

## **МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ СО СПУТНИКА SENTINEL-1**

*Ариана Артуровна Боргоякова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант, тел. (999)490-01-81, e-mail: ariana.borgoyakova.95@mail.ru

*Александр Юрьевич Чермошенцев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: fdz2004@bk.ru

В статье рассмотрена методика создания цифровой модели местности по данным радиолокационной съемки, проведены экспериментальные исследования с использованием интерферометрической пары радарных снимков со спутника Sentinel-1. Выполнена оценка точности и анализ возможности применения полученных результатов.

**Ключевые слова:** цифровая модель местности, радиолокационная съемка, интерферометрическая обработка, оценка точности.

## **TECHNIQUE OF DIGITAL TERRAIN MODEL CREATION USING RADAR SURVEY DATA FROM SATELLITE SENTINEL-1**

*Ariana A. Borgoyakova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, phone: (999)490-01-81, e-mail: ariana.borgoyakova.95@mail.ru

*Alexander Yu. Chermoshentsev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: fdz2004@bk.ru

The article describes the method of creating a digital terrain model from the data of a radar survey, experimental studies were performed using interferometric radar images from the Sentinel-1 satellite. Accuracy assessment and analysis of the applicability of the results are obtained.

**Key words:** digital terrain model, synthetic aperture radar imaging, interferometric processing, accuracy assessment.

### ***Введение***

Информация о местности в цифровом виде необходима при реализации различных геоинформационных проектов. Одним из наиболее важных источников такой информации является цифровая модель местности (ЦММ) [11].

В настоящее время применение данных космической съемки является наиболее целесообразным и экономически выгодным решением для создания цифровых моделей местности и рельефа на обширные территории. Одним из уни-

кальных и перспективных направлений в использовании данных космической съемки является интерферометрическая обработка пар и серий радиолокационных снимков [7]. Радиолокационная съемка широко применяется в решении прикладных задач: обновление существующих топографических карт, проведение всепогодного мониторинга различного характера, наблюдение за смещением поверхности земли [4, 6]. В этой связи актуальным представляется вопрос исследования методики создания цифровой модели местности по данным радиолокационной съемки.

Цель экспериментальных работ заключалась в создании цифровой модели местности по данным стереопары радиолокационных снимков со спутника Sentinel-1 [10]. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть методику создания цифровой модели местности по данным интерферометрической съемки со спутника Sentinel-1;
- провести экспериментальные исследования с использованием пары радиолокационных снимков со спутника Sentinel-1 для построения цифровой модели местности;
- выполнить оценку точности и анализ полученных результатов.

### ***Методы и материалы***

Интерферометрическая обработка радиолокационных данных предполагает получение нескольких когерентных измерений одного и того же района земной поверхности со сдвигом в пространстве приемной антенны радиолокатора.

Методика интерферометрической обработки пары радиолокационных изображений с целью получения ЦММ в общем случае состоит из следующих шагов (рис. 1) [5].

