

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРНОГО МАСШТАБА ПРИ КАРТИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Л.Д. Пухтыр

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.nhi.iuf.net

Применяя префильтрацию данных и основываясь на спектральном методе, оцениваются наименьшие масштабы характерные для полей поверхностных значений концентрации хлорофилла, и температуры летом в северо-западной части Черного моря.

Введение. При картировании пространственных полей в метеорологии и океанологии для репрезентативного отображения рассматриваемого явления кроме указания размеров исследуемой области и дискретности измерений необходимо знать масштаб изучаемого явления. Как правило, карты полей, построенные методом оптимальной интерполяции, не содержат никаких комментариев о соответствии его масштабу изучаемого явления и поясняющих степень осреднения истинного поля, которая неизбежно связана с процедурами его измерения и интерполяции. Одним из способов такой оценки является префильтрация данных с последующим их спектральным анализом. Суть ее состоит в том, что информация о компонентах полей, спектры которых не могут быть разрешены сеткой измерений, должна быть исключена из данных наблюдений. С этой целью необходимо предварительное сглаживание (префильтрация) [1,2] данных наблюдений. При картировании полей по данным контактных измерений информации для проведения префильтрации, как правило, бывает недостаточно. Поэтому возникающие погрешности обычно не анализируются. В таких случаях важным является определить наибольший шаг расчетной сетки, при котором возможно выполнить оптимальную интерполяцию с заданной точностью. Иная ситуация складывается при обработке данных ДЗЗ. Спутниковые наблюдения дают значительные массивы наблюдений различных параметров состояния поверхности моря, что в принципе дает возможность провести их спектральный анализ и оценить степень осреднения реальных полей, сопровождающую их картирование. В рабо-

те, применяя префильтрацию данных и основываясь на спектральном методе, оцениваются наименьшие масштабы характерные для полей поверхностных значений концентрации хлорофилла, и температуры летом в северо-западной части Черного моря (СЗЧМ).

Используемые данные и методика исследования. При проведении данного исследования предварительно выполнялось выделение случайных составляющих полей поверхностной температуры и концентрации хлорофилла из массивов данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и проводился анализ их статистических свойств, с целью нахождения наименьших масштабов характерных для полей поверхностных значений концентрации хлорофилла и температуры в СЗЧМ полученных с помощью спутниковых наблюдений сканирующим оптическим спектрометром MODIS (Aqua) в июле 2006 г. Исходные данные измерений были размещены на равномерной сетке с шагом 1 км в СЗЧМ. Предварительно выполнялась проверка данных на содержание в них случайных выбросов и пропусков значений.

Основой анализа статистической структуры исследуемого пространственного поля является оценка его однородности по отношению к первым двум моментам распределения вероятностей его значений: средним по некоторым областям поля и пространственным корреляционным функциям. Выполняя пространственное скользящее осреднение поля с некоторым масштабом L ,

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{L} \int_{x-L}^{x+L} f(x) dx, \quad f(x) = \hat{f} + f' \quad (1)$$

можно разделить его на две составляющие. Одну из них условно можно принять за детерминированную составляющую \hat{f} и использовать по отношению к ней детерминированные методы интерполяции. Другая составляющая f' , получаемая путем вычитания \hat{f} из поля f , может рассматриваться как случайная. Именно по отношению к ней должна быть проанализирована обоснованность использования метода оптимальной интерполяции. Варьируя масштаб L операции скользящего осреднения поля, можно добиться наилучшего соответствия случайной составляющей поля гипотезе об ее однородности и изотропности. Для нахождения оптимальных масштабов скользящего осреднения рядов наблюдений темпе-

ратуры и концентрации хлорофилла $L_{от}$ и $L_{ос}$ воспользуемся следующими условиями: математические ожидания M_f , дисперсии D_f , а также коэффициенты корреляции, вычисленные при фиксированных расстояниях между точками поля x_1 и x_2 в различных частях этого поля и при различных ориентациях отрезка $[x_1, x_2]$ на плоскости должны иметь минимальный разброс значений по отношению к некоторым средним величинам, которые соответствуют не оптимальному масштабу осреднения.

