

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФУРЬЕ-АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СПЕКТРОВ МЕГАПОЛИСА

Денис Андреевич Хабаров

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Россия, г. Москва, Гороховский переулок, 4, ассистент кафедры космического мониторинга и экологии, тел. (499)267-27-72, email: khabarov177@yandex.ru

Ирина Андреевна Хабарова

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Россия, г. Москва, Гороховский переулок, 4, старший преподаватель кафедры кадастра и основ земельного права, тел. (499)404-12-20, email: irakhabarova@yandex.ru

Рассматриваются социально-экологические и экономические проблемы мегаполисов и пути их решения. Разрабатывается методика расчета параметров Фурье спектров для пространственного моделирования космических изображений участков земных поверхностей.

Ключевые слова: моделирование изображений, Фурье-анализ, дистанционное зондирование Земли, мегаполис, спектр мощности, цифровые изображения.

RESEARCH OF IMAGE MODELING METHODS BASED ON FOURIER ANALYSIS OF THE SPATIAL SPECTRA OF A MEGACITY

Denis A. Khabarov

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Russia, Moscow, 4 Gorokhovsky pereulok, Ph. D., assistant of the department of space monitoring and ecology, tel. (499)267-27-72, e-mail: khabarov177@yandex.ru

Irina A. Khabarova

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Russia, Moscow, 4 Gorokhovsky pereulok, senior teacher of the department of cadastre and bases of land law, tel. (499)404-12-20, e-mail: irakhabarova@yandex.ru

Socio-ecological and economic problems of megacities and ways of their solution are considered. A technique is developed for calculating Fourier spectra parameters for spatial modeling of space images of sections of terrestrial surfaces.

Key words: modeling of images, Fourier analysis, remote sensing of the Earth, metropolis, power spectrum, digital images.

В управлении и градостроительстве мегаполиса центральной задачей является построение пространственной структуры мегаполиса, которая отображает местоположение и взаиморасположение различных городских элементов в пространстве для осуществления связей в процессе развития и функционирования города. Пространственную структуру города образуют территории различного назначения (промышленные, селитебные, коммунально-складские, внешнего транспорта, рекреационные и т. п.), взаимодействующие между собой. Поэтому, пространственная структура играет большую роль в

планировании и контроле влияний инфраструктуры мегаполиса на окружающую среду. Одной из важных задач градостроения является создание таких моделей пространственной структуры мегаполисов, которые бы обеспечивали рациональное природопользование и устойчивое эколого-экономическое развитие территорий крупных городских агломераций [1].

Если говорить о пространственных структурах, то методы их описания базируются на пространственных экспериментальных данных, к которым, в первую очередь, относятся фотографические и цифровые изображения. Одним из наиболее распространенных видов геопропространственной информации являются космические изображения, которые сегодня доступны широкому кругу потребителей космической информации и обладают высокой оперативностью и большим пространственным охватом. Для описания пространственной структуры таких крупных пространственных объектов, как мегаполисы, конечно необходимо наличие цифровых изображений, получаемых с камер, устанавливаемых как на автоматических космических системах дистанционного зондирования, так и на пилотируемых и беспилотных летательных аппаратах [2].

Одними из важнейших характеристик, с помощью которых можно описать пространственную структуру исследуемого земного покрова являются пространственно-частотные спектры. Идея метода пространственного Фурье – анализа основана на двумерном преобразовании Фурье цифровых изображений. Результат преобразования дает представление о спектре мощности и фазовом спектре каждого изображения, то есть возможно узнать, как распределяется энергия изображений в разных частотных диапазонах (рис.1). После получения изображения, представляющего собой результат преобразования Фурье, оно переводится в спектр мощности в логарифмическом масштабе [3].

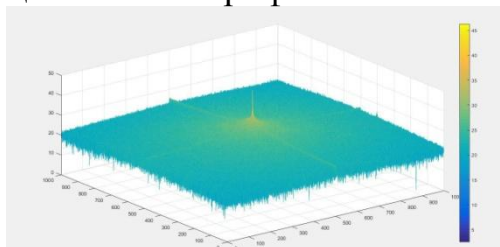


Рис. 1. Спектр мощности в логарифмическом масштабе

Внешний вид этих картин выражает отличия рассчитанных по математическим формулам пространственных спектров мощности различных изображений, но для того, чтобы сравнить спектры изображений и анализировать их различия, нам надо использовать количественные параметры. Одной из важных характеристик, отображающих пространственного спектра мощности, является скорость падения мощности по пространственной частоте. Для этого выполняются сечения полученных спектров мощности по направлению максимального спада спектра и затем анализируются эти сечения. Направление максимального спада определяется визуальным методом (предлагается выбрать диагональ матрицы с углом 45°). Полученные одномерные разрезы спектров мощности сглаживаются и импортируются в

программу для представления в виде аналитической функции. Спектр мощности представляют в следующем виде:

$$S(f)=A*f^b; \quad (1)$$

$$f=i*\Delta, \quad (2)$$

где f - частота; A -константа; Δ - константа; i - индексы элементов массива разреза; b – наклон фрагмента сечения пространственного спектра в заданном интервале пространственных частот, отображающий скорость падения мощности спектра по мере увеличения частоты.

Прологарифмируем выражение (1):

$$\ln(S(f))=\ln(A)-b*\ln(f)=\ln(A)-b*\ln(\Delta)-b*\ln(i) \quad (3)$$

Полученная зависимость (3) может быть аппроксимирована линейной функцией:

$$y=a-b*x, \quad (4)$$

$$\text{где } a = \ln(A)-b*\ln(\Delta), \quad x = \ln(i) \quad (5)$$

Для решения пространственного моделирования космических изображений участков земных поверхностей, была разработана специализированная методика обработки цифровых изображений (рис.2).



