

4. Олзоев Б. Н., Никитина Ю. Г. Изучение антропогенной трансформации ландшафтов Прибайкалья по космическим снимкам (на примере острова Ольхон) // Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск: 2014. Т. 85. № 2. С. 67-74.

© Ю. Г. Никитина, В. Е. Гагин, 2015

УДК 551.507+551.79 +551.31+55(235.222)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ДЛЯ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЗАПАДНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Элеонора Ринатовна Семакова

Астрономический институт имени Улугбека Академии наук Узбекистана, 100052, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Астрономическая 33, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, тел. (998)71-235-81-02, e-mail: ella@astrin.uz

Представлены результаты интерферометрической обработки данных TanDEM-X с использованием модуля SARscape 5.1 программного обеспечения ENVI 5.2 для построения цифровой модели рельефа некоторых горных районов Центрального и Западного Тянь-Шаня.

Ключевые слова: ЦМР, данные TanDEM-X, горные районы, интерферометрическая обработка, SARscape, оценка точности.

PRELIMINARY RESULTS OF THE DIGITAL ELEVATION MODELS GENERATION FOR SOME AREAS OF CENTRAL AND WESTERN TIEN-SHAN

Eleonora R. Semakova

Ulugh Beg Astronomical Institute of the Uzbek Academy of Sciences, 100052, Uzbekistan, Tashkent, 33 Astronomicheskaya St., Ph. D., senior scientific researcher, tel. (998)71-235-81-02, e-mail: ella@astrin.uz

The results of TanDEM-X data interferometric processing using the SARscape 5.1 Module in ENVI 5.2 software for generation of a digital elevation model for some mountain areas of Central and Western Tien- Shan are presented.

Key words: DEM, TanDEM-X data, mountain regions, interferometric processing, SARscape, accuracy evaluation.

Цифровые модели рельефа играют важную роль в различных геонаучных исследованиях: в гидрологии, гляциологии, лесоводстве, геологии, океанологии и исследованиях окружающей среды. Целью данной работы является построение современных цифровых моделей рельефа некоторых участков горной местности с целью их использования для изучения состояния природных объектов в горных районах Центральной Азии (ледники, озера, сели, оползни, лавины), что является актуальным исследованием для Республики Узбекистан.

Деградация оледенения на современном этапе в Узбекистане характеризуется отступанием ледников и образованием большого количества приледниковых и моренных озер [1]. Смещение гравитационно-моренного материала со-

здаёт потенциальную угрозу формирования катастрофических гляциальных селей [2]. Кроме того, участвовавшие случаи сошедших оползней и горных обвалов ведут к образованию завальных озер, которые также могут быть прорывоопасными.

Наземные исследования опасных гляциальных процессов в высокогорье в настоящее время проводятся в основном на локальных территориях с ограниченным периодом наблюдений.

Дистанционные исследования позволяют эффективно и широкомасштабно контролировать состояние природных объектов и прогнозировать возможности их неожиданного проявления. Дальнейшие работы будут связаны с совместным использованием оптических и радиолокационных данных и применением разработанных в республике и за рубежом моделей формирования и движения опасных природных объектов. На данном этапе предполагается создать цифровые модели рельефа (ЦМР) для района с активным проявлением таких геофизических процессов, как снежные лавины, сели и оползни, а также для районов с развитым оледенением и наличием высокогорных озер. В рамках стажировки DAAD в институте GFZ по изучению интерферометрической обработки данных TerraSAR-X и TanDEM-X с использованием программного модуля SARscape 5.1 построены предварительные ЦМР на примере района ледника Иньльчек (Центральный Тянь-Шань) и двух районов Западного Тянь-Шаня.

Как известно, система TanDEM-X служит дополнением к системе TerraSAR-X и предназначена для измерения высот на земной поверхности с абсолютной точностью по высоте 10 м, относительной – 4 м для горных районов и точностью в плоскости – 12 м [3]. Интерферометрические пары радиолокационных снимков, полученных этими сенсорами, отличаются более высокой когерентностью по сравнению с данными других сенсоров благодаря геометрической точности датчиков и одновременностью съемки (отсутствуют временная декорреляция и атмосферные эффекты, свойственные для сенсоров с повторной съемкой).

