

# Создание цифровой высотной модели с использованием открытых данных дистанционного зондирования Земли\*

А.С. Коротин, Е.В. Попов

josefknecht1943@gmail.com | popov@sandy.ru

Россия, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

*В данной статье проведено исследование, направленное на составление цифровых высотных моделей с применением открытого программного обеспечения и открытых данных дистанционного зондирования Земли. Представлены варианты корректуры высотной модели для её приведения к модели рельефа местности.*

**Ключевые слова:** цифровая модель рельефа, цифровая высотная модель, данные дистанционного зондирования Земли, открытые данные

## Creating a digital elevation model using public data to remote sensing of the Earth\*

A.S. Korotin, E.V. Popov

The Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU)

Nizhny Novgorod, Russia

*This paper is dedicated to the research aimed at drawing up of the digital elevation model with the use of open source software and open data of remote sensing of the Earth. Variants proofing elevation model for her to bring relief to the terrain model.*

**Keywords:** digital elevation model, digital elevation model, data of remote sensing, open data

### 1. Введение

С каждым годом все большее внимание уделяется использованию дистанционных методов для территориальных исследований. Появлением открытого доступа к части материалов дистанционного зондирования Земли позволило независимо решать различного рода задачи. Одной из таких задач стало моделирование земной поверхности для выявления геоморфологических, морфометрических, рельефообразующих и иных признаков для целей планирования и прогнозирования развития территорий.

Цель: составление цифровой высотной модели (DEM) максимально приближенной к действительному рельефу местности.

Главными задачами стали не столько изучение особенности создания DEM, сколько использование открытых (бесплатных) данных, работа с ними и возможности применения в процессе составления высотной основы для бассейновых геоинформационных систем (ГИС), а также достижение максимального подобия цифровой модели рельефа (ЦМР).

Для решения задач использовались как эмпирические (эксперимент, измерение и наблюдение), так и теоретические (теория, классификация и абстрагирование) научные методы с совместным использованием проведения аналогий и моделирования.

### 2. Исходные данные для проектирования

Говоря о доступности данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) имеется в виду, в первую очередь, наличие в сети Интернет матриц высот (см. Рисунок 1), полученных с использованием радиолокационных съёмок. Наиболее распространёнными матрицами являются ASTER Global Digital Elevation Map (Aster GDEM v.2) и Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Результаты съёмки предоставляются американской научно-исследовательской правительственной организацией подведомственной министерству внутренних дел – геологическая служба США (United States Geological Survey, USGS) [1].

Для целей проектирования поверхностей использовалось бесплатное программное геоинформационное обеспечение с открытым кодом – Quantum GIS (QGIS) и встроенные модули по работе с ЦМР.

Перед началом работ все данные приводились к единой системе координат и зональной картографической проекции – универсальной поперечной проекции Меркатора (UTM) для северного полушария 38 зоны.

### 3. Вопросы оценки качества

При графических аналитических исследованиях земной поверхности, её удобно представлять в виде двумерной растровой матрицы, в которой каждый элемент несёт в себе определённую информацию (см. Рисунок 2). Кроме того, при организации

Работа опубликована по гранту РФФИ №16-07-20482.



Рис. 1: Пример участка земной поверхности с чёрно- белой отмывкой по высоте матрицы высот.

групп таких элементов, создаются более сложные носители информации в виде мозаик полигональных областей. В простом случае каждая ячейка имеет одно определённое состояние или значение, в зависимости от дискретного или непрерывного пространства признаков. Более сложные случаи представляют собой матрицы с многомерными элементами. При этом местоположение, конфигурация и размеры исследуемых элементов земной поверхности, моделируются с учётом их взаимного расположения при схожих значениях или состояниях. Мозаичные модели в качестве составных частей могут включать в себя обобщённые и распределённые модели в качестве основных частей и при этом использовать любые из дифференциальных или матричных уравнений [2].

В случае непрерывного времени основное дифференциальное уравнение может быть представлено в виде:

$$\frac{dX}{dt} = f(X)$$

$X$  – элементарная переменная земной поверхности,  $f(X)$  – функция описывающая процесс на земной поверхности,  $t$  – время. В случае дискретного времени основное разностное уравнение может быть представлено в виде:

$$X_{t+1} = f(X_t)$$

$X$  – элементарная переменная земной поверхности,  $f(X_t)$  – функция описывающая процесс на земной поверхности,  $t, (t + 1)$  – дискреты времени.

