

УДК 551.509

ПРОШЛОЕ, СОВРЕМЕННОЕ И СЦЕНАРИЙ БУДУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД СТАНЦИЕЙ «АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ» В АНТАРКТИЧЕСКИЙ СЕЗОН ОЗОНОВОЙ ДЫРЫ

В. Ф. Мартазинова

Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС и НАН Украины, просп. Науки, 37, г. Киев, 03028, vazira@gmail.com

Реферат. Целью работы является построение метода прогноза состояния озона над Украинской антарктической станцией «Академик Вернадский» в ближайшее десятилетие. В статье приводятся результаты исследования состояния озона над станцией «Академик Вернадский» с 1972 г. С помощью критериев аналогичности находится аналог состоянию озона 2016/2017 гг. над станцией из архива наблюдений. Предложенная в работе модель изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции для Южного полушария используется для прогноза состояния озона над станцией «Академик Вернадский» в ближайшее десятилетие. Сделан вывод, что в ближайшее десятилетие следует ожидать увеличение общего содержания озона над станцией.

Ключевые слова: состояние озона, станция «Академик Вернадский», аналог, атмосферная циркуляция, Антарктида, прогнозирование общего содержания озона.

МИНУЛИЙ, СУЧАСНИЙ І СЦЕНАРІЙ МАЙБУТНЬОГО СТАНУ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ НАД СТАНЦІЄЮ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ» У АНТАРКТИЧНИЙ СЕЗОН ОЗОНОВОЇ ДІРИ

В. Ф. Мартазінова

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, м. Київ, vazira@gmail.com

Реферат. Метою роботи є побудова методу прогнозу стану озону над Українською антарктичною станцією «Академік Вернадський» в найближче десятиліття. У статті наведено результати дослідження стану озону над станцією «Академік Вернадський» з 1972 р. За допомогою критеріїв аналогічності знаходиться аналог стану озону 2016/2017 рр. над станцією з архіву спостережень. Запропонована в роботі модель зміни великомасштабної атмосферної циркуляції для Південної півкулі використовується для прогнозу стану озону над станцією «Академік Вернадський» в найближче десятиліття. Зроблено висновок, що в найближче десятиліття слід очікувати збільшення загального вмісту озону над станцією.

Ключові слова: стан озону, станція «Академік Вернадський», аналог, атмосферна циркуляція, Антарктида, прогнозування загального вмісту озону.

PAST, PRESENT AND SCENARIO OF THE FUTURE STATE OF OZONE ABOVE AKADEMIK VERNADSKY STATION IN ANTARCTIC SEASON OF THE OZONE HOLE

V. Martazinova

Ukrainian Hydrometeorological Institute, State Emergency Service of Ukraine and National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, vazira@gmail.com

Abstract. The main objective of the study is development a method for forecasting the state of ozone above the Ukrainian Antarctic Akademik Vernadsky station since 1972 are presented in the article. The result of study of the state of ozone above Vernadsky station from 1972 is given in the article. An analogue to the state of ozone 2016/2017 is found using the similarity criteria from the observations archive of the station. The proposed model of the change in large-scale atmospheric circulation for the Southern Hemisphere is used to predict the state of the ozone over the Vernadsky station in the next decade. Main conclusion from this study is that in the next decade should expect an increase in the total ozone above the station.

Key words: the state of ozone, Vernadsky station, analogue, atmospheric circulation, Antarctica, prediction of the total ozone.

1. Введение

Прошло более 30 лет с тех пор, как была открыта «озоновая дыра» над Антарктикой (Farman et al., 1985). Озон в атмосфере измеряется спектрофотометром Добсона, это оборудование разработано в 1920-х годах. Общее содержание озона измеряется в единицах Добсона (DU), типичная его величина составляет около 300 ед. Д. Озоновая дыра определяется как площадь атмосферы, имеющая значения общего содержания озона менее 220 ед. Д. Измерения показали, что истощение озонового слоя над Южным полушарием больше, чем над Северным полушарием и оно определяется площадью антарктической озоновой дыры с общим содержанием озона (ОСО) < 220 ед. Д (Randel et al., 1999; Александров et al., 1992). Появление озоновой дыры в полярную зиму связывают с накоплением хлора и брома, содержащих озоноразрушающие вещества (WMO, 2003; Cai et al, 2007; Connell, et al., 2008; Solomon et al., 2016). Однако усиленное истощение озона над Антарктидой, которое происходит каждую весну, обусловлено сочетанием дополнительных факторов, таких, как например, глобальное повышение температуры (Turner et al., 2002) и изменениями в крупномасштабной атмосферной циркуляции в тропосфере и стратосфере зимой (Naujokat et al., 2005; Massom et al., 2006; Мартазинова и др., 2010; Martazinova et al., 2016). Образование циркумполярного вихря зимой в стратосфере вокруг Антарктиды определяется сильными западными ветрами, которые блокируют движение воздуха из Антарктической стратосферы. Как только образовалась антарктическая озоновая дыра, она остается в основном в вихре до тех пор, пока условия, которые поддерживают вихрь, не ослабевают и не разрушаются ближе к ноябрю или декабрю. Большое количество международных усилий сосредоточено на использовании и улучшении сложных климатических моделей для получения лучших прогнозов будущих изменений. В данной статье рассматривается состояние ОСО над УАС «Академик Вернадский» с 1972 г., но не как в одной выделенной точке, а как в точке пространственного распределения ОСО над Антарктидой, находящегося под влиянием крупномасштабной атмосферной циркуляции. Модель изменения общей циркуляции атмосферы Южного полушария (Martazinova, 2016) позволяет анализировать изменения атмосферной циркуляции с начала предыдущего столетия и строить прогноз ее изменения в ближайшие десятилетия. В соответствии с учетом изменения циркуляции Южного полушария прогнозируется состояние озонового слоя над УАС «Академик Вернадский» в ближайшее десятилетие и сопоставляется с общим антарктическим озоновым слоем. В данной статье изменение будущего состояния озонового слоя представлено только под влиянием одного фактора – изменения атмосферной циркуляции.