Тип исходных данных: SSC – комплексные радиолокационные изображения с амплитудно-фазовыми параметрами в геометрии наклонной дальности, НН- поляризации, SM – полосного режима съемки, восходящего витка орбиты для ледниковых районов (по 2 пары с перекрытием) и нисходящего – для района с лавинно-селевой опасностью (1 пара) зимнего периода съемки.

Ледник Иньльчек делится на Северный и Южный. Последний является самым крупным ледником Тянь-Шаня и имеет длину около 60 км. В месте соединения Северного и Южного Иньльчека лежит ледниково-подпрудное озеро Мерцбахера, которое ежегодно прорывается в долину реки Иньльчек по подледным каналам. Покрытие данными TanDEM-X этого района охватывает высоты до 6500 м.

Второй ледниковый район включает ледники не крупных размеров (до 3 км²) в верховьях рек Ойгаинг и Майдантал, притоков реки Пскем (Западный Тянь-Шань) с высотами до 4500 м.

Сцена третьего района исследований с активными склоновыми процессами (район перевала Камчик, Западный Тянь-Шань) охватывает высоты до 3700 м.

Технология обработки данных включала все этапы работы в модуле SARscape от создания интерферограммы до конвертации разности фаз в абсолютные значения высоты местности и геокодирования [4].

Отличием в обработке тандемных данных такого режима съемки являлось то, что не было необходимости учитывать настройки корегистрации снимков (“Skip for Tandem Bistatic Data”) и проводить калибровку орбиты с помощью наземных опорных точек (процедура Refinement and Re-flattening), поскольку развернутая фаза являлась автоматически откорректированной.

Особое внимание уделялось выбору подходящего адаптивного фильтра для устранения фазового шума на интерферограмме, метода развертки фазы и порога когерентности. В качестве опорной модели рельефа в процессе создания интерферограммы использовалась глобальная ЦМР С-диапазона системы SRTM.

Анализу подвергались разности цифровых моделей рельефа, полученных: одним фильтром и двумя методами развертки фаз, одним методом развертки и двумя фильтрами, разными порогами когерентности, разности с SRTM. При этом оценивалось качество: интерферограммы до фильтрации и после, чтобы исключить потери топографической информации на крутых склонах; изображений развернутой фазы в выбранных районах и ее непрерывность по заданным профилям; значений когерентности фаз по полю снимка; вида продольных и поперечных профилей разности ЦМР. Для устранения ошибок в местах разрыва фазы или ее скачков, возникновение которых характерно в различной степени для любых горных территорий, были предприняты попытки редактирования развернутой фазы или маскирования таких областей, чтобы они не участвовали в дальнейшем процессе. Предполагалось затем использовать различные методы интерполяции с соседних областей, чтобы «залить» образовавшиеся пустоты в ЦМР.

Результаты сильно отличались друг от друга в зависимости от используемых алгоритмов фильтра и развертки фазы и параметров их настройки, поэтому сложно было выбрать один результат в качестве наилучшего. Для района ледника Иньльчек, к примеру, минимальная разность между двумя ЦМР оказалась в случае использования одного метода развертки фазы Region Growing и двух фильтров - Goldstein и Adaptive Window. Наивысшие значения когерентности выявлены на теле ледника, однако окружающие ледник территории имели очень низкие значения когерентности при любом выборе фильтра.

С использованием второй тандемной пары (разница дат съемки составляла 11 дней), были рассмотрены те же алгоритмы обработки для оценки соответствия ЦМР друг другу. Среднее значение разности ЦМР двух пар в области перекрытия изменялось от 12 до 14 м при стандартном отклонении (σ) от 16 до 18 м. Чтобы исключить возможную сдвигку между ними, проводились экспери-

менты по привязке одной ЦМР к другой, однако это не привело к улучшению результатов.

Цифровая модель рельефа верховьев реки Ойгаинг получена с теми же параметрами, чтобы сравнить ее с ЦМР, построенной по данным LOS/PALSAR [4]. Тренд профилей, созданных по разности двух ЦМР, приближался к нулю. Значения когерентности для данных TanDEM-X по всему полю изображения были выше, чем для данных ALOS / PALSAR.

Для сравнения ЦМР с SRTM, данные были предварительно преобразованы в ту же проекцию и с тем же разрешением, что и данные TanDEM-X. Среднее значение их разности по высоте оказалось равным 25 м, $\sigma = 26$ м.