Необходимость дополнительного выделения класса ячеек, принадлежащих группе древесной растительности возникла в связи с высокой корреляцией значений максимальных погрешностей ДЕМ в лесной зоне (см. [4]). В связи с этим предлагается

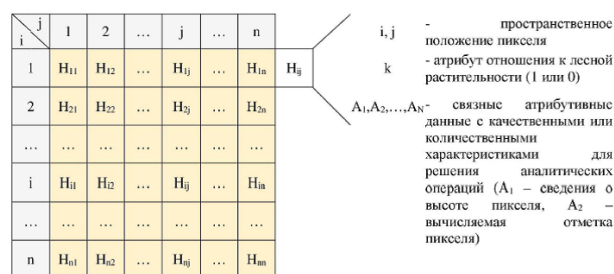


Рис. 2: Пример двумерной матрицы высот с описанием дополнительных атрибутивных данных.

вносить поправки с использованием смежных значений с введением весовой функции.

Каждому пикселю  $H_{i,j}$  с позицией  $(i, j)$  и с некоторой окрестностью  $D = \{H = i, j : 0 \leq i, j \leq D_{nn}\}$  соответствует система соседних точек  $\zeta = \{\zeta_H, d \in D\}$ , где  $\zeta_H$  – множество соседних пикселей для пикселя  $H_{i,j}$ , причём  $\zeta_H \subset D, H \notin \zeta_H$  [3]. При таких параметрах с минимальной окрестностью ( $D = 1$ ) общее среднее весовое значение «высоты» пикселя можно представить, как:

$$A_{2(i,j;k=1)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}(A_{1_{i\pm 1;j\pm 1}} + A_{1_{i\pm 1;j\mp 1}}) + (A_{1_{i;j\pm 1}} + A_{1_{i\pm 1;j}})}{4 \times (\frac{1}{\sqrt{2}} + 1)}$$

$A_{2(i,j;k=1)}$  – общее среднее весовое значение «высоты» пикселя при всех соседних пикселях (т.е. окрестностью  $D = 1$ ) с  $k = 0$ . При условии, что вес «целого» смежного пикселя  $p_{1(i,j)} = 1$ , а диагонального  $p_{2(i,j)} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ . Вес смежного пикселя в окрестности обратно пропорционален евклидовому расстоянию между ними и вычисляется по теореме Пифагора:

$$p_{n_{i,j}} = \sqrt{\Delta i^2 + \Delta j^2}$$

При подобном распространении веса на всём окружении пикселя, величины весов каждого последующего соседнего пикселя при приближении к краю окрестности будут стремиться к 0 (см. Рисунок 3). При этом пиксели, принадлежащие группе древесной растительности, не входят в обработку до момента их корректуры.

При этом для единичной окрестности распределение будет выглядеть следующим образом:

При рассмотрении более общих условий и не использовании переборных множества пикселей, с достижением близкого результата можно использовать усреднённые величины значений буферных зон, выстроенных вокруг лесных массивов. Для определения средней поправки (усреднённая высота деревьев) в Z-отметку участка территории, покрытого лесом, определяется разность средней отметки участка леса и средней отметки участка буферной зоны вокруг него (см. Рисунок 5).

Ниже показан участок исходной ДЕМ с обозначением границы лесной растительности. Для трёх-

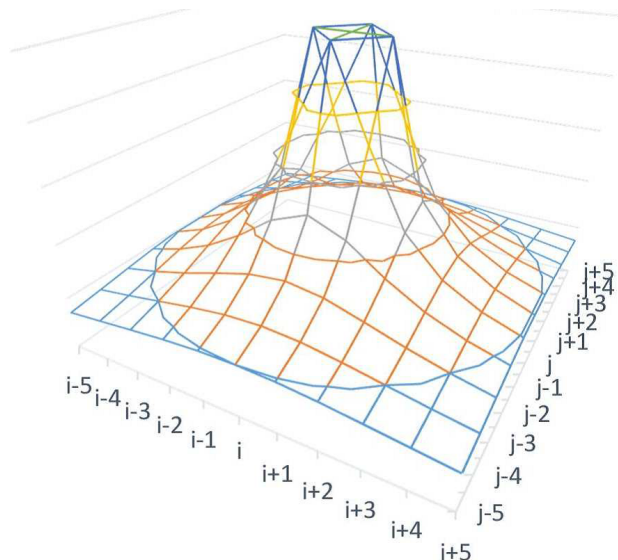


Рис. 3: График распределения весового влияния пикселя на значение весовой характеристики искомого.

