

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ВАРИОГРАММ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ NOAA\AVHRR АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА

М.Г. Алексанина

*Институт Автоматики и Процессов Управления ДВО РАН,
690041, Владивосток, Радио 5,
E-mail: margo@satellite.dvo.ru*

Исследуется применимость метода вариограмм к анализу пространственной структуры цифровых изображений облачности и морского льда. Показано, что метод можно использовать для определения характерных размеров пространственно однородных (в смысле стационарности второго порядка приращений функции) полей, таких как ячеистая облачность и мезо-масштабные структуры на поверхности океана.

Постановка задачи

Определение характерных масштабов процессов в атмосфере и океане является актуальной проблемой [1]. Её решение представляется возможным на основе спутниковых цифровых изображений атмосферы и океана [2]. Эти данные относятся к категории пространственно распределенных данных. Традиционно к анализу и обработке пространственно распределенных данных подходили на основе анализа Фурье. Однако непременным условием использования анализа Фурье является стационарность исследуемых данных. Однако реальные данные – пространственно-распределенные образования на поверхности океана и в атмосфере – не являются стационарными в широком смысле. В этом случае традиционные хорошо наработанные методы не работают. Более сорока лет назад для геофизических данных со «слабой» стационарностью был предложен статистический метод на основе структурной функции - вариограммы.

Вариограмма описывает пространственную корреляционную структуру данных, а именно, наличие или отсутствие крупномасштабного пространственного тренда; зависимость корреляционной структуры от взаимной пространственной ориентации точек; определение эффективного радиуса корреляции данных – максимальное расстояние, на котором еще наблюдается зависимость между значениями в различных точках [3]. Эти пространственные характеристики очень близки к задаче определения характерных масштабов процессов в атмосфере и на поверхности океана, проявляемых на спутниковых изображениях. Поэтому представляется целесообразным испытать подход на основе вариограмм к спутниковым NOAA\AVHRR изображениям поверхности океана и атмосферы как пространственно распределенным данным со слабой стационарностью.

Подход к данным на основе вариограммы

В основе вариограммы, или структурной функции, лежит использование статистических мер пространственной взаимосвязи данных с более «мягкими» условиями стационарности.

Статистической характеристикой взаимосвязи данных между двумя значениями $V(x)$ и $V(x+h)$ в точках, находящихся на расстоянии h , является ковариация [4]:

$$C(h) = E[(V(x) - m(x)) * (V(x+h) - m(x+h))].$$

Ковариация характеризует похожесть данных: чем более похожи данные, тем больше значение. Ковариацией можно пользоваться только в предположении о стационарности второго порядка [4]. Стационарность второго порядка, или стационарность в широком смысле, означает, что среднее существует и постоянно для любых x , ковариация существует и зависит только от вектора h .

Еще более слабым условием стационарности является стационарность второго порядка для приращений функции, или «внутренняя гипотеза», которая означает, что среднее для приращений постоянно и равно 0, вариация приращений существует и зависит только от h . «Внутренняя гипотеза» означает, что функции корреляция между данными зависят только от взаиморасположения точек измерения, но не от конкретного их местоположения в пространстве, т.е. независимой переменной для этих функций будет вектор h или скаляр для изотропного случая: $h = \|x_1 - x_2\|$

Вариограмма (полувариограмма) есть вариация квадрата разности переменной в двух точках, как функция расстояния и направления между ними [3]:

$$\gamma(x, x+h) = 0.5 * E[(V(x) - V(x+h))^2].$$

Вариограмма характеризует степень различия данных в зависимости от расстояния между ними. Чем меньше разница между значениями данных, тем выше значение вариограммы. Для существования вариограммы достаточно выполнения лишь «внутренней гипотезы». Указателем данных внутренней гипотезе служить дрейф [3]:

$$D(h) = E[V(x) - V(x+h)].$$

Если значения $D(h)$ колеблется вокруг нуля, то данные подчиняются «внутренней гипотезе», если $D(h)$ растет или убывает с ростом h , то данные не подчиняются «внутренней гипотезе». По сути, дрейф оценивает приращения функции на статистическую независимость. Поэтому поведение функции дрейфа можно проверять одним из известных статистических критериев независимости данных, таких как, критерий «восходящих» и «нисходящих» серий [4].

