

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

УДК 551.510.534 (99)

DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-3-250-261

ВАРИАЦИИ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НА РОССИЙСКИХ АНТАРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ. РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Е.Е. СИБИР*, В.Ф. РАДИОНОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

*sibrus@aari.ru

TOTAL OZONE VARIATIONS AT RUSSIAN ANTARCTIC STATIONS. RESULTS OF LONG-TERM OBSERVATIONS

E.E. SIBIR*, V.F. RADIONOV

State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*sibrus@aari.ru

Received July, 19, 2018

Accepted August, 6, 2018

Keywords: Antarctica, ozone hole, total ozone.

Summary

The results of observations of total ozone content (TOC) at the Russian Antarctic stations Mirny (66° 34' N, 93° 01' E), Novolazarevskaya (70° 46' S, 11° 50' E) and Vostok (78° 38' S, 106° 52' E) from 1975 to 2017 are presented. Measurements were carried out by filters ozonemeters M-83/M-124. Throughout this period, there have been steady decreases in TOC in spring time. Early 1990s, the average TOC in September and October at Mirny decreased by 70–75 % of its average values for 1975–1980. The effect of the ozone hole and its intensity depend on ozone-depleting substance (ODS) levels, the dynamical processes and variations of temperature in the stratosphere. Considering the slow rate of decrease ODSs concentration, changes in size and depth of ozone hole have been mainly controlled by variations in temperature and dynamical processes. The destruction of the stratospheric circumpolar vortex early spring of 1988 was the reason that the spring negative anomaly of the TOC was not formed at all. A sharp increase of temperature in the stratosphere in the spring of 2002 was accompanied by an increase in the TOC. It led to reduction in the size of the “ozone hole” and even its dividing into two parts at the end of September. Since the early 2000s, there has been a tendency

Citation: *Sibir E.E., Radionov V.F.* Total ozone variations at russian antarctic stations. Results of long-term observations. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2018, 64, 3: 250–261. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2018-64-3-250-261.

to return the TOC to the values observed in 1970s and to increase its interannual variability in comparison to 1990s.

Поступила 19 июля 2018 г.

Принята к печати 6 августа 2018 г.

Ключевые слова: Антарктика, общее содержание озона, озоновая дыра.

В статье представлены результаты наблюдений за общим содержанием озона на российских антарктических станциях Мирный (66° 34' ю.ш., 93° 01' в.д.), Новолазаревская (70° 46' ю.ш., 11° 50' в.д.) и Восток (78° 38' ю.ш., 106° 52' в.д.) с 1975 г. по настоящее время. Измерения выполнялись фильтровыми озонотрами М-83/М-124. За этот период наблюдалась устойчивая тенденция уменьшения общего содержания озона антарктической весной. К началу 1990-х гг. средние величины общего содержания озона в сентябре и октябре на ст. Мирный составляли лишь 70–75 % от их среднего значения за 1975–1980 гг. Степень проявления эффекта озоновой дыры существенно зависит от количества озоноразрушающих веществ в атмосфере, динамических факторов и температуры в стратосфере. Учитывая медленное уменьшение количества озоноразрушающих веществ в атмосфере, изменения размеров и интенсивности озоновой дыры вызываются в основном колебаниями температуры и динамическими процессами. Разрушения стратосферного циркумполярного вихря уже ранней весной в 1988 г. было причиной того, что весенняя отрицательная аномалия общего содержания озона вообще не сформировалась. Резкое значительное повышение температуры стратосферы весной 2002 г. сопровождалось ростом общего содержания озона. Это привело к уменьшению размеров дыры и даже ее разделению на две части к концу сентября. С начала 2000-х гг. наблюдается тенденция возвращения величин общего содержания озона к значениям, характерным для периода, предшествовавшего проявлению эффекта озоновой дыры, и увеличение межгодовой изменчивости общего содержания озона весной по сравнению с последним десятилетием прошлого века.

