	Выполнено

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты Ф.И.О. (уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Обзор и анализ специфики требований к информации ДЗЗ при решении тематических задач в строительной индустрии	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е	27.05.2022	
Системы обработки и интерпретации данных ДЗЗ	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е	27.05.2022	
Интерферометрическая обработка данных космической радиолокационной съемки	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е	27.05.2022	
Нормоконтролер	м.т.н., лектор кафедры ЭТиКТ Ибекеев С.Е..	27.05.2022	

Научный руководитель

 к.т.н. Таштай Е

Задание принял к исполнению обучающийся

 Галимуллин Г.Р.

«14» 12 \_\_\_\_\_ 2021 г.

## АҢДАТПА

Бұл жұмыста жер бетіндегі өзгерістердің мониторингі және табиғи процестер кезінде және антропогендік әсер кезінде орын алатын құрылыс объектілерінің жай-күйінің өзгеруін анықтау мүмкіндігі сипатталған. Жүргізілген мониторинг нәтижелеріне негізделе отырып, объективті баға шығарылады және құрылыс объектілері жай-күйінің өзгеру серпіні есептеледі. Алынған нәтижелер зиянды азайту үшін құрылыс конструкцияларын пайдалану және пайдалану бойынша одан әрі қызметті жоспарлауға мүмкіндік береді. Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) әдістері құрылыс индустриясындағы міндеттерді шешу кезінде белсенді қолданылады.

## АННОТАЦИЯ

В данной работе описано мониторинг перемен земной поверхности и возможности выявления изменения состояния строительных объектов, происходящие в ходе естественных процессов и при антропогенном воздействии. Основываясь на результатах проведённого мониторинга, выносятся объективная оценка и рассчитывается динамика изменений состояния строительных объектов. Полученные результаты позволяют планировать дальнейшую деятельность по использованию и эксплуатации строительных конструкций для минимизации ущерба. Методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) активно применяются при решении задач в строительной индустрии.

## **ANNOTATION**

This paper describes the monitoring of changes in the Earth's surface and the possibility of detecting changes in the condition of construction objects occurring during natural processes and under anthropogenic influence. Based on the results of the monitoring, an objective assessment is made and the dynamics of changes in the condition of construction facilities is calculated. The results obtained make it possible to plan further activities for the use and operation of building structures to minimize damage. Methods of remote sensing of the Earth (remote sensing) are actively used in solving problems in the construction industry.

## СОДЕРЖАНИЯ

Введение	9
1 Обзор и анализ специфики требований к информации ДЗЗ при решении тематических задач в строительной индустрии	10
1.1 Типовые задачи	11
1.2 Масштабирование	12
2 Системы обработки и интерпретации данных ДЗЗ	13
2.1 Физические основы ДЗЗ	13
2.2 Методы дистанционного зондирования Земли	13
2.3 Тенденции применения данных ДЗЗ для мониторинга строительных конструкций	16
2.4 Обработки данных ДЗЗ	21
3 Интерферометрическая обработка данных космической радиолокационной съемки	25
3.1 Методы фильтрации и развертки фазы	27
Заключение	31
Список использованной литературы	32
Список использованных сокращений	33

## ВВЕДЕНИЕ

Основными целями наблюдений за деформациями являются оценка устойчивости эксплуатируемых инженерных сооружений и принятие своевременных профилактических мер, обеспечивающих их нормальную работу. В геодезической литературе в качестве понятия «анализ деформационных измерений» обычно понимается уравнивание специальных геодезических деформационных сетей. Опорные пункты, расположенные вне зоны возможных деформаций, обеспечивают при решении этих задач сравнение результатов измерений двух или более циклов измерений (эпох) друг с другом и выявление значимых геометрических изменений между ними. Выбор времени отдельных циклов измерений зависит от вида сооружения, величины и скорости изменения деформаций, а также других факторов.

В настоящее время не только специальные приборы (электронные указатели наклонов или смещений), но и классические геодезические приборы (электронные тахеометры, цифровые нивелиры, спутниковые приемники ГНСС и т. д.) могут работать в автоматическом режиме без какого-либо участия наблюдателя. Они обеспечивают непрерывные измерения перемещений (деформаций) строительных конструкций, вызванных воздействием внешних факторов

# **1 ОБЗОР И АНАЛИЗ СПЕЦИФИКИ ТРЕБОВАНИЙ К ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ ПРИ РЕШЕНИИ ТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

Классификация тематических задач (детально сформулированных и обоснованных потребностей тематических потребителей), базируется на классификации технологий получения, верификации и применения информационных продуктов, создаваемых с использованием данных ДЗЗ. Ключевую роль играют анализ и оценка потребительских свойств существующих и перспективных технологий, включая определение степени достоверности получаемого результата и эффективности их применения на практике. При этом технологии решения тематических задач с использованием ДЗЗ можно разделить на три класса: экспериментальные, научно-обоснованные и готовые для практического применения.

Поскольку решение любых тематических задач на основе или с использованием технологий ДЗЗ в интересах всех категорий пользователей является одним из видов услуг, классификатор тематических задач должен разрабатываться с учётом принципиальных требований к классификаторам услуг и обеспечивать решение следующих задач:

формирование комплексного представления о возможностях, ограничениях, достоинствах методов ДЗЗ для решения прикладных и научных задач; помощь пользователю при выборе необходимых данных ДЗЗ.

Можно выделить три основные группы потенциальных пользователей классификатора:

1. Конечные тематические потребители, рассматривающие возможность применения дистанционных методов при решении существующих актуальных тематических задач. Использование классификатора целесообразно с этапа оценки реализуемости поставленной задачи до выбора наиболее эффективной технологии применения данных ДЗЗ. При этом одним из средств решения выступают различные типы информационных продуктов: исходные данные, продукты и сервисы ДЗЗ. Пользователи могут оценить существующие прототипы информационных продуктов и в случае необходимости предложить доработку продукта или изменить условия исходной задачи. Кроме того, пользователи могут представить публичный отчёт о качестве предлагаемых продуктов с указанием основных недостатков и преимуществ.

2. Поставщики исходных данных ДЗЗ, для которых классификатор может служить индикатором уровня практического применения эксплуатируемой и разрабатываемой целевой аппаратуры (ЦА). Количественными показателями могут быть число решаемых задач и примеров соответствующих тематических продуктов. Сопоставление с предлагаемыми технологиями и запросами потребителей представляет ценность с позиции уточнения требований к перспективной ЦА. 3. Разработчики технологий (технологических решений), в том числе алгоритмов и инструментов создания тематических продуктов,

которые смогут ориентироваться в широком круге актуальных задач и предлагать решения по наиболее востребованным проблемам. Также для разработчиков платформа классификатора является удобной для объединения усилий либо демонстрации своих преимуществ перед конкурентами. Как для коммерческих, так и для научных разработчиков классификатор позволит получить независимую оценку предлагаемых продуктов и услуг, что будет способствовать повышению их качества и широкому распространению в случае выработки наиболее эффективной технологии. С другой стороны, продукты, не прошедшие экспертную оценку пользователей классификатора, могут рассматриваться в качестве потенциально недостоверных.

## 1.1 Типовые задачи

Анализ перечня тематических задач показывает, что можно выделить несколько крупных типов задач вне зависимости от элементов среды или отрасли деятельности. Определение таких типов с их параметрами позволяет установить связь с характеристиками требуемых данных ДЗЗ. Таким образом, выделены следующие типы задач:

- фиксирование (картографирование существующего состояния и положения объектов) — данная задача предполагает обозначение границ объектов, их свойств;
- определение (установление факта) — подразумевает детектирование определённого события или параметра на интересующей территории;
- контроль (сопоставление установленного факта с заданными параметрами) — установление наличия факта нарушения или его отсутствия за определённый промежуток времени, а также единовременный анализ обстановки на основе анализа параметров объектов;
- оценка (установление факта на основе экспертного мнения) — оценка ситуации с применением комплексного подхода с целью выявления каких-либо параметров и процессов, часто по косвенным признакам; позволяет осуществить глубокий анализ ситуации, подходит для решения нестандартных задач, в том числе выявления опасных процессов;
- моделирование/прогноз (предсказание событий и вариантов их развития) — оценка ситуации с применением комплексного подхода с целью определения возможного развития ситуации в будущем;
- планирование (проектирование, составление программы действий) — определение специфических характеристик объектов с целью их учёта в хозяйственной деятельности.