Указанный анализ данных спутниковых измерений поверхностных значений концентрации хлорофилла и температуры Черного моря был проведен на выбранных разрезах концентрации хлорофилла и температуры вдоль параллелей от $44^{\circ}00'$ до $46^{\circ}30'$ с.ш. и меридианов от $28^{\circ}40'$ до $33^{\circ}50'$ в.д. в пределах акватории северо-западной части Черного моря (СЗЧМ). Получено, что наилучшее разделение поля концентраций хлорофилла и температуры на детерминированную и случайную составляющие достигается при масштабах скользящего осреднения, превышающих 100 км. Оптимальные в указанном выше смысле масштабы осреднения полей концентрации хлорофилла $L_{ос}$ и температуры $L_{от}$ отличаются между собой на одном и том же разрезе. С ростом широты и уменьшением долготы $L_{от}$ и $L_{ос}$ уменьшаются, а различия между ними меняются неравномерно. Обусловлено это тем, что с ростом широты и уменьшением долготы в СЗЧМ не одинаково растут неоднородности распределений хлорофилла и температуры. В глубоководном районе моря, где распределения хлорофилла и температуры наиболее однородны, их оптимальные масштабы осреднения $L_{от}$ и $L_{ос}$ почти совпадают, составляя около 200 км. С продвижением на север и на запад, по мере приближения к береговой черте, оптимальные масштабы осреднения уменьшаются и на разрезе $46^{\circ}00'$ с.ш. они составляют для температуры $L_{от} = 125-150$ км, а для хлорофилла $L_{ос} = 75-110$ км.

Для определения оптимального масштаба осреднения L_0 мы находили минимальное значение масштаба осреднения l , выше, которого статистические характеристики менялись мало [3]. Для проведения репрезентативных экспериментальных измерений необходимо найти минимальный масштаб явления, в котором сосредоточена его подавляющая энергия, и тогда можно выполнить выбор оптимальной дискретности таким

образом, чтобы зарегистрировать явление с найденным масштабом. Граничная частота спектра k_c существенно зависит от дискретности измерений a , поэтому определение k_c может служить для нахождения оптимального значения дискретности измерений a_n . Оптимальным значением дискретности измерений a_n можно считать такое начиная с которого при уменьшении дискретности измерений перестаёт расти значение граничной частоты основания спектра k_c . Другими словами, когда уменьшение дискретности измерений уже не выявляет более высокочастотных гармоник рассматриваемого явления.

В дискретных измерениях обычно присутствуют высокочастотные «следы» присущие меньшей дискретности. Чтобы в какой-то мере избавиться от такого шума проводится предварительное скользящее сглаживание данных наблюдений без их детерминированной составляющей (префильтрация). Для сглаженных данных с пробными дискретностями $a_1 > a_2$ определяются граничные частоты основания спектра k_{c1}, k_{c2} . Если граничные частоты одинаковы $k_{c1} = k_{c2}$, то оптимальным масштабом дискретности следует считать больший $a_n = a_1$, если же $k_{c1} < k_{c2}$ то нужно взять следующее меньшее значение дискретности и так до тех пор пока наступит выполнение условия $k_{c(n)} = k_{c(n-1)}$, тогда можно считать нахождение оптимальной дискретности для рассматриваемого явления выполненным и $a_n = a_n$. Для нахождения оптимальной дискретности рассматриваемого поля a_n с помощью префильтрации данных строились зависимости граничной частоты спектра k_c поверхностной температуры и концентрации хлорофилла от масштаба осреднения. На основе этих зависимостей определялись k_c соответствующие оптимальным масштабам осреднения для поверхностной температуры и концентрации хлорофилла. В спектральном анализе [4] часто связь между шириной спектра ΔF и масштабом явления, в котором сосредоточена его подавляющая энергия Δl используется в виде наименьшего значения произведения

$$\Delta F * \Delta l = \mu, \quad (2)$$

где μ – некоторая постоянная, зависящая от определения ΔF и Δl , в соответствии с формой распределения энергии. Пользуясь соотношением (2) найдем длины масштабов, в которых сосредоточены подавляющие части энергии полей поверхностной температуры и концентрации хлорофилла, и тогда

