

Исследование цифровой модели Земли, построенной по данным дистанционного зондирования системой ASTER

А.О. Андреев^{1,2}, Ю.А. Нефедьев¹

¹Казанский федеральный университет, Кремлевская 18, Казань, Россия, 420008

²Казанский государственный энергетический университет, Красносельская 51, Казань, Россия, 420066

Аннотация

При выполнении космических миссий по дистанционному зондированию Земли (ДЗЗ) был получен значительный объем данных о геофизических и морфологических свойствах планеты. Эти данные можно использовать не только для развития эволюционных и космогонических концепций, но и для описания природных явлений, происходящих на Земле. Целью данной работы является исследование цифровой модели Земли GDEM (Global Digital Elevation Model), построенной на основе данных дистанционного зондирования Земли системой ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), установленной на платформе космического аппарата Terra (NASA) с использованием многопараметрического гармонического анализа и методов фрактальной геометрии. Значения фрактальных размерностей получены для географических широт в зависимости от заданных значений долготы. Приведены независимые оценки макроструктуры Земли, которые могут быть использованы для новой интерпретации геофизических процессов. Для некоторых участков поверхности Земли фрактальные измерения оказались хорошо согласованными. Таким образом, сравнительный фрактальный анализ позволил изучить модель земной поверхности, построенной по данным космической миссии, и исследовать ее неоднородную структуру.

Ключевые слова

дистанционное зондирование Земли, многопараметрический гармонический анализ, методы фрактальной геометрии

1. Введение

Цифровая топографическая карта GDEM [1] включает более 1,3 миллиона отдельных парных стерео-изображений ДЗЗ системы ASTER. Анализ структуры и эволюции небесных тел включает в себя различные методы статистического многопараметрического анализа [2]. В настоящее время одним из перспективных направлений исследования структуры является фрактальная геометрия. Основное свойство фрактальных объектов – подобие или при масштабировании. Количественной мерой, характеризующей распространение структуры в пространстве, является фрактальная размерность D . Исследования фрактальной размерности позволяют изучать не только структуру, но и связь между структурой и процессами ее формирования. В этой работе фрактальный анализ был использован для оценки параметров поверхности Земли.

2. Анализ цифровой модели Земли

В процессе исследования была построена электронная база больших сегментов земной поверхности для каждых 45° долготы и определено количество их покрытий небольшими сегментами по широте. После этого для каждой построенной структуры по методу Минковского определялась фрактальная размерность, необходимая для проведения сравнительного анализа. Пусть M – ограниченное множество на плоскости. Определим $N(\sigma)$ как минимальное число покрытий исследуемой области, совокупность которых покрывает M . В общем случае множество M имеет размерность $D = \dim M$, $0 \leq D \leq 2$, если при $\sigma \rightarrow 0$ число

покрытий $N(\sigma)$ растет как R/σ^D , где R есть положительная константа, называемая d -мерой множества M . Для R в общем случае можно записать

$$R = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \sigma^D N(\sigma). \quad (1)$$

В итоге D можно определить согласно следующего выражения [3]:

$$D = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \frac{\ln N(\sigma)}{\ln \frac{1}{\sigma}} = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \frac{\ln \frac{R}{\sigma^D}}{\ln \frac{1}{\sigma}} = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \frac{d \ln \frac{1}{\sigma} + \ln R}{\ln \frac{1}{\sigma}} = \dim M = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \frac{\ln N(\sigma)}{\ln \frac{1}{\sigma}}. \quad (2)$$

На Рисунке 1 показаны значения фрактальных размерностей модели поверхности Земли на разных географических широтах и долготах. По оси Z отложены фрактальные размерности D , по оси X и Y соответственно географические широты β и долготы λ в градусах. Существует довольно хорошее совпадение фрактальных размерностей на разных географических широтах и долготах Земли. Можно отметить, что результаты согласуются друг с другом в пределах погрешности. Можно сделать вывод, что метод расчета фрактальной размерности позволяет получить надежные оценки самоподобных областей карт. Кроме того, значения фрактальных размерностей показали, что значения высот не влияют на оценки подобия структурных областей.

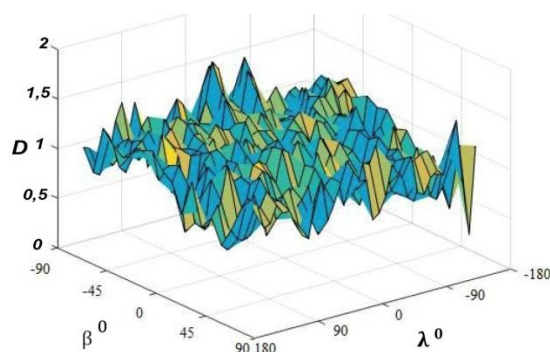


Рисунок 1: Распределение средних значений фрактальных размерностей модели Земли

3. Заключение

В данной работе определены фрактальные зависимости для цифровой модели поверхности Земли, получено значение средней фрактальной размерности $D = 1,178$. Установлено, что использование фрактального метода при вариациях топографических структур позволяет оценить их неоднородности и сделать вывод о структурном подобии отдельных областей. Использование фрактального анализа позволяет ввести независимые оценки макроструктуры Земли, что приводит к новым подходам к интерпретации физических процессов, происходящих на Земле.

4. Литература

- [1] Abrams, M. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform // M. Abrams // International Journal of Remote Sensing. – 2000. – Vol. 2(5). – P. 847-859.
- [2] Turcotte, D.L. A fractal interpretation of topography and geoid spectra on the earth, moon, Venus, and Mars / D.L. Turcotte // Jour. of Geophys. Res. – 1987. – Vol. 92(B4). – P. 597-601.
- [3] Demin, S.A. The fractal analysis of the gravitational field and topography of the Mars / S.A. Demin, A.O. Andreev, N.Y. Demina, Y.A. Nefedyev // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 929(1). – P. 132857.