занной структуры базы данных, базы знаний, базы моделей. Для повышения уровня достоверности элементов интегрированной базы данных предложено использование аппарата фильтра Калмана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Элти, Дж. Экспертные системы: концепции и примеры./ Дж. Элти, М.Кумбс. – М.: Финансы и статистика, 1987.
2. Шумский, А.А. Системный анализ в защите информации. / А.А. Шумский, А.А. Шелупанов.– М.: Гелиос АРВ, 2005. – 224с.
3. Перегудов, Ф.И. Введение в системный анализ./ Ф.И. Перегудов, Ф.И. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989.
4. Зельнер, А. Байесовские методы в эконометрии./ А. Зельнер – М.: Статистика, 1980.
5. Браммер, К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси. / К. Браммер, Г. Зиффлинг.– М.: Наука, 1982.
6. Zadeh, L. Fuzzy sets/ L. Zadeh // Information and Control. – 1965. - №8.
7. Абденов, А.Ж. Активная идентификация стохастических непрерывно-дискретных динамических систем на основе спектральной плотности мощности входного сигнала/ А.Ж. Абденов// Автометрия. – 1999. - №1. – С. 74-93.

*Аспирант **Заркумова Р.Н.**, тел. (383)346-08-53, zarkumova@gmai.com, Новосибирский государственный технический университет.*

УДК 004.932.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАСКИ ОБЛАЧНОСТИ HDF MOD35 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ГРАНИЦ ОБЛАКОВ И ОБЛАЧНЫХ МАССИВОВ

А.А. Лагутин, М.А. Якунин

В работе представлен способ измерения фрактальной размерности границ облаков и облачных массивов при помощи данных, полученных спектрорадиометром MODIS/Terra. Границы облаков определялись по маске облачности MOD35. Была проведена обработка 50 космических сцен с изображениями облачных массивов по маске облачности, по которым была вычислена фрактальная размерность. Полученные данные по исследованным зонам с характерными размерами облачных областей в пределах 3 ×103 – 1.9 ×105 км. хорошо согласуются с результатами предыдущих экспериментов с радиолокаторами.

Ключевые слова: фрактальная размерность, массовая размерность, спектрорадиометр MODIS, маска облачности, иерархический формат данных HDF.

Введение

В последнее время строение, свойства, эволюция и геометрия облаков изучаются довольно интенсивно с применением как наземных, так и спутниковых приборов [1,2]. Один из основных вопросов этих исследований состоит в измерении фрактальной размерности границы облаков [2]. Значение фрактальной размерности границ облаков представляет интерес для многих областей науки. С одной стороны эта проблема затрагивает исследование турбулентных процессов, происходящих в атмосфере, где количественная оценка размерности границы облака поможет при фрактальном подходе к описанию турбулентности; с другой стороны она полезна при моделировании прохождения электромагнитного излучения сквозь облачные массивы. В данной работе проводится измерение фрактальной размерности по данным спектрорадиометра MODIS. Спектрорадиометр MODIS позволяет решать широкий круг задач, связанных с глобальными исследованиями характеристик системы «атмосфера + Земля» из космоса [3,4]. Одной из таких задач является точное определение границы облачных зон.

Структура данной работы следующая. В первой части приводится описание проведённых ранее экспериментов и теоретических расчетов по измерению фрактальной размерности облаков, во второй части приведены результаты эксперимента по определению размерности на основе массовой размерности с применением маски облачности.

Проводившиеся эксперименты

При исследовании геометрии облаков и зон дождя было установлено, что периметр облака **P** связан с площадью **S** соотношением

$$P(\delta)=c\delta^{1-D}[S(\delta)]^{D/2}$$

В экспериментах с использованием доплеровских радаров и геостационарного спутника GOES [1] было проведено исследование

фрактальных свойств границ облаков и дождевых зон над тропической Атлантикой (скорость выпадения осадков свыше 0,2 мм/час) и данных наблюдений в инфракрасном диапазоне с геостационарного спутника зон облаков над Индийским океаном.

Для анализа были использованы облака с размерами от 1 до $1{,}6\times10^6$ км^2. Во избежание эффектов, связанных с изменением размера элемента изображения, использовались данные наблюдений лишь в относительно слабо искажаемых областях между 20° северной широты и 20° южной широты и в пределах ~30° по долготе от точки поверхности под спутником. Инфракрасный датчик спутника GOES чувствителен в основном к чернотельному излучению, испускаемому облаками и поверхностью Земли. Для облаков, толщина которых превышает 300 м, инфракрасное излучение несет информацию о температуре верхней поверхности облака.

