ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70153— 2022

Дистанционное зондирование Земли из космоса

ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Общие требования к интерферометрической обработке

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (АО «Российские космические системы») по заказу Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 321 «Ракетно-космическая техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 октября 2022 г. № 1197-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сокращения 3
5 Порядок выполнения интерферометрической обработки 3
6 Требования к исходным данным для интерферометрической обработки 4
7 Рекомендации и требования по проведению интерферометрической обработки 5
8 Требования к продуктам интерферометрической обработки 7
Библиография 8

Введение

Целью применения космических комплексов и систем дистанционного зондирования Земли является получение первичных данных дистанционного зондирования Земли из космоса и продуктов на их основе, готовых для применения в процессе решения научно-прикладных задач. Создание основного продукта интерферометрической обработки радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли из космоса — цифровой модели высот земной поверхности — может проводиться с использованием не только различного программного обеспечения, но и различных методических и алгоритмических подходов. Анализ данного продукта требует учета особенностей получения и обработки исходных данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

Кроме того, аналитика модели высот земной поверхности и производных продуктов (цифровой модели рельефа и цифровой модели поверхности) с использованием данных из вспомогательных источников информации требует совместимости форматов их представления. Применение единых форматов представления данных дистанционного зондирования Земли из космоса и продуктов на их основе позволяет автоматизировать процесс анализа, в том числе в рамках отраслевых и региональных информационных систем.

Для достижения вышеописанных целей необходимо установить критерии допустимости использования первичных радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли из космоса в процессе потокового создания цифровой модели высот земной поверхности, а также требования к форматам их предоставления потребителям.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Дистанционное зондирование Земли из космоса

ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Общие требования к интерферометрической обработке

Remote sensing of the Earth from space.Remote sensing data of the Earth from space. General requirements for interferometric data processing

Дата введения — 2023—02—01

1 Область применения

Стандарт предназначен для использования экспертами в области обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса, а также организациями, участвующими в создании, распространении и использовании данных дистанционного зондирования Земли из космоса и продуктов их обработки.

Настоящий стандарт определяет требования к организации создания цифровых моделей высот земной поверхности как базового информационного продукта при создании цифровых топографических карт, посредством интерферометрической обработки радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

Настоящий стандарт устанавливает типовой алгоритм создания цифровых высотных моделей земной поверхности посредством интерферометрической обработки радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли из космоса, критерии выбора исходных данных дистанционного зондирования Земли из космоса для интерферометрической обработки, требования к процедурам интерферометрической обработки, а также требования к продуктам интерферометрической обработки.

Настоящий стандарт не распространяется на данные дистанционного зондирования Земли из космоса, получаемые с космических комплексов (космических систем) гидрометеорологического, океанографического и гелиофизического назначения.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.010 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения

ГОСТ Р 59081 Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Продукты обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса производные (базовые). Требования к составу и документированному описанию

ГОСТ Р 59314 Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Форматы стандартных продуктов автоматической обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра электромагнитных волн. Общие положения

ГОСТ Р 59476 Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Качество данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Перечень показателей качества данных дистанционного зондирования Земли из космоса, получаемых с космических аппаратов радиолокационного наблюдения

Издание официальное

ГОСТ Р 59482 Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Качество данных дистанционного зондирования земли из космоса. Организационно-методические положения обеспечения единства оценки качества данных дистанционного зондирования Земли из космоса

ГОСТ Р 59753 Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Термины и определения

ГОСТ Р 59754 Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Обработка данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 59753, ГОСТ Р 59754, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

интерферометрическая съемка: Режим радиолокационной съемки одной и той же территории интереса с близких точек, разнесенных в пространстве на некоторое расстояние (базовую линию), с получением набора из двух и более взаимокогерентных радиолокационных данных.

[ГОСТ Р 70156—2022, пункт 3.3]

3.2 **интерферометрическая базовая линия:** Длина воображаемой линии между фазовыми центрами антенн космического аппарата дистанционного зондирования Земли в моменты получения двух радиолокационных изображений.