ВВЕДЕНИЕ

Малые газовые составляющие атмосферы (МГС), такие как углекислый газ, озон, метан и некоторые другие, играют значительную роль в формировании радиационного режима системы Земля–атмосфера. При этом из-за очень высокой прозрачности антарктической атмосферы за счет малого содержания в ней водяного пара и аэрозоля роль МГС существенно выше, чем в других регионах Земли. Уменьшение общего содержания озона (ОСО) в атмосфере может негативно сказываться на состоянии биосферы. Образование и разрушение озона в атмосфере происходит в ходе фотохимических реакций под воздействием солнечного излучения, главным образом в ультрафиолетовой области его спектра. Жесткое ультрафиолетовое излучение с длиной волны менее 0,28 мкм, вредное и даже губительное для всего живого, полностью поглощается молекулами озона, находящимися в стратосфере, и не доходит до поверхности Земли.

Повышенный интерес мирового научного сообщества к проблеме уменьшения общего содержания озона над Антарктикой проявился во второй половине 1980-х гг. в связи с обнаружением устойчивого проявления эффекта уменьшения ОСО в весенние антарктические месяцы (сентябрь–ноябрь), получившего название «озоновая дыра».

Уменьшение ОСО в атмосфере Антарктиды в период антарктической весны было замечено еще в период Международного геофизического года (1957–1959 гг.). Тогда его объясняли влиянием только динамических процессов в атмосфере над антарктическим куполом [1]. Другие факторы, которые потенциально могли влиять на значительное уменьшение ОСО после окончания полярной ночи, включая

и фотохимические процессы, не рассматривались. Позднее на ст. Восток в 1978 и 1981 гг. и на японской станции Сева в октябре 1982 г. [2] измерения тоже показали уменьшение общего содержания озона до значений менее 220 ед. Добсона. В начале 1980-х гг. истощение озонового слоя было замечено по данным спутниковых наблюдений. В 1985 г. внимание мировой общественности привлекла публикация [3], в которой было высказано предположение, что причиной столь низких содержаний озона является воздействие на озоновый слой фреонов.

На появление аномалий ОСО над Антарктидой, степень их выраженности и продолжительность значительное влияние оказывает атмосферная циркуляция — развитие и устойчивое существование на протяжении достаточно длительного времени циркумполярного стратосферного вихря. Он блокирует поступление воздушных масс с высоким содержанием озона из стратосферы умеренных широт. Кроме того, внутри стратосферного вихря формируется область очень низких температур — ниже -78°C , — необходимых для протекания фотохимических озоноразрушающих реакций с участием хлор- и бромсодержащих веществ на поверхности частиц полярных стратосферных облаков [4, 5].

Образование озоновых дыр весной над Антарктидой продолжается до настоящего времени. При этом в текущем десятилетии наблюдается большая межгодовая изменчивость ОСО весной по сравнению с 1990-ми гг. [6, 7]. Такие достаточно резкие колебания вызваны в основном динамическими факторами. В то же время можно говорить о некотором увеличении ОСО над Антарктидой весной по сравнению с началом текущего века. Однако недостаточная определенность таких оценок не позволяет утверждать, что увеличение ОСО вызвано только уменьшением озоноразрушающих составляющих атмосферы [7]. Кроме того, в последние годы отмечаются значительные расхождения в данных измерений различных спутников, проводящих измерения ОСО над Антарктидой. Поэтому очевиден интерес к данным наземных наблюдений.

АППАРАТУРА И ПУНКТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Для измерений общего содержания озона на российских антарктических станциях, как и на всех станциях озонметрической сети России, использовался фильтровый озонметр М-83, а затем с 1983 г. его модернизированный аналог М-124. Методическую и аппаратную поддержку наблюдений осуществляет ГГО им. А.И. Воейкова, являющаяся центром ВМО по калибровке и контролю качества фильтровых озонметров и ответственная за методическое и метрологическое обеспечение наблюдений ОСО на озонметрической сети Росгидромета [8]. На протяжении многих лет (первые наблюдения озонметром М-83 на территории СССР были выполнены в 1958 г.) методика ГГО изменялась, но с 1974 г. данные измерений в Антарктиде можно считать репрезентативными и достаточно надежными. Этот вывод подтверждают, в частности, результаты сравнения наземных наблюдений со спутниковыми. Калибровка и контроль качества используемых фильтровых озонметров проводится в ГГО по озонному спектрофотометру Добсона № 108. Он является вторичным эталоном и каждые четыре года калибруется по Европейскому региональному эталону ОСО.

Наблюдения за общим содержанием озона (ОСО) регулярно проводятся на трех российских антарктических станциях (табл. 1).