## 1.2 Масштабирование

При определении тематических задач важную роль играет масштаб рассмотрения, который имеет пространственное и временное измерения. Для упрощения работы с пространственным масштабом предлагается выделить четыре основных класса:

- глобальный — представлен географическими оболочками Земли, такими как материки, морские льды, атмосфера, гидросфера и т.д. (мельче 1:10 000 000);

- региональный — крупные сложные по структуре территории, например Сибирь, Памир, Африканские саванны, а также государства и т.д. (1:1 000 000–1:10 000 000);

- локальный — небольшие территории, обладающие единой структурой; сюда же попадают небольшие административные единицы территориального деления, административный район, муниципалитет (1:100 000–1:1 000 000);

- объектовый — масштаб отдельных объектов изучения, отдельного сельскохозяйственного угодья, нефтяной скважины, стадиона и т.д. (1:5000–1:100 000).

Временной масштаб определяет периодичность дистанционных наблюдений для решения задач, связанных с мониторингом заданного объекта или явления. Можно предложить семь основных интервалов периодичности мониторинга: 1–10 сут, 10–30 сут, 3–6 мес, 1 год, 2–3 года, 5 лет и более 5 лет. При определении временного масштаба мониторинга и при решении одномоментных задач для большинства территорий должна также учитываться сезонность (смена времён года, периоды муссонов и др.), что позволит при необходимости более точно установить требования к используемым материалам ДЗЗ и определить временной период решения задачи.

## 2 СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ДЗЗ

### 2.1 Физические основы дистанционного зондирования Земли

Дистанционное зондирование можно определить, как метод измерения свойств объектов на поверхности Земли, который использует данные, полученные с помощью воздушных летательных аппаратов и искусственных спутников Земли. Из этого определения видно, что суть метода состоит в том, чтобы попытаться измерить его характеристики на расстоянии вместо того, чтобы проводить измерения в местоположении объекта. Поскольку прямой контакт с объектом в этом случае невозможен, мы можем полагаться только на информацию, содержащуюся в записанном сигнале, например, в оптическом, акустическом или микроволновом

При дистанционном зондировании Земли из космоса применяются оптический диапазон электромагнитных волн также микроволновый участок радиодиапазона. Оптический диапазон (рисунок 2.1) содержит в себе ультрафиолетовый (УФ) участок спектра, видимый участок - синяя полоса (В), зеленая (G), красная (R); инфракрасный участок (ИК) – ближний ИК (БИК), средний ИК (СИК) и тепловой ИК (ТИК).

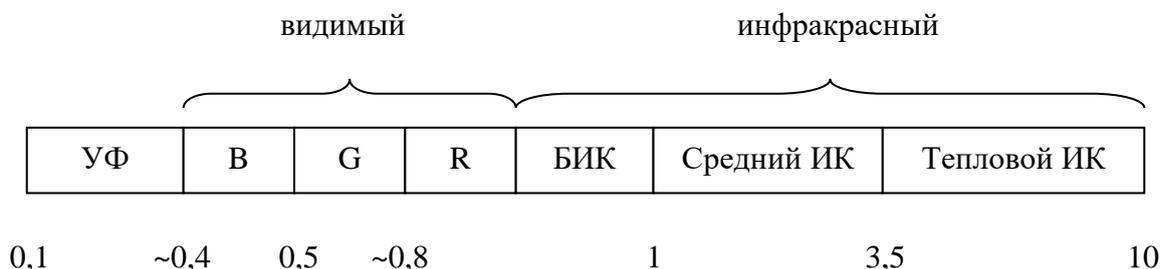


Рисунок 2.1 - Оптический диапазон электромагнитных

### 2.2 Методы дистанционного зондирования Земли

В пассивных методах зондирования в оптическом диапазоне источниками электромагнитной энергии считаются подогретые вплоть до довольно значительной температуры твердые, жидкие и газообразные тела.

При термодинамическом равновесии с окружающей средой используется первый закон Кирхгофа по этой причине все без исключения тела со равной температурой  $T$  излучают одинаково. При этом энергия, поглощаемая участком поверхности в секунду, одинакова энергии, которой излучается в этот же период времени той же поверхностью (закон Кирхгофа).

Интенсивность излучения  $I$  в установленном направлении, описываемом углом  $\alpha$  от нормали к излучающей поверхности абсолютно черного тела, определяется законом Ламберта:  $I = I_0 \cos\alpha$ , где  $I_0$  – интенсивность излучения при  $\alpha = 0$ , которая максимальна; при  $\alpha = 90^\circ$ , то есть по касательной к поверхности, интенсивность излучения равна нулю.

Согласно формуле Планка плотность потока мощности, излучаемой в состоянии термодинамического равновесия единицей поверхности абсолютно черного тела с температурой  $T$  в интервале длин волн  $\lambda$ ,  $\lambda + d\lambda$  в телесный угол  $2\pi$  стерадиан

$$B(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\left[ \exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \quad (2.1)$$

Здесь  $c_1 = 1, 911 \cdot 10^8$  Вт·мкм<sup>4</sup>/м<sup>2</sup>ср;  $c_2 = 14388$  мкм·К; Максимум излучения приходится на  $\lambda = 2898/T$  мкм.

Полная энергия во всем промежутке длин волн описывается формулой Стефана-Больцмана:  $\int_0^\infty B(\lambda, T) d\lambda = a \cdot T^4$ ,

$$\int B(\lambda, T) d\lambda = a \cdot T^4, \quad (2.2)$$

где  $a = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт·м<sup>-2</sup>·К<sup>-4</sup>.

При наблюдении Земли из космоса на длине волны короче 2–3 мкм фиксируется энергия Солнца, отраженная и рассеянная поверхностью суши, воды и облаков.

Температура фотосферы Солнца равна 5785 К, максимум излучения приходится на 0,5 мкм. На рисунке 2.2 приведено распределение энергии в спектре Солнца согласно формуле Планка. Озон, содержащийся в атмосфере в малом количестве, сильно поглощает ультрафиолетовое излучение с длиной волны короче 0,3 мкм, таким образом при наблюдении Солнца с поверхности Земли не имеется коротковолновый уклон кривой  $B(\lambda, T)$  (заштрихован на рисунке 1.2).

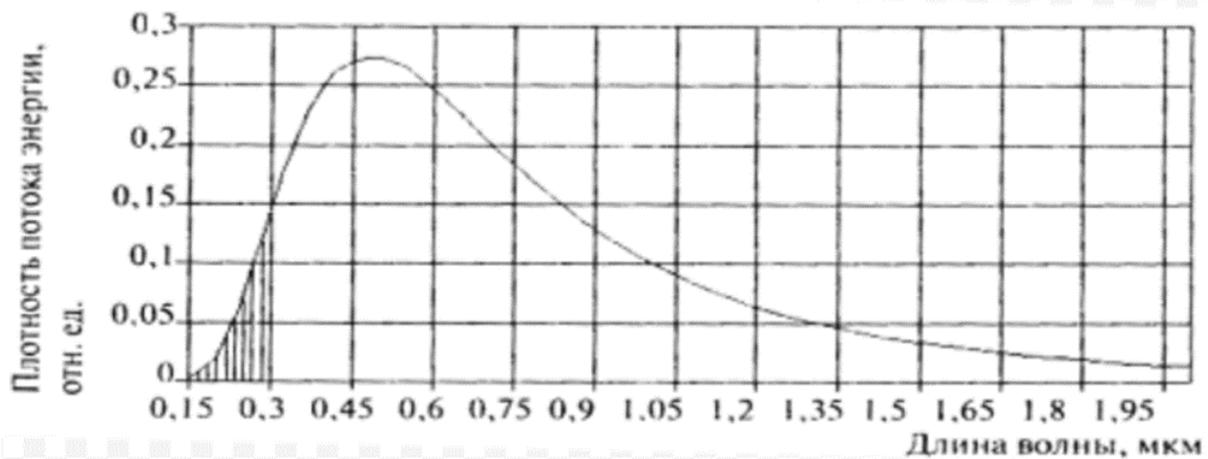


Рисунок 2.2 - Распределение энергии в спектре Солнца в соответствии закону Планка

На длинах волн более 4 мкм собственное тепловое излучение Земли превышает тепловое излучение Солнца. Регистрируя интенсивность теплового излучения Земли из космоса, можно точно оценить температуру поверхности суши и воды, которая является наиболее важной характеристикой окружающей среды. Измеряя температуру верхней границы облачного покрова, можно определить его высоту, учитывая, что в тропосфере с высотой температура уменьшается в среднем на 6,5 °/км.