Примечание — Адаптировано из [1], пункт 3.14.

3.3

интерферометрическая пара: Два комплексных радиолокационных изображения одного и того же участка земной поверхности, полученные радиолокационными съемочными системами в одной геометрии съемки.

[Адаптировано из ГОСТ Р 59081—2020, пункт 3.1.10]

3.4 **когерентность:** Величина корреляции фаз двух радиолокационных снимков.

3.5 **временная база:** Промежуток времени между получением радиолокационных снимков, составляющих интерферометрическую пару.

3.6 **интерферограмма:** Результат комплексного перемножения интерферометрической пары.

3.7 **радиолокационный снимок:** Совокупность радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли из космоса определенного уровня обработки, полученных с одного космического аппарата одной или несколькими съемочными системами в единой геометрии съемки на одну дату и время съемки и представляющих собой изображение соответствующего участка земной поверхности.

3.8

горный участок: Участок, расположенный в горной местности со средним уклоном более 5° и перепадом высот более 200 м.

[Адаптировано из ГОСТ Р 59832—2021, пункт 3.16]

3.9 **развертка фазы:** Восстановление массива абсолютных фазовых значений по массиву значений разности фазы.

3.10 **критическая базовая линия:** Размер базовой линии, при котором происходит полная пространственная декорреляция пары сигналов, делающая невозможным их совместную интерферометрическую обработку.

3.11 **цифровая модель высот земной поверхности:** Совокупность данных о высотах участка земной поверхности с известными географическими координатами, представленная в цифровом виде.

3.12

цифровая модель рельефа: Совокупность данных (плановых координат и высот) об участке земной поверхности, содержащая информацию о высотах поверхности Земли (без учета растительности, зданий и других объектов).

[ГОСТ Р 59478—2021, пункт 3.1.15]

3.13

цифровая модель поверхности: Совокупность данных (плановых координат и высот) об участке земной поверхности, содержащая информацию о высотах поверхности Земли, включая растительность, здания и другие объекты.

[Адаптировано из ГОСТ Р 59478—2021, пункт 3.1.16]

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ДЗЗ — дистанционное зондирование Земли;

КА — космический аппарат;

РЛД — радиолокационные данные;

РЛН — радиолокационное наблюдение;

РСА — радиолокатор с синтезированной апертурой;

ЦМВ — цифровая модель высот;

ЦМП — цифровая модель поверхности;

ЦМР — цифровая модель рельефа;

ASCII — американский стандартный код для обмена информацией (american standard code for information interchange);

BIL — каналы, разделенные по строкам (band interleaved by line);

GeoTIFF — открытый формат представления растровых данных совместно с метаданными о географической привязке (geographic tagged image file format);

KMZ — язык разметки для представления трехмерных геопространственных данных (key-hole markup language files when compressed);

LAS — отраслевой стандартный двоичный формат для хранения бортовых лазерных данных (log ASCII standard);

NaN — не числовое значение (not-a-number).

5 Порядок выполнения интерферометрической обработки

При проведении интерферометрической обработки РЛД ДЗЗ из космоса должны быть последовательно выполнены следующие операции:

- выбор исходных РЛД ДЗЗ из космоса;
- совмещение РЛД ДЗЗ из космоса;
- некогерентное накопление (опционально);
- построение интерферограммы и расчет когерентности;
- компенсация набега фазы;
- фильтрация интерферограммы;
- развертка фазы;
- уточнение орбитальных данных с использованием наземных опорных точек для коррекции развернутой фазы (может выполняться на этапе совмещения);

- пересчет относительных значений высот в абсолютные значения высот земной поверхности;
- геокодирование полученного результата.