Таким образом, если приращения значений на исследуемых данных можно считать статистически независимо колеблющимися около 0, то правомерно применить подход на основе вариограмм и посмотреть степень различия данных в зависимости от расстояния между ними, т.е. в некотором смысле характерные размеры.

Результаты работы на изображениях

Для того чтобы правильно интерпретировать поведение вариограммы на реальных изображениях сначала метод был применен к тестовым изображениям. Основная цель - это получение оценки характерного размера. Тестовые изображения представляли собой бинарные изображения кругов разного радиуса, регулярным и нерегулярным образом распределенных на плоскости. Тесты показали, что экстремумы вариограммы независимо от характера распределения на плоскости соответствуют характерным размерам (рис.1.). Значение максимумов (амплитуда) отражает плотность заполнения пространства объектами (рис.2.).

В качестве спутниковых изображений реальных процессов в океане и атмосфере были выбраны фрагменты, соответствующие крупной и мелкой ячеистой облачности, дробленому морскому льду и мезомасштабным ледовым вихрям на поверхности моря. Изображения предварительно переводились в бинарный вид по порогу, выбираемому по гистограмме. Проверка данных на соответствие внутренней гипотезе проводилась по оценке поведения дрейфа $D(h)$ критерием «восходящих» и «нисходящих» серий [4]. Результаты на реальных изображениях показали, что, во-первых, все они прошли проверку на соответствие «внутренней гипотезе» и, во-вторых, экстремумы вариограмм согласуются с характерными размерами, определяемыми на изображениях диалоговыми программными средствами (рис.3.).

Заключение

Метод вариограмм может быть применен к спутниковым изображениям атмосферы и поверхности океана для оценки характерных масштабов пространственно распределенных данных, если эти данные подчиняются «внутренней гипотезе», то есть приращения значений функции на них обладают стационарностью второго порядка.

Работа поддержана грантом РФФИ №03-01-00812 и грантами ДВО РАН.

Литература

1. Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С. Синоптические вихри в океане // Л.: Гидрометеоздат, 1987. 511с.
2. Крэкнелл А.П. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии // М.: Мир, 1984. 535с.
3. Демьянов В.В., Каневский М.Ф., Савельева Е.А., Чернов С.Ю. Вариография: исследование и моделирование пространственных корреляционных структур // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, М.: ВИНТИ, 1999. Вып.11. С.33-54.
4. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Основы моделирования и первичная обработка данных // М.: Финансы и статистика, 1985. 471с.

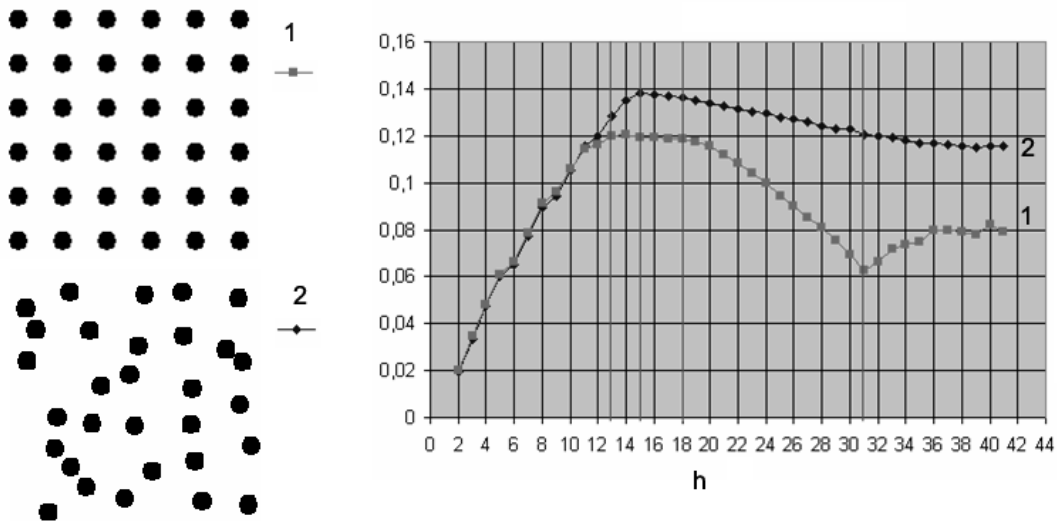


Рис. 1. Поведение вариограммы при регулярном и нерегулярном распределении объектов, диаметр объектов $d=13$ (пикселей), при регулярном распределении расстояние между объектами $r=18$ (пикселей)