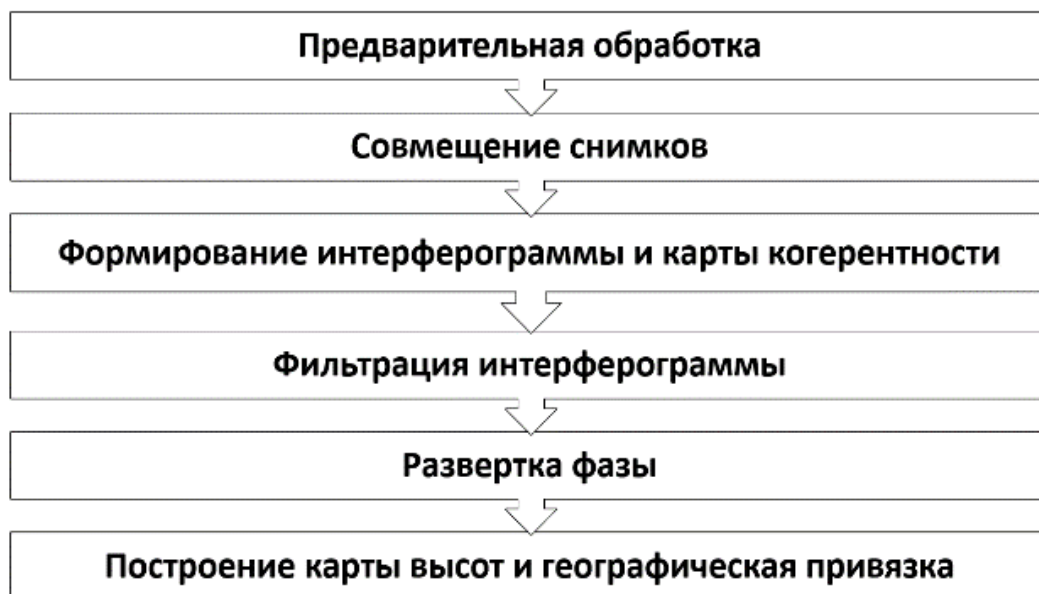


Рис. 1. Методика обработки снимков для построения ЦММ

Предварительная обработка заключается в считывании файлов снимков, и файлов, содержащих информацию о точных орбитах спутников-носителей радаров, а также выделение на снимках исследуемой области.

Основным условием определения высот или смещений земной поверхности является построение качественной интерферограммы, для которой необходимо, чтобы два изображения обладали высокой когерентностью, а также были совмещены с высокой (подпиксельной) точностью [1].

Ограничением для возможности интерферометрической обработки радиолокационных снимков являются пространственная и временная базовые линии. Например, в случае превышения критического значения базовой линии интерферометрическая обработка становится невозможной вследствие пространственной декорреляции снимков. В случае большого временного промежутка между съемкой территории могут произойти изменения рельефа, растительности, влажности, шероховатости и других свойств отражающей поверхности, что снижает когерентность обрабатываемых снимков. Тем не менее для временной базы нет четко сформулированных критических значений, и при подборе интерферометрической пары снимков рекомендации будут различаться для каждого конкретного случая [2].

В качестве исходных данных для интерферометрической обработки были использованы космические радиолокационные снимки, полученные со спутника Sentinel-1. Интервал между выполнением съемки составил 12 дней. Общая характеристика снимков представлена в табл. 1.

*Таблица 1*

Характеристика космических снимков Sentinel-1

Параметры	Снимок 1	Снимок 2
Идентификатор снимка	S1A_IW_SLC_1SSV_20141019T231501	S1A_IW_SLC_1SSV_20141031T231433
Дата съемки	19.10.2014	31.10.2014
Режим съемки	Interferometric Wide Swath	Interferometric Wide Swath
Тип продукта	SLC	SLC
Поляризация	VV	VV
Относительный номер орбиты	33	33
Размер	3 714	3 743

Для обработки использовался программный продукт Sentinel-1 Toolbox. Данный продукт входит в пакет Sentinel Application Platform (SNAP), который предназначен для обработки данных со спутников серии Sentinel.

Как следует из методики интерферометрической обработки, исходные снимки должны быть точно совмещены. Один из них выбирается в качестве основного (master), а остальные являются вспомогательными (slave). Пиксели вспомогательных снимков подвергаются полиномиальному преобразованию для совмещения с основным снимком с точностью до десятых долей пикселя.

В результате совмещения один и тот же объект на поверхности земли вносит вклад в один и тот же пиксель как в основном, так и во всех вспомогательных изображениях. Процесс совмещения выполняется в автоматическом режиме с помощью команды TOPSAR Coregistration, соответствующей методу съемки TOPSAR, при котором данные собираются путем циклического переключения луча антенны между несколькими смежными субполосами. После совмещения становится возможным расчет интерферограммы путем последовательного перемножения значений пикселей основного снимка со значениями вспомогательного. В результате значение амплитуды увеличивается, а фаза представляет разность фаз между двумя снимками (рис. 2).

