

И.В. Оньков (ЗАО «Мобиле», Пермь)

В 1970 г. окончил МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия». В настоящее время — научный консультант ЗАО «Мобиле» (Пермь). Кандидат технических наук, доцент.

Т.А. Онянова (Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

В настоящее время — студентка 5-го курса Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ), специальность — «прикладная геодезия».

О.Ю. Шилиева (Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

В настоящее время — студентка 5-го курса Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ), специальность — «прикладная геодезия».

Исследование точности радарных ЦМР, построенных по снимкам ALOS/PALSAR и модели SRTM, в зависимости от вида отражающей поверхности

Метод радарной интерферометрии по данным радиолокаторов космического базирования в настоящее время является одним из наиболее эффективных методов построения цифровых моделей рельефа на больших площадях [1]. Но в силу своей физической природы радарные методы, основанные на отражении радиоволн, позволяют получать информацию о высотах условной отражающей поверхности, которая в общем случае не совпадает с топографической поверхностью Земли.

Расхождения между высотами этих поверхностей наиболее существенны на залесенной и застроенной территории и зависят от многих факторов, таких, как высота и густота лесного покрова, высота и плотность застройки, параметров радиолокационного сигнала (длина волны сигнала, разрешающая способность, поляризация), методов и алгоритмов обработки данных и т.п.

В свою очередь, точность определения высоты поверхности, построенной по радарным данным, также зависит от вида отражающей поверхности, параметров съемки, методов обработки и т.п.

В данной работе принята наиболее простая адди-

тивная модель ошибок высот отражающей поверхности в виде суммы систематической и случайной составляющих и выполнена оценка параметров этих составляющих по результатам обработки радарных данных для трех типов территории:

- многоэтажная городская застройка (3 – 9 этажей);
- сельхозугодья без древесной растительности (пашни, луга);
- лесные массивы (высота деревьев 10–25 м).

Для исследования была выбрана цепочка из 12 снимков ALOS/PALSAR г. Перми и пригородной зоны, выполненных в 2008–2010 гг., подробные характеристики которых приведены в работе [2].

Обработка снимков и построение цифровых моделей отражающих поверхностей проводились в программном продукте ENVI 4.8 SARscape 4.4 методом радарной интерферометрии по стандартной методике без использования входной цифровой модели рельефа (ЦМР) [3]. На основе пяти, наиболее точных моделей была сформирована осредненная матрица высот с шагом сетки 50×50 м. В качестве оценки среднего принималась медиана из значе-

ний высот в узлах сетки, обладающая свойством максимальной устойчивости к резко выделяющимся данным в выборке.

ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ

Определение параметров систематической и случайной составляющих полученной осредненной модели высот выполнялось по контрольным точкам, координаты и высоты которых были сняты с цифровых топографических планов города масштаба 1:2000–1:5000 с высотой сечения рельефа 1 м.

В качестве контрольных точек использовались подписанные на планах отметки высот и горизонталы с выбранными типами отражающей поверхности, расположение которых показано на космическом снимке WorldView-2 г. Перми (рис. 1–3). Общее количество контрольных точек составило 5098, в том числе: на городской территории — 1264, на сельхозугодьях — 1541, на территории лесных массивов — 2593.

Для сравнения по этим же контрольным точкам оценивались параметры точности глобальной цифровой модели рельефа Земли SRTM, построенной по данным радарной интерферометрической съемки с КК Space Shuttle в феврале 2000 г.

По разностям отметок высот радарной модели рельефа и топографической поверхности вычислялись следующие параметры:

- среднее значение разности высот $\overline{\Delta H}$ (систематическая ошибка);
- средняя квадратическая ошибка $RMSE_{\Delta H}$;
- средняя абсолютная ошибка $MAE_{\Delta H}$;
- вероятная линейная ошибка $LE90_{\Delta H}$;
- минимальное ΔH_{min} и максимальное ΔH_{max} значения ошибок.

После исключения систематической ошибки из результатов измерений $\Delta h_i = \Delta H_i - \overline{\Delta H}$ оценивались параметры случайной составляющей ошибки высоты радарной модели рельефа:

- стандартная средняя квадратическая ошибка $\delta_{\Delta h}$;
- центрированная средняя абсолютная ошибка $\theta_{\Delta h}$.

Характер распределения ошибок и соответствие его нормальному закону распределения оценивались по гистограммам частот и выборочным значениям коэффициентов асимметрии As и эксцесса Ex .



Рис. 1. Расположение контрольных точек на территории городской застройки



Рис. 2. Расположение контрольных точек на территории сельхозугодий

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Показатели точности осредненной модели рельефа, построенной по 5 парам радарных снимков ALOS/PALSAR в зависимости от вида отражающей поверхности, приведены в табл. 1.



Рис. 3. Расположение контрольных точек на территории лесных массивов

Результаты статистической обработки данных экспериментальных измерений, приведенные в табл. 1, показывают существенное влияние типа и характера отражающей поверхности на величину систематической и случайной ошибок высоты оцениваемой модели рельефа.