2. Материалы и метод исследования

Архив общего содержания озона над станцией «Фарадей/Вернадский» в Национальном Антарктическом центре Украины имеется с 1972 г. по настоящее время. Данные измерений с 1972 г. до 1986 г. сделаны на английской станции «Фарадей», а с 1986 г. по настоящее время получены на УАС «Академик Вернадский». Таким образом, период измерения ОСО над станцией «Фарадей/Вернадский» составляет 46 лет и позволяет провести анализ его изменения над станцией на протяжении периода повышения глобальной температуры второй половины XX столетия и в первые десятилетия XXI столетия. Ниже на рис. 1 приводится график хода ОСО 2016/2017 гг. над УАС «Академик Вернадский». Из рисунка видно, что на протяжении августа-сентября отмечается резко-неустойчивый характер ОСО над станцией, резкая смена его от положительной до отрицательной аномалии с периодом около 5 дней. В октябре происходит увеличение продолжительности периодов с положительной и отрицательной аномалией.

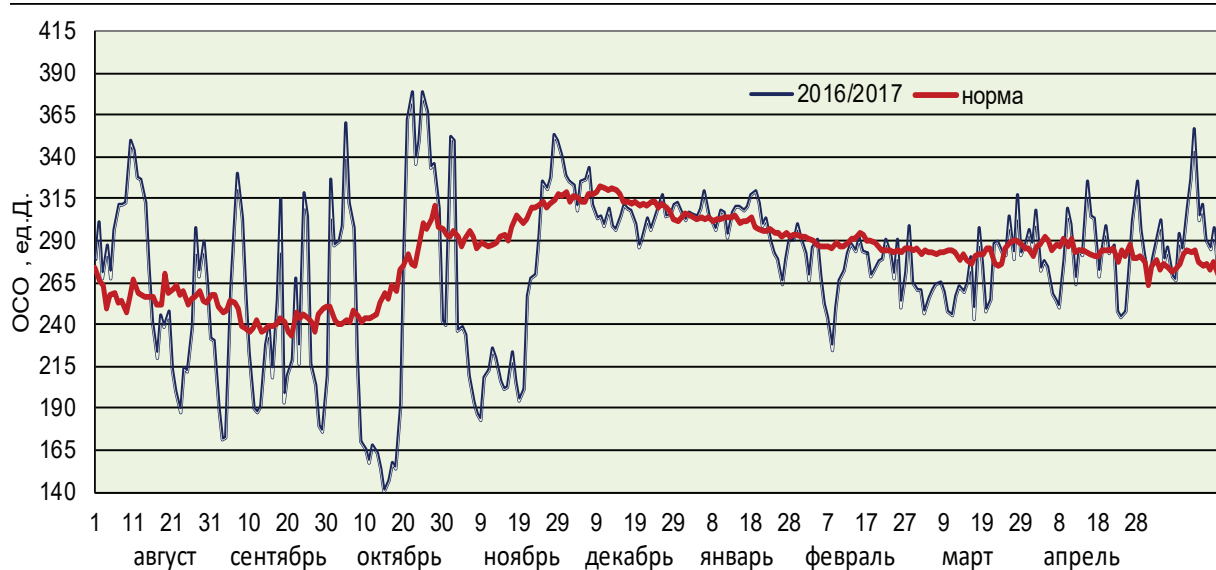


Рис.1. Изменение ОСО в 2016/2017 гг.

Fig.1. Change of the total ozone in 2016/2017.

Положительные аномалии ОСО в октябре 2016 г. достигали наивысших значений 380 ед. Д. относительно всего периода и в то же время, в этом месяце достигались самые низкие значения – 140 ед. Д. В ноябре, практически на протяжении всего месяца, над станцией отмечался дефицит ОСО на уровне 190 ед. Д., который к концу месяца повышается до значений выше 340 ед. Д. В последующие дни декабря 2016 г.- января 2017 г. значения ОСО остаются в пределах нормы. Незначительные отрицательные аномалии наблюдаются в феврале-марте 2017.

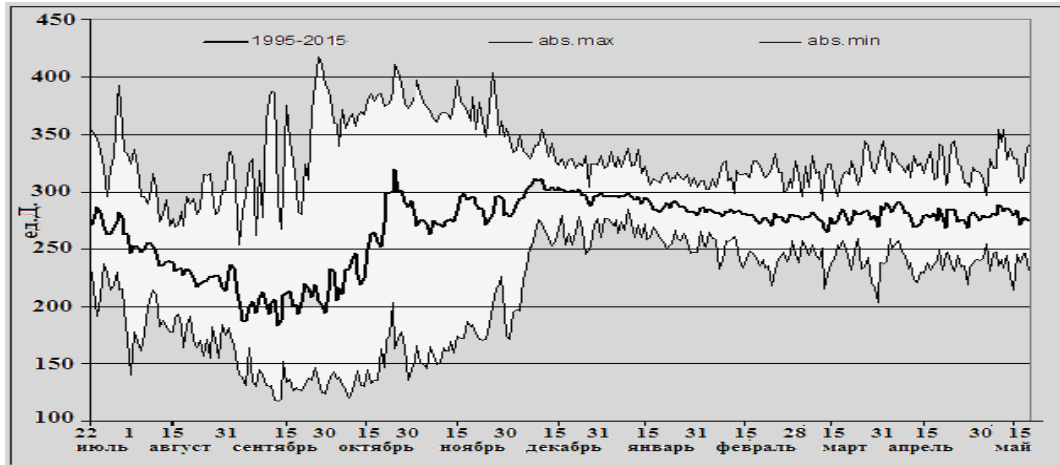


Рис. 2. Средний многолетний ход ежедневных значений ОСО и их минимальные, максимальные значения над УАС «Академик Вернадский».

Fig.2. The course of the multi-year average of the daily values of the total ozone and their minimum, maximum values over the Akademik Vernadsky station.

В целом по состоянию ОСО в холодный период 2016/2017 гг. можно отметить, что в августе – сентябре над УАС «Академик Вернадский» находилась периферия озоновой дыры и поэтому отмечалась резкая неустойчивость ОСО. Большее количество дней в октябре – ноябре 2016/2017 гг. УАС «Академик Вернадский» находилась в зоне озоновой дыры и поэтому периоды дефицита ОСО были продолжительными.

Наибольший интерес для получения климатической характеристики изменений ОСО над УАС «Академик Вернадский» представляет период, когда в стратосфере формируется озоновая дыра. Кривая ежедневных средних значений ОСО на УАС показывает в среднем за последний 18 летний период проявление озоновой дыры (значения ОСО ниже 220 ед. Д.) с конца августа и по середину октября (рис. 2).