Годы наблюдений ОСО на российских антарктических станциях

Станция	Южная широта	Восточная долгота	Высота над уровнем моря, м	Годы наблюдений
Мирный	66° 34′	93° 01′	36	1974–2018
Новолазаревская	70° 46′	11° 50′	130	1986–1991, 1993, 1995–1996, 2001–2018
Восток	78° 38′	106° 52′	3488	1976–1978, 1981, 1986–1991, 1998–2002, 2004–2005, 2007–2017

Измерения озонометром М-124 выполняются при высотах Солнца более 5° [9, 10], поэтому на станции Мирный они возможны только в период с 31 июля по 13 мая, на станции Новолазаревская — с 15 августа по 28 апреля, а на станции Восток — с 7 сентября по 6 апреля. С 2000 г. результаты измерений ОСО на российских станциях и их анализ размещаются в ежеквартальных бюллетенях «Состояние природной среды Антарктики» (<http://www.aari.aq/>). В этой статье обобщается информация об измерениях ОСО на трех российских станциях в Антарктиде с начала наблюдений на них до 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

На рис. 1 представлены результаты измерений ОСО на российских станциях. На нем для каждой станции в виде кривых приведены среднесуточные значения общего содержания озона: осредненные за весь период наблюдений и результаты измерений за три последних антарктических сезона (максимально с августа одного года по июнь следующего) в 61-й (2015/16 г.), 62-й (2016/17 г.) и 63-й (2017/18 г.) Российских антарктических экспедиций (РАЭ). Серым цветом выделена область, охватывающая все значения ОСО, наблюдавшиеся для конкретного дня года за весь имеющийся период наблюдений. Верхняя и нижняя границы этой области соответствуют максимальным и минимальным за весь период наблюдений среднесуточным значениям ОСО. На станциях Новолазаревская и Восток во внутригодовом ходе содержания озона антарктической весной отчетливо проявляется сезонный минимум его значений для величин как средних за весь период наблюдений, так и за отдельные сезоны. В Мирном столь явно выраженный сезонный ход ОСО отмечался в последние годы только в период 61-й РАЭ — сезон 2015/16 г.

На рисунке также хорошо видно, что в весенний период на станции Мирный амплитуда межсуточной изменчивости ОСО существенно больше, чем на двух других станциях. Этот факт объясняется географическим положением Мирного, находящегося на периферии образующейся весной озоновой дыры. Изменения границ дыры, обусловленные динамическими процессами в атмосфере, приводят к резким колебаниям ОСО над станцией ото дня ко дню и большим различиям среднесуточных значений для конкретного дня в разные годы. При рассмотрении данных измерений за последние три сезона наблюдений обращают на себя внимание сравнительно низкие (иногда минимальные за весь период наблюдений) и достаточно устойчивые значения ОСО весной 2015 г. В этот период циркумполярный вихрь был достаточно стабилен, а его форма близка к концентрической. «Центр вихря» в этом году находился вблизи полюса большую часть весны. Но в 2016 г. межсуточная изменчивость содержания

