

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***Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України і НАН України
Україна, Київ, 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>).

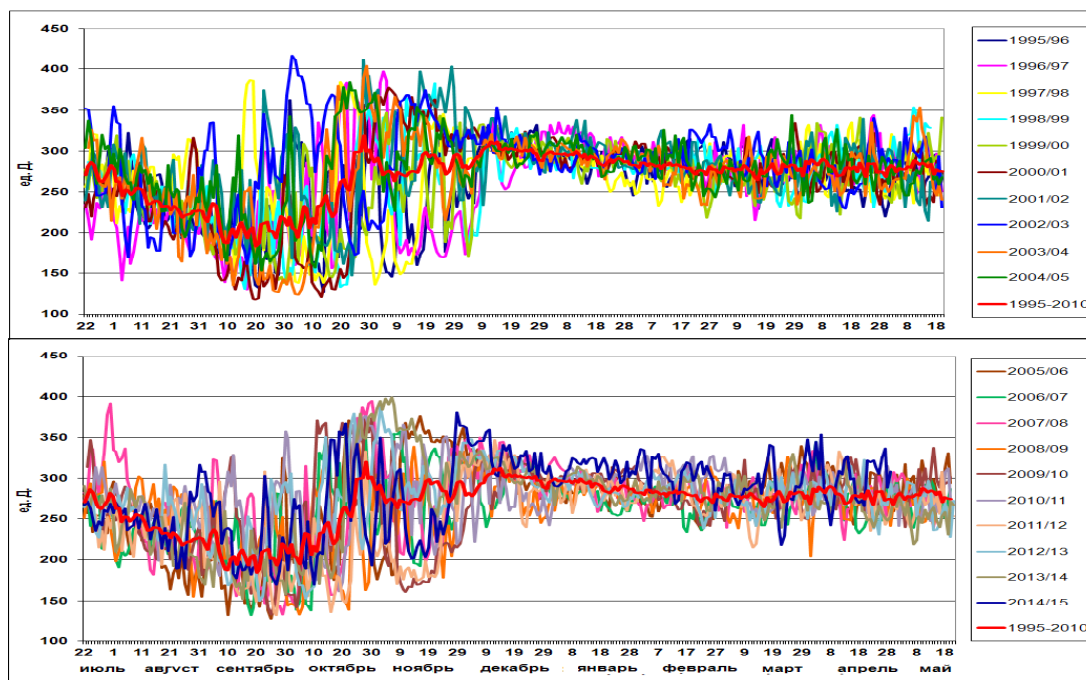


Рис. 1. Общее содержание озона над УАС за период 1995-2015 гг.

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).

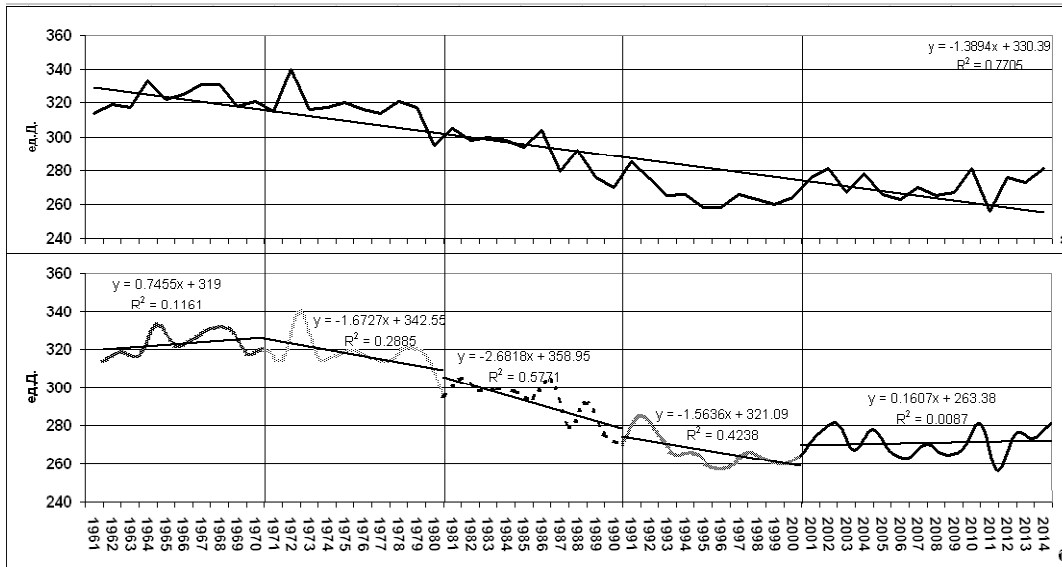


Рис. 2. Изменение общего содержания озона по десятилетиям периода 1961—2014 гг. над станцией Академик Вернадский/Фарадей

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.

