

УДК 551.582

А.В. Холопцев, к.ф.-м.н., М.П. Никифорова, асп.

Севастопольский национальный технический университет

## ОСОБЕННОСТИ ФАКТОРОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД ЗАПАДНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПОЙ С УЧЕТОМ ИХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ И МНОГОМОДОВОСТИ

*В статье рассмотрены пространственные распределения погрешности, среднеквадратического отклонения и дисперсии моделирования состояния общего содержания озона (ОСО) над Европой как нестационарного многомодового процесса в период с 1979 г. по 2006 г. Исследован также вопрос о выборе оптимального размера квадрата осреднения исходных спутниковых данных по ОСО.*

*Ключевые слова:* общее содержание озона, нестационарность, многомодовость, погрешности моделирования

**Введение.** Межгодовые изменения среднемесячных значений общего содержания озона (ОСО) над различными регионами планеты существенно влияют на динамику поступающих в их экосистемы потоков ультрафиолетовой радиации. Поэтому совершенствование методов их прогнозирования является актуальной проблемой не только метеорологии, но и экологии.

Согласно современным представлениям о прогнозировании различных природных процессов [1-3, 8], их качество во многом определяется эффективностью применяемых математических моделей. Следовательно, одной из ключевых задач в области совершенствования прогнозирования межгодовых изменений ОСО над той или иной территорией, является анализ факторов влияющих на погрешности их моделирования.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет для густо населенных регионов планеты, к числу которых относится Центральная и Западная Европа. В некоторых пунктах данного региона непрерывный мониторинг ОСО был начат еще в первой половине XX века, но над всей его территорией он осуществляется лишь с января 1979 г.

Начиная с этого времени, наблюдения за распределением ОСО над Европой, начали осуществляться с помощью искусственного спутника Земли (ИСЗ) [4]. Вследствие особенностей применявшейся методики измерений, информация о состояниях ОСО над той или иной местностью, поступающая от ИСЗ, являлась пространственно осредненной.

Упомянутые данные об ОСО над Европой отображались на Интернет сайте WOUNDS [5] в графической форме. Они могли быть преобразованы в цифровую форму путем задания тех или иных угловых размеров территорий, в пределах которых осуществляется пространственное осреднение [6].

Анализ временных рядов, отображающих межгодовые изменения ОСО, осредненных в пределах различных частей территории Европы, показал, что статистическим свойствам этих процессов присуща существенная пространственная и сезонная изменчивость. Каждый из рассматриваемых процессов может быть отнесен к нестационарным и многомодовым, что предполагает возможность использования при его моделировании методики, изложенной в [7].

Как известно [7, 9], статистические свойства результатов пространственного осреднения различных природных процессов, параметрам которых присущи подобные свойства, существенно зависят от параметров применяемого алгоритма их осреднения. Поэтому упомянутые параметры значимо влияют на эффективность различных соотношений, используемых в качестве их математических моделей. Тем не менее, особенности влияния этих параметров на эффективность моделирования межгодовых изменений соответствующим образом осредненных ОСО над различными частями территории Западной и Центральной Европы ранее не исследовались.

Объектом данного исследования являются особенности межгодовых изменений ОСО, осредненных по частям территории рассматриваемого региона, характеризующимся различными угловыми размерами и географическим положением.

Предметом исследования являются закономерности влияния географического положения части территории Европы, в пределах которой осуществляется осреднение, ее угловых размеров, а также времени года на точность моделирования рассматриваемых процессов в период с 1979 по 2006 гг.

Выявление подобных закономерностей позволит определить параметры алгоритма пространственного осреднения спутниковых данных об ОСО над той или иной частью территории Западной и Центральной Европой, при использовании которых, точность математического моделирования его межгодовых изменений, с использованием модели [7], является максимальной.

Целью данной работы являлась оценка влияния географического положения некоторой части территории Западной и Центральной Европы, в пределах которой осуществляется осреднение, ее угловых размеров, а также времени года на точность моделирования межгодовых изменений соответствующих ей ОСО за период с 1979 по 2006 гг.

**Методика исследования.** Для достижения указанной цели сопоставлялись систематические погрешности, дисперсии и среднеквадратические отклонения результатов моделирования межгодовых изменений ОСО в том или ином месяце, осредненных в пределах различных областей рассматриваемого региона, характеризующихся некоторыми угловыми размерами.