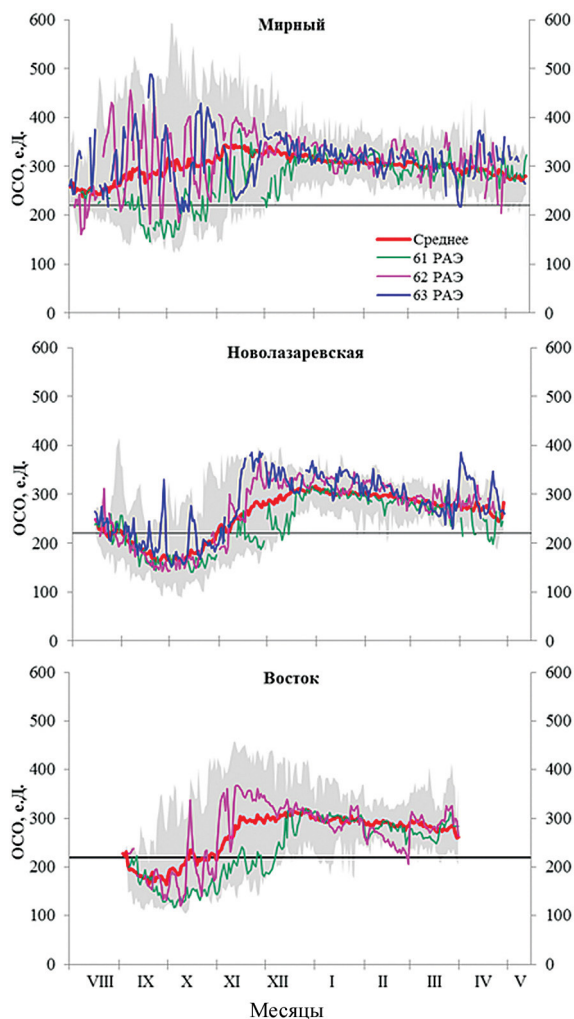


Рис. 1. Среднесуточные значения общего содержания озона на российских антарктических станциях Мирный, Новолазаревская и Восток

Fig. 1. Average daily values of total ozone at Russian Antarctic stations Mirny, Novolazarevskaya and Vostok

озона в весенний период значительно превосходила наблюдавшуюся в предыдущем году в Мирном и на Востоке, а в 2017 г. — в Мирном и Новолазаревской. Такое поведение СОЗ можно объяснить меньшей стабильностью циркумполярного вихря в 2016 и 2017 гг., наличием краткосрочных потеплений в стратосфере и частой сменной воздушных масс с различным содержанием озона (<https://legacy.bas.ac.uk/met/jds/ozone/>; Antarctic Ozone Bulletin, <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone/index.html>). В эти годы на каждой станции в отдельные дни весны значения СОЗ были максимальными за все годы наблюдений.

Существует достаточно сильная связь между месячным ходом СОЗ и температурой в нижней стратосфере в слое 15–20 км. Величины коэффициентов корреляции

Коэффициенты корреляции среднесуточных значений ОСО и температуры воздуха на различных высотах в стратосфере, рассчитанные по данным измерений на станции Мирный.

Высота, км	Месяц	
	сентябрь	октябрь
15	0,82	0,85
20	0,78	0,76
25	0,55	0,30

среднесуточных значений ОСО и температуры воздуха (более 450 пар значений) на высотах 15, 20 и 25 км на станции Мирный за период с 2000 по 2017 г. приведены в табл. 2.

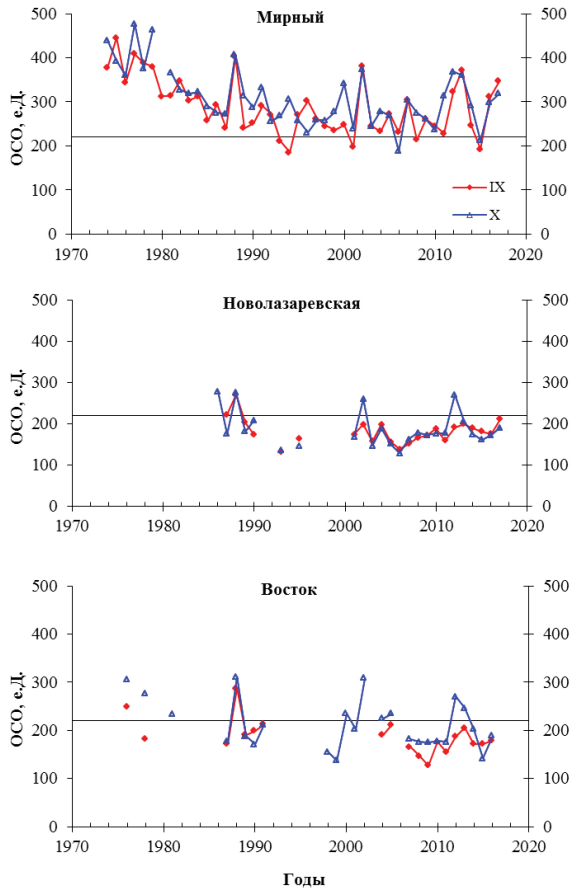


Рис. 2. Межгодовая изменчивость среднемесячных значений ОСО на российских антарктических станциях в весенние месяцы сентябрь (красный) и октябрь (синий)

Fig. 2. Interannual variability of monthly values of total ozone at Russian Antarctic stations in September (red) and October (blue)

Большие величины коэффициентов корреляции на высотах 15 и 20 км свидетельствуют о том, что преимущественно в этом слое стратосферы происходят фотохимические гетерогенные реакции разрушения озона, приводящие к образованию озоновой дыры.