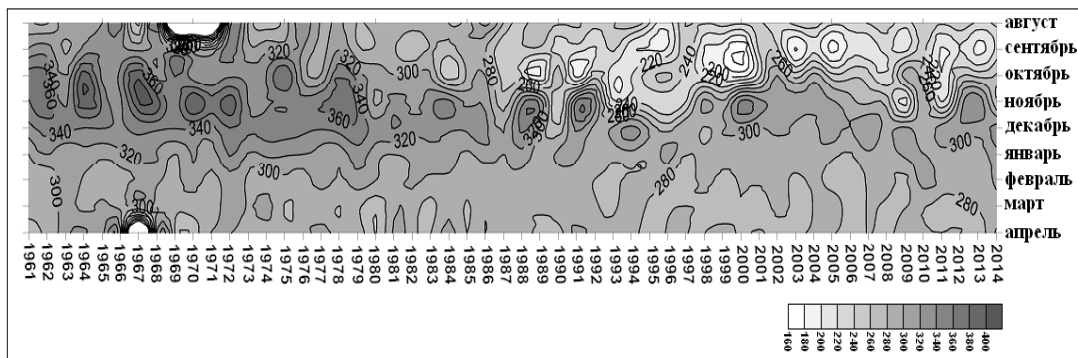


Рис. 3. Временная диаграмма значений общего содержания озона над станцией «Академик Вернадский»/«Фарадей».

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).

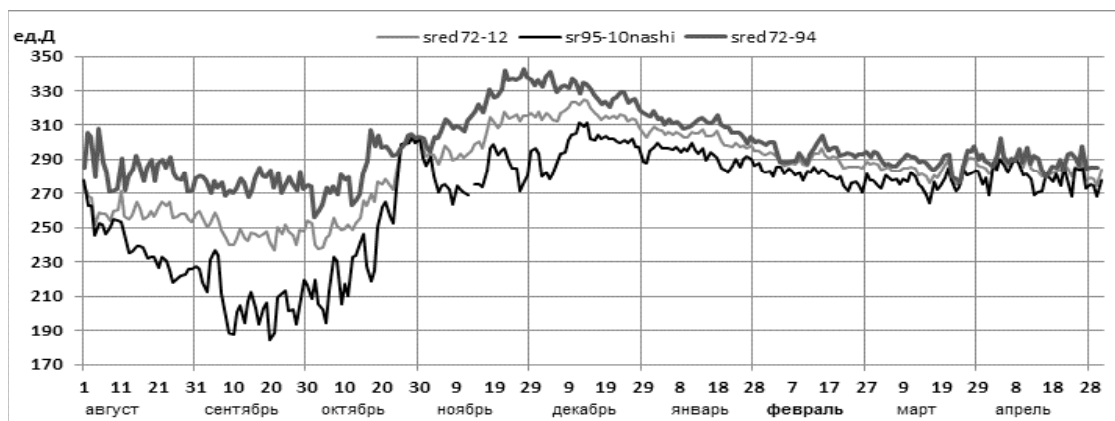


Рис. 4. Средний многолетний ход ежедневных значений ОСО над УАС в различные периоды (1972–1994 гг., 1995–2010 гг., 1972–2012 гг.).

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.