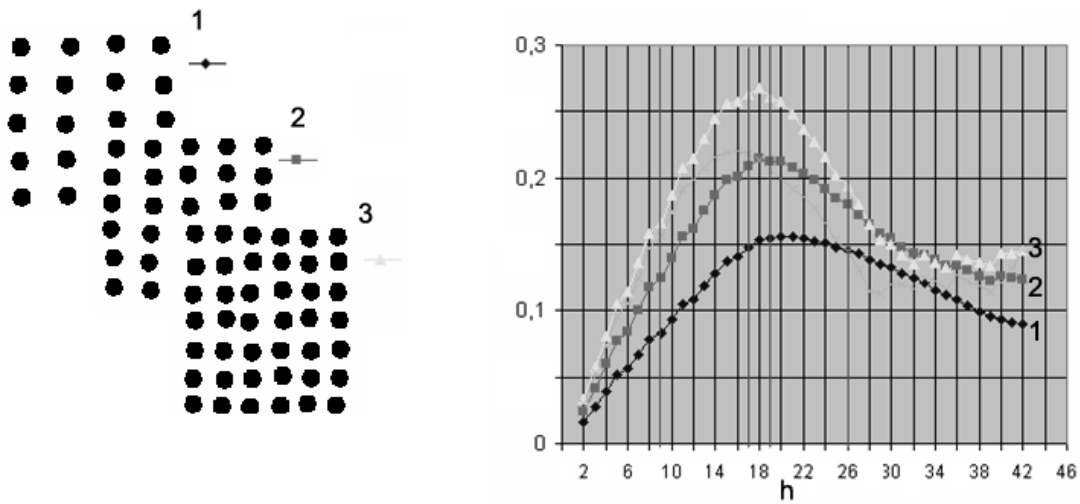


Рис. 2. Поведение вариограммы в зависимости от пространственной плотности объектов. Значение максимумов (амплитуда) отражает плотность заполнения пространства характерным размером, диаметр объектов $d=19$ (пикселей)

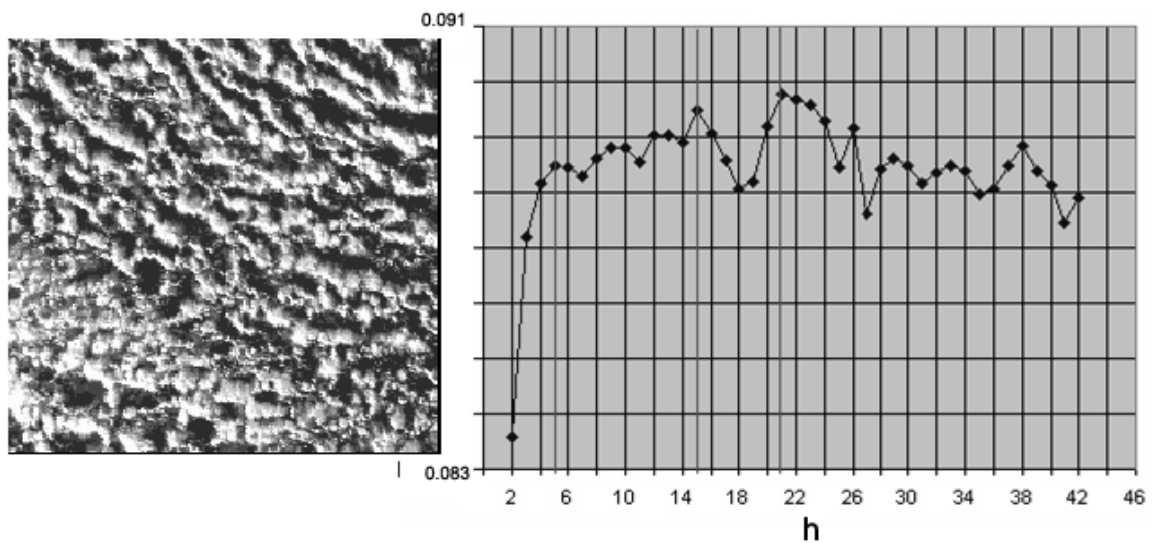


Рис. 3. Фрагмент спутникового изображения ячеистой облачности и соответствующий ему график вариограммы. Основные максимумы графика вариограммы приходятся на зону характерных размеров 15 и 23 (пикселей)