На рис. 2 представлена межгодовая изменчивость среднемесячных значений ОСО на трех российских станциях антарктической весной (сентябрь и октябрь) с начала наблюдений по 2017 г. включительно. На станциях Мирный и Восток хорошо заметно уменьшение среднемесячных значений содержания озона с начала наблюдений до середины 80-х гг. прошлого столетия. В то же время, как уже отмечалось, наблюдаются значительные колебания ОСО от года к году. При этом на всех станциях выделяются значения ОСО в сентябре и октябре 1988 и 2002 гг., когда над Антарктидой не было зафиксировано весеннего уменьшения ОСО либо оно было существенно меньше, чем в соседние годы. В эти годы озоновые дыры развивались по нетипичным для этого периода времени сценариям. В 1988 г. весенняя отрицательная аномалия ОСО не сформировалась из-за разрушения стратосферного циркумполярного вихря уже ранней весной [11, 12]. В 2002 г. взрывное повышение температуры стратосферы сопровождалось ростом ОСО, что привело к уменьшению размеров дыры и даже ее разделению на две части к концу сентября [13]. В обоих случаях проявилась роль динамических факторов (а именно — стратосферной циркуляции) в процессах регулирования содержания атмосферного озона над Антарктидой. Сами значения ОСО в эти годы по величине сопоставимы со значениями ОСО в 1970-е гг.

В таблице 3 приведены минимальные значения ОСО, измеренные в различные годы на российских станциях и даты таких наблюдений в каждом году. К сожалению, непрерывный ряд наблюдений с 1974 г. имеется только на станции Мирный. На двух других станциях наблюдения проводились со значительными перерывами. Обращает на себя внимание, что значения ОСО ниже 220 е.Д. (эта величина принимается за показатель наличия озоновой дыры) были измерены на станции Восток в 1978 и 1981 гг., т.е. еще до появления в научной литературе самого термина «озоновая дыра» [14,15].

Таблица 3

Минимальные за год значения ОСО и даты их наблюдений на российских антарктических станциях

Год	Мирный		Новолазаревская		Восток	
	ОСО	Дата	ОСО	Дата	ОСО	Дата
1974	338	02.09	—	—	—	—
1975	294	29.10	—	—	—	—
1976	303	06.09	—	—	234	24.09
1977	325	22.09	—	—	—	—
1978	294	24.10	—	—	145	15.09
1979	303	17.11	—	—	—	—
1981	259	08.09	—	—	214	05.10
1982	268	13.10	—	—	—	—
1983	221	26.09	—	—	—	—
1984	220	14.10	—	—	—	—
1985	234	14.10	—	—	—	—
1986	202	10.10	212	11.11	—	—

Год	Мирный		Новолазаревская		Восток	
	ОСО	Дата	ОСО	Дата	ОСО	Дата
1987	193	24.10	151	07.10	155	26.10
1988	270	24.08	219	16.10	195	20.09
1989	188	15.10	148	09.10	145	06.10
1990	204	13.09	–	–	148	05.10
1991	170	06.10	–	–	136	05.10
1992	170	18.09	–	–	–	–
1993	155	25,26.09	–	–	–	–
1994	127	29.09	–	–	–	–
1995	160	17.10	114	06.10	–	–
1996	159	18.10	–	–	–	–
1997	146	21.09	–	–	–	–
1998	172	30.10	–	–	126	01.11
1999	177	20.09	–	–	104	12.10
2000	137	07.09	–	–	177	16.10
2001	143	23.09	127	29.09	173	09.09
2002	179	07.08	173	24.09	207	19.10
2003	175	07.10	87	08.10	–	–
2004	168	26.10	161	17.09	160	22,23.09
2005	138	10.10	103	10.10	180	19.10
2006	122	05.10	98	02.10	–	–
2007	159	06.08	124	13,15.09	118	07.10
2008	169	16.09	129	09.10	118	29.09; 3,9.10
2009	168	25.09	132	20.09	110	16,18.09
2010	179	08.10	130	02.10	135	25.09
2011	174	02,14	114	22.09	121	29.09
2012	224	11.09	157	19.09	151	26.09
2013	216	12.08	157	06.10	149	28.09
2014	174	30.09	137	07.10	133	28.09
2015	145	20.09	140	14,15.10	117	05.10
2016	160	08.08	142	26.09	120	09.10
2017	205	09.10	152	02.10	–	–

Примечание: жирным шрифтом выделены минимальные за весь период наблюдений величины ОСО.