Однако, кривые абсолютных значений минимума и максимума на рис. 2 показывают, что в целом во все дни этого периода отмечались 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, характером активной циклонической деятельности над Антарктическим полуостровом. Относительно хода распределения ОСО над УАС в период 2016/2017 гг. надо отметить, что значения большинства дней весны этого периода близко совпадают с минимальными значениями на рис. 1, тем самым подтверждая отрицательную аномальность ОСО в XX Украинской экспедиции на УАС «Академик Вернадский». Для более полного анализа изменения ОСО на УАС «Академик Вернадский» дополнительно приводится график на рис. 3, на котором показан временной ход среднемесячного ОСО с 1957 г. и минимальных значений ОСО за месяц с 1972 г. на примере сентября.

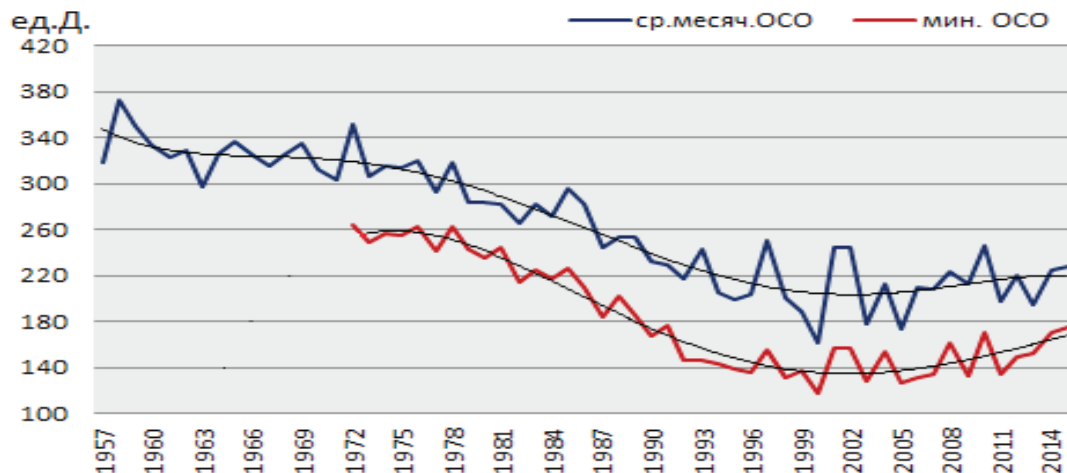


Рис.3. Минимальные и среднемесячные значения ОСО над УАС «Академик Вернадский» с 1972 г. по 2016 г.

Fig.3. The minimum and monthly values of the total ozone over the Akademik Vernadsky station from 1972-2016.

Минимальные и среднемесячные значения ОСО отмечают понижение от 1972 г. практически до конца XX столетия, тогда как с начала XXI столетия по настоящее время уровень минимальных значений от года к году мало меняется, но при этом после 2010 года отмечается незначительное повышение ОСО над УАС «Академик Вернадский». Надо отметить, что с 1998 года по данным отчета (Met Office, 2013) отмечается пауза в изменении глобальной температуры, что согласуется с незначительным изменением ОСО УАС «Академик Вернадский» в эти годы. В данном случае пауза в глобальной температуре и пауза в ОСО на УАС «Академик Вернадский» дают возможность рассуждать о согласованности этих двух параметров в глобальном масштабе. Насколько такое рассуждение может иметь основание, будет рассмотрено в последующих разделах.

3. Среднесуточное изменение ОСО над антарктической станцией «Фарадей/Вернадский» на протяжении 1972-2017 гг.

Архив среднесуточных изменений ОСО над УАС «Академик Вернадский» имеется за 45 лет. На рис. 4 приведена временная диаграмма ОСО над УАС «Академик Вернадский» всего архива наблюдений. На диаграмме по вертикальной оси показаны среднесуточные значения за каждый год, по горизонтальной оси показаны годы с 1972/1973 гг. по 2016/2017 гг., в которые были сделаны измерения. Построенная временная диаграмма позволяет наглядно видеть состояние ОСО над станцией в различные годы с 1972 г. Темнокрасные очаги на рисунке показывают дефицит озона, синие очаги – избыток озона. По окраске временного хода изменения среднесуточного ОСО каждого года можно отметить, что в начале периода его содержание над станцией было до 1985/1986 гг. значительно выше, чем в последующие годы. При этом подчеркнем, что ОСО до 1978/1979 гг. было выше, чем в последующие годы. Период с 1972/1973 гг. по 1985/1986 гг. разделяется на два этапа, второй из которых можно считать переходным этапом к дальнейшему значительному понижению ОСО. Очаги с дефицитом ОСО над станцией с 1986 г. проявляются во все годы до настоящего времени. Последний период, после 1987 г., относится к очень важному и сложному периоду, поскольку в эти годы над УАС «Академик Вернадский» находилась не только периферия озоновой дыры, но сама ее зона. Наиболее низкие значения ОСО приходились на сентябрь (доходили до 140-160 ед. Д.). Исследование причин такого преобразования в этот период озонового слоя как над УАС «Академик Вернадский», так и над территорией Антарктического полуострова и в целом над Антарктидой являются одной из важнейших задач периода глобального потепления. Надо заметить, что несмотря на то, что в настоящее время над станцией наблюдаются дни с дефицитом ОСО, тем не менее отмечается его рост за счет значительного уменьшения дней ниже 220 ед. Д. Этот период также важен для исследования. Установить, как долго он продлится, и как будет преобразовываться состояние озона в ближайшем десятилетии – сложная и важная задача, которая требует дополнительных и более полных исследований.

Одна из возможностей разработки прогноза – поиск аналогичных процессов в прошлом. В качестве примера распознаем аналог для ОСО 2016/2017 гг. Для анализа ОСО над УАС «Академик Вернадский» в 2016/2017 гг. были посчитаны аналогичные ситуации изменения его от дня ко дню из периода 1972-2015 гг. Для оценки аналогичности изменения ОСО в 2016/2017 гг. использованы следующие количественные критерии (Martazinova, 2005) распознавания образов:

А) Коэффициент корреляции знаков аномалий метеоэлементов

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{N},$$

где и соответственно число данных, в которых знак оправдался и не оправдался, N – общее число данных.

Б) Среднеквадратичная ошибка (mean squared error)

$$MSE_j = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{ij} - x_{ij})^2 \right)^{1/2}$$

Так как нормы одинаковы данных разных лет, то относительная ошибка является нормированным средним квадратом ошибки.

