

ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ УМЕНЬШЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АРКТИКЕ ВЕСНОЙ 2011 ГОДА

Явление резкого уменьшения концентрации стратосферного озона в весенний период, так называемая озоновая дыра, было впервые обнаружено в 1980-х гг. над Антарктидой. Построенный по данным антарктической озонометрической сети рис. 1 показывает, что начиная с середины 1980-х гг. практически ежегодно в весенний период над Антарктидой наблюдается существенное уменьшение общего содержания озона, достигающее 50–70 % от его величины в 1960–1970 гг.

По современным представлениям разрушение озона (трехатомных молекул кислорода O_3) связано с воздействием на озоновый слой веществ группы хлорфторуглеродов (CFC), наиболее известными из которых являются фреоны. Разрушение озонового слоя происходит в результате гетерогенных каталитических реакций с хлоринами и бромидами, протекающих на поверхности образующихся при температурах воздуха ниже $-75^\circ C$ замерзших капель азотной кислоты, входящих в состав полярных стратосферных облаков на высотах 15–30 км. Таким образом, необходимым условием разрушения озонового слоя является сильное выхолаживание стратосферы, обусловливаемое наличием циркумполярного вихря, представляющего собой интенсивный стратосферный зональный перенос воздуха и препятствующего поступлению теплых воздушных масс с высоким содержанием озона из низких широт. С целью предотвращения дальнейшего уменьшения концентрации озона в атмосфере, экранирующего среду обитания человека от жесткого ультрафиолетового излучения, в 1987 г. большинством стран был подписан Монреальский протокол, запрещающий или существенно ограничивающий производство CFC. Однако даже после вступления его в силу, поскольку CFC являются долгоживущими примесями, на их естественное исчезновение понадобится несколько десятилетий.

Следует отметить, что полярные районы Южного и Северного полушария принципиально различны. В северной полярной области Северный Ледовитый океан окружен сушей, в то время как в южной полярной области, наоборот, Южный океан окружает

континент Антарктиды. Данное обстоятельство приводит к различной интенсивности южного и северного циркумполярных вихрей и, соответственно, процессов воздухообмена между высокими и низкими широтами. В Арктике циркумполярный вихрь менее интенсивен, поскольку наличие океана, даже покрытого льдом, уменьшает обусловленные радиационным выхолаживанием широтные контрасты температур в атмосфере. Указанное обстоятельство определяет различие среднего годового хода общего содержания озона (ОСО), характеризующегося наличием выраженного минимума антарктической весной (рис. 2).

Зимой и весной 2011 г. в Арктике впервые наблюдался процесс, который можно назвать формированием озоновой дыры. В начале апреля 2011 г. Всемирная метеорологическая организация объявила, что количество озона в атмосфере арктического региона в марте сократилось на рекордную величину – более 40 %. До этого, по наблюдениям на сети арктических озонометрических станций, выраженные локальные минимумы общего содержания озона в Арктике в 1996, 2000 и 2005 гг. не превышали 30 %. Группа ученых из США, Германии, Нидерландов, Канады, России, Финляндии, Дании, Японии и Испании под руководством Глории Мэнни из Лаборатории реактивного движения НАСА в статье «Беспрецедентные потери арктического озона в 2011 г.» (см. ссылку в конце статьи), подробно проанализировала процессы, приведшие к формированию озоновой дыры, и пришла к выводу, что это событие было беспрецедентным по своим масштабам. В марте 2011 г. впервые уменьшение общего содержания озона в Арктике не только превысило 40 %, но и распространилось на большую часть северной полярной области. В дополнение к приведенной в статье информации на рис. 3, построенном по данным арктической сети озонометрических станций и экспедиционных исследований, выполненных в разные годы, отчетливо виден локальный минимум содержания озона, зарегистрированный сотрудником АНИИ А.В.Губиным на арх. Шпицберген (пос. Лонгиер) в марте 2011 г.