$\sqrt{A_{1(i\pm 1; j\pm 1)}} \\ p_{2(i; j)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ k = 0$	$A_{1(i\pm 1; j)} \\ p_{1(i; j)} = 1 \\ k = 0$	$A_{1(i\pm 1; j\mp 1)} \\ p_{2(i; j)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ k = 0$
$A_{1(i; j\pm 1)} \\ p_{1(i; j)} = 1 \\ k = 0$	$A_{2(i; j; k=1)} \\ k = 1$	$A_{1(i; j\pm 1)} \\ p_{1(i; j)} = 1 \\ k = 0$
$A_{1(i\pm 1; j\mp 1)} \\ p_{2(i; j)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ k = 0$	$A_{1(i\pm 1; j)} \\ p_{1(i; j)} = 1 \\ k = 0$	$A_{1(i\pm 1; j\pm 1)} \\ p_{2(i; j)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ k = 0$

Рис. 4: График распределения весового влияния пикселя на значение весовой характеристики искомого.

мерной визуализации исходных (см. Рисунок 7) и преобразованных данных использовалась программа VolGA [5].

Поверхность для корректуры исходной DEM с информацией о высоте древесной растительности приведена на рисунке 8. После определения корректурной поверхности было выполнено сложение исходной DEM и поверхности обратной корректирующей. После получения результирующей DEM (см. Рисунок 9) и её визуализации (см. Рисунок

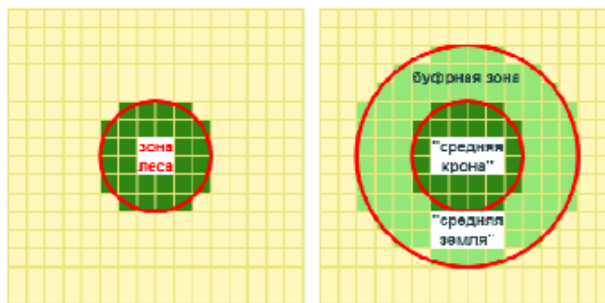


Рис. 5: График распределения весового влияния пикселя на значение весовой.

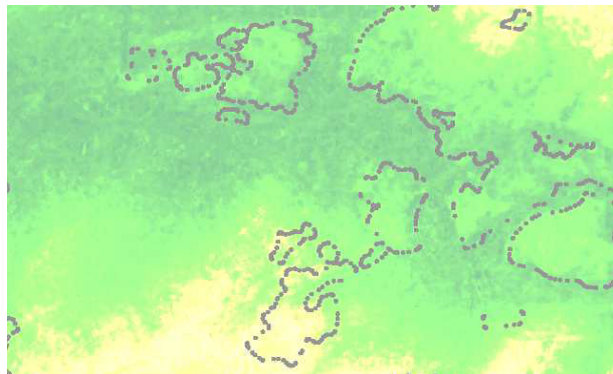


Рис. 6: Исходная DEM с цветовой отмывкой.

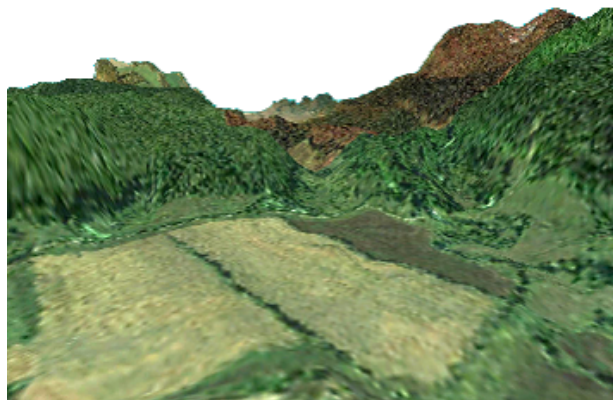


Рис. 7: Трёхмерная визуализация исходной DEM с драпировкой космическим снимком.

10), была проведена операция оценки качества полученных результатов по методу, описанному в [4].

Оценка точности результирующей DEM выполнялась в программном обеспечении QGIS [6] с построением гистограммы отклонений (см. Рисунок 11). Результаты показали, что более 90% всех отклонений находятся в пределах 5 метров.

#### 4. Заключение

Приведённый способ «редактирования» высот DEM через поверхности отклонений (в пределах территории покрытых лесной растительностью), позволяет привести модель к Балтийской системе высот и обеспечить точность до 5 метров.



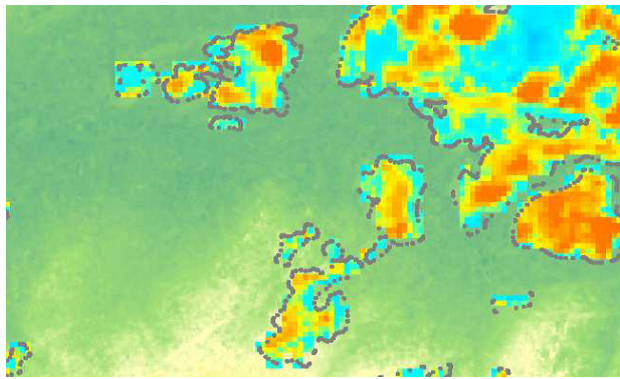


Рис. 8: Поверхность для корректуры исходной DEM с цветовой отмывкой.