В) Коэффициент корреляции аномалий (anomaly correlation coefficient)

$$AC = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta f_{ij} \Delta x_{ij})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta f_{ij})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta x_{ij})^2}}$$

С) Средняя абсолютная ошибка

$$MAE_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_{ij} - x_{ij}|$$

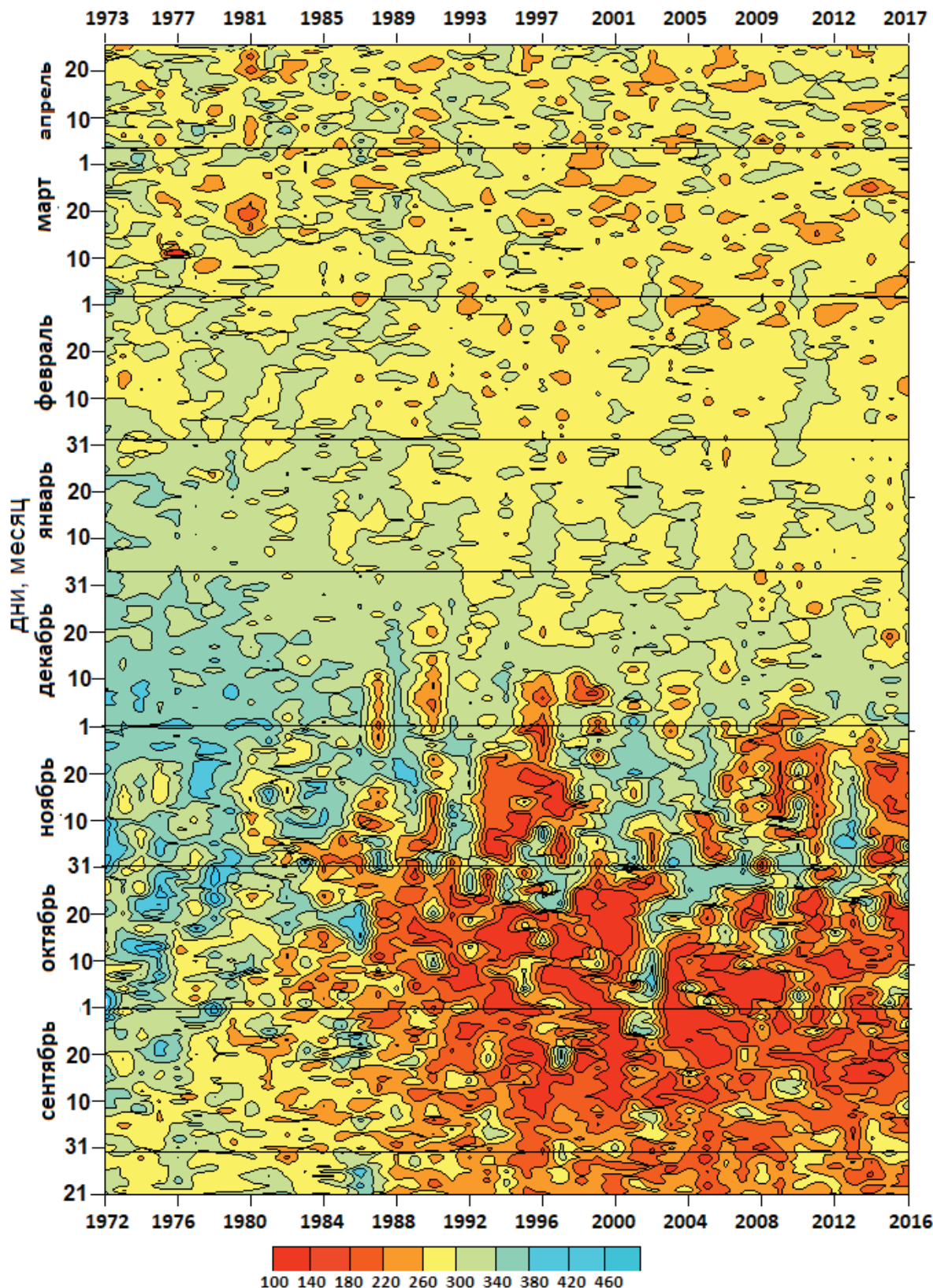


Рис. 4. Временная диаграмма ОСО над УАС «Академик Вернадский» в период 1972-2016.

Fig. 4. The temporary diagram of the total ozone over the Vernadsky station in the period 1972-2016.

По приведенным критериям были найдены аналоги состоянию ОСО над УАС «Академик Вернадский» в период 2016/2017 гг. Наилучшие оценки аналогичности для ОСО 2016/2017 гг. получили 2007/2008, 2009\2010 гг. и 1984/1985 – 1986/1987 гг. На рис. 5 приводится сопоставление аналога ОСО 1985/1986 гг. и временного хода ОСО 2016/2017гг. Динамика хода изменения ОСО в обоих годах хорошо согласуется.

Особенно надо отметить совпадение в положении и во времени озоновой дыры. Относительное положение озоновой дыры в данном случае рассматривается только локально над УАС, но не в целом над Антарктидой. Однако отметим, что низкое содержание озона на протяжении длительного времени не может наблюдаться только над одной точкой (как в октябре), это маловероятно, поэтому такое поведение ОСО может быть связано с крупномасштабным пространственным процессом, как озоновая дыра.

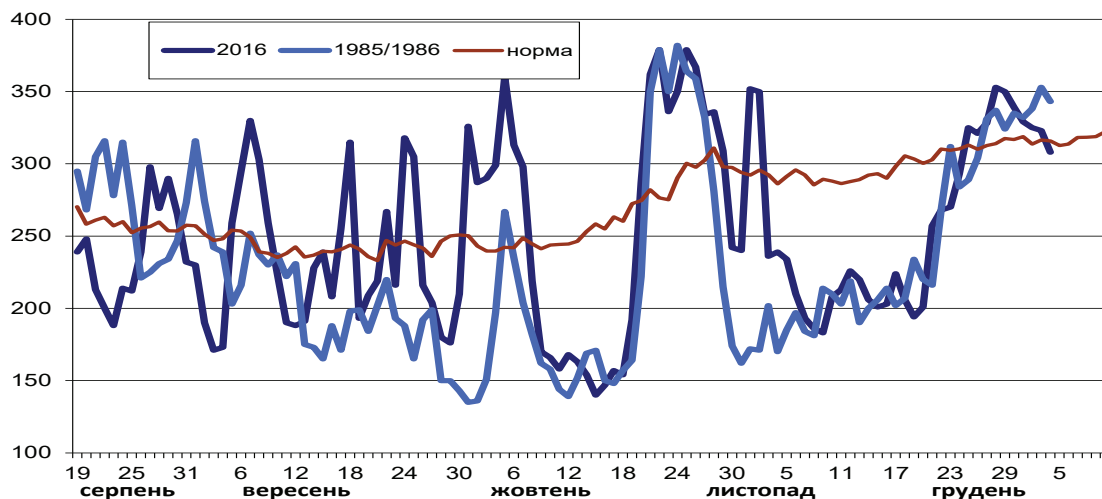


Рис. 5. ОСО (ед. Д) над УАС «Академик Вернадский» 2016/2017 и его аналог в 1985/1986 гг.