Облачные и дождевые массивы физически тесно связаны с тропиками, потому что и те, и другие появляются в областях восходящих конвективных потоков, которые поднимают от поверхности влажный теплый воздух. При адиабатическом расширении этот воздух охлаждается и образует в результате конденсации пара облака и дождевые капли. Эти облака состоят в основном из переохлажденной воды, а не льда. Элементы изображения, в которых температура была ниже -10°С, считались приходящимися на облака. Таким образом, облачные системы, ограниченные уровнем -10°С, включают как кучевые, так и перистые облака. Площадь системы облаков определялась подсчетом числа облачных элементов изображения, а длина периметра определялась числом облачных элементов изображения, которые граничат с чистыми элементами. В результате эксперимента были получены значения фрактальной размерности границы облака **D**=1,35±0,05 [1]. График зависимости площади **S** исследуемых облаков от периметра **P** приведен на рисунке 1.

Фрактальная размерность границ облаков была рассчитана Хентшелем и Прокаччей [5] в рамках предложенной ими теории относительной турбулентной диффузии. Согласно этим расчётам, размерность границы облака заключена в пределах 1,37 < **D** < 1,41. Представляет интерес структура этой теории. Основная проблема заключается в том, чтобы объяснить, каким образом облако меняет со временем свою общую форму, сохраняя универсальную фрактальную структуру. Не вызывает сомнений, что временное развитие облаков происходит не универсальным образом. Согласно Хентшелю и Прокачче, решение этой проблемы связано с тонким взаимодействием пространственных и временных масштабов в развитой однородной турбулентности. Еще раньше ими получен аналогичный результат, согласно которому их модель фрактально однородной турбулентности приводит к фрактальной размерности Dμ турбулентного поля, заключенной в пределах $2{,}50<\mathbf{D_\mu}<2{,}75$ [5, 6]

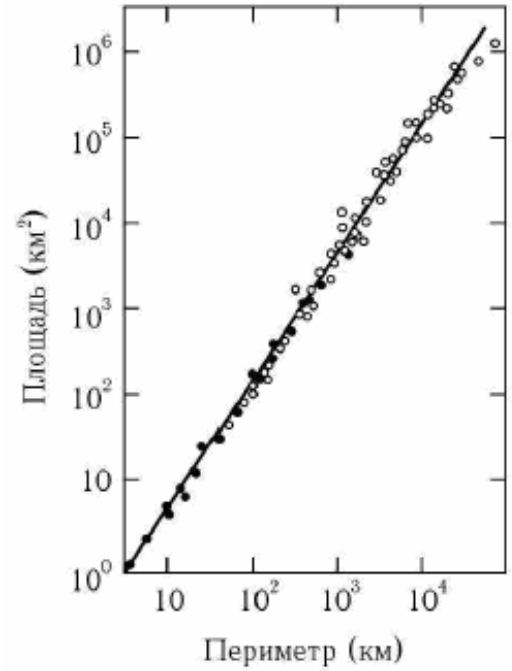

Рисунок 1 - Площади дождевых областей (черные точки) и облаков (светлые точки) в зависимости от их периметров.

Вычисление размерности по маске облачности методом массовой размерности

Для получения адекватного результата было принято использовать данные спектрорадиометра MODIS со спутника Terra. Зона сканирования находилась в Западной Сибири, что сводило к минимуму погрешности от искажения пикселей изображений из-за выпуклости земной поверхности. В эксперименте по вычислению размерности были использованы данные маски облачности MOD35, с помощью которой можно было с необходимой точностью определить границу облака. Спектрорадиометр MODIS дает возможность определить наличие или отсутствие облачности в каждом пикселе снимка с большой точностью. Построенная на основе полученных им данных маска облачности представляет собой HDF файл с набором всевозможных параметров атмосферы и облачного покрова в

разрешении 250 и 1000 м. Маска формируется на основе только определенных, достоверных данных, полученных MODIS. Каждый пиксель маски облачности закодирован в двоичном 48-разрядном коде, причем каждый бит определяет некоторый параметр облака или атмосферы. Основными для данной работы являются 2 бита, описывающие наличие или отсутствие облачности в пикселе: при наличии облака в пикселе биты значились как 00, при наиболее вероятной облачности (Uncertain) – 01, при возможном отсутствии облаков – 10 (Probably Clear), при безоблачном пикселе – 11 (Confident Clear). Самый первый бит давал информацию о том, определена ли маска облачности на данном пикселе (1) или не определена (0).