Для анализа сопоставимости ЦМР в области перекрытия с ЦМР второй пары (разность дат съемок составляла 3 зимних месяца), проведены эксперименты с подбором порогов когерентности на этапах развертки фазы и генерации финального продукта. Поскольку использование интерполяционных методов для избавления пустот в ЦМР возможно только для небольших зон, где нет резких морфологических изменений, то для сравнения ЦМР двух пар в области перекрытия использовались одни и те же значения порогов когерентности.

Различие в высотах в области перекрытия возможно вызвано атмосферным эффектом. За период между датами съемок могли произойти изменения, связанные с обильным выпадением твердых осадков, характерным в это время. Также проявлялся эффект “наложения” (layover) и теней, свойственный горным районам. При наличии данных нисходящего витка орбиты на периоды максимальной абляции ледников возможно удастся минимизировать их влияние.

Сравнение построенной ЦМР третьего района исследований с SRTM показало систематическую сдвижку в 19 м ($\sigma=9$ м).

Отметим практически полное отсутствие растительности в районах исследования, лишь в последнем районе встречаются редкие арчевые деревья и кустарники.

Выделив небольшую область и проведя морфологический анализ с расчетом крутизны и экспозиции склонов, высотных контуров, речной сети и водосборов, в которых проводятся специализированные снеголавинные наблюдения, появилась возможность сравнения с такими же расчетами по ЦМР (Торо), построенной ранее по топографической картосхеме [5].

Речная сеть совпадает по всем трем моделям рельефа, что подтверждает отсутствие горизонтальных смещений между ними. Совпадение имеется также между горизонтали SRTM и Торо. Несовпадение с горизонталями TanDEM-X говорит о вертикальном смещении этой ЦМР относительно SRTM и Торо. Совместный анализ значений разности между ЦМР и SRTM и грида экспозиции выявил, что наибольшие значения разности попадают на склоны западной экспозиции, минимальные значения в пределах точности (от -10 до +10 м) на склоны восточной экспозиции. Поскольку съемка проходила с нисходящего витка орбиты и правосторонним обзором, искажения, свойственные радиолокацион-

ной съемке горных территорий, минимально проявлялись на склонах восточной экспозиции.

Аналогично, ЦМР второго района исследований минимально смещена на склонах западной экспозиции при восходящем витке орбиты, однако наличие неопределенностей в местах с низкой когерентностью не позволяет дать более точную оценку. В дальнейшем предполагается использовать методику [6] для устранения смещений между ЦМР в задачах определения изменения высоты ледников с 2000 г.

Благодарности

Автор выражает благодарность Германской службе академических обменов DAAD за предоставленную возможность стажировки в Научно-исследовательском Центре по наукам о Земле (GFZ, г. Потсдам, Германия) и сотрудникам секции ДЗЗ отдела ДЗЗ и Геодезии GFZ за предоставленные данные, программное обеспечение и полезные советы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семакова Э. Р., Семаков Д. Г. Определение гляциальных объектов в высокогорных районах Республики Узбекистан // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 35–40.

2. Отступление ледников - фактор возникновения гляциальных селей / И. Г. Томашевская, А. А. Тихановская, М. А. Петров // Криосфера Земли. – 2013.–Т. XVII. – Вып. 4. – С. 83-86.

3. TanDEM-X Science Plan, https://tandemx-science.dlr.de/pdfs/TD-GS-PL-0069-TanDEM-X-Science-Plan_V1_300610.pdf (accessed on 6 December 2010).

4. Построение ЦМР по результатам интерферометрической обработки радиолокационных ALOS PALSAR / Ю. Б. Баранов, Ю. И. Кантемиров, Е. В. Киселевский, М. А. Болсуновский // Геопрофи. – 2008. – Вып. 2. – С. 19-23.

5. Semakova E. ALOS/PALSAR applications in glaciological studies / Report on the “Microwave Remote Sensing and its Applications” Course, 5-30 May, 2014, IIRS, Dehradun, India.

6. Индикационные показатели климата и рельефа, определяющие снеголавинный режим района перевала Камчик / Э. Р. Семакова, С. В. Карандаев, Ю. А. Тарасов // Труды НИГМИ. – 2010. – Вып. 16(261). – С. 96-102.

7. Nuth C., Kaab A. Co-registration and bias corrections of satellite elevation data sets for quantifying glacier thickness change // The Cryosphere. – 2011. - V. 5, p. 271–290.

© Э. Р. Семакова, 2015