Fig. 5. The analogue in 1985/1986 for total ozone (DU) 2016/2017 over the Vernadsky station.

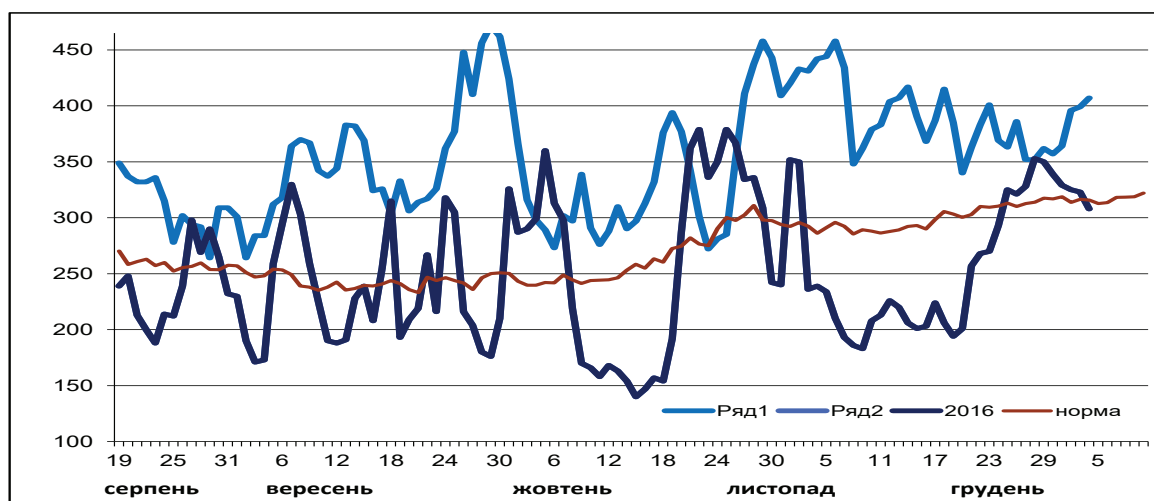


Рис. 6. ОСО (ед. Д) над УАС «Академик Вернадский» 2016/2017 и его антианалог 1972/1973 гг.

Fig. 6. The antianalogue in 1972/1973 for total ozone (DU) 2016/2017 over the Vernadsky station.

Для того, чтобы понять отличие аналога от антианалога, на рис. 6 приводится сопоставление состояния ОСО 1972/1973 гг. и 2016/2017 гг. Рисунок свидетельствует о значительных различиях во временных кривых состояния озона на УАС «Академик Вернадский». Временное положение аналогов позволяет в данном исследовании изучить динамику изменения ОСО над УАС «Академик Вернадский» с 1972 года и попытаться определить характер изменений в будущем. В первом приближении можно отметить, что, возможно, период после 1985/1986 гг. и по 2016/2017 гг. – это начало и конец периода дефицита озонового слоя над Антарктидой и, следовательно, в дальнейшем состоянии ОСО будет стремиться к состоянию 1972/1973 гг. В следующем разделе будет показано, что 1985/1986 гг. имеет также важное значение в общей циркуляции атмосферы Южного полушария.

4. Сценарий прогноза ОСО над УАС «Академик Вернадский» в ближайшее десятилетие

Состояние озонового слоя очень важно для жизнедеятельности всего человечества. Поэтому уменьшение озонового слоя в предыдущие годы вызвало беспокойство ученых и людей всех стран. Изучение изменений и прогнозирование на будущее ОСО является важной и сложной задачей метеорологии. Однако, если

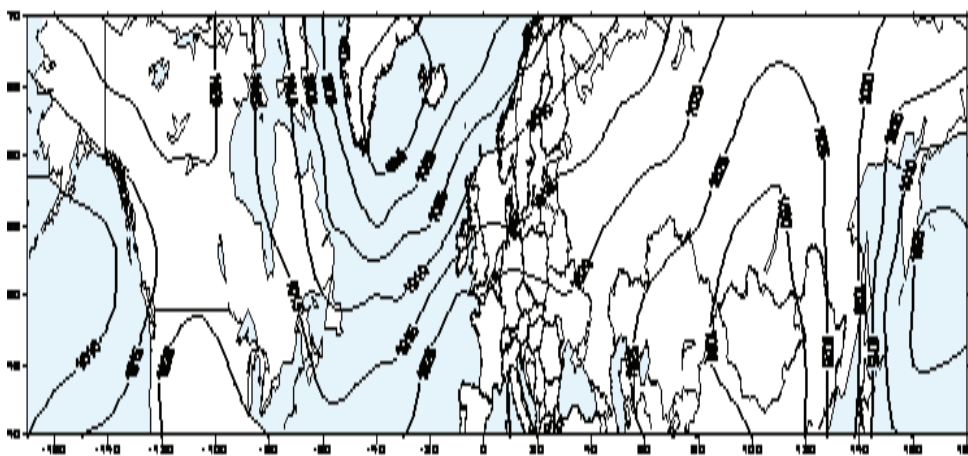
сопоставить результаты исследования изменения крупномасштабной циркуляции атмосферы и полученной модели изменения ее в ближайшие десятилетия (Martazinova, 2016), то можно спрогнозировать состояние озонового слоя в ближайшие годы. Надо подчеркнуть, что такие исследования требуют дискуссий и дополнительного изучения всех факторов, влияющих на озоновый слой.

Коротко остановимся на результатах, полученных с помощью нашей модели по изменению крупномасштабной циркуляции атмосферы в северном и южном полушариях на ближайшее десятилетие и сопоставим с результатами исследования по озону в этом разделе. Для создания модели общей циркуляции атмосферы использовались поля давления на уровне моря северного (СП) и южного полушария (ЮП). Архив полей давления СП накапливался с конца XIX столетия, для ЮП архив значительно короче – с 1960 г. Поэтому реконструкция циркуляции ЮП была получена на основе модели циркуляции СП. Кратко остановимся на основе нашей модели циркуляции.

