

Оценка точности цифровых моделей рельефа, применяемых для территориальных исследований*

А.С.Коротин, Е.В.Попов

josefknecht1943@gmail.com|popov@sandy.ru

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г. Н.Новгород, Россия

В данной статье проведено исследование, направленное на выявления возможностей применения матриц высот Aster Global DEM и SRTM DEM для решения аналитических задач. Представлены результаты оценки точности полученных данных путём их сравнения с высотами локального участка местности.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, дистанционное зондирование Земли, Aster GDEM, SRTM DEM, государственная геодезическая сеть.

Evaluation of precision of digital elevation models used for territorial studies*

A.S.Korotin, E.V.Popov

The Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia

This paper is dedicated to the research aimed at the identification of opportunities to use the Aster Global DEM and STRM DEM matrices of heights for analytical problems solution. The evaluation of the data precision obtained by comparing them with the heights of the parcel of land are presented here.

Keywords: digital elevation model, remote sensing of the Earth, Aster GDEM, SRTM DEM, geodetic control of the state

Введение

Исследования территорий, связанные с изучением объектов и явлений природы, требуют наличия качественных геометрических моделей рельефа местности, сформированных на базе моделей матриц высот. На сегодняшний день лучшей глобальной подобной моделью высокого пространственного разрешения считается Aster Global DEM, представленная для свободного использования в 2011 году. В данной статье проведено исследование, направленное на выявления возможностей применения общедоступных матриц высот Aster Global DEM и SRTM DEM для решения аналитических задач путём. Представлены результаты оценки точности полученных данных путём их сравнения с высотами локального участка местности в виде сети государственных геодезических пунктов на примере бассейна р. Кудьмы Нижегородской области. Комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений ее состояния под воздействием природных и антропогенных факторов предполагает осуществление систематического или непрерывного сбора информации о параметрах окружающей среды для определения тенденций их изменения. Эти наблюдения можно проводить с помощью сети стационарных пунктов, однако состояние природной среды в отдельных точках или профилях не всегда отражают пространственные изменения. По этой причине ис-

пользование данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) является необходимым условием проведения регулярных наблюдений за современным состоянием экосистем. Сравнение их с результатами съёмок, выполненных на протяжении достаточно продолжительного времени, позволяет точно зафиксировать произошедшие изменения. При этом зачастую критическое значение при решении задач, связанных с анализом результатов наблюдений, имеет точность используемой модели рельефа местности.

Современные спутниковые технологии позволяют дистанционно получать информацию и преобразовывать ее в разнообразные представления, в частности, во-первых, в DEM, а во-вторых – представлять в виде различных ЦМР (Цифровых Моделей Рельефа).

С целью оценки точности формируемых моделей в настоящей статье произведён анализ данных спутниковой радиолокационной съёмки Земли, размещённые в открытом доступе (ASTER Global Digital Elevation Map, Aster GDEM v.2). Результаты съёмки предоставляются NASA (the National Aeronautics and Space Administration of the United States) и METI (The Ministry of Economy, Trade, and Industry of Japan) с 17 октября 2011 года в нескольких обменных форматах. В сравнение с этими данными сопоставлялись материалы, опубликованные NASA в 2003 году «в виде цифровой модели рельефа (Digital elevation model, DEM) с пространственным разрешением от 30 до 90 метров. В открытом доступе были опубликованы матрицы высот с шагом 90×90 метров на всю территорию

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 15-07-01962 и опубликована при финансовой поддержке РФФИ, грант 15-07-20347.

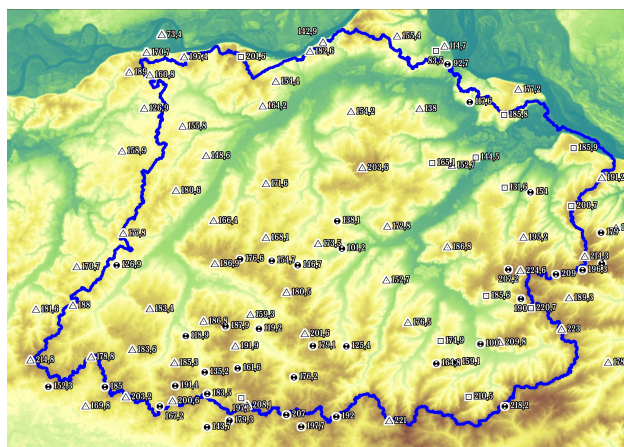


Рис. 1: Размещение сети пунктов ГГС на исследуемом участке бассейна.