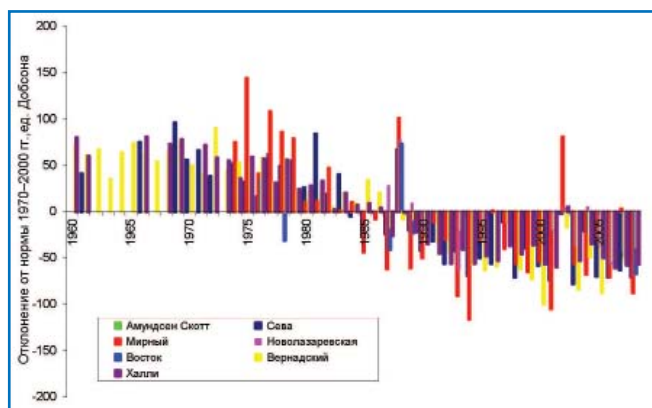


Рис. 1. Межгодовая изменчивость отклонений общего содержания озона в сентябре от нормы за 1971–2000 гг. по данным антарктических станций

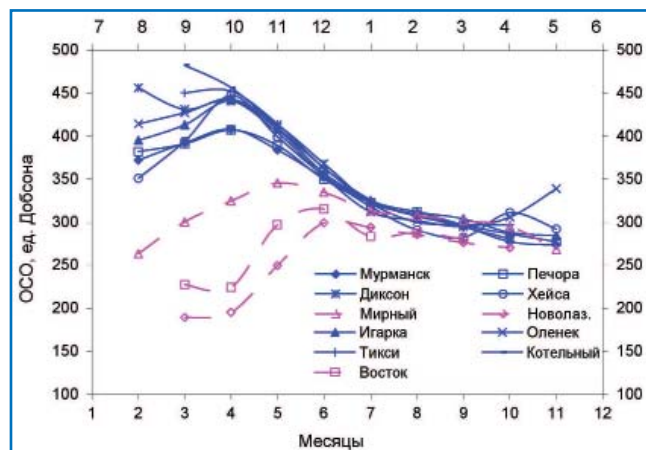


Рис. 2. Внутригодовая изменчивость ОСО по данным озонометрических станций, расположенных в северной (нижняя ось абсцисс) и южной (верхняя ось абсцисс) полярных областях

Прямые аэрологические измерения концентрации озона в Центральной Арктике были выполнены в зимне-весенний период 2010/11 г. на дрейфующей станции «Северный полюс-38» в рамках совместного проекта ААНИИ и Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (Германия) метеорологами Н.С.Зиновьевым и С.А.Овчинниковым. На рис. 4 отчетливо видно, насколько сильно уменьшилась концентрация озона в слое 10–30 км в марте 2011 г. по сравнению с февралем и апрелем, когда в связи с ослаблением циркумполярного вихря произошло восстановление озонового слоя. Следует отметить, что данные радиозондирований были абсолютно необходимы для понимания уменьшения содержания озона, наблюдавшегося в прошедшую зиму.

Причиной аномального уменьшения общего содержания озона является то обстоятельство, что зимой 2010/11 г. циркумполярный вихрь в Арктике был необычно устойчив. Обычно период с низкими температурами в стратосфере длится 2–2,5 месяца. В эту зиму он продолжался четыре месяца – до начала апреля, хотя обычно заканчивается в марте. По данным спутниковых и станционных наблюдений, приведенных в вышеупомянутой статье, было отмечено, что температуры ниже критического для реакции разрушения озона порога $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ в арктической стратосфере, на высотах от 15 до 23 км, сохранялись более 100 дней. При этом падение общего содержания озона ниже уровня в 250 единиц Добсона наблюдалось в течение 27 дней, а ниже 230 – в течение недели. В этом отношении сокращение количества озона в Арктике впервые достигло уровня, при котором можно говорить об арктической озоновой дыре.

Следует отметить, что сильное разрушение озонового слоя в Арктике может увеличивать биологические риски из-за более сильного воздействия ультрафиолетовой радиации, особенно если зона вихря сдвинется в сторону более плотно населенных средних широт. При этом рост интенсивности ультрафиолетового излучения может привести, в частности, к росту числа случаев катаракты и рака кожи.

В настоящее время не существует методов, как предсказать повторение случаев резкого сокращения концентрации озона. Для их развития необходимо иметь более точные данные о состоянии зимней стра-

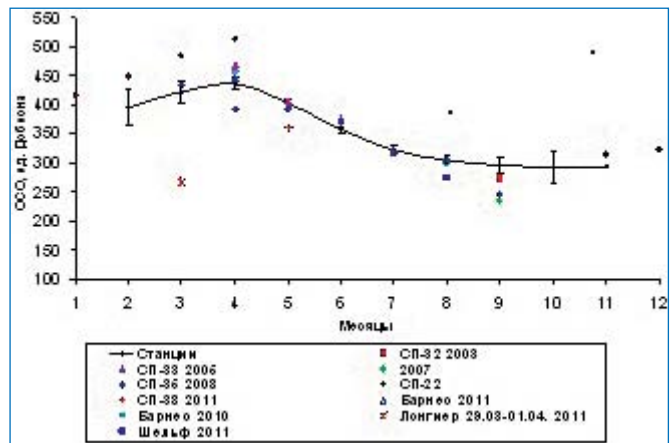


Рис. 3. Среднемесячные величины ОСО, измеренного в различных частях Арктики в разные сезоны и годы на фоне средней изменчивости годового хода, построенного по данным восьми арктических станций