Моделирование сопоставляемых процессов осуществлялось с использованием методики [7]. При этом, в качестве их математической модели использовалось соотношение:

$$X(t) = T \cdot x(t) + K(t) + n(t), \quad (1)$$

где  $Tx(t)$  – линейный тренд изучаемого процесса;  
 $n(t)$  – стационарный, гауссовый шум измерения, характеризуемый нулевым средним;  
 $K(t)$  – коррелированная, нестационарная составляющая с нулевым средним

$$K(t) = \sum_{k=1}^N A_k(t) \sin[\omega_k(t) + \varphi_k], \quad (2)$$

где  $A_k(t)$  – мгновенная амплитуда  $k$ -моды процесса ( $k = 0, 1, 2, \text{ и т.д.}$ )

$$A_k(t) = a_{k_0} (1 + a_{k_1} t + a_{k_2} t^2); \quad (3)$$

$w_k(t)$  – ее мгновенная фаза, являющаяся в общем случае нелинейной функцией времени

$$\omega_k(t) = \omega_{k_0} (1 + \omega_{k_1} t) \cdot t; \quad (4)$$

$a_{ki}$  и  $\omega_{ki}$  – действительные числа, зависящие от рассматриваемого процесса и номера его моды  $k$ ,

$\varphi_k$  – начальная фаза моды с частотой  $w_k(t)$ , являющаяся действительной константой.

Для идентификации параметров математических моделей каждого изучаемого процесса использовалась методика [7].

Изучаемыми процессами являлись межгодовые изменения ОСО в том или ином месяце, над различными частями территории Западной и Центральной Европы, характеризующимися размерами  $\alpha \times \alpha$  ( $\alpha$  – параметр пространственного осреднения изменяющийся в пределах от 1 углового градуса, до 100 у.г., с шагом 1 у.г.).

Для каждого из этих процессов была идентифицирована его математическая модель и рассчитаны за период с 1979 по 2006 г. значения среднего и среднеквадратического отклонения разностей результата моделирования и истинного его значения

$$y(t) = X(t) - x(t). \quad (5)$$

Полученные результаты для каждого месяца и каждого значения  $\alpha$  отображались в виде соответствующих изолиний на контурных картах Западной и Центральной Европы.

**Результаты исследований и их анализ.** В соответствии с рассмотренной методикой рассчитаны значения среднего ( $m$ ) и среднеквадратического отклонения ( $\sigma$ ) ошибок моделирования  $y(t)$  ОСО над той или иной частью территории Западной и Центральной Европы за период с 1979 по 2006 гг.

По этим данным для каждого  $\alpha$  и каждого месяца построены распределения по территории этого региона значений  $\sigma$  и  $m$ .

В качестве примера, на рис. 1 А – В приведены подобные распределения  $\sigma$ , соответствующие январю и тем или иным  $\alpha$ .

Как видно из рис. 1, значения  $\sigma$  над той или иной частью территории рассматриваемого региона существенно зависят от  $\alpha$ . При увеличении  $\alpha$  от 1 до 9 значения  $\sigma$  для большинства регионов снижаются.

Из рис. 1 также следует, что значение  $\sigma$  существенно зависит и от географического положения соответствующей территории. При любом значении  $\alpha$  значения среднеквадратических отклонений  $\sigma$  ошибок моделирования возрастают по мере увеличения географической широты. Максимальные значения  $\sigma$  соответствуют западной Европе, а именно Португалии, Испании, частично Франции и Великобритании а минимальные значения  $\sigma$  — при смещении на юго-восток: Северной Африке, центральной Европе, в частности Германии.

Полученный результат во многом является следствием использования для мониторинга ОСО ИСЗ, обладавших некоторым пространственным разрешением и точностью измерения ОСО.

Установлено, что при использовании графической информации о распределении ОСО от другого ИСЗ (BASCOE), обладающего более высокой точностью измерения и лучшим пространственным разрешением, значение  $\alpha$ , при котором достигается минимум  $\sigma$ , снижается. Уменьшается и соответствующее значение  $\sigma$ .