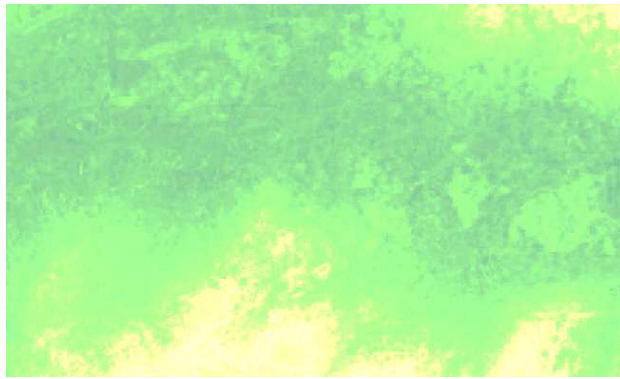


Рис. 9: Результирующая DEM с цветовой отмывкой.

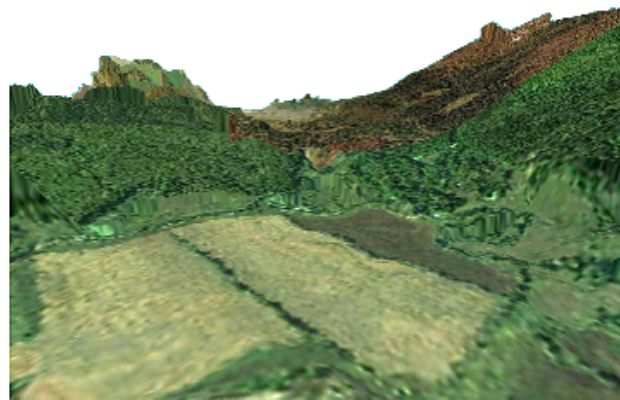


Рис. 10: Трёхмерная визуализация результирующей DEM с драпировкой космическим снимком.

Построения поверхностей выполнялось в свободной географической информационной системе с открытым кодом - QGIS, доступной любому пользователю сети Интернет, по материалам, открыто выложенным и бесплатно предоставляемым зарубежной службой NASA на своём портале. В связи с ограниченной возможностью трёхмерной визуализации данных в открытом ПО, выровненная DEM в трёхмерном виде строилась в программе VolGA, специально разработанной для целей трёхмерного моде-

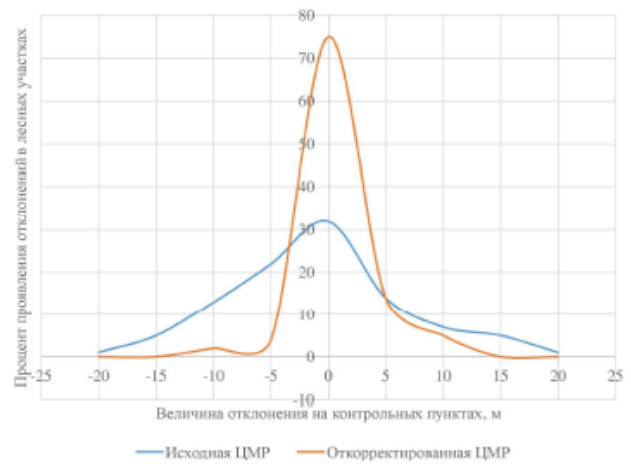


Рис. 11: Поверхность результирующей DEM с цветовой отмывкой.

лирования рельефа местности, его визуализации, а также решения аналитических геоинформационных задач. Использование подобных матриц может заменить традиционные методы работ в целом ряде гидрологических, геоморфологических, экологических и т.д. исследований, причём, с экономической точки зрения, данный метод подготовки DEM выгоден и имеет качественные результаты.

## Литература

- [1] United States of America Geological Survey. Интернет ресурс геологической службы США. [Online] <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>.
- [2] Baker, W.L. A review of models of landscape change. 2, s.l.: SPB Academic Publishing, The Hague, 1989, Landscape Ecology, Vol. 2, с. 111-133.
- [3] Замятин, А. В. и Марков, Н. Г. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. с. 176. ISBN 978-5-9221- 0801-0.
- [4] Коротин, А. С. и Попов, Е. В. Оценка точности цифровых моделей рельефа, применяемых для территориальных исследований. ГРАФИКОН2015. Труды Юбилейной 25-й Международной научной конференции, 2015. с. 102-106.
- [5] Volume Graphics Analyzer (VolGA). Программа для ЭВМ. А.С.Коротин, Е.В.Попов, 2015, рег.№2015660773.
- [6] Quantum GIS : User Guide/QGIS Development Team. – Switzerland, 2013. P. 285.