Рис. 2. Обобщенная схема решения задачи [4]

Методика решения включала в себя следующие этапы:

1. Отбор и предварительная обработка многозональных космических изображений на территорию изучаемого мегаполиса. Данный этап включает в себя анализ баз данных Landsat 8, которые можно найти на сайте earthexplorer.usgs.gov. Отметим, что предлагается исключать канал 9 (1.360 - 1.390 мкм). Данный канал специально предназначен для оценки верхней границы облачности. В канале 9 через облачность постилающая поверхность не будет видна. Предварительная обработка заключается в выборе интересующего участка изображения, создании контуров и вырезке исходных изображений по заданному контуру. Полученный результат представляет собой изображения размером 2244*2054, подстилающие поверхности центральной части мегаполиса.

2. Формирование амплитудного и фазового спектра с использованием стандартного программного пакета, реализующего быстрое преобразование Фурье. После импорта изображений в программу Матлаб выполняется быстрое преобразование Фурье. Получаются спектры мощности и фазовые спектры для всех зональных изображений, которые представляют собой матрицы размером 1000*1000. Следующий шаг на данном этапе заключается в получении сечений спектра мощности по направлению его максимального спада. Направление максимального спада спектра определяется визуальным методом на графике каждого спектра. Для всех зональных изображений было выбрано направление по диагонали. Полученные мощности сечения спектра представляют собой числовые массивы по 500 элементов каждый.

3. Расчет статистических параметров исходных изображений и пространственных спектров. В качестве статистических параметров были выбраны следующие:

1) среднее арифметическое $M = \frac{1}{n} \sum_1^n a_i;$ (6)

2) дисперсии $\sigma^2 = \frac{\sum_1^n (a_i - M)^2}{n - 1}$ (7)

4. Расчет параметров аналитических моделей пространственных спектров (ПС) для зональных космических изображений. Массив чисел, представляющий собой сечение спектра мощности, импортируется в программу OriginPro 8.5.1 для аппроксимации спектра мощности линейной функцией. Конечным результатом являются наклоны (скорости спада) пространственных спектров зональных изображений.

5. Расчет критериев и параметров, используемых для оценки адекватности результатов исследования. В качестве статистических критериев оценки адекватности были выбраны параметры (отклонение математических ожиданий, отношение стандартных отклонений, наклон). Пороговые значения в таблице определяются по уровню значимости 30%, значит, если отношение параметров зональных изображений находится в интервале пороговых значений, то данные изображения совпадают друг с другом [5].

На основании проведенного анализа формы статистических и геометрических параметров спектров мощности и фазовых спектров исследуемых космических зональных изображений мегаполиса Ханой можно сделать следующие выводы:

1. Пространственный спектр зональных изображений, полученных в видимом диапазоне электромагнитных волн, характеризуется сложной формой, скомпонованной из изотропной формы, и вытянутой с дефицитом пространственных частот. Данную форму спектра определяет вид больших по пространственному охвату различных типов земных покровов, отражающих линейную внутреннюю структуру и точечные объекты мегаполиса. Средний коэффициент линейной регрессии сечения пространственного спектра для низких частот равен 1,6, а в области высоких частот - 3,6.

2. Пространственный спектр зональных изображений, полученных в ближнем инфракрасном диапазоне электромагнитных волн, характеризуется изотропной формой, которая определяется такими типами земных покровов,

как почвы, растительность, пустыри и др. Радиус окружности зависит от характерного размера элементов ландшафта. Средний коэффициент линейной регрессии сечения пространственного спектра для низких частот равен 1,7, а в области высоких частот -3,7.

3. Пространственный спектр зональных изображений, полученных в дальнем инфракрасном диапазоне электромагнитных волн, характеризуется сочетанием из изотропной и эллиптической форм. Изотропная форма, отражающая текстуру внутри тепловой аномалии и эллиптическая форма, отражающая линейно-периодическую структуру мегаполиса. Средний коэффициент линейной регрессии сечения пространственного спектра области низких частот равен 2,5, а в области высоких частот – 6,1.

4. Статистические характеристики фазовых спектров космических зональных изображений незначительно меняются от одного зонального диапазона к другому. Значения степенного показателя фазового спектра для зональных изображений близки к единице, что говорит о том, что фазовые спектры имеют сильную шумовую составляющую.

5. Закон распределения уровней серого тона космических зональных изображений близок к логнормальному распределению, поэтому можно предположить, что пространственная структура мегаполиса обладает мультифрактальными свойствами, и при моделировании изображений мегаполиса предпочтительным является использование мультифрактального формализма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пермитина Л.И. Оперативный спутниковый мониторинг состояния окружающей среды и землепользования // ARCREVIEW. – 2005. – №3(34). – С. 18–24.
2. Крылов А.М., Соболев А. А., Владимирова Н. А. Выявление очагов короедатипографа в Московской области с использованием снимков Landsat // Вестник Московского государственного университета леса Лесной вестник. – 2011. – №4. – С. 54–60.
3. Назаров В.Г., Хабаров Д.А., Азаров Д.А. Использование материалов космической съемки при оценке природно-ресурсного потенциала урбанизированных территорий // Московский экономический журнал. – 2017. – №2. – 4 С.
4. Хабарова И.А., Воробьева С.Н., Дручинин С.С. Использование материалов дистанционного зондирования для целей мониторинга земель // Московский экономический журнал. – 2017. – №2. – 2 С.
5. Учаев Дм.В., Учаев Д.В., Прутов И.С. Многомасштабное представление гравитационных полей малых небесных тел // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – №4. – С. 3-8.

© Д.А. Хабаров, И.А. Хабарова