Характер закона распределения случайных ошибок высот, по критериям асимметрии и эксцесса, близок к нормальному закону на уровне значимости 1%, за исключением территорий сельхозугодий [4].

Соответствующие статистические характеристики

высот модели рельефа SRTM в зависимости от типа отражающей поверхности, вычисленные по тем же контрольным точкам, приведены в табл. 2.

Приведенные в табл. 2 показатели точности, как и для модели рельефа ALOS/PALSAR, указывают на существенное влияние типа и характера отражающей поверхности на величину систематической и случайной ошибок высоты ЦМР SRTM. Причем закон распределения ошибок высот также близок к нормальному закону, за исключением территории сельхозугодий.

На рис. 4 в качестве примера приведены гистограммы частот центрованных ошибок высот моделей SRTM и ALOS/PALSAR для городской территории с наложенными кривыми нормального распределения.

Сравнивая данные, приведенные в табл. 1 и 2, необходимо отметить практическое равенство систематических ошибок рассматриваемых моделей: вне зависимости от типа и характера отражающей поверхности взаимное расхождение между ними не превышает 1 м.

Отношение величины случайных ошибок высот радарной модели рельефа ALOS/PALSAR к ошибкам модели SRTM для территорий городской застройки и лесных массивов в среднем составляет 1,3–1,4, для территории сельхозугодий это отношение возрастает до 2,5–2,7. Возможной причиной

Таблица 1

Показатели точности высот радарной модели рельефа

Параметр	Вид отражающей поверхности		
	Городская застройка	Сельхозугодия	Лесные массивы
Число точек, n	1264	1541	2593
$\overline{\Delta H}$, м	4,23	-0,21	11,54
$RMSE_{\Delta H}$, м	4,69	2,41	12,22
$MAE_{\Delta H}$, м	4,26	1,88	11,54
$LE90_{\Delta H}$, м	7,13	3,92	16,65
ΔH_{min} , м	-1,76	-9,03	-1,55
ΔH_{max} , м	10,00	8,74	25,36
$\delta_{\Delta h}$, м	2,04	2,40	4,03
$\theta_{\Delta h}$, м	1,66	1,88	3,23
As	0,09	-0,12	-0,07
Ex	-0,20	0,58	-0,12

Показатели точности высот модели рельефа SRTM

Параметр	Вид отражающей поверхности		
	Городская застройка	Сельхозугодия	Лесные массивы
Число точек, n	1264	1541	2593
$\overline{\Delta H}$, м	4,62	- 1,05	11,03
$RMSE_{\Delta H}$, м	4,88	1,40	11,54
$MAE_{\Delta H}$, м	4,62	1,19	11,03
$LE90_{\Delta H}$, м	6,60	2,20	15,25
ΔH_{min} , м	- 0,67	- 3,92	0,88
ΔH_{max} , м	9,81	2,79	19,75
$\delta_{\Delta h}$, м	1,59	0,92	3,39
$\theta_{\Delta h}$, м	1,28	0,71	2,73
As	- 0,01	0,34	- 0,33
Ex	- 0,05	0,86	- 0,18

такого понижения точности модели ALOS/PALSAR по отношению к модели SRTM является достаточно ярко выраженная сезонная изменчивость поверхности сельхозугодий, в отличие от поверхности лесных массивов и городской застройки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов Ю.Б., Кантемиров Ю.И., Киселевский Е.В., Болсуновский М. А. Построение ЦМР по результатам интерферометрической обра-

ботки радиолокационных изображений ALOS PALSAR // Геоматика. – 2008. – №1. – С. 37 – 45.

2. Оньков И.В. Оценка точности построения ЦМР методом радарной интерферометрии по снимкам ALOS PALSAR / Геоматика. – 2012. – №3, С. 33 – 38.

3. Кантемиров Ю.И. Обзор основных методик обработки радарных данных ДЗЗ и их реализация в программном комплексе SARscape / Геоматика. – 2012, – №1. С. 30 – 43.

4. Болшев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука. – 1983. – 416 с.

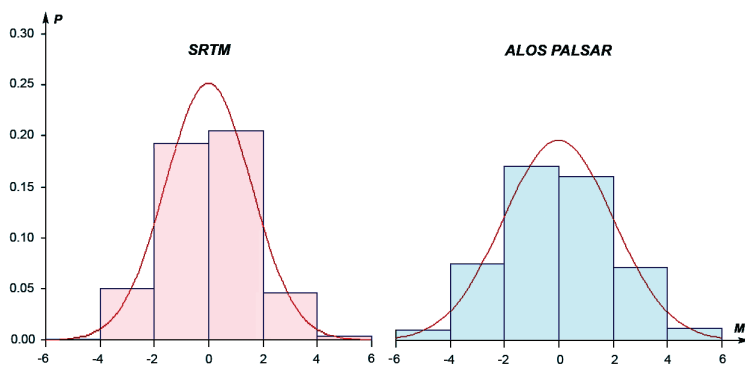


Рис. 4. Гистограммы частот ошибок высот ЦМР SRTM и ALOS/PALSAR для территории городской застройки