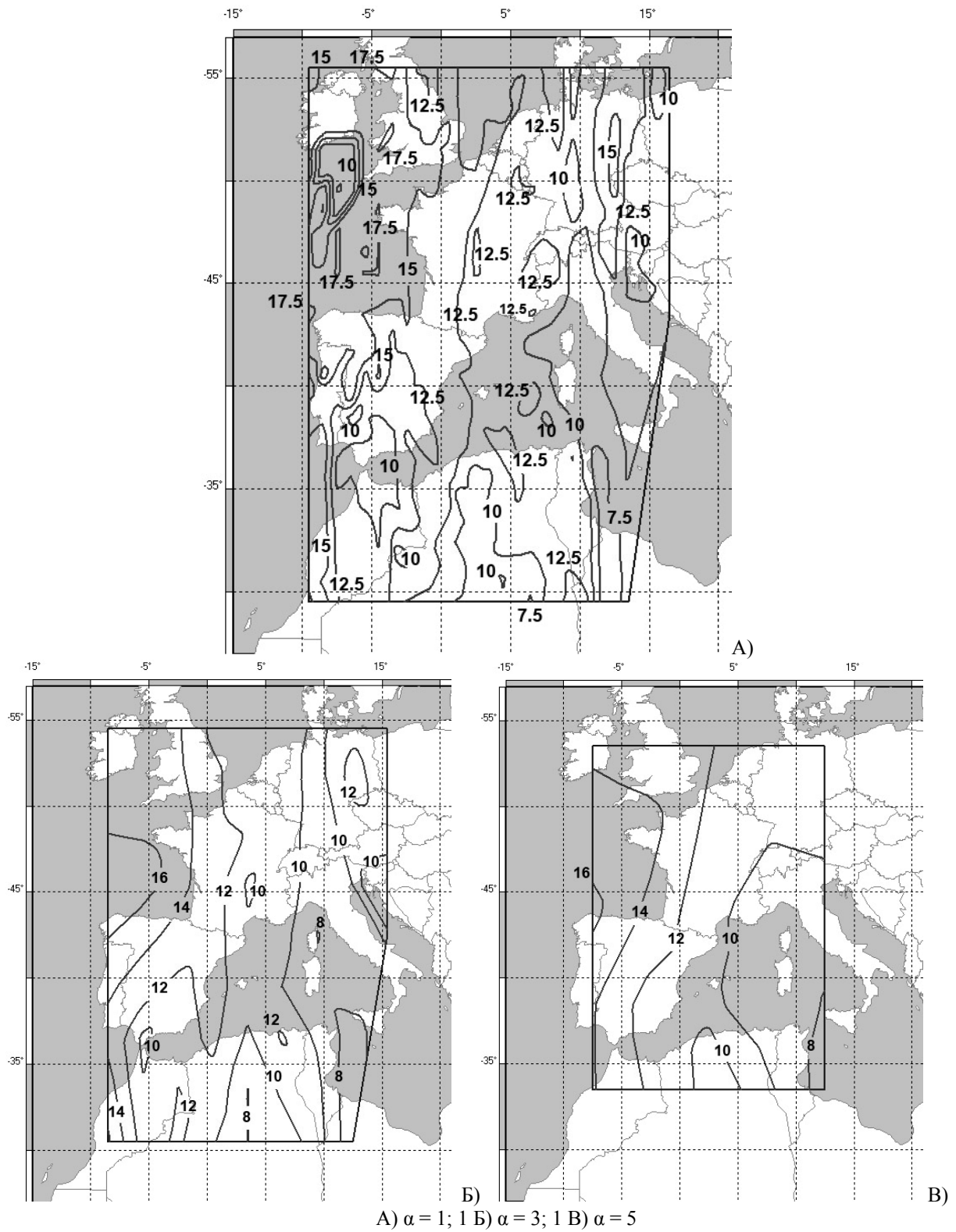


Рис. 1 -- Распределение по территории Западной и Центральной Европы среднеквадратических отклонений  $\sigma$  ошибок моделирования ОСО над различными ее частями, осредненных в пределах квадратов  $\alpha \times \alpha$ .

На рис. 2 показано распределение по территории Центральной и Западной Европы значений систематических ошибок результатов моделирования  $m$  для января при  $\alpha = 1, 3$  и  $5$ .

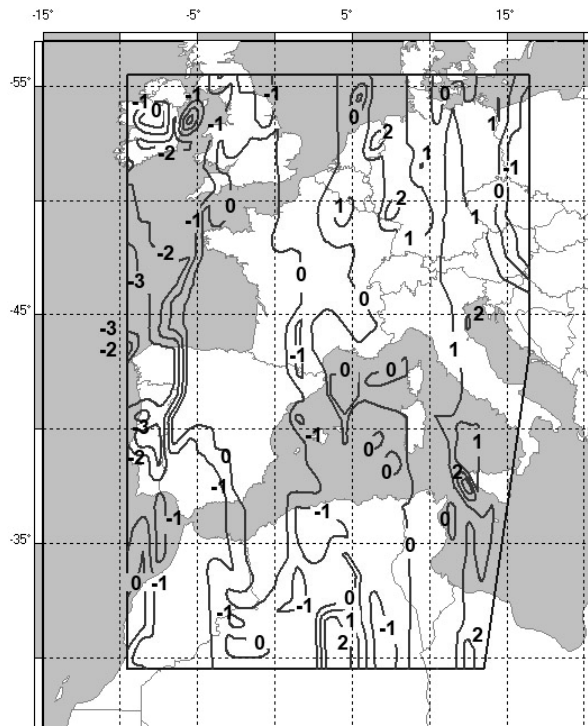


Рис. 2 -- Распределение по территории Западной и Центральной Европы средних значений  $m$  ошибок моделирования ОСО над различными ее частями, осредненных в пределах квадратов  $1 \times 1$ , оцененных за период с 1979 г. по 2006 г.

Как видим из рис. 2, пространственное распределение ошибки неоднородно. Минимальные ее значения наблюдаются над областями центральной Европы и Средиземным морем. Во многих районах этой области среднее значение систематической ошибки за рассматриваемый период равно нулю.

Аналогичные закономерности проявляются также для других месяцев.

Таким образом, установлено:

- 1) При фиксированной точности и пространственном разрешении графической информации о распределении ОСО, всегда существует  $\alpha$ , при котором  $\sigma$  моделирования межгодовых изменений ОСО достигает минимума.
- 2) При оптимальных значениях  $\alpha$ , наибольшие значения  $\sigma$  имеют место над территориями западной Европы, а наименьшие его значения наблюдаются в районах центральной Европы и северной Африки.
- 3) Сравнительно малые относительные погрешности моделирования межгодовых изменений ОСО позволяют предполагать возможность применения рассмотренной модели также в соответствующих задачах прогнозирования.

## Список литературы

1. Бокс Дж.Т. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Т. Бокс, Г.Д.Дженкинс / Под ред. В.Ф.Писаренко. – Москва: «Мир», 1974. – 197с.
2. Wiggins S. Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos. – N.Y.: Springer-Verlag, 1997. – 688 p.
3. Русов В.Д., Глушков А.В., Ващенко В.Н. Астрофизическая модель глобального климата Земли. – Киев: Наукова думка, 2003. – 270 с.
4. M. Weber, K. Bramstedt, J.C. Lambert, D. Loyola, J. Gleason The use of GOME total ozone for longterm trend assessment //SPARC/IOC workshop understanding of ozone trends college park, MD. – 7-9 March 2001.
5. G.J. Labow, R.D. McPeters, P.K. Bhartia A comparison of TOMS version 8 total column ozone data with data from groundstations // Geophysical Research Abstracts. – 2003. -- Vol. 5, 07399.
6. Холопцев А.В. Об особенностях статистической связи между изменениями среднемесячных температур приземного слоя атмосферы и общего содержания озона над территорией Украины / А.В.Холопцев, М.Б.Силаков, М.П.Никифорова // Вісник Одеського Національного Університету. Географічні та геологічні науки. -- 2008. – Том 13, вып.6. – С.228-237.
7. Холопцев А.В. Особенности энергетических спектров межгодовой изменчивости общего содержания озона над Украиной в период с 1979 по 2006 гг./ А.В.Холопцев, М.П.Никифорова // Причорноморський екологічний бюлетень.– 2009. -- №1(31). -- С.182 – 193.
8. Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Svinarenko A.A., Buniakova Yu.Ya., Prepelitsa G.P. Wavelet analysis and sensing the total ozone content in the earth atmosphere: micros technology “Geomath” // Sensor electronics and Microsystems technologies. – 2005. – N.3. – P.43-48.
9. Блатов А.С. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря / А.С.Блатов, Н.П.Булгаков, В.А.Иванов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 240 с.

**Особливості факторів похибок моделювання міжрічних змін середньомісячних значень загального вмісту озону над західною та центральною Європою з урахуванням їх нестационарності та багатомодовості. Холопцев О.В., Никифорова М.П.**

*В роботі розглянуті просторові розподіли похибки, середньоквадратичного відхилення та дисперсії моделювання стану загального вмісту озону (ЗВО) понад Європою як нестационарного та багатомодового процесу у період з 1979 р. по 2006 р. Також досліджено питання щодо вибору оптимального розміру квадрата осереднення початкових супутникових даних по ЗВО.*

**Ключові слова:** загальний вміст озону, нестационарність, багатомодовість, похибки моделювання.

**The analysis of factors of total ozone amount monthly mean values interannual changes simulation errors over West and Central Europe with regard to its unstationarity and multimodality.**

**Kholoptsev A.V., Nikiforova M.P.**

*In the paper the surface distributions of mean error values, mean square deviation and dispersion of total ozone amount (TOA) state simulation over Europe as unsteady multimodal process in the period from 1979 yr. to 2006 yr. are viewed. Also the question on the optimal averaging square of satellite TOA data choose is discussed.*

**Key words:** total ozone amount, unstationary, multimodality, simulation errors.