

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬЕФА ДЛЯ АНАЛИЗА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Иоффе А.И.

Геологический институт РАН, Москва, Россия

e-mail: ai.ioffe39@gmail.com

Рассматривается вопрос об использовании функции распределения высоты местности и градиента выделенных областей поверхности для исследования строения этих областей. Сравнение гистограмм функций распределения различных участков местности позволяет дать численную оценку сходства исследуемых участков.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, функция распределения высоты местности, сравнение гистограмм, численная оценка сходства участков поверхности.

The problem of using the relief elevation and its gradient partition functions for region structure investigation is considered. Comparing the partition functions histograms of different territories one can obtain a numerical estimation of similarity of regions investigated.

Keywords: Digital Elevation Model (DEM), relief elevation partition function, histogram comparison.

Цифровые модели рельефа (ЦМР) предоставляют большие возможности для исследования различных особенностей локального рельефа различных участков земной поверхности. Под ЦМР мы понимаем здесь, как обычно, матрицу значений высот земной поверхности, построенную так, что сами эти значения располагаются по определенному правилу; например, в узлах сетки, географические координаты которой отстоят друг от друга на определенное угловое «расстояние». В данной работе используется ЦМР с «шагом» в 3 угловые секунды и по широте, и по долготе.

Очевидно, что наличие ЦМР позволяет дать количественные характеристики участка земной поверхности, и в качестве одной из предоставляемых возможностей «визуализировать» эти выбранные участки. Несколько примеров: на рис. 1 показан фрагмент карты европейской части России (проекция Меркатора, левая часть рис.), а справа показана

визуализация этого же участка, построенная на основе ЦМР с шагом 24'' (эта модель в свою очередь была рассчитана по модели с шагом 3'').

При создании визуализации нами использовалась равномерная шкала раскраски: весь диапазон высот рассматриваемого района делился на 256 частей, и каждая группа высот, относящаяся к определенному диапазону, получала свой оттенок серого цвета. (Заметим также, что при построении этой части рис. 1 каждому значению высоты в ЦМР соответствует один пиксель экрана, и эти пиксели выкладываются непосредственно друг за другом, при этом картографические пропорции нарушаются).

Рельеф – функция двух переменных, ЦМР – ее численная реализация; соответственно мы можем построить градиент этой функции и визуализировать полученное «поле градиента», при этом можно учесть, что градиент – это вектор, следовательно, можно визуализировать поле его модуля и поле его

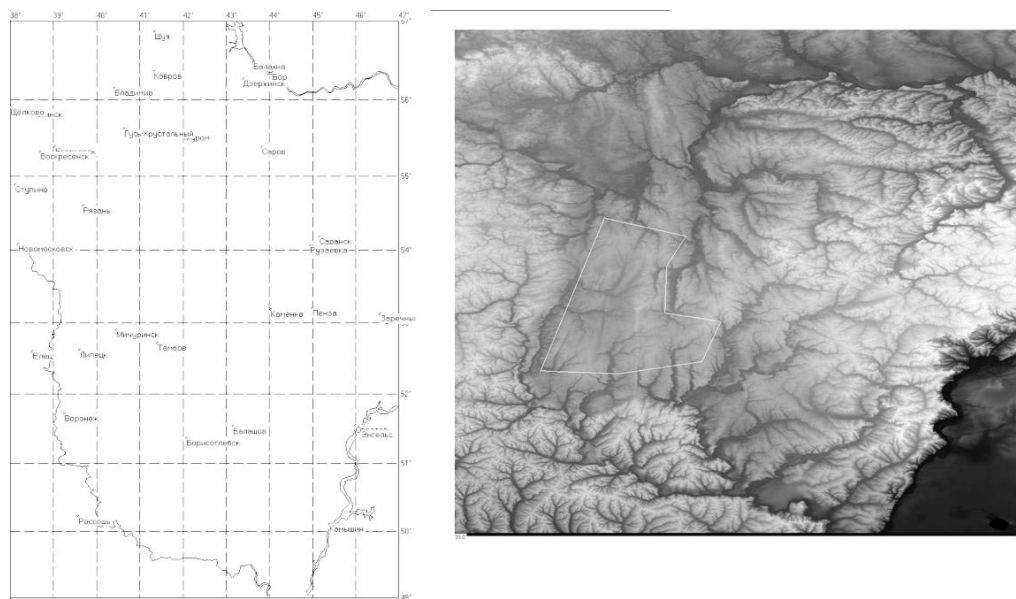


Рис. 1. Фрагмент карты участка европейской части России (слева) и визуализация рельефа этого же участка