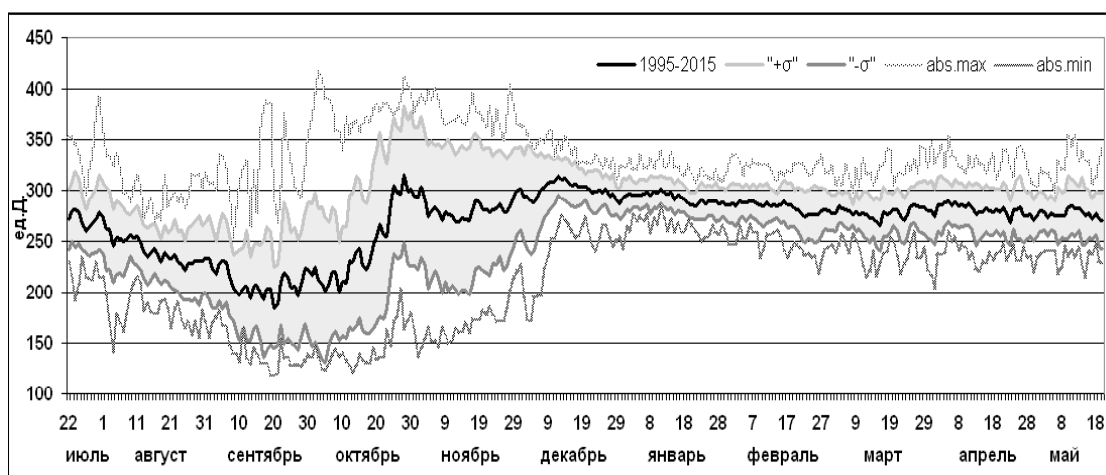


Рис. 5. Средний многолетний ход ежедневных значений ОСО и их минимальные, максимальные значения над УАС (1995–2015 гг.).

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).

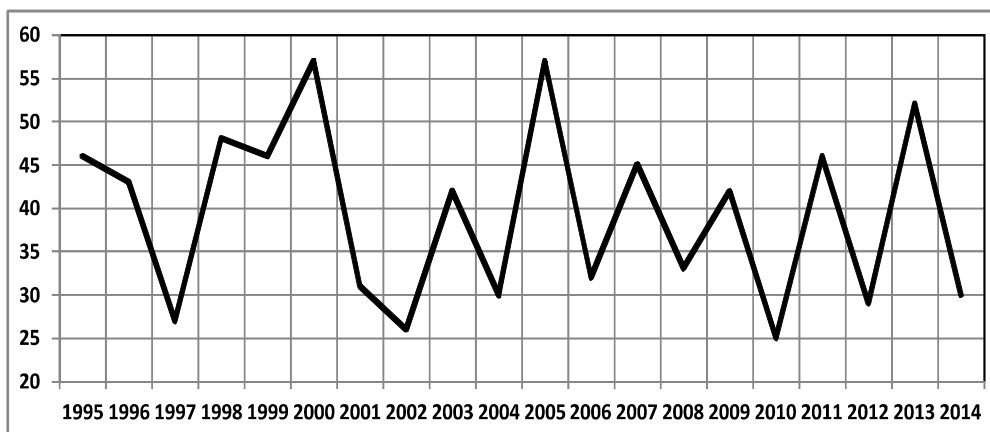


Рис. 6. Количество дней с ОСО ниже 220 ед. Д с конца августа по середину октября.

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).

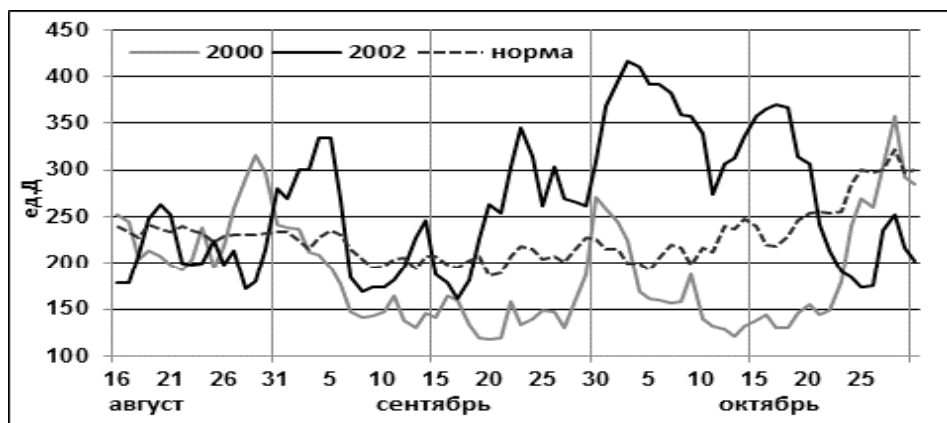


Рис. 7. ОСО на УАС в зимне-весенний период аномальных лет.

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 ΔY , принимают участие в классификации. С помощью критерия аналогичности ρ , 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 ρ по знаку аномалии:

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

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

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

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 η , которая позволяет подтвердить «эталон» класса по min-max расстоянию (7) между данными разных годов класса:

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

где диагональные члены класса равны 0 и указывают на нулевую разность данных самого ряда с собою, P – отвечает количеству годов класса, матрица η 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 ρ .