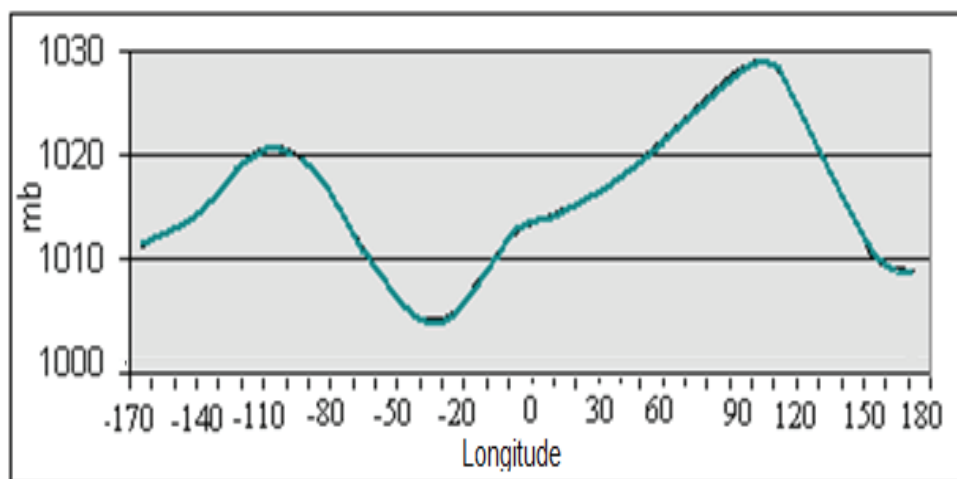
Запишем поля давления на уровне моря в виде матрицы \mathbf{P} с элементами p_{ij} , которые соответствуют значениям давления в точке i и j регулярной сетки поля из нашего архива, осредненное для каждого десятилетия. Осредненное по широте поле $\bar{\mathbf{P}}$ запишем в виде

$$\bar{\mathbf{P}} = (\bar{P}_1, \bar{P}_2, \bar{P}_3, \dots, \bar{P}_j, \dots, \bar{P}_{N-1}, \bar{P}_N)$$

Пример этого осреднения поля приведен на рис. 7 для Северного полушария.



а



б

Рис. 7. Поле давления на уровне моря СП 1900-1909 (а) и его широтное осреднение (б).

Fig. 7. Sea level pressure field of the NH 1900-1909 (a) and its latitudinal averaging (b).

Разложим вектор $\bar{\mathbf{P}}$ в ряд Фурье для определения изменения атмосферной циркуляции над СП и ЮП в течение 20-го столетия:

$$\bar{p}(j) = \bar{p} + \sum_{m=1}^{n/2} \left(a_m \cos \frac{2\pi m}{n} j + b_m \sin \frac{2\pi m}{n} j \right)$$

и вычислим фазовый угол Φ_m от десятилетия к десятилетию на полушарии с начала 20 века до настоящего времени:

$$\Phi_m = \arctg(b_m / a_m)$$

с волновыми числами $m = 3$ для трех-вихревой системы Северного полушария и $m = 4$ для четырех-вихревой системы Южного полушария, тогда

$$\Delta\Phi_m = \Phi_m^t - \Phi_m^{(t-1)}$$

показывает сдвиг волны m в момент времени t с шагом 10 лет.

Сравнение сдвигов циркуляции в течение последних десятилетий в СП и ЮП показало их хорошую согласованность. Эта согласованность указывает на то, что смещение к востоку крупномасштабной атмосферной циркуляции от десятилетия к десятилетию второй половины XX-го столетия в северном и южном полушарии происходит одновременно и поэтому можно сказать что одновременно и на всем земном шаре. Сдвиг атмосферной циркуляции на запад появляется в начале XXI-го столетия и будет продолжаться следующие два десятилетия (Martazinova, 2016).

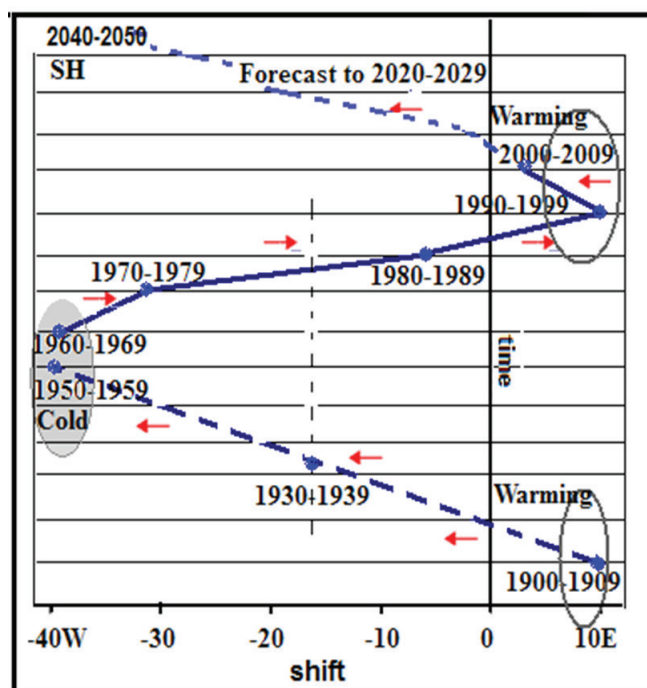


Рис. 8. Направление смещения $\Delta\Phi_m$ атмосферной циркуляции над южным полушарием на протяжении 20-ого и начала 21-ого столетий.

Fig. 8. The direction of displacement of the $\Delta\Phi_m$ of atmospheric circulation over the Southern Hemisphere during the 20th and early 21st centuries.

Смещение циркуляции к западу способствует активности центров действия атмосферы с появлением в зимний сезон резких похолоданий. Колебание крупномасштабной атмосферной циркуляции с запада на восток, с востока на запад произошло около 1930-1939 года в первой половине XX столетия и около 1985-1986 года в последние десятилетия. Смещение современной циркуляции к западу в ближайшие десятилетия будет преобразовываться аналогично периоду 1985-1960 гг, т.е к холодной циркуляции XX столетия, но на современном фоне глобального потепления.