угла. На рис. 2 показана визуализация поля модуля градиента того же участка поверхности, что и на рис. 1. Напомним, $grad(f(x,y))=(\partial f/\partial x)\mathbf{i}+(\partial f/\partial y)\mathbf{j}$, где $\mathbf{i}$ и $\mathbf{j}$ орты вдоль направлений x и y соответственно. При расчете частные производные естественным образом заменялись разностными операторами ($\partial f/\partial x \approx (f_{i+1,j} - f_{i,j})/\Delta x$; $\partial f/\partial y \approx (f_{i,j+1} - f_{i,j})/\Delta y$, где $f_{i,j}$ – значение функции, а в данном случае значение высоты – элемента матрицы ЦМР).

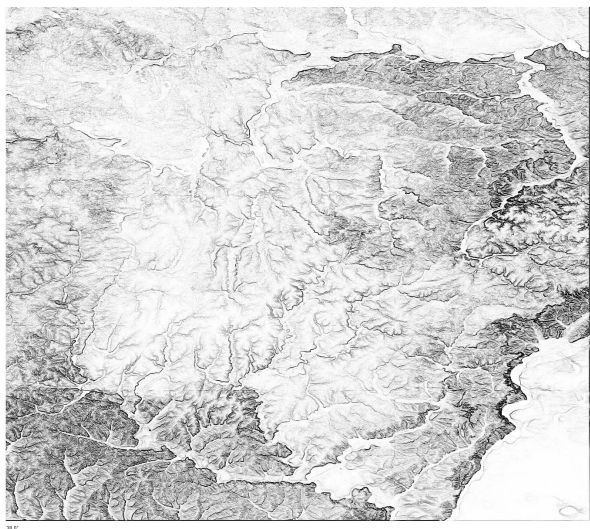


Рис. 2. Поле модуля градиента рельефа участка местности, представленного на рис. 1

На рис. 3 показана визуализация поля угла градиента рельефа того же участка местности, который отображен на рис. 1. Фактически мы имеем перед собой вид на участок поверхности сверху при нахождении Солнца в зените. Модуль и угол градиента рельефа вычисляются стандартным образом.

Наличие ЦМР дает возможность использовать различные числовые характеристики для исследования самого рельефа.

IOR = 0.0688
average = 154
height max= 211
height min= 99
number of points= 92634

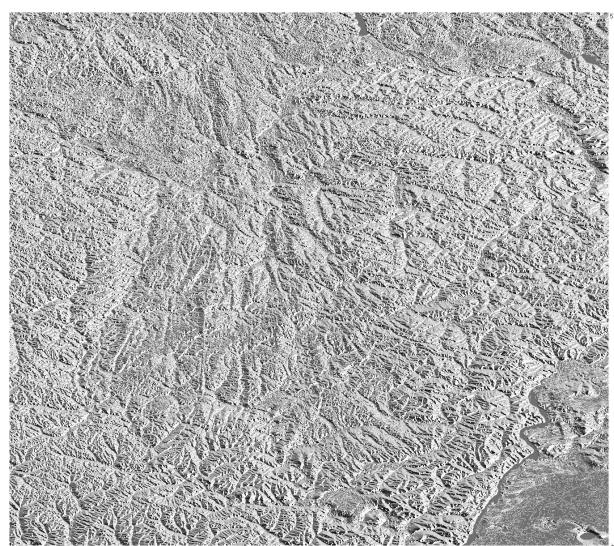
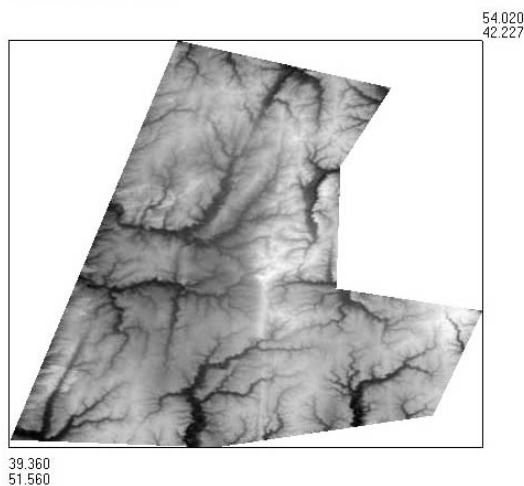