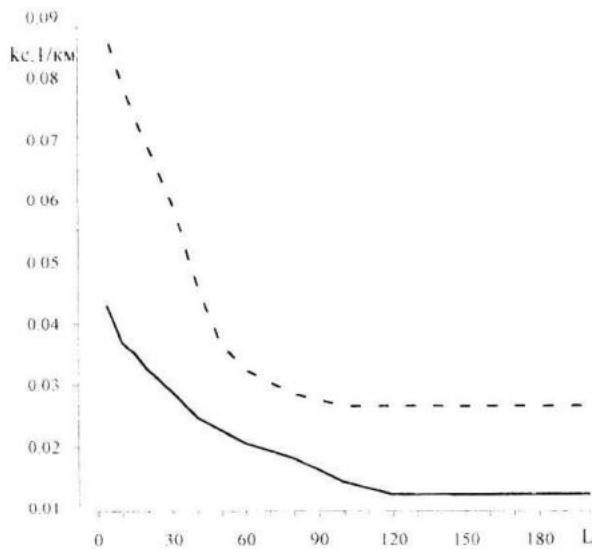


Рисунок – Зависимости граничной частоты k_c спектров поверхностной температуры (сплошная линия) и концентрации хлорофилла (штриховая линия) от масштаба осреднения на разрезе по 43° с.ш. 6.07.2006г.

эти значения можно считать характерными минимальными масштабами исследуемых полей. Анализируя спектры поверхностной температуры и концентрации хлорофилла, нами замечено, что их можно рассматривать как спектры, обусловленные масштабом, в котором сосредоточена его подавляющая энергия распределенным по косинусоидальному закону

$$f(l) = h \cos(\pi l / \tau), \quad (3)$$

где h – амплитуда, 2τ – период.

Косинусоидальному закону (3) соответствует спектральная плотность

$$S(k) = q \cos(k\tau/2) / (1 - (k\tau/\pi)^2), \quad (4)$$

где $q = 2h\tau/\pi$.

Однако реальные спектры не всегда достигают нуля при конечных значениях k . Тогда выделяют часть спектра, например 90%. В этом случае, как показано в [4] для косинусоидального спектра (4) будем в соотношении (2) иметь $\mu = 0.435$

$$\Delta F * \Delta l = 0.435, \quad (5)$$

где $\Delta F = 2\pi k_c = 0.73/\tau$, $\Delta l = 0.596\tau$.

Откуда для длины масштаба, в котором сосредоточена подавляющая часть энергии, получим следующее выражение

$$\Delta l = 0.435 / 2\pi k_c, \quad (6)$$

На рисунке приводится зависимость граничной частоты спектра k_c поверхностной температуры и концентрации хлорофилла

для разреза по 43° с.ш. от масштаба осреднения. Из рисунка следует, что оптимальному масштабу осреднения поверхностной температуры и концентрации хлорофилла более 100 км соответствуют значения $k_c = 0.0123 \text{ км}^{-1}$ и 0.0264 км^{-1} , соответственно. Подставляя эти значения в (6) получим масштабы наибольшей энергии для поверхностной температуры $\Delta l_t = 5.63 \text{ км}$, а для концентраций хлорофилла $\Delta l_c = 2.62 \text{ км}$. Имея значения Δl можно определить период гармоник с наибольшей энергией L_c для поверхностной температуры и для концентрации хлорофилла из выражения (5)

$$L_c = 2\tau = 3.38\Delta l. \quad (7)$$

Для поверхностной температуры он составил 19 км, а для концентрации хлорофилла – 8.9 км.

Заключение. Таким образом, получено, что в летний период в СЗЧМ масштабы преобладающей энергии для поверхностной температуры $\Delta l_t = 5.63 \text{ км}$ и для концентраций хлорофилла $\Delta l_c = 2.62 \text{ км}$ существенно больше применяемой дискретности измерений (1 км), следовательно, для исследования рассматриваемых явлений эта дискретность вполне приемлема. Однако если речь шла бы об экономической стороне проведения работ, то дискретность можно было бы без ущерба для конкретного исследования увеличить в несколько раз.

Л и т е р а т у р а

1. I.E. Timchenko. Stochastic Modeling of Ocean Dynamics. Harwood Acad. Publ. Chur-London-Paris-New-York, 1984. – 320 p.
2. D.P. Petersen, D. Middleton. On representation observations. – Tellus, 1963, 15. – P. 387 – 405.
3. Л.Д. Пухтяр. Анализ статистической структуры полей поверхностной температуры и концентрации хлорофилла по данным дистанционных измерений. Системы контроля окружающей среды. / Сб. науч. трудов МГИ НАНУ. – Севастополь, 2007. – С. 156 – 159.
4. А.А. Харкевич. Спектры и анализ. – М.-Л., Гос.Изд-во технико-теоретической литературы, 1952. – 178 с.