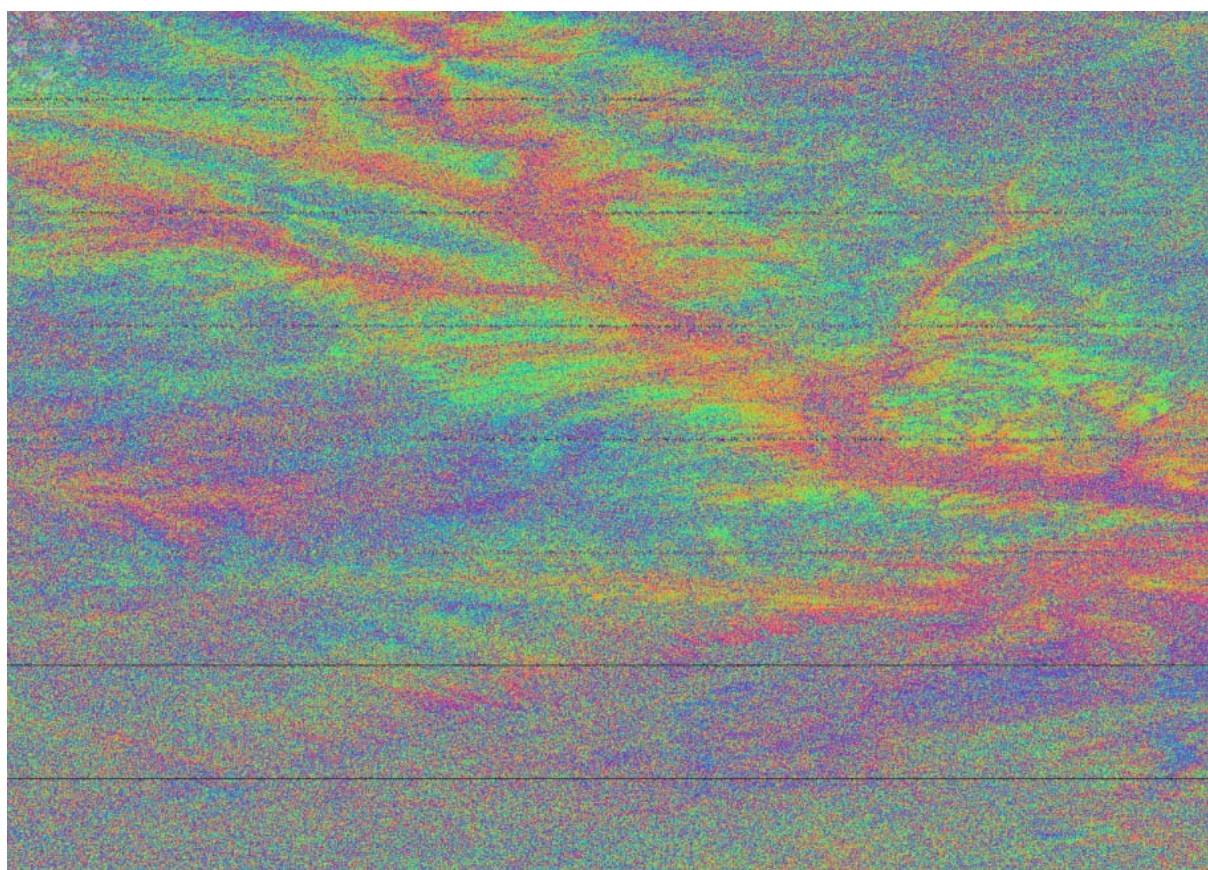


Рис. 2. Результат расчета интерферограммы

Как правило, параллельно процессу формирования интерферограммы выполняется расчет значений когерентности для оценки степени различия изображений и их пригодности их для дальнейшего создания ЦММ. Низкий уровень когерентности, вызванный значительным временным промежутком между съемками, а также влиянием растительного покрова, может привести к неудовлетворительным результатам. В данном случае результат оценки когерентности на большей площади совмещенных изображений позволяет сделать вывод о высоком уровне когерентности (рис. 3.)



Рис. 3. Результат расчета когерентности

Содержащаяся на интерферограмме разность фаз изменяется в пределах от  $-\pi$  до  $\pi$ , однако реальное значение может значительно выходить за эти пределы. Для того, чтобы восстановить истинное значение фазы выполняется процедура развертки путем добавления или вычитания числа, кратного  $2\pi$ . Процедура развертки фазы выполняется в специальном программном продукте *SnapHu*.

Полученные после выполнения развертки абсолютные значения фаз необходимо преобразовать в абсолютные значения высот путем указания опорных точек, высота которых известна.

В общем случае для преобразования необходимо лишь указать точку, относительно которой производится пересчет [3]. Результатом пересчета абсолютных значений разности фаз на интерферограмме в значения высот является матрица абсолютных или относительных высот, которая на следующем этапе трансформируется в заданную систему координат над опорным эллипсоидом (по умолчанию используется WGS 84) и превращается таким образом в итоговый результат обработки двухпроходной интерферометрической съемки – цифровую модель местности (рис. 4).