Рис. 3. Поле угла градиента рельефа участка местности, представленного на рис. 1

Прежде всего, мы можем определить функцию распределения высот для исследуемого участка местности. Исследуемый участок можно выделить на общей панораме визуализации и затем рассчитывать для него интересующие параметры. На рис. 1 показан такой выделенный участок (многоугольник с границей белого цвета); на рис. 4 показан отдельно этот выделенный участок вместе с функцией распределения высот на данном участке. Для удобства функция распределения представлена в безразмерном виде: каждое значение высоты поделено на амплитуду значений высот в исследуемом участке местности, соответственно весь диапазон высот для заданного участка меняется от 0 до 1. (Реальная минимальная высота на выделенном участке равна 99 м, максимальная – 211, расчет проводился по 92634 значениям высот. На этом рис. также приведены координаты прямоугольника, описывающего

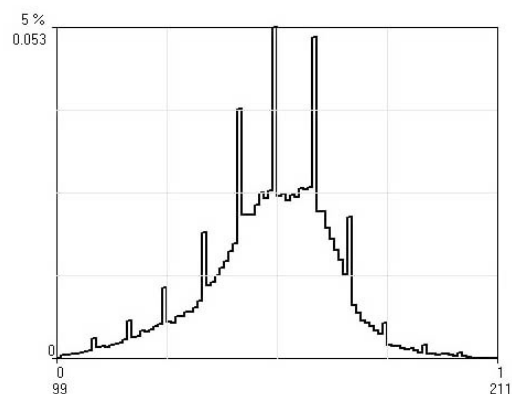


Рис. 4. Участок местности, выделенный на рис. 1 (слева) и функция распределения высот на этом участке

выделенный участок.)

Значения высот в ЦМР – это целые числа, а сама функция распределения естественным образом представляет собой гистограмму; для рис. 4 при построении гистограммы функций распределения число столбцов гистограммы равно 100.

Для большей наглядности обратимся к более подробной ЦМР, чем та, которая использовалась при построении рис. 1-3. Это ЦМР с разрешением в 3 угловые сек., которая, собственно, и послужила основой для ЦМР, использованной выше.

На рис. 5 показана визуализация рельефа для участка 40 – 41° E и 52 – 53° N, построенная по модели с разрешением 3 сек. На этом же рис. показан участок, выбранный для более подробного анализа (многоугольник, обведенный белым).