Таким образом, суть обработки HDF - файла заключалась в выделении информационных бит и их преобразовании к бинарному виду. Для таких преобразований использовалось следующее программное обеспечение (**ПО**):

- программа HDFView, с помощью которой осуществлялось выделение из общего потока данных байтов, содержащих информационные биты, их запись в отдельный ASCII – файл, а также визуализация результатов сканирования спутником земной поверхности с облачным покровом изображения в виде 2D – полутонового изображения с применением 4 уровней градации яркости.
- специально разработанное в среде Fortan-90 ПО, выделяющее из ASCII файла информационные биты, интерактивно выделяющего из изображения облака интересуемый фрагмент, преобразующее полученный результат к бинарному виду (облако есть или его нет) и вычисляющее размерность границы облака в выделенном фрагменте по методу массовой размерности.

Результаты работы описанного ПО приведены на рисунках 2 и 3.

С помощью данного ПО были обработаны 50 файлов с изображениями маски облачности,. Для облаков с границей, заданной в маске облачности значением 00 (достоверная облачность), было получено значение фрактальной размерности, вычисленной методом массовой размерности, **D** = 1.34±0.01, что хорошо согласуется с результатами исследований [1], в которых размерность вычислялась методом соотношения «периметр—площадь».

Обсуждение результатов эксперимента

Проведенные эксперименты показали, что метод массовой размерности применим для исследования фрактальных свойств границ облаков и облачных массивов [7]. Для тех же самых данных, но с облаками, граница которых была задана значениями маски 00 и 01, была получена размерность D=1.29±0.02. Меньшее значение, в отличии от предыдущего эксперимента, можно объяснить тем, что в первом эксперименте не учитывались пиксели, отмеченные в маске как «01», (они были «полуоблачными»). Их наличие при расчете размерности немного сглаживало кривую ли-

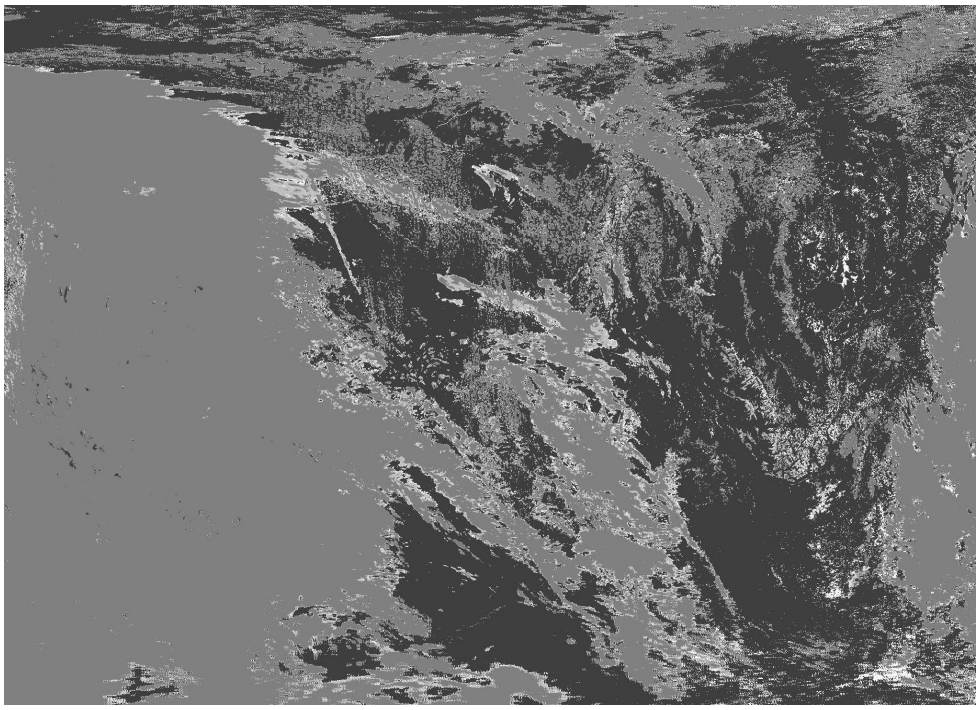

Рисунок 2 - Изображение облачного покрова (2 разряда/пиксел), восстановленное по данным спутника MODIS /Terra в HDF - формате MOD35

нию границы, тем самым «уменьшая» фрактальность линии.