тосферы, что может быть достигнуто путем расширения системы постоянного мониторинга на сети полярных станций и дальнейшего развития спутниковых методов слежения за состоянием озонового слоя и обуславливающих его динамику загрязняющих веществ. Наблюдения за озоном в России ведутся с 1960-х гг., но это измерения общего содержания. Вертикальное распределение концентрации озона измеряется лишь на станции в Салехарде. В настоящее время имеется возможность совместно с зарубежными коллегами из Германии и США развернуть аналогичные наблюдения в Гидрометеорологической обсерватории Тикси.

В настоящем сообщении использованы материалы, приведенные в статье: Manney G.L., Santee M.L., Rex M., Livesey N.J., Pitts M.C., Veefkind P., Nash E.R., Wohltmann I., Lehmann R., Froidevaux L., Poole L.R., Schoeberl M.R., Haffner D.P., Davies J., Dorokhov V., Gernandt H., Johnson B., Kivi R., Kyrö E., Larsen N., Levelt P.F., Makshtas A., McElroy C.T., Nakajima H., Parrondo M.C., Tarasick D.W., von der Gathen P., Walker K.A., Zinoviev N.S. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. // Nature. 2011. Vol. 478. P. 469–475. doi:10.1038/nature10556

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 00652-а

А.П.Макштас, В.Ф.Радионон, В.М.Дорохов, Н.С.Зиновьев, Е.Н.Русина, Е.Е.Сибир (ААНИИ)

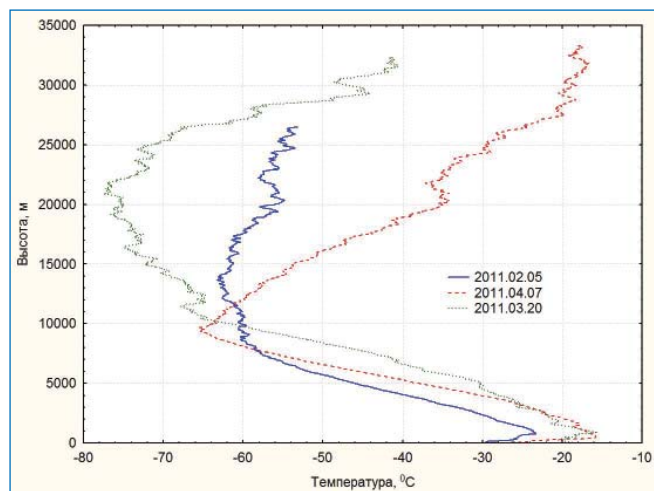
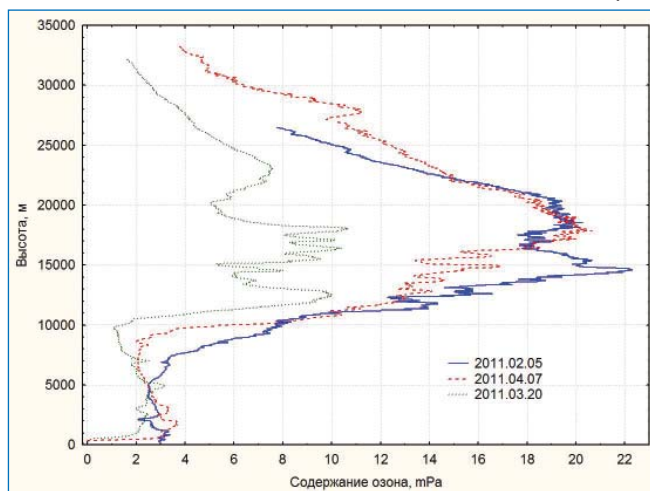


Рис. 4. Распределения концентрации озона (слева) и температуры воздуха (справа) по данным аэрологических зондирований на дрейфующей станции «Северный полюс-38» в феврале, марте и апреле 2011 г.