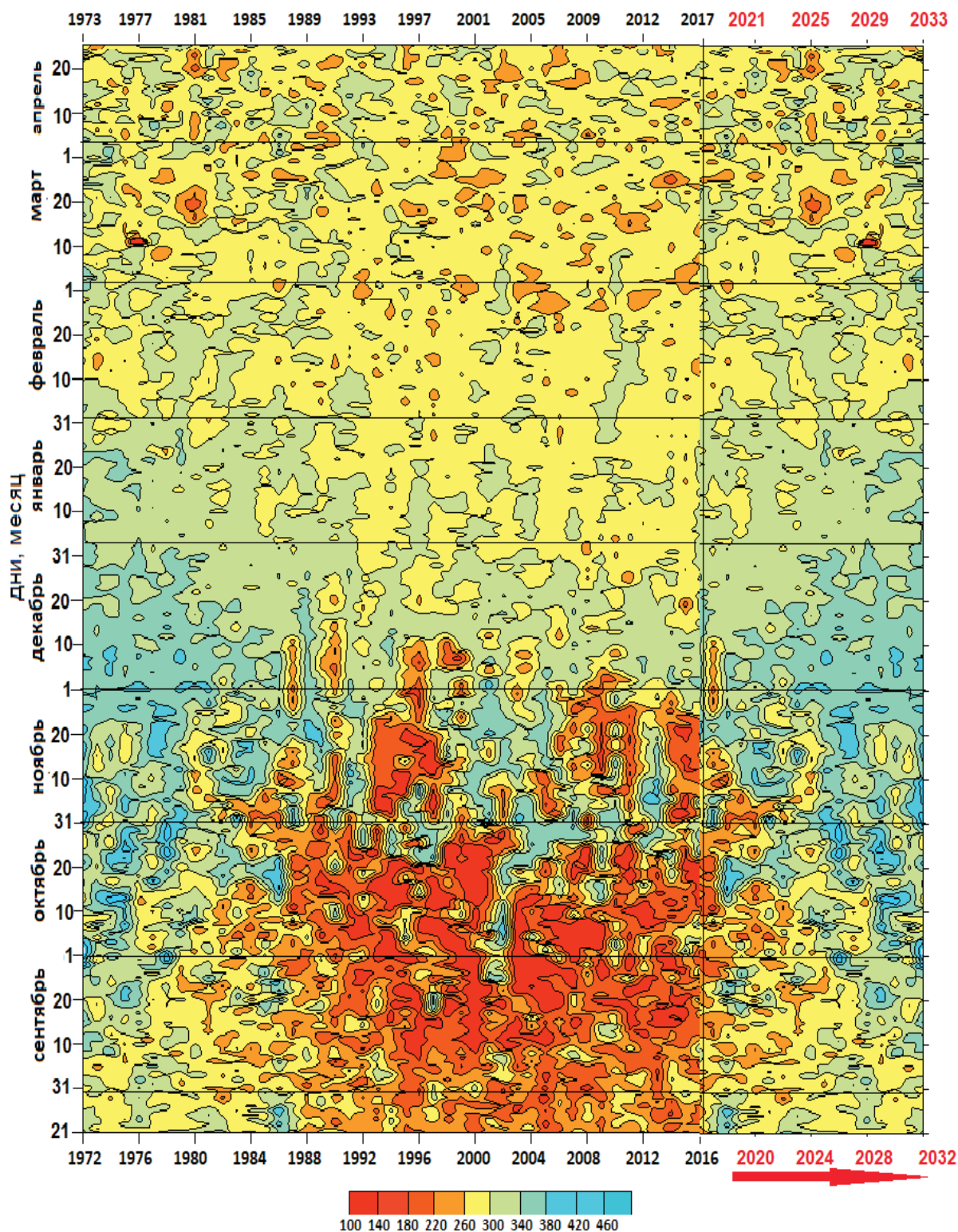


Рис. 9. Сценарий прогноза (красная стрелка) временной диаграммы ОСО на
 УАС «Академик Вернадский» в ближайшее десятилетие.

Fig. 9. The scenario of forecast (red arrow) temporary diagramm of the total ozone over Vernadsky station
 in the future decade.

Если учитывать, что одним из основных факторов изменения состояния озонового слоя является атмосферная циркуляция, тогда ОСО будет связано в дальнейшем с теми же годами-аналогами, что и атмосферная циркуляция. Тогда можно построить сценарий изменения ОСО в ближайшее десятилетие, как показано на рис. 9, и аналогу 1985-1986 гг. для текущего состояния ОСО над УАС «Академик Вернадский»

можно будет дать объяснение из результатов модели изменения крупномасштабной циркуляции атмосферы. По аналогам циркуляции можно предположить, что период после 1985/1986 гг. и по 2016/2017 гг. - это начало и конец периода дефицита озонового слоя над Антарктидой и, следовательно, в дальнейшем состояние ОСО будет стремиться к состоянию 1972/1973 гг. Совпадение текущего ОСО с состоянием его в 2007-2010 гг. можно объяснить с началом смещения крупномасштабной атмосферной циркуляции после 2000 г. к западу до середины столетия. Отрицательная разность $\Delta\Phi_m$ фаз характеризует смещение волны с востока на запад, положительная разница - с запада на восток. Смещение крупномасштабной циркуляции атмосферы SH в последние десятилетия XX-го века и первого десятилетия XXI-го века представлено на рис. 8 сплошной линией. Также на рисунке показана реконструкция и прогноз атмосферной циркуляции ЮП пунктирной линией. Предложенная модель циркуляции хорошо объясняет паузу в глобальном повышении температуры в середине XX столетия и в начале XXI холодной циркуляцией этих периодов. Поэтому можно объяснить согласованность с 1998 года паузы в глобальном потеплении (Met Office, 2013) и с незначительным изменением ОСО УАС «Академик Вернадский» в эти годы влиянием смены характера крупномасштабной атмосферной циркуляции на земном шаре. В данном случае, пауза в глобальной температуре и пауза в ОСО УАС «Академик Вернадский», исходя из данных исследований, позволяют дать новую оценку влиянию атмосферной циркуляции в глобальном масштабе.

5. Выводы

Изменения состояние озонового слоя происходят в результате смены крупномасштабной циркуляции атмосферы и повышения температуры. В данном исследовании влияние атмосферной циркуляции на состояние озонового слоя было показано с помощью модели изменения атмосферной циркуляции на северном и южном полушарии, разработанной автором, согласно которой период колебания атмосферной циркуляции составляет около 50-60 лет (Martazinova, 2016). Именно такой период колебания отмечается у всех климатических индексов, которые являются звеньями общей циркуляции атмосферы в Северном и Южном полушариях. В данном исследовании не рассматривается, что происходит с озоновым слоем в результате смены температуры в глобальном масштабе. Однако надо отметить, что с изменениями состояния озонового слоя в данном исследовании связана только составляющая его изменения под влиянием смены атмосферной циркуляции. Этот фактор показывает, что в ближайшие годы следует ожидать повышение общего содержания озона над УАС «Академик Вернадский», который, конечно, связан с общим характером пространственного распределения озонового слоя над южным полушарием. Учитывая сохранение высокого фона глобальной температуры, следует допустить некоторое замедление в повышении содержания озонового слоя. Эти исследования требуют обсуждения, дискуссий и дальнейших исследований. Результаты, которые здесь получены, имеют важное значение для проблемы изменения климата.