При регистрации теплового излучения со спутников используется диапазон длин волн 10—14 мкм, в котором поглощение в атмосфере не слишком велико. При температуре земной поверхности (облаков), равной —50 °С, максимум излучения согласно (рисунок 2.2) приходится на 12 мкм, при +50 °С — на 9 мкм.

Если с помощью датчика, установленного на спутнике, измерен поток энергии мощности  $V = V(\lambda, T)$  от некоторого объекта, то из (рисунок 2.2) получаем  $T = (\lambda/c_2) \ln(c_1/\lambda^5 V + 1)$ . Определенная по интенсивности

В теплового излучения (радиации) температура  $T$  называется радиационной, в отличие от термодинамической температуры, характеризующей интенсивность теплового движения молекул вещества и измеряемой контактным термометром. Для абсолютно черного тела обе температуры совпадают, для реальных тел — нет, так как для них величина  $V$  составляет некоторую долю  $\epsilon$  от плотности потока мощности, излучаемой абсолютно черным телом при той же температуре;  $\epsilon$  носит название коэффициента теплового излучения. В тепловом ИК-диапазоне коэффициент теплового излучения ближе всего к 1, для воды 0,98-0,99. Для облаков также  $\epsilon \sim 1$ . Сложнее дело обстоит с поверхностью суши. Здесь проявляется характер поверхности (гладкая или нет), ее увлажненность и т.д. Для свежего снега  $\epsilon = 0,986$ , для густой травы 0,970, глинистой почвы 0,980, хвойного леса 0,97. Для достаточно точного (с погрешностью не более 0,2-0,5К) определения

температуры поверхности из космоса необходимо учитывать и коэффициент теплового излучения, и поглощение в атмосфере [1].

Главная частота испускаемого излучения увеличивается с повышением температуры. К примеру, нагретый объект до красного цвета, излучает больше в длинноволновой части видимой части спектра, по этой причине он кажется красным. Если объект нагревается еще больше, основная частота излучения сдвигается к середине видимой части спектра, излучаемая частота дает восприятие нагретого объекта как белого. Зависимость длины волны, соответствующей максимальному излучению, т.е. основная частота испускаемого излучения, зависящая от абсолютной температуры, описывается законом смещения Вина.

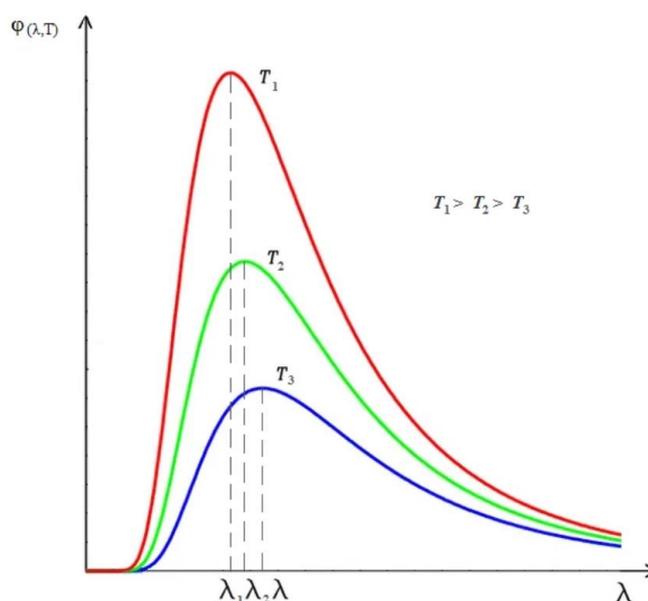


Рисунок 2.3 - Закон смещения Вина [2]

### 2.3 Тенденции применения данных ДЗЗ для мониторинга строительных конструкции

Оперативность получения актуальной пространственной информации о поверхности Земли является важным требованием к современным данным дистанционного зондирования, наряду с высоким пространственным разрешением, а также геометрической точностью. Именно эффективность является одним из главных преимуществ радиолокационных систем дистанционного зондирования или систем (SAR). Следует также отметить, что из-за микроволнового радиочастотного диапазона, используемого в радаре, данные служат источником уникальной информации о поверхности Земли. Они позволяют определять вертикальные перемещения с высокой точностью (до нескольких миллиметров), что является альтернативой дорогостоящим и

трудоемким наземным измерениям. Современные тенденции в области радиолокации включают следующие основные направления:

- использование радиолокационных данных в различных отраслях промышленности в качестве пространственной основы для решения широкого круга задач, в том числе в сочетании с данными оптического диапазона;

- получение данных в режиме реального времени с задержкой буквально в несколько часов;

- создание высокоточные цифровые модели местности;

- определение оседания и перемещений земной поверхности с высокой точностью;

- применение поляриметрических данных;

- использование новых диапазонов и подходов при обработке данных.

Идет активное развитие всемирной группировки коммерческих радиолокационных систем. В 2005 году на орбите находилось всего три космических аппарата с системами среднего разрешения, работающими в радиодиапазоне. В настоящее время доступны данные с восьми радиолокационных систем, а пространственное разрешение полученных с их помощью изображений достигает 1 м. Перспективные радиолокационные системы Учитывая современные тенденции в области радиолокационного дистанционного зондирования земной поверхности, нельзя не отметить активное развитие спутникового сегмента, и не только обработки данных технологии. Спектр задач, решаемых с помощью радиолокационных данных, постоянно расширяется, что требует использования данных с новыми параметрами. В таблице 2.1 представлена обобщенная информация о перспективных радиолокационных системах. Рассмотрим некоторые из них более подробно, поскольку они уникальны и в будущем позволят нам получать данные для решения принципиально нового класса задач. TanDEM-X является дополнением к системе TerraSAR-X и предназначен для измерения высот на поверхности Земли. В настоящее время это одно из самых ожидаемых космических радиолокационных устройств, поскольку в результате совместного использования TerraSAR-X и TanDEM-X будет получена глобальная высокоточная цифровая модель местности (ЦММ), не имеющая аналогов, а также можно будет получать данные для построения ЦММ для конкретных регионов, независимо от погодных условий. Комплекс TerraSAR-X является первым бистатическим космическим интерферометром, в котором поверхность земли облучается радаром с одного спутника и регистрируется датчиками с двух спутников. Он создан для достижения ряда целей. Основная цель - создать глобальную цифровую модель рельефа (90% поверхности Земли) стандарта HRTI-3 и региональные высокоточные ЦММ стандарта HRTI-4.

Среди дополнительных целей можно отметить следующие:

- поляриметрическая интерферометрия;

- достижение сверхразрешения;

- тестирование различных бистатических режимов;

- интерферометрия с использованием многомерной базовой линии (Multi Baseline InSAR);

- интерферометрия вдоль орбиты (Along-Track Interferometry), получение данных с использованием четырех фазовых центров (путем разделения антенны на две на каждом спутнике) [4, 6].

Таблица 2.1 - Перспективные радиолокационные системы

Наименование системы	Страна	Диапазон	Периодичность, дней	Характеристика		
				ПР,м	ПС,км	ПЛ
COSMO-SkyMed-3	Италия	X	16	1	10	Да
RISAT-1	Индия	C	12	2	10	Да
TanDEM-X	Германия	X	11	1	10x5	Да
Кондор-Э	Россия	S	--	1-2	10-20	Нет
HJ-1C	Китай	S	31	1	--	Нет
SAOCOM-1A/1B	Аргентина	L	16	7	50	Да
Komsat-5	Южная Корея	X	--	1	5	Нет
Sentinel-1	Европа	C	12	5	80	Да
BIOMASS	Европа	P	30	50	--	Да

ПР — максимальное пространственное разрешение, которое дает система; ПС — полоса съемки соответствующего режима; ПЛ — возможность поляриметрической съемки.