На рис. 3 показана межгодовая изменчивость нормированных отклонений средних за сентябрь и средних за полные сезоны наблюдений величин ОСО (в %) на каждой из трех российских станций и их аппроксимации полиномами третьей степени. Отклонения рассчитывались по данным измерений в каждой антарктической экспедиции. Нормировка выполнена относительно средних значений соответствующей характеристики за 1981–2010 гг. Помимо результатов измерений на российских станциях на нем приведены также данные зарубежных станций: английской Халли (75° 35' ю.ш., 26° 39' з.д.), украинской Академик Вернадский (65° 15' ю.ш., 64° 15' з.д.) и японской Сёва (69° 00' ю.ш., 39° 36' в.д.), наблюдения на которых начались в 1960-е гг. (<https://legacy.bas.ac.uk/met/jds/ozone/>; http://www.woudc.org/data_e.html/).

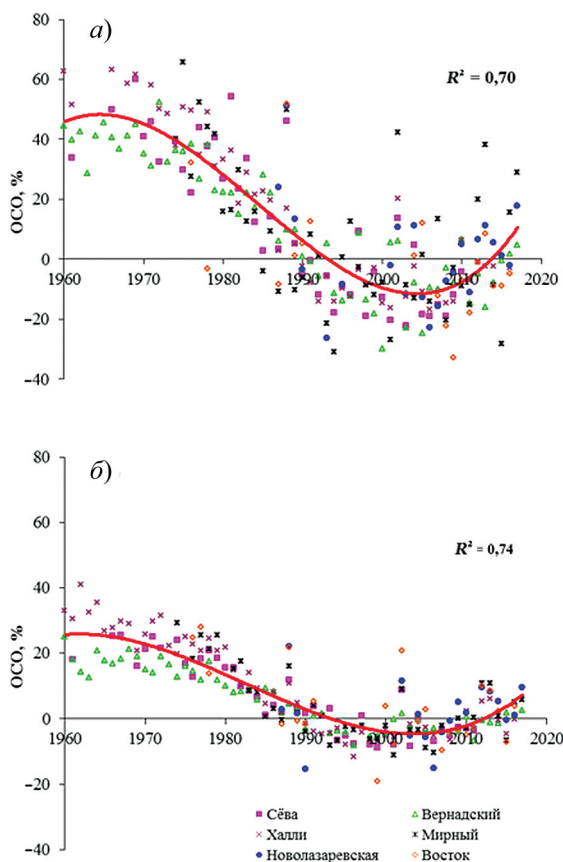


Рис. 3. Нормированные отклонения средних за сентябрь (а) и средних за сезоны наблюдений (б) значений ОСО. Нормы рассчитаны для периода 1981–2010 гг. Представленные значения аппроксимированы полиномом третьей степени методом наименьших квадратов

Fig. 3. Deviations of average values of total ozone for September (a) and for the seasons of observations (b). The norm calculated for the period 1981–2010. The data approximated by a third degree polynomial using RMSD method

До середины восьмидесятых годов прошлого века отклонения ОСО от нормы почти на всех станциях положительные. Затем, в течение нескольких лет, на разных станциях они различались даже по знаку. Однако с середины девяностых и примерно до 2010 г. преобладают все-таки отрицательные значения отклонений, а после 2010 г. — положительные. Причем такое поведение ОСО отмечается не только в весенний период (в сентябре), но и для среднегодовых значений на станциях. Амплитуда колебаний отклонений среднегодовых величин ОСО, конечно, меньше, чем среднемесячных, но характер их многолетних изменений такой же, как и для средних за сентябрь величин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные наземных наблюдений ОСО на российских антарктических станциях подтверждают наличие до настоящего времени факта значительного уменьшения общего содержания озона над Антарктидой в весенние месяцы.