Земной поверхности в виде файлов ARC GRID, а также ARC ASCII и в формате Geotiff» [1, с.30–31]. Для оценки точности цифровых моделей в качестве эталонных значений высот приняты высоты пунктов государственной геодезической сети (ГГС), расположенные в пределах рассматриваемой территории. В качестве примера исследования выбран локальный участок местности – бассейн реки Кудьмы Нижегородской области, на который имеются необходимые для анализа сведения, а именно: матрицы Aster GDEM и SRTM DEM, а также сеть пунктов ГГС [2].

Построение модели

Построение трёхмерной модели рельефа местности по матрице высот не требует длительной предварительной подготовки материалов. В простом описании для математико-картографического моделирования поверхности повторяющей формы рельефа нужен набор точечных элементов, содержащих информацию о пространственном положении $\{X, Y, Z\}$ объекта; в отдельных случаях (использование фотограмметрических методов построения) исходными данными может служить пара снимков, образующих стереопару и т.д. [3].

Рассматриваемые матрицы высот Aster GDEM и SRTM DEM представляют собой регулярную сеть (GRID) узлы которой имеют информацию о пространственном положении. По такой сети достаточно просто построить поверхность используя триангуляцию, т.к. узлы расположены в регулярной последовательности. Для оценки точности высотных данных DEM использовалась сеть пунктов государственной геодезической сети (всего 86 пунктов), отметки которых (H_{GGS}) определены в Балтийской системе высот 1977 года (см. Рисунок 1).

Анализ модели

С использованием средств геоинформационной системы MapInfo Professional [4], и приложения 3Dview [5] были получены две ЦМР (по данным SRTM и Aster GDEM). В качестве основного слоя с данными была выбрана таблица, содержащая пространственную информацию о пунктах ГГС. Данная таблица последовательно наполнялась атрибутами (высотные отметки), извлекаемыми с поверхностей ЦМР. При извлечении данных использовался интерполяционный метод на основе триангуляции:

$$h_k = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i}{D_{i-k}} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_{i-k}} \right)}$$

где участвуют данные высот вершин треугольника (h_i) и дистанции от пункта ГГС до вершин треугольников (D_{i-k}) моделей Aster GDEM и SRTM DEM.

При этом, из-за малой протяжённости исследуемого объекта, перепроецирование на поверхность геоида не проводилось. При подобном переопределении отметок пунктов ГГС, если учитывать, что ЦМР являются приближенными к действительности, расхождения в данных должны быть минимальны, однако интерполяция показала крупные отклонения значений. Затем были определены расхождения (h_A и h_S) вновь полученных интерполяционных отметок пунктов ГГС с действительными:

$$\begin{aligned} h_A &= H_{GGS} - H_{ASGDEM} \\ h_S &= H_{GGS} - H_{SRTM} \end{aligned}$$

По полученным отклонениям были построены поверхности искажений (см. Рисунок 2). Построение поверхностей проводилось в программе «VolGA», разработанной в том числе, для решения пространственных задач и исследования трёхмерных ЦМР.

Анализ показал, что модель SRTM имеет отклонения от ГГС в пределах от –6 до +9 метров, при этом прослеживается зависимость положительных и отрицательных отклонений от покрытия территории древесно-кустарниковой растительностью, а именно: в лесных массивах расположен основной процент отрицательных отклонений, что свидетельствует о некачественной корректировке DEM за высоту древесного покрова. В то же время, на открытых участках местности DEM имеет положительные отклонения в 3 – 4 метра (см. Таблицу 1).

При сравнении Aster GDEM выявить закономерность искажений более затруднительно, т.к. имеется крупный разброс в значениях отклонений (от –16 до +21 м), однако, так же, как и в SRTM основной процент отрицательных отклонений расположен в пределах покрытых древесно-кустарниковой