Перспективные направления в обработке и применении радиолокационных данных в настоящее время происходит активное развитие различных направлений и методик обработки радиолокационных данных (SAR-данных), причем большое число из них еще находится на экспериментальном, и даже на теоретическом уровнях. Рассмотрим наиболее перспективные из них с точки зрения практического использования.

SAR-данные - как пространственная основа. Упор делается на минимизацию времени, проходящем между размещением заказа и поставкой данных заказчику. Причем речь идет как об изображениях (исправленных геометрически и радиометрический), так и о готовой конечной картографической продукции, такой как:

- топографические;
- ситуационные и тематические карты;
- карты изменения местности (в большей степени двухмерные).

Изучение вертикальных просадок и подвижек является отдельным направлением. При этом обработка радиолокационных данных максимально автоматизируется (в первую очередь, в области выявления изменений на местности — change detection), что позволяет существенно сократить сроки предоставления готовой продукции. Таким образом, заказчик может получить

обработанные актуальные данные и созданную по ним картографическую продукцию в сжатые сроки — в течение нескольких дней.

Измерение высот объектов местности, построение высокоточных ЦММ. Для решения приведенных задач используется радиолокационная интерферометрия. Классическая методика интерферометрической обработки подразумевает использование данных, полученных при некоторых значениях базовых линий и, как правило, через определенный промежуток времени. Для достижения высокой точности, а также обеспечения полноты результирующей интерферограммы наиболее эффективно применение однопроходной интерферометрической съемки, которую практически невозможно реализовать для космических систем. В связи с этим разработчиками комплекса TerraSAR-X — TanDEM-X была предложена уникальная система из двух спутников, работающих в бистатическом режиме, которые будут вести однопроходную интерферометрическую съемку.

Для самолетных систем развивается другое направление интерферометрия при различных значениях базовых линий (*multi baseline interferometry*). Обработываются матрицы данных с различными базовыми линиями, что позволяет работать на высокодетальном уровне. Другая методика, подразумевающая использование серий интерферометрических изображений (минимум при двух базовых линиях), будет реализована в проекте TerraSAR-X. Также следует отметить, что для интерферометрической обработки данных сверхвысокого разрешения используются несколько отличные алгоритмы, чем при работе с данными среднего разрешения. В новой версии программного модуля SARscape.

Наряду с описанными методиками существует методика определения высот объектов на радиолокационных изображениях, которая называется SAR-tomography (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 - Пример методики SAR-tomography, представленная в среде Google Earth (цвет точек соответствует высотам объектов на местности).

Ее сущность заключается в определении высот объектов по серии изображений и по одним и тем же объектам — отражателям. Используя данный метод, можно получить точные высоты объектов (как правило, объекты городской или промышленной застройки), но не цифровую модель местности.

Мониторинг деформаций различных объектов, выявление просадок. Методика определения просадок земной поверхности и сооружений на ней, основанная на совместном выявлении постоянных объектов (отражателей) на большой серии снимков (Интерферометрия с постоянным рассеивателем), стала активно применяться относительно недавно. Для обработки использовались только снимки среднего пространственного разрешения. С появлением данных нового поколения с разрешением 1–3 м данная методика получила дальнейшее развитие, так как высокое разрешение обеспечивает на порядок большее количество объектов, по которым выполняется определение величин деформаций, чем для данных среднего разрешения. Описанная методика развивается и в другом направлении.

В целом принцип обработки остается неизменным, но объекты обработки выбираются на основе значений их когерентности (Интерферометрия когерентных рассеивателей). Классическая дифференциальная интерферометрия также остается актуальной для данных сверхвысокого разрешения. Изменения коснулись масштабов обработки: появилась возможность исследовать деформации отдельных крупных сооружений. На рисунке 2.5 приведен пример мониторинга деформаций здания конгресс-центра (Лас-Вегас, США) по данным TerraSAR-X, выполненным в режиме съемки SpotLight. На интерферограмме (рисунок 2.5), полученной за 44 дня, видны

вертикальные смещения — одна цветовая полоса соответствует величине смещения в 1,55 см.

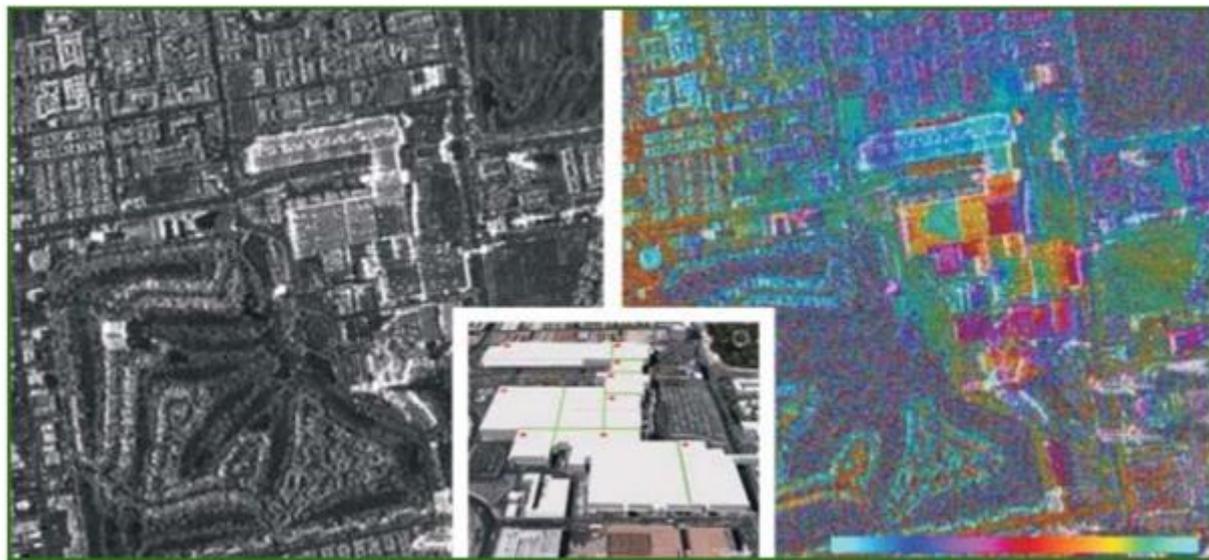


Рисунок 2.5 - Пример мониторинга деформаций здания конгресс-центра: амплитудное изображение (слева); модель исследуемого здания (в центре); интерферограмма (справа) [5].

## 2.4 Обработки данных ДЗЗ

Обработка данных ДЗЗ - процесс выполнения операций над аэрокосмическими снимками, включающий их коррекцию, преобразование и улучшение, дешифрирование, визуализацию.

Основные этапы обработки данных космических снимков:

- Предварительная обработка;
- Тематическая обработка.

Предварительная обработка - это коррекция и улучшение спутниковых изображений.

Следует помнить, что некоторые методы улучшения изображений (фильтрация, изменение контраста) подразумевают изменение спектральных характеристик снимка, поэтому после их применения нельзя применять методы тематической обработки, которые основаны на анализе значений спектральной яркости пикселей (классификации, арифметические преобразования каналов).

Виды предварительной обработки:

- Геометрическая коррекция спутниковых изображений;
- Радиометрическая калибровка снимков;
- Радиометрическая коррекция влияния атмосферы;
- Восстановление пропущенных пикселей;
- Контрастирование;

- Фильтрация.

Существует несколько причин геометрических искажений, однако эти причины действуют совместно. Кроме того, следует отметить, что для разных типов космических снимков комбинация этих причин различна.

Кривизна поверхности Земли. Геометрические искажения снимков, вызванные кривизной поверхности Земли, получаются в результате того, что точки сканируемой местности не лежат в одной плоскости и наблюдение ведется не в надире, а под углом к поверхности земли. Поэтому при удалении от центральной линии сканирования (где съемка ведется в надире) искажение формы и размера объектов увеличивается.