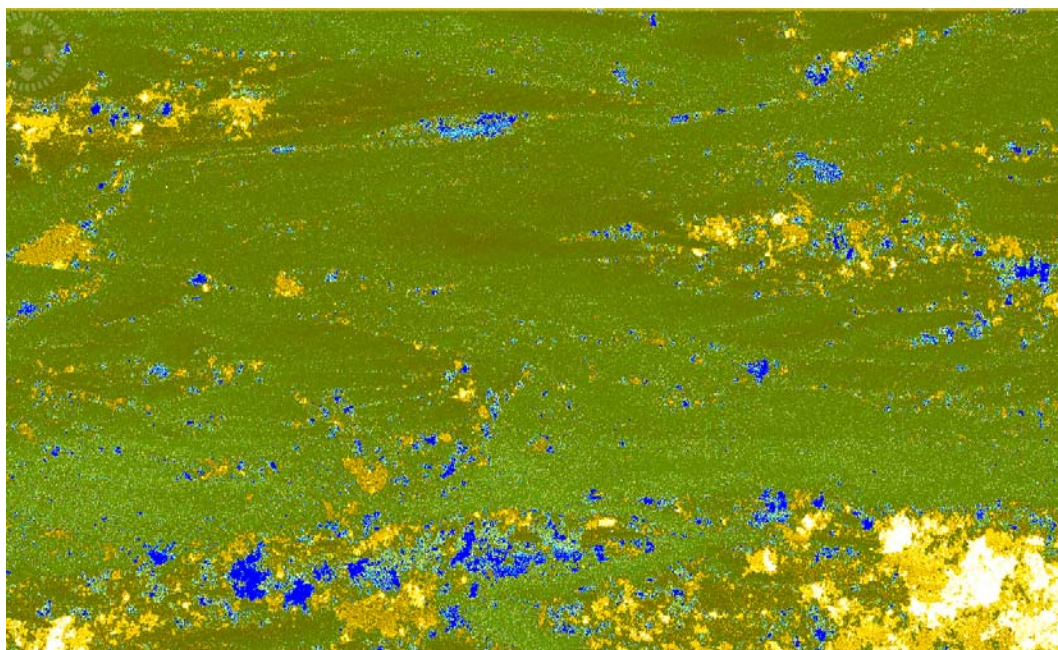


Рис. 4. Результат пересчета абсолютных фазовых значений в высоту

### *Результаты*

Созданная цифровая модель местности может быть подвергнута дальнейшей обработке – фильтрации строений, растительности и других объектов для преобразования в цифровую модель рельефа или использоваться для построения трехмерных текстурированных моделей, например, путем экспорта в программу Google Earth (рис. 5).