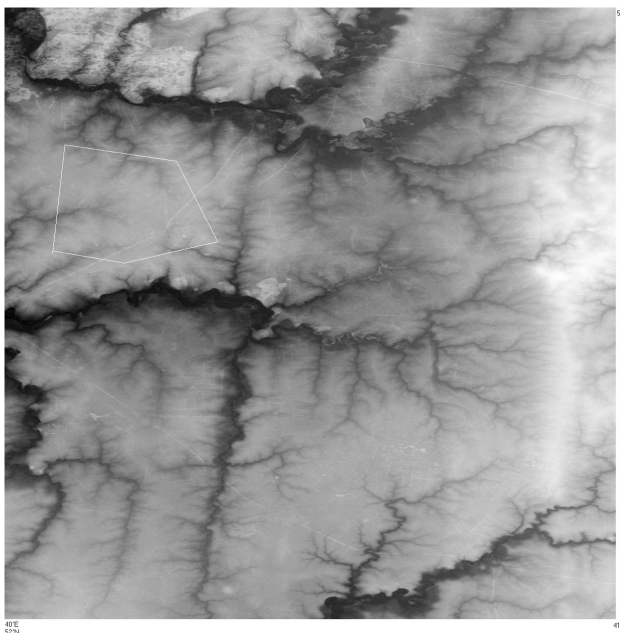


Рис. 5. Визуализация участка местности, построенная с использованием ЦМР с разрешением 3 угловые сек

На рис. 6 показана визуализация рельефа выделенного участка, модуля его градиента и угла его градиента, а также соответствующие функции распределения (сверху вниз); указаны также координаты прямоугольника, описывающего выделенный участок.

Заметим, что функция распределения модуля градиента неявно используется при построении визуализации его поля. Функции распределения модуля градиента различных участков местности в подавляющем большинстве случаев имеют вид такой же, как на рис. 6: (средний график, они обладают длинным «хвостом» со значениями, близкими к 0), поэтому для того, чтобы визуализация поля модуля градиента хорошо отображала строение рельефа, при ее построении используется изменение «псевдоконтрастности» рисунка, т.е. фактически при построении изображения используется лишь

урезанная левая часть соответствующей функции распределения, для которой применяется процедура раскраски, описанная выше. В программе это сводится к созданию инструмента, регулирующего контрастность; так были построены рис. 2 и все последующие рисунки, на которых показана визуализация поля градиента.

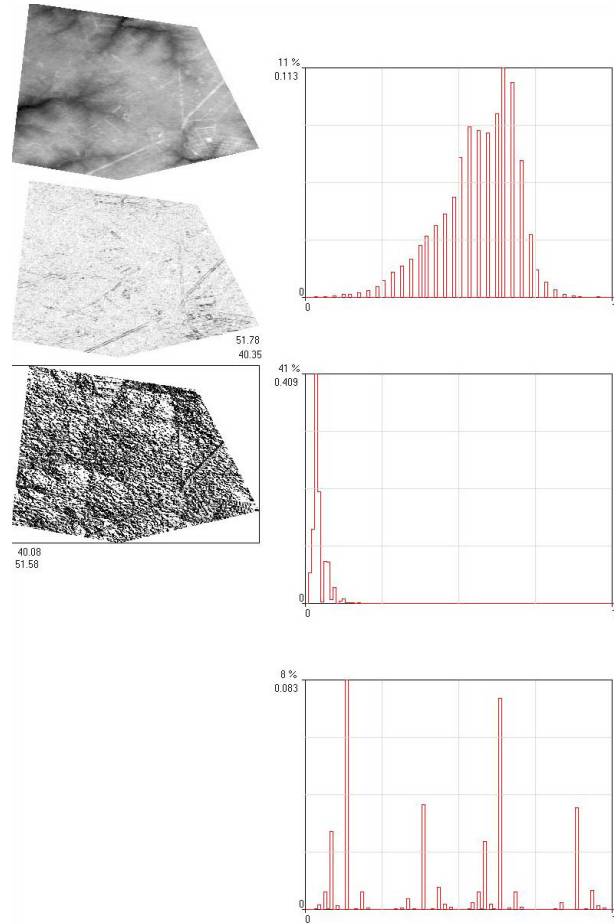


Рис. 6. Полигон, выделенный на участке рис. 5, и функции распределения для него (сверху вниз: высота, модуль градиента и угол градиента)

На рис. 7 показана визуализация рельефа для участка 40 – 41° E и 53 – 54° N, построенная по модели с разрешением в 3 сек. Там же показаны участки, выбранные для более подробного анализа (многоугольники, обведенные белым).

Функции распределения различных параметров рельефа выделенных участков поверхности можно использовать для численного сравнения этих участков.