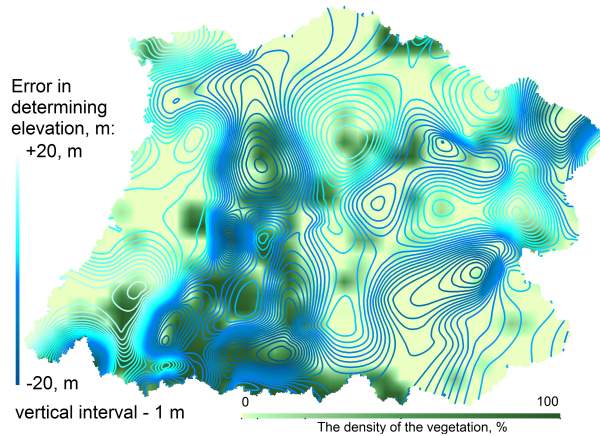
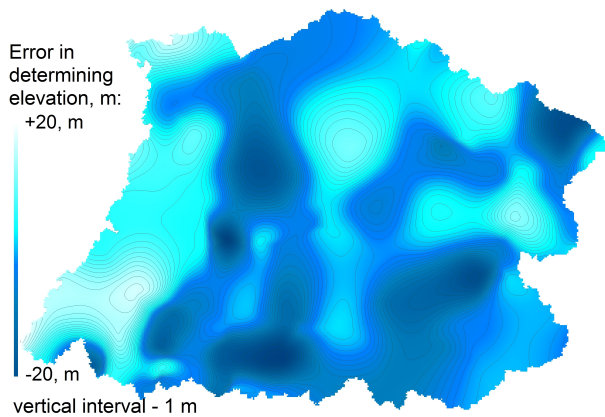
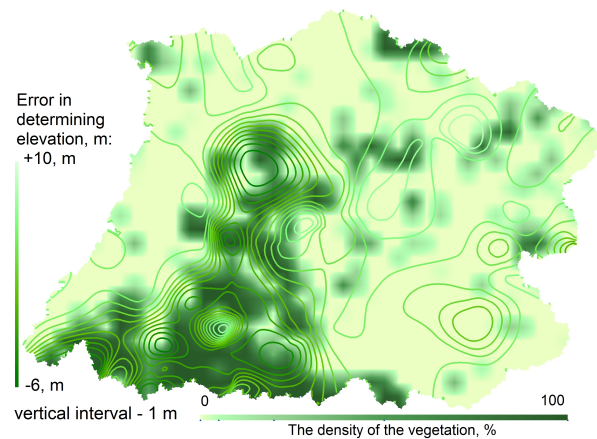
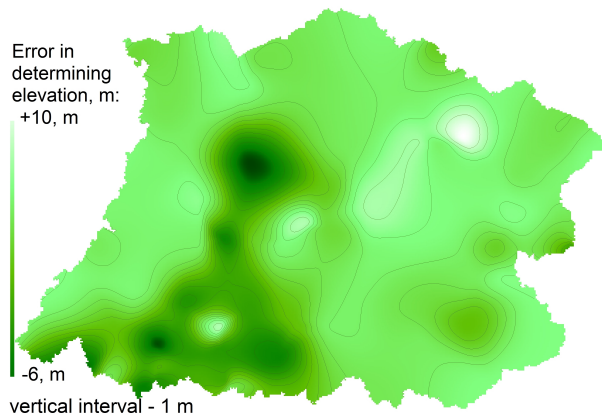


Рис. 2: Поверхности отклонений отметок DEM (SRTM – верхний и Aster GDEM – нижний) от отметок пунктов ГГС.

Рис. 3: Совмещение карты лесистости бассейна и DEM (SRTM – верхний и Aster GDEM – нижний).

Таблица 1: Процентная ведомость отклонений от отметок DEM от отметок пунктов ГГС.

| Интервал, м | DEM, % от общей площади | |
|---------------|-------------------------|------------------|
| | SRTM | Aster Global DEM |
| более –15 | – | 0,2 |
| от –15 до –10 | – | 4,4 |
| от –10 до –5 | 0,8 | 12,7 |
| от –5 до 0 | 16,4 | 25,3 |
| от 0 до +5 | 74,0 | 31,0 |
| от +5 до +10 | 8,8 | 17,5 |
| от +10 до +15 | – | 6,5 |
| от +15 до +20 | – | 2,4 |
| более +20 | – | <0,1 |

растительностью участков, а положительных отклонений – в пределах открытых участков местности (см. Таблицу 1).

На схеме (см. Рисунок 3) показано наложение на карту лесистости бассейна (из «ГИС-Кудьма» [2]) полученных матриц отклонений.

Дополнительно для контроля вычислений проводилась калькуляция поверхностей DEM, путём вычитания одной из другой (см. Рисунок 4).

Качество DEM можно оценить путем сравнения

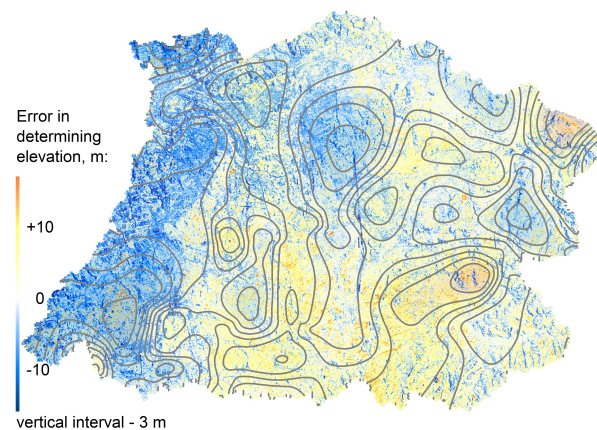


Рис. 4: Калькуляция поверхностей Aster GDEM-SRTM.