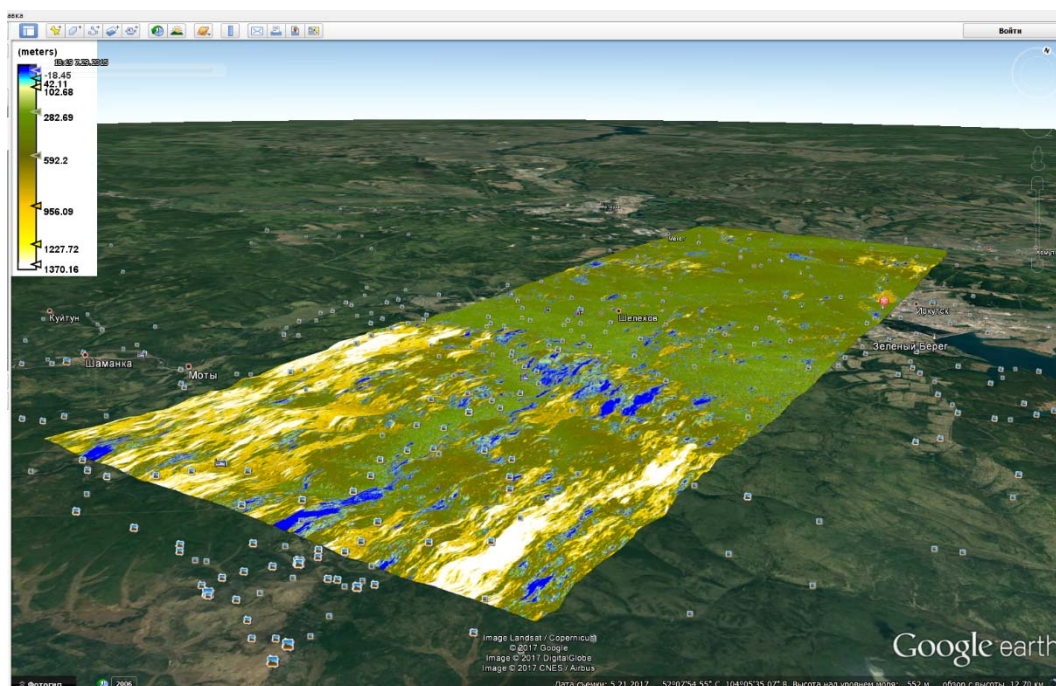


Рис. 5. Экспорт построенной ЦММ в Google Earth

Оценка точности выполнялась путем определения разности высот  $\Delta H$  точек созданной цифровой модели местности  $H_{DTM}$  и топографической карты  $H_{ТОРО}$  на контрольных точках [8, 9]:

$$\Delta H = H_{DTM} - H_{ТОРО}. \quad (1)$$

Координаты и высоты контрольных точек были определены по ЦММ, созданной по стереопаре космических снимков сверхвысокого разрешения, точность которой соответствовала карте масштаба 1 : 5 000.

Полученные значения оценок параметров точности цифровых моделей местности, построенных без использования вспомогательной ЦМР и с помощью двух видов вспомогательных ЦМР: GTOPO30 и SRTM, приведены в табл. 2.

*Таблица 2*

Оценка точности созданной ЦММ

Параметр точности	Значение
Расхождение $\Delta H$ , м	2,10
Минимальное расхождение, м	-13,21
Максимальное расхождение, м	12,00
Средняя квадратическая ошибка, м	5,17

### *Заключение*

На основании выполненных экспериментальных исследований точности построения ЦММ по результатам интерферометрической обработки радиолокационных снимков Sentinel-1 можно сделать следующие выводы: рассмотренная методика может успешно использоваться для создания цифровой модели местности по данным радиолокационной съемки со спутника Sentinel-1; точность высот ЦММ, построенных по снимкам Sentinel-1 для выбранной территории исследования, характеризуется средними квадратическими ошибками, не превышающими 5 м.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров М. Ю. Общие принципы и технологии радарной SAR съемки [Electronic resource]. – Mode of access : <http://gisa.ru/> (дата обращения: 05.04.2019).
2. Баранов Ю. Б. Построение ЦМР по результатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR [Electronic resource]. – Mode of access : <http://sovzond.ru> (дата обращения: 05.04.2019).
3. Верба В. С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. – М. : Радиотехника, 2010. – 680 с.
4. Кантемиров Ю. И. Обзор современных радарных данных ДЗЗ // Геоматика. – 2013. – № 2. – С. 69–72.
5. Кантемиров Ю. И. Построение ЦМР по результатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR ДЗЗ // Геоматика. – 2008. – № 1. – С. 37–45.

6. Мышляков С. Г. Возможности радарных снимков Sentinel-1 для решения задач сельского хозяйства // Геоматика. – 2016. – №2. – С. 16–25.
7. Никольский Д. Б. Передовые направления в обработке и применении радиолокационных данных // Геоматика. – 2008. – № 1. – С. 21–24.
8. Оньков И. В. Исследование точности радарных ЦМР, построенных по снимкам ALOS/PALSAR и модели SRTM, в зависимости от вида окружающей поверхности // Геоматика. – 2012. – №4. – С. 33–36.
9. Оньков И. В. Оценка точности построения ЦМР методом радарной интерферометрии по снимкам ALOS/PALSAR // Геоматика. – 2012. – № 3. – С. 35–44.
10. Съёмочная система Sentinel-1A [Electronic resource]. – Mode of access : <https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/#> (дата обращения: 05.04.2019).
11. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М. : Техносфера, 2010. – 560 с.

© А. А. Боргоякова, А. Ю. Чермошенцев, 2019