Для подобного сравнения следует ввести некоторую величину, которая может характеризовать «степень близости» исследуемых гистограмм – функций распределения рассматриваемого параметра (расстояние или мера близости между ними). Таких величин можно предложить несколько [2-6], остановимся на величине, называемой расстоянием Бхаттачария (Bhattacharyya) (BD)

$$BD = \sqrt{1 - \frac{\sum_i \sqrt{H_1(i) * H_2(i)}}{\sqrt{\sum_i H_1(i) * \sum_i H_2(i)}}}$$



Рис. 7. Визуализация участка местности и выделенные на нем полигоны

Здесь $H_1(i)$ и $H_2(i)$ соответственно – значения i -ого столбца 1-ой и 2-ой гистограмм, а суммирование проводится по всем столбцам.

При полном соответствии гистограмм эта величина равна 0, при полном несоответствии она равна 1.

На рис 8 показана визуализация участка поверхности размером $1^\circ \times 1^\circ$ (40 – 41 E, 54 – 55 N); в северной части рисунка выбран весьма однородный по рельефу участок (конечно, в рамках выбранной ЦМР), на котором, в свою очередь, показаны «вложенные друг в друга полигоны» (всего четыре, обозначим их от 1 до 4 от внутреннего к внешнему); в южной части всего участка также показан полигон, включающий часть реки. Полигоны в северной и южной частях района, конечно, сильно отличаются друг от друга.

Автор искренне благодарен М.Д.Хуторскому за внимание к работе и полезные замечания.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-05-00082).

Список литературы

1. См., например http://Index of/srtm/version2_1/SRTM3/
2. Битюков С.И. и др. Метод статистического сравнения гистограмм: Препринт ИФВЭ 2013-21. – Протвино, 2013. – 10 с., 5 рис., 2 табл., библиогр.: 6.
3. А.Кручинин. Сравнение гистограмм <http://record.ru>
4. Rubner Y. A metric for distributions with applications to image databases / Y. Rubner, C. Tomasi; L.J. Guibas // Proceedings ICCV – 1998. - Vol. 1– P. 59–66.
5. Funt B.V. Color constant color indexing / B.V. Funt, G.D. Finlayson // Journal IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence – 1995. – Vol. 17 – P. 522–529.
6. Pass G. Comparing images using joint histograms / G. Pass, R. Zabih // Journal Multimedia systems – special issue on video content based retrieval 1999. – Vol. 7 – P. 234 – 240.

Были проведены расчеты величины BD для сравнения «вложенных» полигонов между собой и сравнения с «южным» полигоном. В данных расчетах количество столбцов гистограмм равнялось 40. В расчетах использовались функции распределения высот полигонов. Приведем результаты расчета величины BD для выбранных «полигонов»:

Полигоны	BD
2 – 3	0.114
2 – 4	0.150
3 – 4	0.184
2 – 5	0.550
3 – 5	0.559

Мы видим, что значения BD незначительно отличаются друг от друга при сравнении между собой трех «вложенных» полигонов и значительно отличаются при сравнении любого из вложенных полигонов с полигоном 5.

Из результатов расчета видно, что величину BD можно использовать для уточнения границ исследуемого района; при этом исследователь должен сам установить то значение BD, при котором можно считать, что выбранные границы будут соответствовать заданному критерию.

Мы не привели данные расчетов с использованием полигона 1 («самого внутреннего»). В некоторых случаях при подобных расчетах следует проявлять осторожность: в использованных нами ЦМР значения высот представляют собой целые числа, и в том случае, когда в числовом выражении амплитуда высот в рассматриваемом полигоне оказывается меньше числа столбцов соответствующей гистограммы функции распределения, в самой гистограмме возникают «провалы» до 0 (см. рис. 7), и это дает некоторые искажения при расчете величины BD.

Заметим, что подобный метод оценки близости районов можно использовать для сравнения участков Земли, различных по отношению к измеряемым на этих участках параметрам.

Все результаты, приведенные в работе, включая рисунки, получены с использованием программного обеспечения, созданного автором.