Искажение формы объектов. Прямая линия на местности будет кривой на снимке, квадрат прямоугольником и т.д. Этим типом искажения можно пренебречь, если угол обзора сканера невелик (MSS - Landsat, угол обзора примерно  $5,8^\circ$ ).

Искажение масштаба. Для снимков, сделанных оптико-механическим сканером (MODIS, AVHRR, ETM и MSS - Landsat, Aster (TIR))- масштаб при удалении от центральной линии снимка становится мельче. То есть, если взять два пиксела снимка: один из центральной области снимка, а второй из боковой, то пиксел из боковой области будет содержать большую площадь Земли, хотя размер их одинаков. Для ПЗС снимков (спутники SPOT, IRS, Ikonos, датчик Aster (VNIR, SVIR)) масштаб при удалении от центральной линии снимка не изменяется.

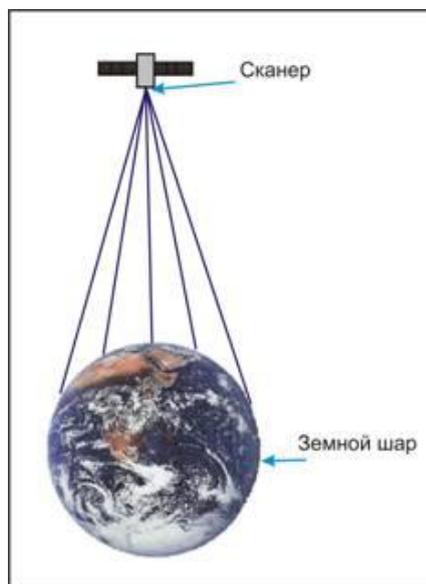


Рисунок 2.6 - Кривизна поверхности земли.

Неровности рельефа вызывают те же искажения, что и кривизна поверхности, земли, но задача устранения их сложнее, по причине того, что формы рельефа сложнее, чем форма Земли, которая близка к сфере.

Поскольку космические снимки делают с большой высоты, то влияние форм рельефа незначительно, поэтому данный тип искажений учитывают лишь для горных областей.

Вращение Земли. Поскольку сканирование Земли из космоса происходит не мгновенно, как фотосъемка, то вращение Земли (за 1 мин Земля поворачивается на 0.25) вызывает изменение условий съемки в процессе сканирования одной сцены.

Движение космического аппарата в процессе формирования изображения. На качество и свойства снимков влияет форма и высота орбиты спутника. Например, круговая орбита обеспечивает одинаковую высоту съемки земной поверхности, а следовательно, для одной и той же аппаратуры - одинаковый охват и разрешение снимков.

Снимки, первоначально получаемые со спутников, записаны в виде так называемых «сырых значений» яркости DN (Digital Number). Данные в таком формате нельзя адекватно сопоставить с данными других съемок. Задача радиометрической калибровки заключается в приведении этих значений в физические единицы.

Облака и туманы хорошо видно на фоне воды, так как в красном и ИК участках спектра поверхность воды по своим оптическим характеристикам близка к абсолютно черному телу. Поэтому содержание в атмосфере водяного пара и аэрозолей (дыма) можно оценить по снимкам, включающим участки морей и океанов.

Существуют математические методы построения моделей состояния атмосферы с учетом типов рассеяния в атмосфере, времени года, метеорологических данных. Для уточнения таких моделей используют наземное измерение отражательной способности объектов во время полета спутника.

Контраст изображения - это разность между максимальным и минимальным значениями яркости. Слабый контраст - наиболее распространенный дефект изображений.

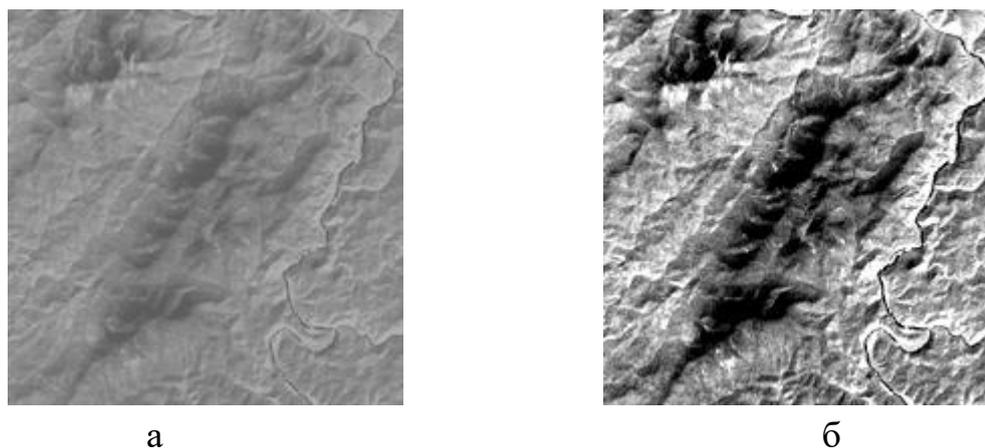


Рисунок 2.7 - (а) Неконтрастное изображение. (б) Контрастное изображение.

Фильтрация - это преобразование, которое позволяет усилить воспроизведение тех или иных объектов, подавить нежелательное вуалирование, устранить другие случайные помехи (шум). Один из самых

простых способов фильтрации - преобразование в скользящем окне. При таком преобразовании пересчитываются значения яркости всех пикселей изображения. Пересчет происходит для каждого пиксела таким образом: когда данный пиксел является центральным в окне, которое "движется" по снимку, ему дается новое значение, которое является функцией от значений, окружающих его в окне пикселей.

Размер окна может быть, например 3x3 или 5x5 пикселей. Каждый раз окно смещается на 1 пиксел и движется до тех пор, пока не пройдет весь снимок.

Для всех пикселей окна исследователь устанавливает весовые коэффициенты исходя из целей дешифрирования.

Тематическая обработка космических снимков – это процесс дешифрирования или распознавания объектов и явлений на космических снимках.

Способы тематической обработки:

- Цветовые преобразования;
- Индексные изображения;
- Анализ главных компонент;
- Метод спектральное разделение;
- Классификации.

Цветное изображение на мониторе компьютера получается путем сложения трех основных цветов. За основные приняты цвета, соответствующие монохроматическим излучением с длиной волны 0.7 мкм (красный - R); 0.5461 мкм (зеленый - G); 0.4358 (синий - B). Такое представление цвета называют цветовой моделью RGB.

В файле цветного изображения, для каждого пиксела записано три числа, которые означают интенсивности трех основных цветов, диапазон значений от 0 до 255. (рисунок 5.3)

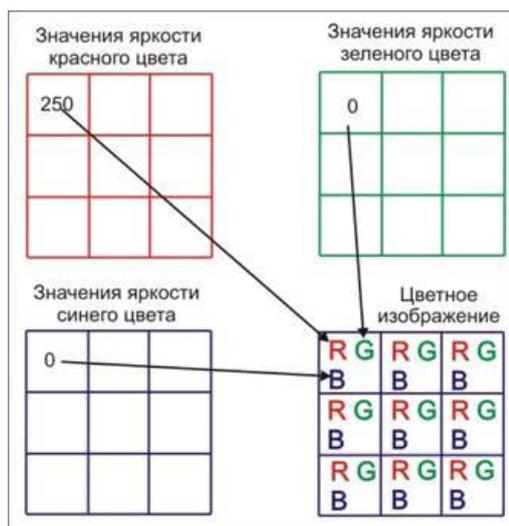


Рисунок 3.3 - Интенсивности трех основных цветов.

### 3 ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ

Технологическая схема построения ЦММ при интерферометрической обработке данных космических SAR включает следующие этапы:

- синтезирование пары комплексных радиолокационных изображений (РЛИ); взаимопривязка (корреляционным методом) изображений одной и той же области поверхности (т.н. «амплитудная корегистрация»);
- формирование интерферограммы путем поэлементного комплексного перемножения двух РЛИ; компенсация фазового набега от опорной поверхности («выравнивание»);
- фильтрация фазового шума; устранение фазовой неоднозначности («развертывание фазы»);
- построение цифровой модели местности – пересчет разности фаз в высоты рельефа и геокодирование (переход от полетной системы координат к какой-либо картографической проекции).