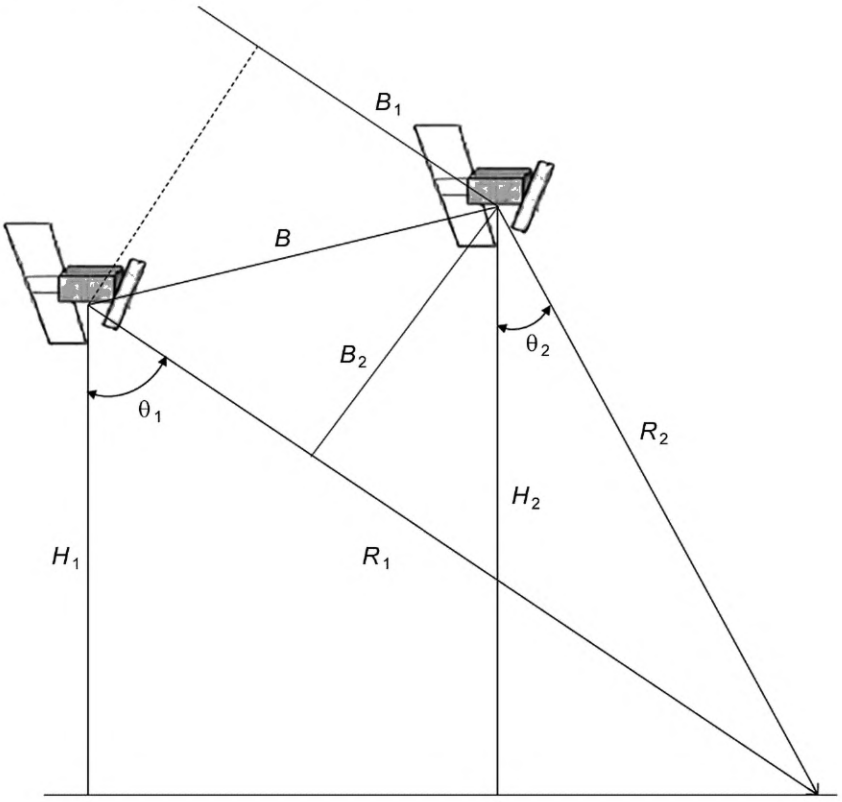
6 Требования к исходным данным для интерферометрической обработки

6.1 Исходными данными для интерферометрической обработки являются два или более комплексных радиолокационных снимка, покрывающих один и тот же участок земной поверхности. К исходным данным предъявляются требования в части:

- величины перпендикулярной составляющей пространственной базы (базовой линии);
- величины временной базы;
- условий наблюдений.

6.2 Главным фактором при определении возможности выполнения интерферометрической обработки пары радиолокационных снимков является величина перпендикулярной составляющей пространственной базы (базовой линии).

6.2.1 Расчет критического значения перпендикулярной пространственной базы (базовой линии) следует выполнять по формуле (1). Схема космической съемки для получения интерферометрической пары радиолокационных снимков представлена на рисунке 1.



H_1 и H_2 — высота орбиты КА ДЗЗ РЛН; R_1 и R_2 — дальность (путь зондирующей волны); θ_1 и θ_2 — углы между дальностью и высотой; B_1 и B_2 — перпендикулярная и параллельная составляющие базовой линии; B — базовая линия

Рисунок 1 — Схема космической съемки для получения интерферометрической пары радиолокационных снимков

$$B_{n,cr} = \frac{\lambda \cdot R \cdot tan(\theta)}{2 \cdot R_r}, \quad (1)$$

где $B_{n,cr}$ — критическая базовая линия, м;

λ — длина зондирующей волны радиолокатора, м;

R — дальность (путь зондирующей волны), м;

θ — угол между дальностью и высотой, град.;

R_r — пространственное разрешение в направлении наклонной дальности, м.

Примечания

1 При расчете делается допущение о равенстве наклонных дальностей R_1 и R_2.

2 Приведенные выше соотношения справедливы только для случая двухпроходной интерферометрии в режиме строго бокового обзора.

6.2.2 Для горных участков (участков с пересеченным рельефом) рекомендуется использование пары радиолокационных снимков с величиной базовой линии, близкой к минимальной.