6. Сведения о грантовой поддержке

Данное исследование было выполнено по договору № Н/1-2017 с Государственным учреждением Национальный антарктический научный центр МОН Украины.

7. Литература

1. Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х. *Озонный щит земли и его изменения*. С.-Пб.: Гидрометеоздат. 1992, 288 с.
2. В.Ф. Мартазинова, В.Е.Тимофеев, Е.К. Иванова. *Атмосферная циркуляция южной полярной области и климат Антарктического полуострова*. К. : Аверс, 2010, 92 с.
3. Farman, J.C., B.G.Gardiner, Shanklin, J.D. 1985. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction. *Nature*, 315, 207-210.
4. Martazinova V.F. 2005. The classification of synoptic patterns by method of analogs. *J. Environ. Sci. Eng*, 7, 61-65.
5. Martazinova V. 2016. Atmospheric circulation reconstruction over Southern Hemisphere and Antarctica. *7th SCAR Open Science Conference*. Kuala Lumpur, Malaysia, 20-30 August.
6. Massom, R. A., Stammerjohn, S. E., Smith, R. C., Pook, M. J., Iannuzzi, R. A., Adams, N., Martinson, D. G., Ver-net, M., Fraser, W. R., Quetin, L. B., Ross R.M., Massom Y., Krouse, H. R. 2005. 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*, 19(15), 3544-3571.
7. McConnell, J.C., Jin, J.J. 2008. Stratospheric ozone chemistry. *Atmosphere-Ocean*, 46, 69-92.
8. MetOffice 2013. The recent pause in global warming (2): what are the potential causes? URL: https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/mohippo/pdf/q/0/paper2_recent_pause_in_global_warming.pdf.
9. Naujokat B., Roscoe, H. K. 2005. Evidence against an antarctic stratospheric vortex split during the periods of pre-IGY temperature measurements. *Journal of Atm. Sci.*, 62, 885-889.
10. Randel W. J., Wu, F. 1999. Cooling of the Arctic and Antarctic Polar Stratospheres due to Ozone Depletion. *Journal of Climate*, 12, 1467-1479.

11. Solomon, S., Iyyl, D.J., Kinnison, D., Mills, M. J., Neely, RR 3rd, Schmidt, A. 2016. Emergence of healing in the Antarctic ozone layer. *Science*. DOI: 10.1126/science.aae0061.
12. Turner, J., King, J. C., Lachlan-Cope, T. A., Jones, P. D. 2002. Recent temperature trends in the Antarctic. *Nature*, 418, 291-292.
13. Cai, W., Cowan, T. 2007. Trends in southern hemisphere circulation in IPCC AR4 models over 1950-99: ozone depletion versus greenhouse forcing. *J. Climate*, 20(4), 681-693.
14. WMO: *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002*. 2003. World Meteorological Organisation, Geneva, Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 47, 498, URL: https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Documents/O3_Assessments/Docs/WMO_2002/scientific-assessment2002.pdf.

8. References

1. Aleksandrov, E. L., Izrael, Yu.A., Karol, I.L., Khrgian, A.Kh.1992. *Ozonnyy shchit Zemli I ego izmeneniya* [Ozone layer of Earth and its changes]. Ozone Shield of the Earth and its Changes. S. -Pb: Hydrometeoizdat.
2. Martazinova, V.F., Timofeev, V.E., Ivanova, E.K. 2010. *Atmosfer'naya tsirkulyatsiya yuzhnoy polyarnoy oblasti i klimat Antarkticheskogo poluostrova* [Atmospheric circulation of the southern polar region and the climate of the Antarctic Peninsula]. Kiev: Avers.
3. Farman, J.C., B.G.Gardiner, Shanklin, J.D. 1985. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction. *Nature*, 315, 297-310.
4. Martazinova V.F. 2005. The classification of synoptic patterns by method of analogs. *J. Environ. Sci. Eng*, 7, 61-65.
5. Martazinova V. 2016. Atmospheric circulation reconstruction over Southern Hemisphere and Antarctica. *7th SCAR Open Science Conference*. Kuala Lumpur, Malaysia, 20-30 August, 2016.
6. Massom, R. A., Stammerjohn, S. E., Smith, R. C., Pook, M. J., Iannuzzi, R. A., Adams, N., Martinson, D. G., Ver-net, M., Fraser, W. R., Quetin, L. B., Ross R.M., Massom Y., Krouse, H. R. 2005. 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*, 19(15), 3544-3571.
7. McConnell, J.C., Jin, J.J. 2008. Stratospheric ozone chemistry. *Atmosphere-Ocean*, 46, 69-92.
8. MetOffice 2013. The recent pause in global warming (2): what are the potential causes? URL: https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/mohippo/pdf/q/0/paper2_recent_pause_in_global_warming.pdf.
9. Naujokat B., Roscoe, H. K. 2005. Evidence against an antarctic stratospheric vortex split during the periods of pre-IGY temperature measurements. *Journal of Atm. Sci.*, 62, 885-889.
10. Randel W. J., Wu, F. 1999. Cooling of the Arctic and Antarctic Polar Stratospheres due to Ozone Depletion. *Journal of Climate*, 12, 1467-1479.
11. Solomon, S., Iyyl, D.J., Kinnison, D., Mills, M. J., Neely RR 3rd, Schmidt, A. 2016. Emergence of healing in the Antarctic ozone layer. *Science*. DOI: 10.1126/science.aae0061.
12. Turner, J., King, J. C., Lachlan-Cope, T. A., Jones, P. D. 2002. Recent temperature trends in the Antarctic. *Nature*, 418, 291-292.
13. Cai, W., Cowan, T. 2007. Trends in southern hemisphere circulation in IPCC AR4 models over 1950-99: ozone depletion versus greenhouse forcing. *J. Climate*, 20(4), 681-693.
14. WMO: *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002*. 2003. World Meteorological Organisation, Geneva, Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 47, 498, URL: https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Documents/O3_Assessments/Docs/WMO_2002/scientific-assessment2002.pdf.