Форма интерференционных полос зависит от рельефа местности. При выравнивании интерферограммы из каждого отсчёта (пиксела) изображения вычитается расчётное значение набега фазы от опорной поверхности, в результате чего количество интерференционных полос заметно уменьшается. На этапе фильтрации также производится построение коэффициента когерентности обрабатываемого изображения, который представляет собой отношение между когерентной и некогерентной суммами отсчётов первого и второго изображений. Участки, где коэффициент когерентности меньше заданного порога (обычно 0.25), в дальнейшем исключаются из построения ЦМР. Развёртывание фазы устраняет скачки на  $2\pi$

Исходными данными для интерферометрической обработки являются два комплексных радиолокационных изображения. Результирующая разность фаз в каждом элементе интерферограммы определяется рельефом облучаемой поверхности («топографическая» составляющая фазы), смещением поверхности в период между съёмками, а также случайными изменениями при отражении от поверхности и прохождении волны через атмосферу

Топографическая фаза определяется разностным расстоянием от фазовых центров антенн  $P_1$  и  $P_2$  до элемента поверхности  $\Delta r = r_1 - r_2$  (Рисунок 3.1). Значение разности фаз  $\psi$  для точки поверхности, находящейся на расстоянии  $r_1$  от антенны, позволяет определить отклонение высоты рельефа от средней поверхности [7].

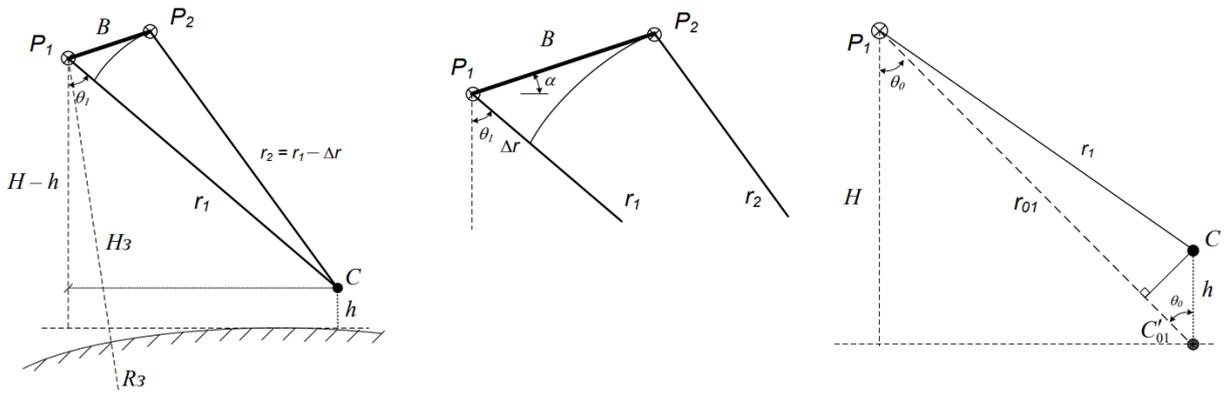


Рисунок 3.1 - Геометрия интерферометрической съемки в вертикальной плоскости.

Развертывание интерферограммы необходимо для устранения неоднозначности фазовых измерений. Исходная интерферограмма содержит данные об «относительной фазе», т.е. фазе, заключенной в интервал  $0, 2\pi$  или  $-\pi, \pi$  и по своему виду она составлена из полос («фрингов»), каждая из которых соответствует набегу топографической фазы на величину  $2\pi$ , (изменению разностного расстояния на величину  $4\pi\Delta r/\lambda$ ) а границы между интерференционными полосами представляют собой линии скачкообразного поворота фазы на величину  $2\pi$ . Разностно-фазовая картина может быть представлена в виде:

$$\Psi(x,y) = \varphi(x,y) + 2\pi k(x,y), \quad (3.1)$$

где  $\varphi(x,y) \in [0, 2\pi]$ :  $k(x,y) \in Z$  – множество целых чисел

Значения функции  $\psi(x,y)$  называются абсолютными фазовыми значениями, значения функции  $\varphi(x,y)$  - относительными фазовыми значениями. Процедура нахождения функции  $\psi(x,y)$  по известной интерферограмме  $\varphi(x,y)$  и носит название развертывания фазы. Именно абсолютные фазовые значения используются для нахождения высоты рельефа. Процедура сводится к добавлению нужного числа фазовых циклов к каждому фазовому измерению. Решение задачи осложняется наличием на интерферограмме фазовых шумов и, так называемых, «разрывов» фазы, что делает решение задачи сложным теоретически и ёмким вычислительно.

Для осуществления операции развертывания фазы разработано несколько десятков алгоритмов, основанных на аппарате из различных областей современной математики: от теории векторных полей (метод Гольдштейна, метод функций Грина) и теории оптимизации (метод целочисленной оптимизации, метод оптимизации сетевых потоков) до теории фильтрации (метод фильтрации Калмана, нелинейная стохастическая фильтрация и др.) и генетических алгоритмов, нейронных сетей.

### 3.1 Методы фильтрации и развертки фазы

Для исследований были взяты фрагменты радиолокационных космических снимков в комплексном формате, полученные радиолокатором космического аппарата TerraSAR-X (3000 x 5000 элементов, разрешение – 3 м, длина волны 3.1 см) Интерферометрическая обработка проводилась в специализированном программном комплексе SARscape. В ходе работы была произведена оценка качества работы нескольких алгоритмов фильтрации интерферограмм и развертывания фазы.

Были использованы следующие алгоритмы фильтрации фазового шума – алгоритмы простого усреднения с адаптивным подбором размера окна (Boxcar), адаптивный пространственный фильтр (Adaptive window) и алгоритм Голдштейна фильтрации в частотной области (Goldstein filter); и следующие алгоритмы развёртывания фазы: алгоритм минимальной стоимости потока (Minimum Cost Flow) и алгоритм «растущих пикселей» (Region Growing) [6]. Преобразование фазы в цифровую модель проводилось с использованием опорных точек, далее путем сравнения с эталоном вычислялись среднеквадратическое и среднее абсолютное отклонения. Результаты развертывания фазы различными алгоритмами продемонстрирована на рисунке 3.2

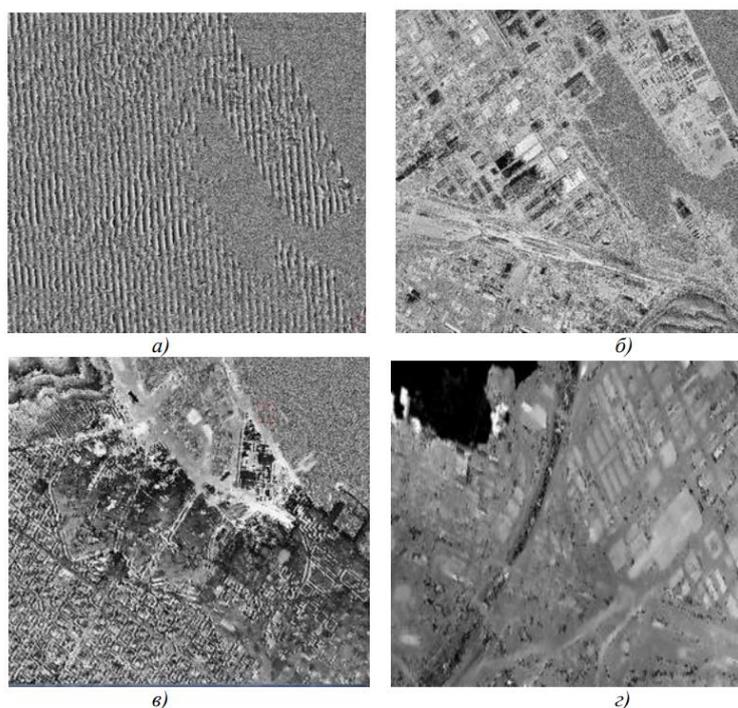


Рисунок 3.2 - Результаты этапов интерферометрической обработки данных: а) интерферограмма, б) интерферограмма после устранения линейного фазового набега в) интерферограмма после фильтрации фазового шума, г) интерферограммы после развёртывания фазы [8].