Степень проявления весенней отрицательной аномалии ОСО на каждой из рассматриваемых станций сильно меняется от года к году. В значительной степени это регулируется динамическими процессами в атмосфере. В 1988 г. разрушение стратосферного циркумполярного вихря произошло ранней весной и озоновая дыра не сформировалась. В 2002 г. взрывное повышение температуры стратосферы, сопровождавшееся ростом ОСО, существенно уменьшило размеры дыры и привело к ее распаду к концу сентября на две части. В обоих случаях под влиянием динамических процессов отклонения от многолетних норм ОСО на всех антарктических озонотрических станциях были положительными и в сентябре, и в октябре [15].

На протяжении всего многолетнего периода наблюдений ОСО станция Мирный располагалась на периферии области, охватываемой стратосферным циклоном. При его перемещениях станция оказывалась или в области озоновой дыры, или вне ее. В результате наблюдались значительные межсуточная (см. рис. 1) и межгодовая (см. рис. 2) изменчивости ОСО в каждый из наблюдательных сезонов.

На всех антарктических станциях — и российских, и станциях других стран — на протяжении примерно 30 лет с середины 1970-х гг. наблюдалась устойчивая тенденция уменьшения общего содержания озона антарктической весной. К началу 1990-х гг. весенние значения ОСО на ст. Мирный уменьшились на 70–75 % от среднего значения за 1974–1980 гг. Но в последующие годы эффект проявления весенней отрицательной аномалии ОСО замедлился. С начала 2000-х гг. наблюдается тенденция возвращения величин ОСО к значениям, характерным для периода, предшествовавшего проявлению эффекта озоновой дыры. Это в определенной степени связано с результатами по ограничению выбросов в атмосферу озоноразрушающих веществ (около 50 % разрушения озона в полярных районах происходит за счет ClO+BrO каталитических реакций [4, 7]). Однако в связи со сложностью разделения влияния химических и динамических факторов на уменьшение ОСО в весенний период в Антарктиде трудно количественно оценить влияние уменьшения количества озоноразрушающих веществ в атмосфере на содержание озона [7]. В то же время в текущем веке межгодовая изменчивость ОСО весной больше, чем в последнее десятилетие прошлого. Такие достаточно резкие колебания вызваны главным образом динамическими факторами.

Благодарности. Работа выполнена в рамках работ РАЭ по Подпрограмме «Организация и обеспечение работ и научных исследований в Антарктике» ГП РФ «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 гг. Авторы выражают глубокую благодарность всем специалистам, проводившим измерения общего содержания озона на российских антарктических станциях в различные годы.

Acknowledgments. The work was performed as part of the activity of Russian Antarctic Expedition in the frame of the sub-program “Organization and support of works and scientific researches in Antarctica” of State Programme of the Russian Federation “Environmental Protection” for 2012–2020. The Authors express their deep gratitude to all the observers who carried out the measurements for the total ozone at the Russian Antarctic stations.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dobson G.M.B.* Annual variation of ozone in Antarctica // *Quart. J. Royal Met. Soc.* 1966. V. 92. P. 549–552.
2. *Chubachi S.* Preliminary result of ozone observations at Syowa Station from February 1982 to January 1983 // *Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue.* 1984. 34. P. 13–19.
3. *Farman J.C., Gardiner B.G., Shankin J.D.* Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction // *Nature.* 1985. № 315. P. 207–210.
4. *Киселев А.А., Кароль И.Л.* Как поживаешь, антарктическая озоновая дыра? // *Природа.* 2016. № 10. С. 3–8.
5. *Озolin Ю.Э., Кароль И.Л., Киселев А.А.* Модельная оценка химической составляющей глобальных изменений озонового слоя Земли в период 1970–2050 гг. в результате антропогенного воздействия // *Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Метеорологические и геофизические исследования.* М.; СПб: ООО «Паулсен», 2011. С. 187–198.
6. Scientific assessment of ozone depletion // WMO Global Ozone Research and Monitoring Project. WMO. Geneva. 2010. Report № 52. 517 p.
7. Scientific assessment of ozone depletion // WMO Global Ozone Research and Monitoring Project. 2014. Report № 55. WMO. Geneva. 416 p.
8. РД 52.04.567-2003. Руководящий документ. Положение о государственной наблюдательной сети (с Изменением № 1). СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 50 с.
9. Методические указания по производству и обработке наблюдений за общим содержанием атмосферного озона. 3-е изд. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 48 с.
10. *Шаламянский А.М.* Особенности измерений общего содержания озона приборами с широкими полосами пропускания // *Труды ГГО.* 1970. Вып. 255. С. 148–159.
11. *Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х.* Озонный щит Земли и его изменения. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 288 с.
12. *Радионов В.Ф., Русина Е.Н., Сибир Е.Е., Шаламянский А.М.* Особенности общего