полученных результатов с нормативным значением средней квадратической погрешности определения высотного положения точки ($\frac{1}{3}h_c$) на топографической карте. Из сравнения (см. Рисунок 5) видно, что, используя данные матрицы SRTM можно получить топографическую высотную модель рельефа местности с высотой сечения рельефа 10–20 метров (СКП от 3,3 до 6,7 м, что составляет бо-

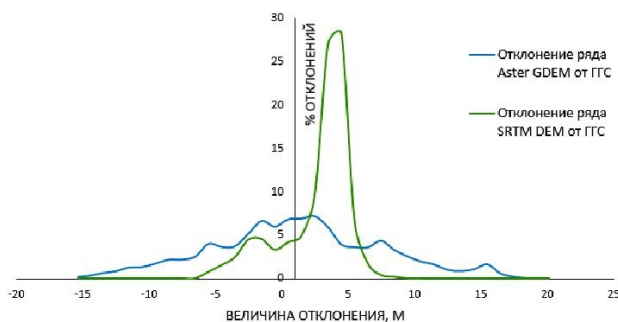


Рис. 5: График суммы процента отклонений ряда отметок.

Таблица 2: Процентная ведомость отклонений отметок DEM от отметок пунктов ГГС.

| Интервал, м | DEM, % от общей площади | |
|---------------|-------------------------|------------------|
| | SRTM | Aster Global DEM |
| более -16 | — | <0,1 |
| от -16 до -10 | <0,1 | 0,8 |
| от -10 до -4 | 3,1 | 3,4 |
| от -4 до 0 | 38,5 | 43,4 |
| от 0 до +4 | 54,5 | 48,8 |
| от +4 до +10 | 3,3 | 2,5 |
| более +100 | — | 0,6 |

лее 90 % вех данных). Данные Aster GDEM могут быть использованы для составления цифровой модели рельефа в виде горизонталей с высотой сечения рельефа 25 метров и более.

Для приведения имеющихся матриц к Балтийской систем высот (БС-1977), производилось суммирование каждой DEM со своей матрицей отклонений. Результатом стали новые DEM частично приведённые к БС-1977. Затем новые матрицы проверялись на качество отметок, по принципу, описанному выше, в результате чего получались новые матрицы отклонений (см. Рисунок 6).

В сравнении с первоначальным («сырым») вариантом откорректированные поверхности имеют более высокую степень точности и основной объем отклонений (около 90 %) уже разбросан в пределах ± 3 м (см. Таблицу 2).

По данным таблицы был построен график (см. Рисунок 7) разброса суммарного процента отклонений новых рядов отметок. Используя данные новых DEM можно получить топографическую высотную модель рельефа местности с высотой сечения рельефа в 5 метров (СКП 1,7 м, что составляет более 85 % вех данных SRTM и Aster GDEM).

Заключение

Особенностью Aster GDEM является ее высокое пространственное разрешение (25×25 м). Распределение погрешностей по закону Гаусса в сравнении с экспозиционным распределением склонов в

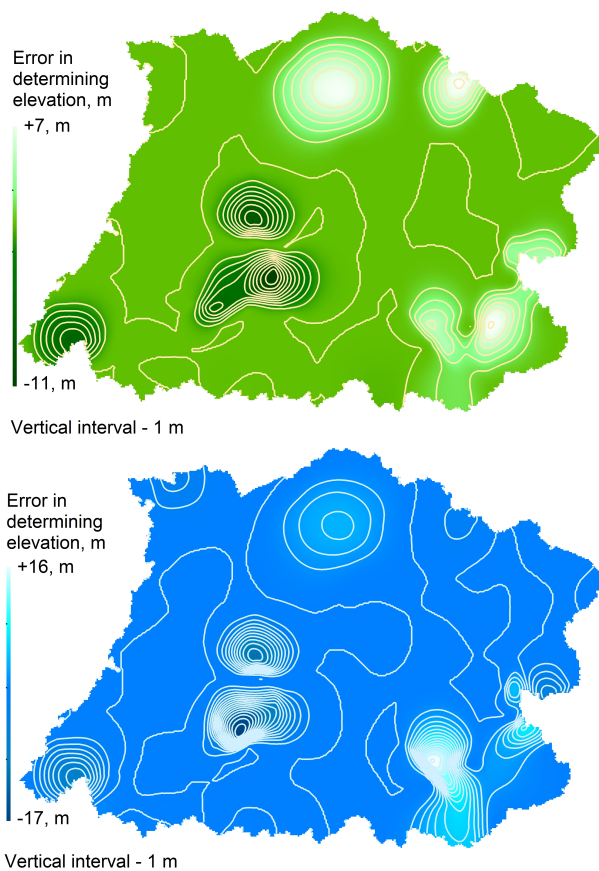


Рис. 6: Поверхности отклонений отметок DEM (SRTM – верхний и Aster GDEM – нижний) от отметок пунктов ГГС.