Для точности измерений проводится также и оценка по данным GPS, с использованием геодезических GPS-приёмников Leica. На примере рисунка 3.3

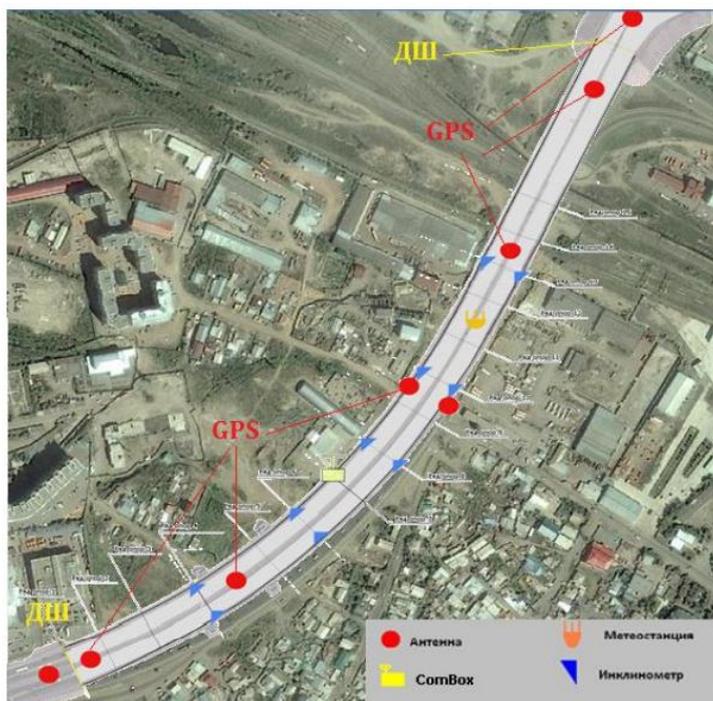


Рисунок 3.3 - Размещения датчиков GPS. Мост эстакада по шоссе Алаш в г.Нур-Султан.

Изученный временной стек InSAR состоит из 98 снимков spotlight с очень высоким разрешением, полученных спутниками TerraSAR-X и его клоном TanDEM-X над Парижем с 2008 по 2012 год.

Здания, в этой работе известны как элементы фасада Сены. Front de Seine - район в Париже, Франция, расположенный вдоль реки Сены в округе к югу от Эйфелевой башни. Это один из немногих районов Парижа, где есть высотные здания, поскольку они в основном были построены за пределами города.

Географическое положение исследуемой территории представлено на рисунке 3.4 Этот рисунок также связывает геометрию азимута/дальности изображения SAR, в которой представлены все наши выдержки из изображений SAR с географическими координатами области.

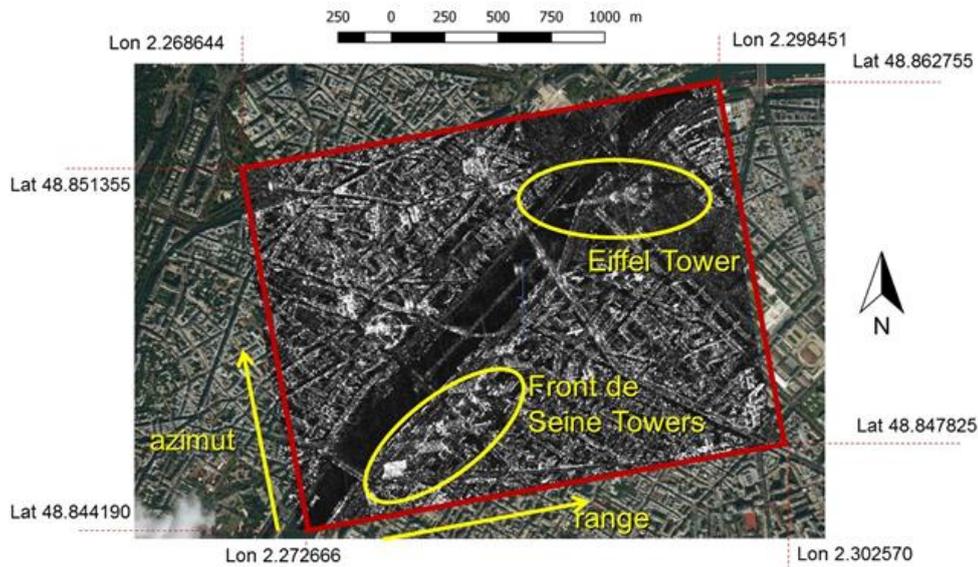


Рисунок 3.4 - Географическое положение исследуемой области.

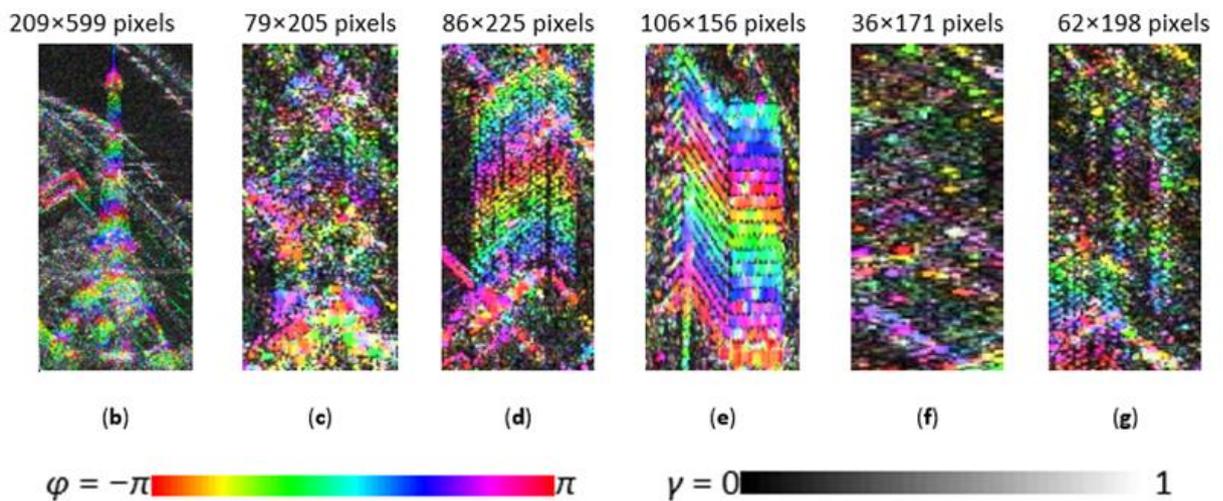


Рисунок 3.5 - Оптическое изображение и интерферометрические полосы для башен Эйфель, Кристалл, Келлер и Мирабо. (а) Набережная Сены с Сильвен Лобри (b) Эйфелева башня; (c) Башня Кристалл; (d) Башня Келлер; (e) Башня Мирабо; (f) Башня Эспейс 2000; (g) Башня Перспектива II. Фаза  $\varphi$  кодируется оттенком, в то время как степень когерентности  $\gamma$  кодируется насыщенностью. Значение представляет собой интенсивность эталонного изображения.

Расчетные деформации представлены на рисунке 3.6. Деформации Эйфелевой башни демонстрируют очень высокую изменчивость

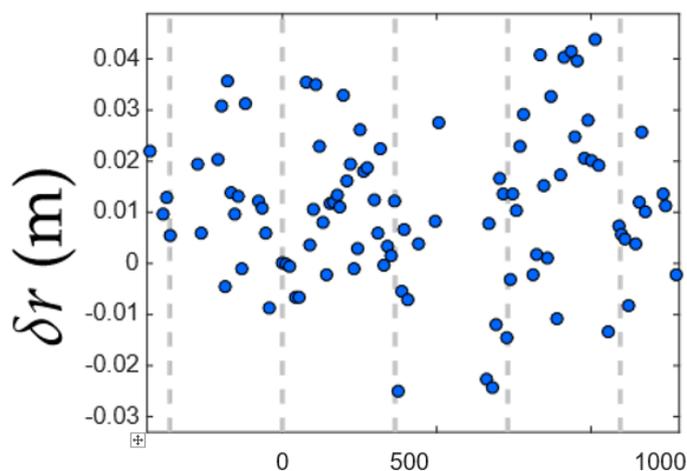


Рисунок 3.6 - Измеренная деформация с учетом количества дней, разделяющих приобретения

Годовая периодичность деформация, указывает на тепловое расширение, вызванное температурой, как на основную причину деформации. Более важная дисперсия, подчеркивает многочисленные источники деформации, например, под действием солнечного света здания изгибаются в направлении, противоположном солнцу. Солнечный свет может ежедневно изменять амплитуду и направление деформации. Более того, даже небольшой ливень возвращает здания в исходное положение, изменяя их деформационное состояние [10].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной дипломной работы был выполнен мониторинг земной поверхности и возможности выявления изменения состояния строительных объектов. Были выполнен анализ набора данных TerraSAR-X по городским районам. Основными преимуществами датчика TerraSAR для городской местности являются его высокое разрешение и гибкость, позволяющие получать изображения в различных режимах.