6.2.3 Для формирования ЦМВ рекомендуется использовать пары радиолокационных изображений с величиной базовой линии от 20 % до 80 % величины критической базовой линии, для формирования карт смещений (дифференциальной интерферометрии) — от 0 % до 20 %.

6.3 Основными критериями при определении критического значения величины временной базы пары радиолокационных снимков являются:

- диапазон рабочих длин волн РСА;
- изменчивость подстилающей поверхности;
- рельеф местности;
- тип растительности.

6.4 Рекомендованные значения временной базы пары радиолокационных снимков для интерферометрической обработки, определяемые по совокупности основных требований (см. 6.1), приведены в таблице 1.

Таблица 1

Диапазон рабочих длин волн РСА	Предельно допустимое значение временной базы, сут.	
	Пустыня, степь, тундра, горная местность с редкой растительностью, урбанизированная (застроенная) территория	Саванна, территории с густой растительностью, заболоченные территории
X	14	3
C	21	7
S	30	14
L	180	30

Примечание — Для местности с сильными перепадами высот (горные районы, районы плотной высотной застройки) наиболее значимым фактором, определяющим возможность интерферометрической обработки данных, является угол съемки. Рекомендуется выбирать данные, полученные при углах съемки, исключающих искажения изображений при малых углах съемки, а также затенение при больших углах.

6.5 В отношении условий наблюдения не рекомендуется использовать пару радиолокационных снимков, полученных непосредственно во время или в течение суток после выпадения осадков (дождь, снег) на территории съемки.

7 Рекомендации и требования по проведению интерферометрической обработки

7.1 В процессе совмещения пары радиолокационных снимков рекомендуется обеспечить точность совмещения не хуже 0,1 пикселя.

7.2 В случае отсутствия требований к пространственному разрешению ЦМВ рекомендовано применение некогерентного накопления — усреднение изображения путем суммирования соседних отсчетов. В результате применения происходит:

- сглаживание шума;
- сокращение времени обработки;
- выравнивание межпиксельного расстояния.

7.3 В процессе построения интерферограммы для пары радиолокационных снимков необходима проверка когерентности.

7.3.1 Интерферометрическую когерентность пары радиолокационных снимков размером $m \times n$ элементов следует вычислять по формуле

$$\gamma = \frac{\left| \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} z_1(i,j) z_2(i,j) \right|}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} |z_1(i,j)|^2 z_2(i,j) \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} |z_2(i,j)|^2}}, \quad (2)$$

где γ — когерентность, $\gamma \in [0, 1]$;

z_1 — комплексные значения сигнала на первом радиолокационном снимке пары;

z_2 — комплексные значения сигнала на втором радиолокационном снимке пары;

m, n — размеры снимка, $i \in \overline{[1,m]}, j \in \overline{[1,n]}$.

7.3.2 Рекомендуется исключать из обработки области интерферограммы, когерентность которых близка к нулевой, в отдельных случаях допускается также фильтрация (удаление) низких значений когерентности при построении интерферограммы и развертке фазы.

7.4 Рекомендуется проводить компенсацию фазового набега, вызванного чувствительностью РСА к изменению наклонных дальностей по ровной поверхности путем проведения следующих операций:

- синтезирование интерферограммы плоской Земли с радиусом, соответствующим средней высоте земной поверхности в данной районе;
- вычитание синтезированной интерферограммы из интерферограммы, полученной на основе пары радиолокационных снимков.

7.5 В случае высоких значений спекл-шумов рекомендуется выполнять фильтрацию интерферограммы. При фильтрации интерферограммы рекомендуется применять усредняющий фильтр, медианный фильтр или адаптивные процедуры, которые точнее, чем перечисленные фильтры, отслеживают изменения яркости интерферограммы — фильтрация методом локальных статистик, сигма-фильтрация или локальная адаптивная фильтрация.

7.6 При выборе алгоритма развертки фазы рекомендовано использовать дополнительную информацию:

- амплитудную часть РЛД ДЗЗ из космоса;
- файл когерентности между двумя радиолокационными снимками;
- опорную ЦМР с известной точностью, полученную из независимого источника.