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 ρ с эталоном второго класса 0,240, с эталоном третьего класса 0,040 и с эталоном четвертого класса 0,107.

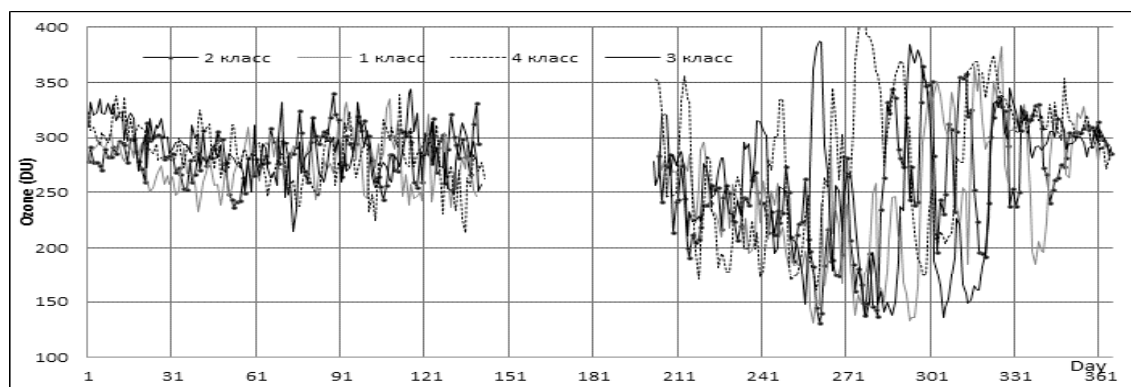


Рис. 8. Эталоны кривых ОСО на УАС для четырех классов.

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.

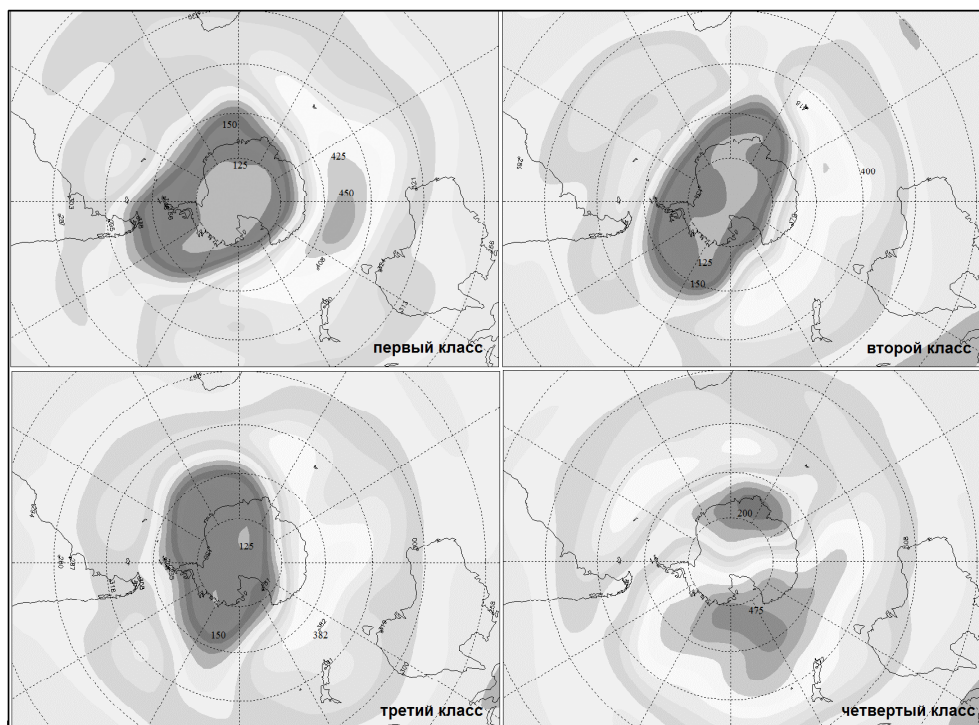


Рис. 9. Эталон состояния и положение озоновой дыры в зависимости от классификации кривых ОСО над УАС.

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. Мартазинова 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. Мартазинова 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_x/NO_x interaction // *Nature*. 1985. 315, 207 – 210 (16 May 1985); doi:10.1038/315207a0
7. **V. E. Fioletov**, G. Labow, R. Evans, E. W. Hare, U. Köhler, C. T. McElroy, K. Miyagawa, A. Redondas, V. Savastiouk, 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. **Martazinoва 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.