Благодаря такой чувствительности к деформации зданий благодаря длине волны и разрешению TSX также продемонстрировано, что становится возможным использовать режим интерферомитрирования для мониторинга деформаций зданий. Это было сделано без каких-либо предположений о процессах деформации. Это было особенно полезно для оценки нелинейных деформаций, таких как для Эйфелевой башни, деформационное поведение которой очень сложно моделировать. Для Эйфелевой башни было измерено деформацию до 4 см за временной ряд. Объединение измерения деформации с поляриметрическим анализом могло бы в первую очередь помочь повысить надежность оценки деформации, указав ориентацию рассеивателей, видимую датчиком, и, следовательно, направление измеренной деформации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений [текст]: учебник / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. - М.: Логос, 2001.
2. Использование космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне для географических исследований  
[http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat\\_img/files/1/fizicheskie\\_osnovy.htm](http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/1/fizicheskie_osnovy.htm)
3. Шовенгердт П.А. 1 Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений Москва: Техносфера, 2013. - 592 с.
4. Д.Б. Никольский Современные тенденции в радиолокационном дистанционном зондировании Земли
5. ГЕОПРОФИ: НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ журнал по геодезии, картографии и навигации. 4'2008
6. Бонано, М.; Манунта, М.; Пепе, А.; Палья, Л.; Ланари, Р. От предыдущих систем SAR C-диапазона к новым системам SAR X-диапазона:
7. Тисон, С.; Тупин, Ф.; Мэтр, Х. Извлечение моделей городских высот из интерферометрических данных высокого разрешения
8. Тиле А.; Теннессен У.; Кадарио Э.; Шульц К.; Соергель У. Распознавание зданий по многоаспектным интерферометрическим данным SAR с высоким разрешением в городских районах. IEEE Trans. Геосци. Дистанционный датчик, 2007, 45, 3583-3593.
9. Колин-Кенигер Э, Трув Н. Оценка высоты здания с использованием изображений PolInSAR с высоким разрешением. IEEE Trans. Геосци. Дистанционный датчик, 2014.
10. Флора Вайсгербер, Элиз Колин-Кенигер, Жан-Мари Николя, Николя Найдена. 3D-мониторинг зданий с использованием возможностей TerraSAR-X InSAR, DInSAR и Pulsar.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ДЗЗ	Дистанционное зондирование Земли
ГНСС	Дистанционное зондирование Земли
ЦА	Глобальная навигационная спутниковая система
SAR	Радиолокаторы с синтезированной апертурой
ЦММ	Цифровая модель местности
ПЗС	Прибор с зарядовой связью
DN	Цифровой номер
РЛИ	Радиолокационная информация
ЦМР	Цифровая модель рельефа
GPS	Спутниковая система навигации

**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломную работу  
(наименование вида работы)

Галимуллин Галимжан Равильевич

(Ф.И.О. обуча

5B074600 – Космическая техника и технологии  
(шифр и наименование специальности)

**Тема: «Разработка и проектирование устройств ДЗЗ для мониторинга деформации строительных конструкций»**

В настоящей дипломной работе рассмотрены вопросы мониторинга перемен земной поверхности и возможности выявления изменения состояния строительных объектов, происходящие в ходе естественных процессов и при антропогенном воздействии. Основываясь на результатах проведенного мониторинга, выносится объективная оценка и рассчитывается динамика изменений состояния строительных объектов. Полученные результаты позволяют прогнозировать состояние строительных конструкций.

В расчетной части диплома представлена методика интерферометрической обработки данных космической радиолокационной съемки.

Все поставленные задачи в ТЗ дипломником выполнены в полном объеме и при этом Галимжан показал себя трудолюбивым и ответственным студентом.

Дипломная работа **Галимуллин Галимжана** оценивается на 92 баллов и автор заслуживает академической степени бакалавр техники и технологий по ОП «Космическая техника и технологий».

**Научный руководитель**

К.т.н., ассоциированный профессор

( должность, уч. степень, звание)



Таштай Е.

(подпись)

« 27 » мая 2022 г.

**РЕЦЕНЗИЯ**  
**на дипломную работу Галимуллина Галимжана Равильевича**  
**на тему: «Разработка и проектирование устройств ДЗЗ для**  
**мониторинга деформации строительных конструкций»**

Целью дипломной работы Галимуллина Г. Р. является исследование и разработка устройств ДЗЗ для мониторинга деформации строительных конструкций.

Мониторинг деформации строительных конструкций дает возможность выявления изменения состояния строительных объектов, происходящих в ходе естественных процессов и при антропогенном воздействии. Основной целью наблюдений за деформациями является оценка устойчивости эксплуатируемых инженерных сооружений и принятие своевременных профилактических мер, обеспечивающих их нормальную работу. Полученные результаты позволяют планировать дальнейшую деятельность по использованию и эксплуатации строительных конструкций для минимизации ущерба. Таким образом, в рецензируемой дипломной работе рассматривается достаточно актуальная и интересная задача, связанная с созданием устройств ДЗЗ для мониторинга деформации строительных конструкций.

В данной дипломной работе выполнены работы по анализу специфики требований к информации ДЗЗ при решении тематических задач в строительной индустрии, по анализу системы обработки и интерпретации данных ДЗЗ, по интерферометрической обработке данных космической радиолокационной съемки полученных с помощью устройства - радиолокатора с синтезированной апертурой - КА ДЗЗ TerraSAR-X. В расчетном разделе были проведены расчеты параметров развертывания интерферограммы, разности фаз для точек поверхности, проведены работы по измерению деформации Эйфелевой башни.

Проведенные работы студентом позволяют повысить качество работ по мониторингу деформаций строительных конструкций, вызванных воздействием внешних факторов.

В целом дипломная работа выполнена на достаточно высоком уровне, соблюдены все требования к разработке информационных систем безопасности и к оформлению работы. В тексте работы наблюдаются орфографические и стилистические ошибки, которые не влияют на качество выполненного проекта.

Учитывая вышесказанное, считаю, что дипломная работа заслуживает высокой оценки 89 баллов и рекомендуется к защите.

Заведующий лабораторией  
разработки космических систем  
ДТОО «Институт космической  
техники и технологий»

С.А. Елубаев  
2022 г.



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Галимуллин Галимжан Равильевич

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Разработка и проектирование устройств ДЗЗ для мониторинга деформации строительных конструкций

**Научный руководитель:** Ерлан Таштай

**Коэффициент Подобия 1:** 0.8

**Коэффициент Подобия 2:** 0.2

**Микропробелы:** 0

**Знаки из других алфавитов:** 4

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

27.05.2022

Дата

  
проверяющий эксперт

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Галимуллин Галимжан Равильевич

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Разработка и проектирование устройств ДЗЗ для мониторинга деформации строительных конструкций

**Научный руководитель:** Ерлан Таштай

**Коэффициент Подобия 1:** 0.8

**Коэффициент Подобия 2:** 0.2

**Микропробелы:** 0

**Знаки из других алфавитов:** 4

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

27.05.2022  
Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Галимуллин Галимжан Равильевич**

**Тақырыбы: Разработка и проектирование устройств ДЗЗ для мониторинга деформации строительных конструкции**

**Жетекшісі: Ерлан Таштай**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 0.8**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.2**

**Дәйексөз (35): 1.6**

**Әріптерді ауыстыру: 4**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 0**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

27.05.2022

Күні

Кафедра меңгерушісі