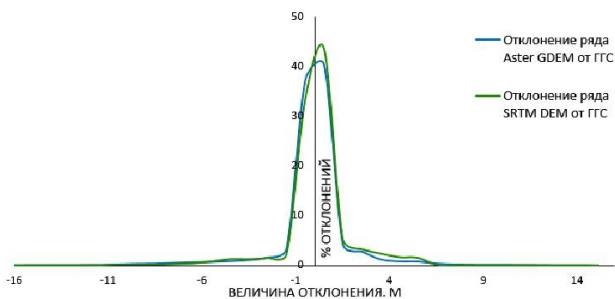


Рис. 7: График суммы процента отклонений ряда «новых» отметок.

бассейне говорит о смещении плановой привязки модели (Y-направление). На рассмотренном участке, коэффициент вытянутости территории которого близок к 1, радиус кривизны Земли достаточно мал, а форма геоида не имеет резких перепадов и крупных отклонений, в связи с чем нет необходимости проводить перепроецирование на эллипсоид, геоид или квазигеоид. Однако, приведение системы высот DEM было выполнено через поверхности отклонений. В результате были получены две равноценные в высотном плане DEM в Балтийской системе высот (см. Рисунок 8), обеспечивающих точ-

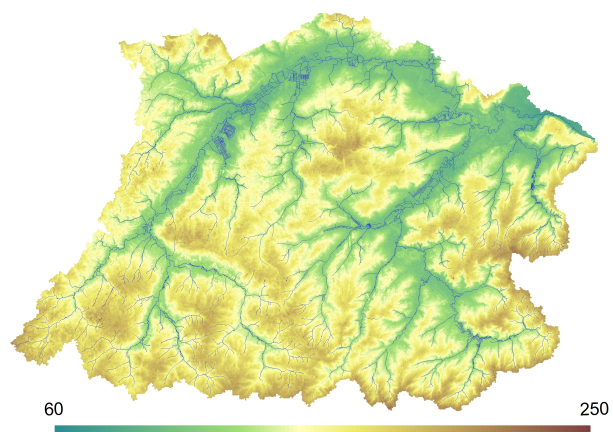


Рис. 8: Цветная цифровая модель рельефа бассейна реки Кудьма Нижегородской области в Балтийской системе высот 1977 года.

ность высотной модели рельефа местности с высотой сечения рельефа в 5 метров. Построения выровненной DEM выполнялись в программе VolGA, специально разработанной для целей трёхмерного моделирования рельефа местности, его визуализации, а также решения аналитических геоинформационных задач.

В связи с тем, что данные ГГС имели не постоянный коэффициент покрытия территорий (имелись «пробелы») в результирующих матрицах возникли сильные локальные всплески ошибок. Повысить качество перевычисления отметок матриц может использование данных более плотного и постоянного покрытия территории пунктами ГГС.

Использование подобных матриц может заменить традиционные методы работ в целом ряде гидрологических, геоморфологических, экологических и т.д. исследований. При этом будет обеспечена высокая точность исходных данных.

Выровненные DEM использовались при определении современной гидрографической сети бассейна реки Кудьма Нижегородской области и были доложены на 15-м Международном научно-промышленном форуме «Великие реки – 2015».

Литература

- [1] Коротин А.С., Попов Е.В. Восстановление трехмерных моделей рельефа местности на основе материалов дистанционного зондирования Земли // Приволжский научный журнал. – 2013. №2(30). – С.29-34.
- [2] Коротин А.С., Никольский Е.К. Проект геоинформационной системы бассейна реки Кудьмы // 15-й Международный научно-промышленный форум «Великие реки'2013» [труды конгресса], Н. Новгород: ННГАСУ, 2013. – С.406-408.
- [3] Alias Abdul-Rahman, Marakot Pilouk Spatial Data Modelling for 3D GIS. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – 289с.
- [4] MapInfo Professional: руководство пользователя // пер. с англ. фирмы ООО «ЭСТИМАП», MapInfo Corporation. New York, 2008. – 662с.
- [5] 3Dview: руководство пользователя // Москва: ООО «ЭСТИМАП», 2000. – 31с.