REFERENCES

1. *Dobson G.M.B.* Annual variation of ozone in Antarctica. *Quart. J. Royal Met. Soc.* 1966, 92: 549–552.
2. *Chubachi S.* Preliminary result of ozone observation at Syowa station from February 1982 to January 1983. *Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue.* 1984, 34: 13–19.
3. *Farman J.C., Gardiner B.G., Shankin J.D.* Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction. *Nature.* 1985, 315: 207–210.
4. *Kiselev A.A., Karol I.L.* How are you, Antarctic ozone hole? *Priroda.* *Nature.* 2016, 10: 3–8. [In Russian].
5. *Ozolin Yu.E., Karol I.L., Kiselev A.A.* Model'naya otsenka khimicheskoy sostavlyayushchey global'nykh izmeneniy ozonovogo sloya Zemli v period 1970–2050 gg. v rezul'tate antropogennogo vozdeystviya. *Assessment of chemical constituent of the Earth's ozone layer changes due to anthropogenic impact during 1970–2050 period. Contribution of Russia to International Polar Year 2007/08. Meteorological and geophysical researches.* Moscow; St. Petersburg: Paulsen Editions, 2011: 187–198. [In Russian].
6. Scientific assessment of ozone depletion. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project. WMO. Geneva. 2010. Report № 52: 517 p.
7. Scientific assessment of ozone depletion. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project. WMO. Geneva. 2014, Report № 55: 416 p.
8. RD 52.04.567-2003. Guidance document. Regulation on the state monitoring network (as amended No. 1). St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 2003: 50 p. [In Russian].
9. The operating instructions on production and working of observations of the total ozone Publ. 3rd edition. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1981: 488 p. [In Russian].
10. *Shalamyanskiy A.M.* Features of measurements of the total ozone content by devices with wide bandpass filters. *Trudy GGO.* *Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory.* 1970, 255: 148–159. [In Russian].
11. *Alexandrov E.L., Izrael Yu.A., Karol I.L., Khrgian A.Kh.* The Earth's ozone shield and its

содержания озона в северной и южной полярных областях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. Вып. 75. С. 64–72.

13. Scientific assessment of ozone depletion // WMO Global Ozone Research and Monitoring Project. WMO. Geneva. 2002. Report № 47. 498 p.

14. Радионов В.Ф., Сибир Е. Е. Особенности временной изменчивости общего содержания озона на российских антарктических станциях // Метеорология и гидрология. 2000. № 3. С. 100–103.

15. Сибир Е.Е., Радионов В.Ф. Общее содержание озона в Антарктике в период Международного полярного года 2007/2008 // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Метеорологические и геофизические исследования. М.; СПб.: ООО «Паулсен», 2011. С. 178–186.

changes. St.Petersburg: Hydrometeoizdat, 1992: 288 p. [In Russian].

12. Radionov V.F., Rusina E.N., Sibir E.E., Shalamyanskiy A.M. Features of the total ozone content in the Northern and Southern polar areas. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Problems of the Arctic and Antarctic. 2007, 75: 64–72. [In Russian].

13. Scientific assessment of ozone depletion. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project. WMO. Geneva. 2002, Report № 47: 498 p.

14. Radionov V.F., Sibir E.E. Features of time variability of total ozone content at Russian Antarctic stations. *Meteorologia i gidrologia*. Meteorology and Hydrology. 2000, 3: 100–103. [In Russian].

15. Sibir E.E., Radionov V.F. *Obshchee sodержanie ozona v Antarktike v period Mezhdunarodnogo polyarnogo goda 2007/08*. Total ozone content in Antarctica during International Polar Year. Contribution of Russia to International Polar Year 2007/08. Meteorological and geophysical researches. Moscow; St.Petersburg: Paulsen Editions, 2011: 178–186. [In Russian].