Примечание — При экспертном выборе алгоритма развертки фазы рекомендуется учитывать характер подстилающей поверхности, в т. ч. выраженность рельефа, и распределение зон низкой когерентности.

7.7 При уточнении орбитальных данных для коррекции развернутой фазы рекомендуется использовать наземные опорные точки, отвечающие следующим требованиям:

- объективность — координаты наземных опорных точек должны быть получены из независимого источника;
- достоверность — координаты опорных точек должны быть получены наземным инструментальным способом с помощью измерительного оборудования, отвечающего метрологическим требованиям согласно ГОСТ 8.010;
- равномерность — наземные опорные точки должны быть равномерно распределены по территории, покрываемой парой обрабатываемых радиолокационных снимков;
- достаточность — количество наземных опорных точек должно обеспечивать заданные требования по качеству и точности для создаваемых продуктов интерферометрической обработки.

7.8 На этапе пересчета относительных высот в абсолютные значения высот земной поверхности (матрицу абсолютных высот) должно быть указано значение превышения над высотой опорного эллипсоида для заданного набора наземных опорных точек.

Примечание — Параметры опорного эллипсоида должны быть указаны в метаданных результатов интерферометрической обработки.

7.9 На этапе геокодирования должно быть произведено трансформирование матрицы абсолютных высот в заданную систему координат с присвоением каждой ячейке матрицы значений географической долготы, географической широты и абсолютной высоты земной поверхности (превышения над высотой базового эллипсоида).

Примечание — Параметры используемой системы координат должны быть указаны в метаданных продуктов интерферометрической обработки.

8 Требования к продуктам интерферометрической обработки

8.1 Основным продуктом интерферометрической обработки пары радиолокационных снимков является ЦМВ земной поверхности участка, покрываемого парой радиолокационных снимков.

8.2 Цифровая модель высот земной поверхности в зависимости от природных условий и особенностей снимаемой территории представляет собой либо ЦМП (в случае наличия растительности и зданий/сооружений), либо ЦМР (в случае отсутствия растительности и зданий/сооружений).

8.3 Состав и документированное описание продукта интерферометрической обработки должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 59081.

8.4 Оценка качества продукта интерферометрической обработки должны осуществляться согласно требованиям ГОСТ Р 59476 и ГОСТ Р 59482.

8.5 Для представления модели высот земной поверхности в цифровом виде рекомендуется использовать общераспространенные растровые форматы данных, предполагающие представление значений высот земной поверхности в виде регулярной матрицы (сетки ячеек).

Примечание — Примером общераспространенных форматов являются GeoTIFF, ASCII Grid, BIL, KMZ, LAS и т. п. согласно ГОСТ Р 59314.

8.6 Значения высот полученной в результате интерферометрической обработки модели высот земной поверхности должны быть представлены в метрах.

8.7 Для ячеек матрицы высот земной поверхности с низкой достоверностью (низкой когерентностью) рекомендуется присваивать следующие значения:

- NaN для зон низкой достоверности (низкой когерентности);
- значения, полученные путем интерполяции значений соседних пикселей для зон низкой достоверности (низкой когерентности).

Примечания

1 Рекомендуется маскирование ячеек матрицы высот для значений, полученных путем интерполяции.

2 Пороговая величина допустимой для интерполяции зоны низкой когерентности устанавливается для каждого конкретного продукта интерферометрической обработки.

Библиография

[1] ISO/TS 19159-3:2018 Географическая информация. Калибровка и валидация датчиков и данных дистанционного зондирования. Часть 3. SAR/InSAR (Geographic information — Calibration and validation of remote sensing imagery sensors and data — Part 3: SAR/InSAR)

УДК 528.8:006.354

ОКС 35.240.70
49.140

Ключевые слова: системы дистанционного зондирования Земли из космоса, космическая съемка, радиолокационная съемка, интерферометрическая съемка, интерферометрическая обработка, цифровая модель рельефа, цифровая модель поверхности

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 31.10.2022. Подписано в печать 02.11.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,24.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru