

УДК 551.510.534:551.583

**СВЯЗЬ СОСТОЯНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА  
НАД АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ  
С ОЗОНОВОЙ ДЫРОЙ НАД АНТАРКТИДОЙ****В. Ф. Мартазинова, Е. К. Иванова***Украинский гидрометеорологический институт ДСНС Украины и НАН Украины  
Украина, Киев, проспект Науки 37, vazira@gmail.com*

**Реферат.** Изменение общего содержания озона над станцией «Академик Вернадский» / «Фарадей» исследуется с 1996 года, после передачи Украине станции Британской Антарктической службы (БАС). В последние десятилетия отмечается заметное истощение озонового слоя над Антарктидой. Сравнение среднего годового хода общего содержания озона по измерениям на станции «Академик Вернадский» / «Фарадей» за периоды 1972–1994 гг. и 1995–2012 гг. показали, что озоновая дыра в период 1972–1994 гг. не проявлялась. В статье предлагается новый подход к классификации кривых годового хода общего содержания озона над Украинской Антарктической станцией (УАС) в последние десятилетия.

**Зв'язок стану загального вмісту озону над антарктичною станцією «Академік Вернадський» з озоновою дірою над Антарктидою.**

В. Ф. Мартазінова, Е. К. Иванова

**Реферат.** Зміна загального вмісту озону над станцією «Академік Вернадський» / «Фарадей» досліджується з 1996 року, після передачі Україні станції Британської Антарктичної служби (БАС). В останні десятиліття відзначається помітне виснаження озонового шару над Антарктидою. Порівняння середнього річного ходу загального вмісту озону за вимірюваннями на станції «Академік Вернадський» / «Фарадей» за періоди 1972–1994 рр. та 1995–2015 рр. показали, що озонова діра в період 1972–1994 рр. не проявлялася. У статті пропонується новий підхід до класифікації кривих річного ходу загального вмісту озону над Українською Антарктичною станцією (УАС) в останні десятиліття.

**The relationship of state of total ozone over antarctic station Vernadsky with state of ozone hole over Antarctic.**  
V. F. Martazinova, E. K. Ivanova

**Abstract.** The change of total ozone over the station Vernadsky / Faraday is investigated since 1996 for the period after the transfer of the British Antarctic Survey (BAS) station to the Ukraine. During this period there is a marked depletion of the ozone layer over Antarctica. Comparison of average annual variation of total ozone on measurements at the station Vernadsky / Faraday of 1972 to 1994 and 1995 to 2012 showed that the ozone hole in the period 1972-1994 was not appeared. We propose here a new approach to the classification of curves of the annual variation of total ozone over Ukraine Antarctic station (UAS) in the last decades.

**Key words:** total ozone, the ozone hole, the method of classification, the spatial distribution of the ozone layer.

**1. Введение**

В 1996 г. английская станция «Фарадей» была передана Украине и названа «Академик Вернадский». Все научные исследования, которые проводились английскими учеными на этой антарктической станции (Farman et al., 1985, Jones, Shanklin, 2002, Turner et al., 2005, Roscoe et al.,

2005), продолжают в настоящее время. В результате последних исследований получено много новых оригинальных результатов, которые позволяют определить современное состояние климатического режима УАС (Маргазинова и др., 2009, 2010), Антарктического полуострова и Антарктиды (Груза и др., 2007, Turner et al., 2002, Massom et al., 2006, Lynch et al., 2006, Marshall et al., 2011). В данной статье представлены результаты исследования по общему содержанию озона (ОСО) в районе Украинской антарктической станции (УАС) за период с 1996 г. по настоящее время. Состояние озонового слоя имеет важное значение для человеческой жизни. Поэтому исследования его формирования и современного состояния имеют чрезвычайно важное значение. Тревогу вызывает современное состояние как приземного озона, так и озонового слоя в нижней стратосфере (Vojkov et al., 1993, Solomon, 1999). Увеличение концентрации приземного озона в результате человеческой деятельности снижает биологическую продуктивность растений и ухудшает здоровье человека. В то же время, истощение озонового слоя имеет еще большее влияние на здоровье человека и биосферу. Приземный озон в районе Антарктиды остается экологически чистым, без воздействия человеческой деятельности и поэтому исследования в Антарктиде позволяют отслеживать и отмечать изменения климатического режима озона и других метеорологических параметров на определение глобальности этих изменений.

## 2. Состояние общего содержания озона над станцией «Академик Вернадский»

Данные исследования общего содержания озона (ОСО) проводились на основе ежедневных данных измерений озона в атмосфере на спектрофотометре Добсона № 123 над УАС (65°14' ю. ш., 64°17' з. д.) ежегодно с 22 июля 1995 г. по настоящее время (рис.1). Данные измерений озона за более ранние годы с сайта БАС (<http://www.antarctica.ac.uk/met/jds/ozone/index.html#data>).

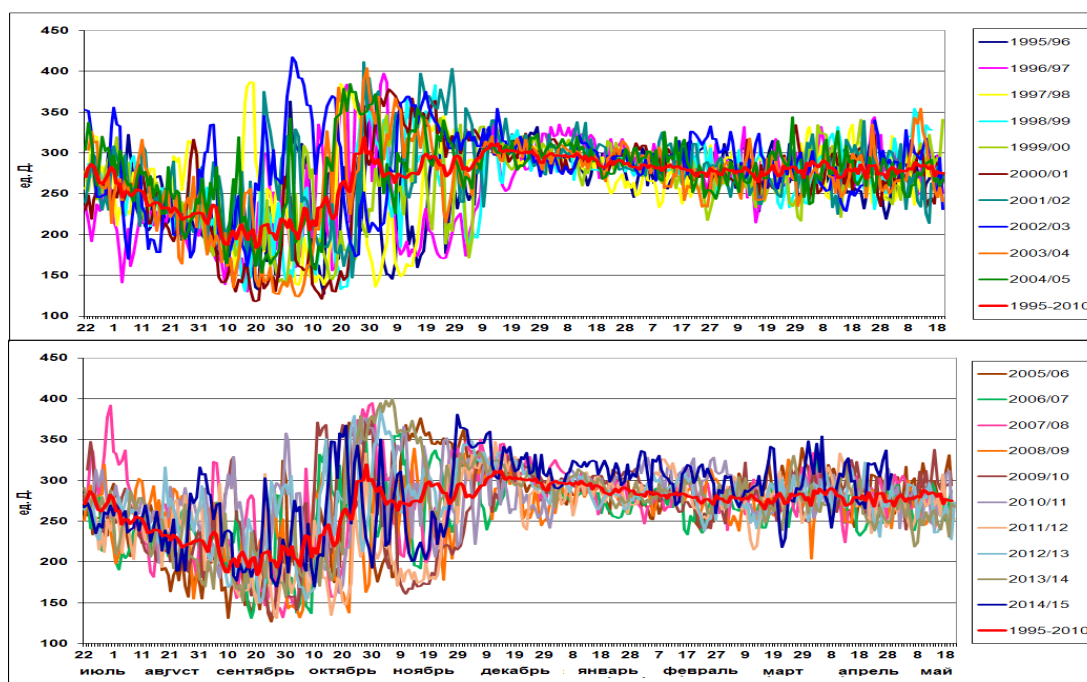


Рис. 1. Общее содержание озона над УАС за период 1995-2015 гг.

Если рассмотреть годовой ход ОСО (рис. 2), то видно, что за период 1961–2014 гг. наблюдается уменьшение ОСО над станцией Академик Вернадский/Фарадей (рис.2, а). Однако в отдельные десятилетия этого периода изменение ОСО было различным. В десятилетие 1961–1970 гг. ОСО над станцией «Академик Вернадский»/«Фарадей» изменялось незначительно, в последующие десятилетия 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000 гг. отмечалось заметное падение ОСО, а в период 2001–2014 гг. ОСО над УАС практически не изменялось (рис. 2,б).

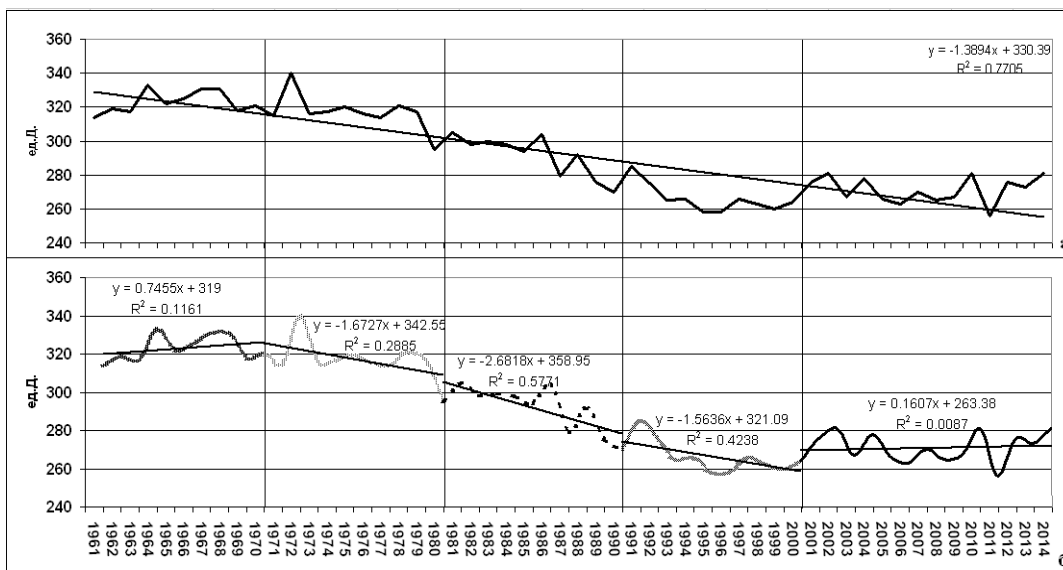


Рис. 2. Изменение общего содержания озона по десятилетиям периода 1961—2014 гг. над станцией Академик Вернадский/Фарадей

Распределение общего содержания озона по месяцам над станцией «Академик Вернадский»/«Фарадей» показывает, что наибольшие значения ОСО отмечались в весенне-летний период 1961–1970 и 1971–1980 гг. от 300 до 400 ед. Д. Начиная с десятилетия 1991–2000 гг. и по настоящее время значения ОСО в весенний период уменьшались и составляли 200–320 ед. Д., а в отдельные годы ниже 200 ед. Д.

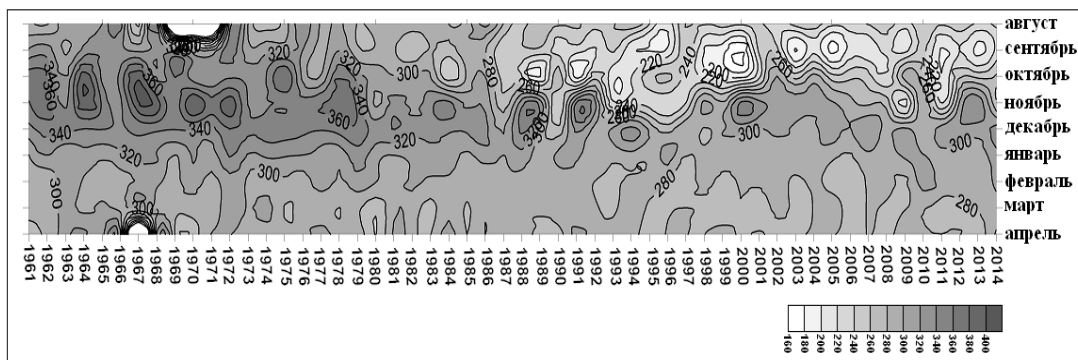


Рис. 3. Временная диаграмма значений общего содержания озона над станцией «Академик Вернадский»/«Фарадей».

Наибольший интерес для получения климатической характеристики изменений ОСО над УАС представляет период, когда в стратосфере формируется озоновая дыра. Кривая ежедневных средних значений ОСО на УАС показывает в среднем за последние десятилетия проявление озоновой дыры (значения ОСО ниже 220 ед. Д.) с конца августа и по середину октября (рис. 4). Однако, если сравнить средний многолетний ход ОСО на УАС за 1972–1994 гг. и 1995–2011 гг., то следует отметить, что в среднем озоновая дыра за период 1972–1994 гг. не проявлялась. Если сравнивать средние многолетние значения двух периодов, то, конечно, различие в них очень существенное. Озоновый слой в последние годы претерпел значительные изменения в сторону его уменьшения (Vojkov et al., 1993, Jones, Shanklin, 2002).

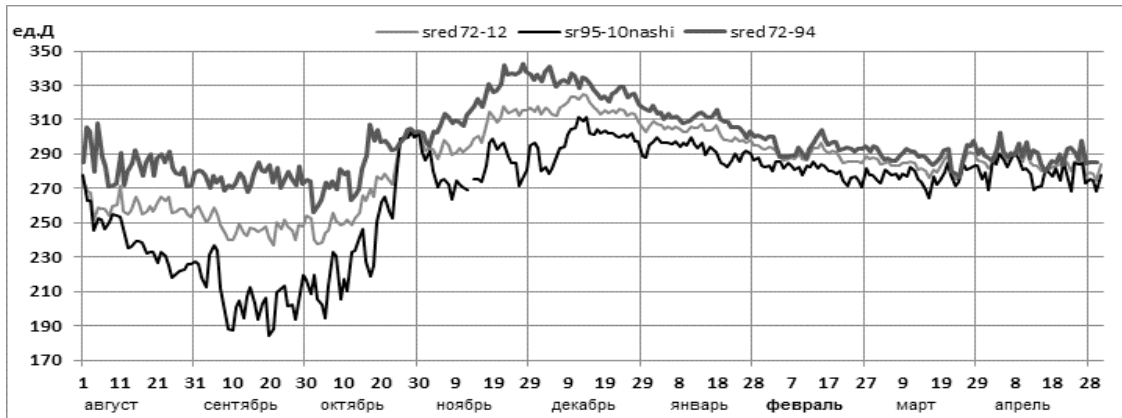


Рис. 4. Средний многолетний ход ежедневных значений ОСО над УАС в различные периоды (1972–1994 гг., 1995–2010 гг., 1972–2012 гг.).

Однако, кривые абсолютных значений на рис. 5 показывают, что в отдельные дни последнего периода возможны значения ОСО выше 300–350 ед. Д. и ниже 200 ед. Д. С начала антарктического лета изменчивость ОСО на УАС заметно уменьшается примерно в 3–4 раза. Минимальные значения в летний период отдельных лет больше определяются состоянием атмосферной циркуляции, преимущественно циклонической деятельностью над Антарктическим полуостровом.

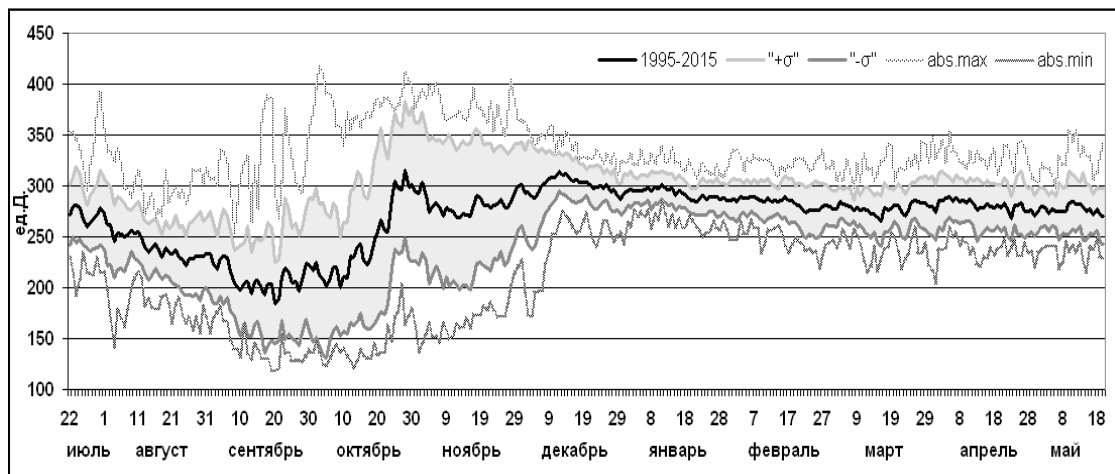


Рис. 5. Средний многолетний ход ежедневных значений ОСО и их минимальные, максимальные значения над УАС (1995–2015 гг.).

На рис. 6 показано, что наименьшее количество дней с низкой концентрацией озона с конца августа по середину октября составляет около 25 дней. К таким годам в последние десятилетия относятся 1997 г., 2002 г., (Solomon S., 1999, Jones A. E., Shanklin J. D., 2002, Turner et al., 2002, Massom et al., 2006), а также 2010 г. Наибольшее количество дней составляет около 60, практически на протяжении всего климатического периода становления дыры. Такое состояние ОСО на УАС отмечалось в 2000 г. и 2005 г. (Roscoe et al., 2005, Turner et al., 2005).

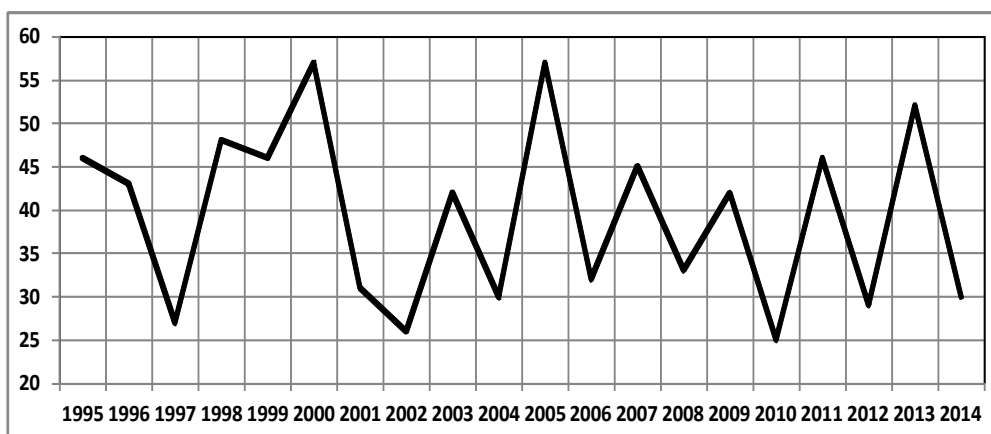


Рис. 6. Количество дней с ОСО ниже 220 ед. Д с конца августа по середину октября.

Рис. 7 наглядно показал временной ход аномального состояния ОСО на УАС, которое отмечалось в последние десятилетия (1997 г. и 2002 г. – меньшее количество дней с дефицитом озона, 2000 г. и 2005 г. – с дефицитом озона на протяжении сентября–октября).

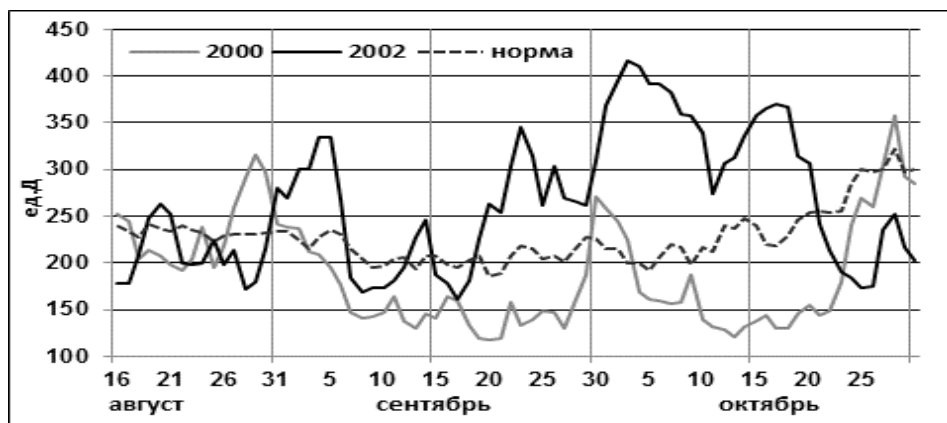


Рис. 7. ОСО на УАС в зимне-весенний период аномальных лет.

Наличие годов с дефицитом ОСО на УАС свидетельствует о том, что станция располагалась в зоне озоновой дыры или на ее периферии, при положительных аномалиях ОСО станция находилась вдали от зоны озоновой дыры, которая занимала небольшую территорию в эти годы.

### 3. Классификация наблюдений на УАС ежегодного хода ОСО

Исследованию озонового слоя в настоящее время посвящено много научных работ (Bowman, 1989, Randel, Fei Wu, 1999, Simmons et al., 2005, Previdi, Liepert, 2007), которые имеют важное значение в понимании изменения регионального и глобального климата. Состояние озонового слоя играет большую роль в работе полярников в Южном и Северном полушариях, особенно в тот период, когда полярная ночь уже закончилась, а озоновая дыра еще продолжает отмечаться над станцией. В результате в этот период зимовки полярники могут испытывать заметное влияние ультрафиолетового излучения на организм. Поэтому для зимовщиков необходим надежный прогноз ОСО. Разработка метода отслеживания состояния и положения озоновой дыры над Антарктидой и ОСО над станцией является важной и сложной задачей метеорологии. С целью создания прогностических возможностей по озону для УАС была предложена классификация состояния ОСО

над УАС. В основе поставленной задачи был использован метод «Эталон» (Martazinova, 2005), который основан на критериях аналогичности метеорологических полей. В нашем случае будем использовать архив суточных измерений ОСО в ед. Добсона над УАС за ее украинский период с 1996 г. по настоящее время.

Суточные значения ОСО над станцией каждого года запишем в виде вектора-строки  $X$  с элементами  $x_k$  в  $k$ -ом дне года  $n$ :

$$X_n = (x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_m)_n \quad (1)$$

Тогда весь архив наших полей за период будет иметь вид матрицы  $Y$ :

$$Y = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1k} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ik} & \cdots & x_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N1} & \cdots & x_{Nk} & \cdots & x_{Nm} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где каждая  $i$ -ая строчка матрицы  $Y$  есть суточные данные  $x_{ik}$  по ОСО в  $X_i$ -ый год архива с общим количеством  $N$  годов. Для каждого  $k$ -ого дня рассчитаем среднее значение

$$\bar{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ik}. \quad (3)$$

Средние многолетние значения за каждый  $k$ -день архива представим в виде вектора-строки

$$\bar{X} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k, \dots, \bar{x}_m). \quad (4)$$

Если каждый член  $x_{ik}$  (где  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  – есть номер года в архиве,  $k = 1, 2, 3, \dots, m$  – соответствует номеру суток в году) отклоним от среднего многолетнего значения соответствующего дня, то получим новую матрицу аномалий ОСО:

$$\Delta Y = \begin{bmatrix} \Delta X_1 \\ \vdots \\ \Delta X_i \\ \vdots \\ \Delta X_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x_{11} & \cdots & \Delta x_{1k} & \cdots & \Delta x_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta x_{i1} & \cdots & \Delta x_{ik} & \cdots & \Delta x_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta x_{N1} & \cdots & \Delta x_{Nk} & \cdots & \Delta x_{Nm} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где

$$\Delta x_{ik} = (x_{ik} - \bar{x}_k).$$

Все  $N$  рядов ОСО, которые вошли в матрицу  $\Delta Y$ , принимают участие в классификации. С помощью критерия аналогичности  $\rho$ , который определяется по знаку аномалии между данными аномалий ОСО двух годов  $i$  и  $n$ :

$$\rho_{in} = \frac{m_+ - m_-}{m}, \quad (6)$$

где  $-1 \leq \rho_{in} \leq +1$ ,  $m_+$  – количество совпадения и  $m_-$  – количество несовпадения по знаку аномалии ОСО соответствующих дней  $i$ -ого и  $n$ -ого годов.

Второй критерий – критерий расстояния между суточными данными ОСО двух годов  $i$  и  $n$  определяется как:

$$\eta = \frac{1}{m} \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{nk})^2}. \quad (7)$$

При классификации на первом этапе строилась матрица подобия  $\rho$  по знаку аномалии:

$$\tilde{\rho} = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \cdots & \rho_{1n} & \cdots & \rho_{1N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{n1} & \cdots & \rho_{nn} & \cdots & \rho_{nN} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{N1} & \cdots & \rho_{Nn} & \cdots & \rho_{NN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \rho_{1n} & \cdots & \rho_{1N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{n1} & \cdots & 1 & \cdots & \rho_{nN} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{N1} & \cdots & \rho_{Nn} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

матрица  $\rho$  квадратная и симметричная относительно главной диагонали, значения на главной диагонали равны 1 и указывают на аналогичность данных одного года с собой. Добавим матрицу  $\rho$  средними значениями по каждой строчке:

$$\begin{bmatrix} 1 & \cdots & \rho_{1n} & \cdots & \rho_{1N} & \bar{\rho}_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{n1} & \cdots & 1 & \cdots & \rho_{nN} & \bar{\rho}_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{N1} & \cdots & \rho_{Nn} & \cdots & \rho_{NN} & \bar{\rho}_N \end{bmatrix},$$

Наибольшее значение указывает на подобие большего количества лет с  $n$ -ым годом. Объединяются в класс с  $n$ -ым годом те годы, которые имели геометрическое подобие по  $\rho > 0,5$ , что соответствует подобию по знаку в более 75 % данных между двумя годами (или более 274 дней). Как правило, это составляет первый класс, который имеет наибольшую вероятность. Отобранный в этом классе  $n$ -ый год получил название «эталон» класса. В отличие от других годов данного класса, «эталон» имеет наибольшую информативность об ОСО во всем классе. Из оставшихся лет без первого класса формируются следующие классы, в которых также находится «эталон» класса. После классификации и отыскания «эталонов» каждого класса необходимо подтвердить количественно наилучшую информативность каждого «эталона». Для этого внутри каждого класса строится матрица  $\eta$ , которая позволяет подтвердить «эталон» класса по min-max расстоянию (7) между данными разных годов класса:

$$\zeta = \begin{bmatrix} \eta_{11} & \cdots & \eta_{1p} & \cdots & \eta_{1P} & \bar{\eta}_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \eta_{p1} & \cdots & \eta_{pp} & \cdots & \eta_{pP} & \bar{\eta}_p \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \eta_{P1} & \cdots & \eta_{Pn} & \cdots & \eta_{PP} & \bar{\eta}_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & \eta_{1p} & \cdots & \eta_{1P} & \bar{\eta}_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \eta_{p1} & \cdots & 0 & \cdots & \eta_{pP} & \bar{\eta}_p \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \eta_{P1} & \cdots & \eta_{Pn} & \cdots & 0 & \bar{\eta}_P \end{bmatrix},$$

где диагональные члены класса равны 0 и указывают на нулевую разность данных самого ряда с собою,  $P$  – отвечает количеству годов класса, матрица  $\eta$  расширена в последнем столбце средним значением данных по каждой строчке, которое показывает отклонение в среднем данных каждого

года класса от данных остальных лет. Среднее значение года-«эталона» должно быть относительно наименьшим среди других средних. Это способствует подтверждению выбранного эталона класса из матрицы  $\rho$ .

Таким образом, в результате классификации по изменению суточного состояния ОСО над УАС было выявлено с 1996–2011 гг. четыре класса, кривые «эталона» каждого класса приводятся на общем графике рис. 6. Каждый класс имеет свою вероятность: 1 класс – 56 %, 2 класс – 35 %, 3 и 4 классы по 4.5 %. Наиболее вероятный класс отвечает климатическому режиму ОСО над УАС в период 1996–2011 гг.

Как видно из рис. 8, кривые эталонов 1–4 классов различаются. Так, например, эталон первого класса имеет подобие по критерию аналогичности  $\rho$  с эталоном второго класса 0,240, с эталоном третьего класса 0,040 и с эталоном четвертого класса 0,107.

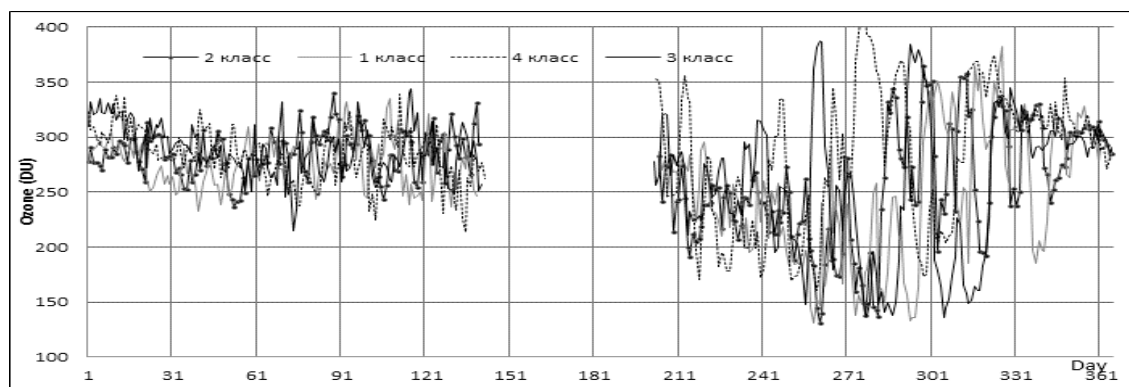


Рис. 8. Эталоны кривых ОСО на УАС для четырех классов.

Такая низкая аналогичность эталонов указывает на хорошее разделение классов, которые в то же время, надо отметить, определяются различным состоянием озоновой дыры над Антарктическим полуостровом в период ее становления. В результате этого каждый класс имеет свое важное значение. Так, например, первый класс есть наиболее вероятный и встречается последние десятилетия относительно часто и поэтому лежит в основе современного климатического состояния ОСО на УАС. Второй класс кривых годового хода ОСО также имеет заметную частоту проявления и поэтому дополняет характер климатических кривых ОСО. Что касается последних двух классов, то надо подчеркнуть, что это очень редкие характеристики кривых ОСО, и они являются не как правило (как первые два класса), а как исключение.

Термобарическое состояние крупномасштабной атмосферной циркуляции представляет собой один из основных факторов формирования озонового слоя над Антарктидой. Эталон ОСО над станцией каждого класса входит в состав определенного распределения озонового слоя над Антарктидой. Соотношение каждого класса о состоянии озоновой дыры наглядно можно видеть на рис. 9.

На рис. 9 приводится среднее состояние озонового слоя в сентябре для каждого выделенного класса. Наиболее вероятный первый класс показывает климатическое состояние озонового слоя в последние двадцать лет. Классы третий и четвертый малой вероятности показывают более редкое состояние озонового слоя за последние десятилетия.

Первый и второй классы отмечают наибольшее падение концентрации озона в озоновом слое. Третий класс имеет также дыру в озоновом слое, но с большей концентрацией озона, чем в первом и втором классах. Четвертый класс имеет существенно высокую концентрацию озона в период становления озоновой дыры. Как видно из рис. 9, в последние два десятилетия УАС находится преимущественно при появлении озоновой дыры над Антарктидой, либо в ее зоне или на ее периферии. Совсем редко озоновая дыра бывает незначительной по площади и совсем не касается Антарктического полуострова, как это показывает четвертый класс.



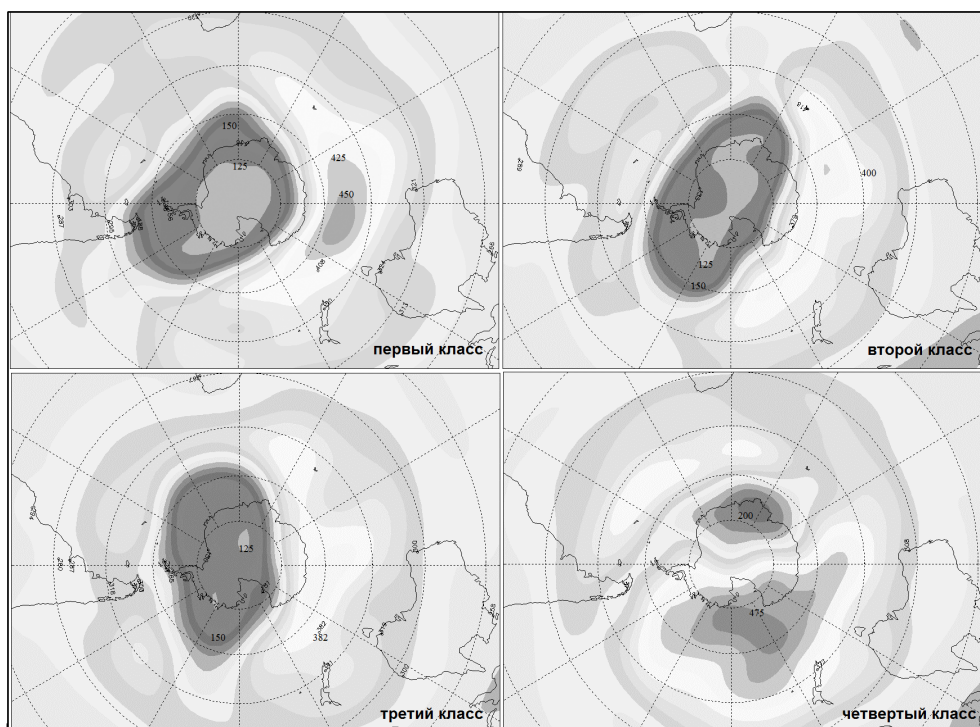


Рис. 9. Эталон состояния и положение озоновой дыры в зависимости от классификации кривых ОСО над УАС.

### 3. Выводы

В данной статье приведены результаты классификации по изменению суточного состояния ОСО над УАС в течение года и пространственного распределения озонового слоя в период формирования и становления озоновой дыры над Антарктидой. Впервые удалось проанализировать пространственное состояние озонового слоя над Антарктидой по точечным измерениям на УАС.

В последние два десятилетия при появлении озоновой дыры над Антарктидой УАС находится преимущественно либо в ее зоне, либо на ее периферии. Совсем редко озоновая дыра бывает незначительной по площади и совсем не касается Антарктического полуострова.

Необходимо отметить информативность эталонов классификации. В зависимости от их класса можно иметь представление о характере и положении озоновой дыры в Южном полушарии.

### Литература

1. Груза Г. В., Ранькова Э. Я., Рочева Э. В. Крупномасштабные колебания циркуляции атмосферы в Южном полушарии и их влияние на изменение климата некоторых регионов земного шара в XX веке // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 7. – С. 5 – 17.
2. Маргазинова В. Ф., Тимофеев В. Е., Иванова Е. К. Роль изменения тропосферной циркуляции западного сектора Антарктики в формировании климатических условий Антарктического полуострова // Наук. Пр. УкрНДГМІ, 2009, вип. 258. – С. 8 – 19.
3. Маргазинова В. Ф., Тимофеев В. Е., Иванова Е. К. Атмосферная циркуляция южной полярной области и климат Антарктического полуострова. К. : Аверс. 2010. – 92 с.
4. Vojkov R. D., C. S. Zerefos, D. S. Balis, I. C. Ziomas and A. F. Bais Record low total ozone during northern winters of 1992 and 1993 // Geophys. Res. Lett. 1993. vol. 20. – P. 1351–1354.

5. **Bowman K. P.** Global patterns of the quasi-biennial in total ozone // *J. Atmos. Sci.* 1989. vol. 46. P. 3328–3343.
6. **Farman J. C.**, B. G. Gardiner & J. D. Shanklin Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction // *Nature*. 1985. 315, 207 – 210 (16 May 1985); doi:10.1038/315207a0
7. **V. E. Fioletov**, G. Labow, R. Evans, E. W. Harel, U. Köhler, C. T. McElroy, K. Miyagawa, A. Redondas, V. Savastouk, A. M. Shalamyansky, J. Staehelin, K. Vanicek, M. Weber The performance of the ground-based total ozone network assessed using satellite data // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2008. vol.113. DOI:10.1029/2008JD 009809.
8. **Jones A.E.**, Shanklin J.D. Continued decline of total ozone over Halley, Antarctica, since 1985 // *Nature*. 2002. vol. 376. – P. 409 – 411.
9. **Lynch A.**, Uotila P., Cassano J. Changes in synoptic weather patterns in the polar regions in the twentieth and twenty-first centuries, part 2: Antarctic // *Int. J. of Climatology*. 2006, v. 26. Iss. 9. – P. 1181–1199.
10. **Martazinova V.** The Classification of Synoptic Patterns by Method of Analogs // *J. Environ. Sci. Eng.* 2005. 7. – P. 61–65.
11. **Marshall G. J.**, Battista S., Naik S. S., Thamban M. Analysis of a regional change in the sign of the SAM–temperature relationship in Antarctica // *Climate Dynamics*. 2011. 36. – P. 277 – 287.
12. **Massom, R. A.**, S. E. Stammerjohn, R. C. Smith, M. J. Pook, R. A. Iannuzzi, N. Adams, D. G. Martinson, M. Vernet, W. R. Fraser, L. B. Quetin, R. M. Ross, Y. Massom and H. R. Krouse. Extreme anomalous atmospheric circulation in the West Antarctic Peninsula region in Austral Spring and Summer 2001/02, and its profound impact on sea ice and biota // *Journal of Climate*. 2006. 19 (15). – P. 3544 – 3571.
13. **Previdi M.** and B. G. Liepert. Annular modes and Hadley cell expansion under global warming // *Geophysical Research Letters*. 2007. 34 (22). – P. 132 – 144.
14. **Randel W. J.**, Fei Wu. Cooling of the Arctic and Antarctic Polar Stratospheres due to Ozone Depletion // *Journal of Climate*. 1999. vol. 12. – P. 1467 – 1479.
15. **Roscoe H. K.**, Shanklin J. D., Colwell S. R. Has the Antarctic Vortex Split before 2002? // *Journal of the Atmospheric Sciences*. 2005. 62 (3). 581-588. 10.1175/JAS-3331.1
16. **Simmons A. J.**, Hortal M., Kelly G., McNally A., Untch A. and Uppala S. ECMWF analyses and forecasts of stratospheric winter polar vortex breakup: September 2002 in the southern hemisphere and related events // *J. Atmos. Sci.* 2005. 62. – P. 668 – 689.
17. **Solomon S.** Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history // *Rev. Geophys.* 1999. 37. – P. 275 – 316.
18. **Turner J.**, King J. C, Lachlan-Cope T. A., and Jones P. D. Recent temperature trends in the Antarctic // *Nature*. 2002. vol. 418. – P. 291 – 292.
19. **Turner John**; Harangozo, Stephen A.; Marshall, Gareth J.; King, John C.; Colwell, Steve R. Anomalous atmospheric circulation over the Weddell Sea, Antarctica during the austral summer of 2001/02 resulting in extreme sea ice conditions // *Geophysical Research Letters*. 2002. 29 (24). 4, pp. 10.1029/2002GL015565
20. **Turner J.**, Colwell S.R., J. Marshall G.J. et al. Antarctic Climate Change During the Last 50 Years // *Int. J. Climatol.* 2005. v. 25. – P. 279 – 294.
21. **RS NATURE**, Vol 457, 22 January 2009.