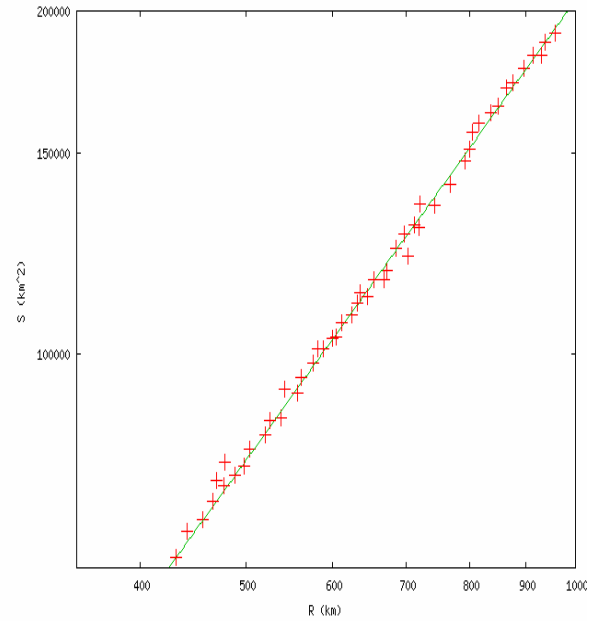

Рисунок 3 - Зависимость площади облаков от характеристического радиуса

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lovejoy S. Area-perimeter relation for rain and clouds areas // Science. - 1982. -216. - Pp. 185–187.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М: Институт компьютерных исследований, 2002 – с. 656.
3. Tamas V., Marshak A. MODIS observations of enhanced clear sky reflectance near clouds // Geophys. Res Lett. – 2009. – 36. – P. L06807
4. Salomonson V. V., Barnes W. L., Maymon P. W. et al. MODIS: Advanced facility instrument for studies of the Earth as a system // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. - 1989. - v.27. - Pp. 145–153.
5. Hentshel E. H. G., Procaccia I. Fractal nature of turbulence as manifested in turbulent diffusion // Phys. Rev. - 1983. - A27. - Pp. 1266–1269.
6. Федер Е. Фракталы. - М.: Мир, 1991.- С. 254.
7. Якунин М. А., Лагутин А. А. Вычисление фрактальной размерности облаков по данным спутниковых наблюдений MODIS/TERRA // Мзмерение, контроль, информатизация: Материалы одиннадцатой международной научнотехнической конференции. - 2010. - С. 112–114.

УДК: 621.314.222.6:621.3.095.2

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО МЕТОДУ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

А.А. Грибанов, С.О. Хомутов

В статье рассматривается задача создания математического описания процессов, протекающих при диагностике силовых трансформаторов по методу низковольтных импульсов. Особое внимание уделено моделированию волнового затухающего колебательного процесса в обмотках и разложению диагностического сигнала в спектр.

Ключевые слова: диагностический сигнал, силовой трансформатор, волновые затухающие колебания, спектральный анализ

В настоящее время вопросы диагностирования мощного электротехнического оборудования приобретают особое значение по ряду причин. Во-первых, в последние годы произошёл резкий рост доли оборудования, отработавшего нормативный срок службы. Во-вторых, для достижения успеха в условиях рыночной экономики необходимо соизмерять затраты и прибыль от любых технических мероприятий. Поэтому часто с этой точки зрения диагностика бывает оправдана, так как своевременное принятие мер по её результатам позволит избежать затрат на дорогостоящий капитальный ремонт в случае внезапного выхода электрооборудования из строя и финансовых издержек, связанных с нарушением и расстройством технологических процессов [1].

Всё вышесказанное имеет непосредственное отношение к силовым трансформаторам. Для их диагностики используется ряд методов, к которым относятся следующие [1–4]:

– комплексные испытания с обязательным проведением опытов холостого хода и короткого замыкания;