

## АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.510.534/160.27+551.21

# Специфика формирования антарктической и арктической озоновых аномалий

В.В. Зуев, Н.Е. Зуева, Е.С. Савельева\*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 5.11.2013 г.

Проводится сравнение условий формирования весенних озоновых аномалий в Арктике и Антарктиде. Показано, что разница между полярными озоновыми аномалиями обусловлена значительным отличием по скорости и устойчивости южного и северного полярных вихрей, а также наличием в Антарктиде интенсивного источника HCl – влк. Эребус. Описываются характер его вулканической активности и механизм попадания вулканических газовых выбросов в антарктическую стратосферу.

*Ключевые слова:* озоновая дыра, циркумполярный вихрь, вертикальные профили температуры, полярные стратосферные облака, хлористый водород, влк. Эребус; ozone hole, polar vortex, vertical profiles of temperature, polar stratospheric clouds, hydrogen chloride, Erebus volcano.

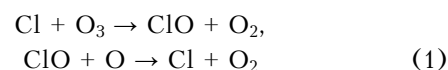
### Введение

Под озоновыми аномалиями принято понимать падение общего содержания озона (ОСО) ниже уровня 220 е.Д. (или близких к этому уровню значений). Подобное падение ОСО наблюдается регулярно над Антарктидой в весенний период, особенно в сентябре и октябре. Весенние озоновые аномалии над Антарктидой покрывают большую площадь (более 10 млн км<sup>2</sup>) в течение длительного периода (от 2 до 3,5 мес). В Арктике озоновые аномалии – крайне редкое явление. В отличие от масштабных антарктических озоновых аномалий арктические имеют небольшую площадь (ниже 10 млн км<sup>2</sup>), они непродолжительны (от нескольких дней до 2–3 нед), смещены относительно полюса и дрейфуют в течение всего периода своего существования.

Впервые сильное весеннее истощение озона над Антарктидой было зарегистрировано в первый Международный геофизический год (1957–1958 гг.). Регистрируемое падение ОСО достигало в октябре над ст. Halley Bay (75° ю.ш., 26° з.д.) минимальных значений – около 230 е.Д. [1]. Зарегистрированные в эти годы потери ОСО над Антарктидой в весенний период в отличие от весенних максимумов ОСО во всех других точках планеты были отмечены пионером озонотрии G. Dobson [2]. В дальнейшем над ст. Halley Bay наблюдалось неуклонное усиление весеннего истощения озона: среднее за сентябрь значение ОСО в 1957–1967 гг. составляло ~276, в 1973–1980 ~250, в 1980–1990 ~206 и в 1997–2007 ~156 е.Д. [3]. Значительное увеличение весенних озоновых аномалий над Антарктидой было зарегистрировано

в начале 80-х гг. XX в. Это явление, названное «озоновой дырой», авторы [4] связали с усилением хлорного каталитического цикла разрушения озона из-за техногенных фреонов. Фреоны рассматривались как поставщики активных атомов Cl, возникающих за счет их фотодиссоциации в стратосфере под действием коротковолновой солнечной УФ-радиации. Правда, это предположение сразу вызвало дискуссии, поскольку Южное полушарие всегда значительно уступало индустриально более развитому Северному полушарию, в том числе по выбросам фреонов, но при этом озоновые дыры в Арктике случаются значительно реже, чем над Антарктидой, они менее глубоки и непродолжительны.

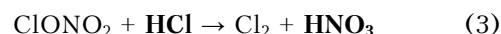
Эффективный каталитический хлорный цикл



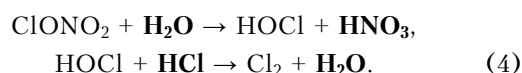
в условиях полярной ночи блокируется реакцией



превращающей химически активную окись хлора в инертную молекулу-резервуар – хлористый нитрозил ClONO<sub>2</sub>. Считается [5], что в условиях антарктической стратосферы в весенний период для эффективной работы хлорного цикла (1) хлор может высвободиться из резервуара ClONO<sub>2</sub> благодаря гетерогенным реакциям на твердой поверхности частиц полярных стратосферных облаков (ПСО):



или



В гетерогенных реакциях (3) и (4) реагенты в твердой фазе выделены жирным шрифтом.

\* Владимир Владимирович Зуев (vzuev@imces.ru);  
Нина Евгеньевна Зуева (vzuev@list.ru); Екатерина Сергеевна Савельева (kapitosh89@gmail.com).

Твердые частицы ПСО образуются при температуре стратосферного воздуха ниже  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$  (тип Ia) или  $-83\text{ }^{\circ}\text{C}$  (тип II) на ядрах конденсации, в роли которых может выступать долгоживущий в стратосфере сернокислотный аэрозоль. Высвобождаемая в реакциях (3) или (4) молекула хлора  $\text{Cl}_2$  легко фотодиссоциирует на атомы в условиях даже слабого поля солнечной радиации, появляющегося весной после полярной ночи:



где  $h\nu$  — квант солнечной радиации. В результате восстановленные активные атомы Cl вновь возвращаются в каталитический цикл разрушения озона (1). Характерной особенностью протекания гетерогенных реакций (3) и (4) является денитрификация стратосферного воздуха за счет вымораживания азотной кислоты, что и наблюдается в период максимального развития озоновой дыры [5].

Таким образом, для создания и развития озоновой дыры необходимо *одновременное* сочетание трех условий:

- 1) охлаждение стратосферы до температур ниже  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) наличие ядер конденсации частиц ПСО;
- 3) обогащение поверхности частиц ПСО хлороводородом HCl.

В реализации *первого условия* главную роль играет стратосферный циркумполярный вихрь, развивающийся в полярной стратосфере в зимне-весенний период. Он способствует изоляции воздушных масс и их охлаждению внутри вихря, при этом степень изоляции воздуха определяется скоростью и устойчивостью вихря. В создании и поддержании *второго условия* основную роль играют вулканогенные аэрозольные возмущения стратосферы, подпитывающие стратосферу долгоживущим сернокислотным аэрозолем. В качестве ядер конденсации могут выступать также ионные связки типа  $\text{HSO}_4^-$  ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )<sub>n</sub> ( $\text{HNO}_3$ )<sub>p</sub>, дополнительно обогащенные такими основами, как HOCl и HCl. В полярных регионах эти связки могут образовываться в нижней стратосфере при вторжениях потоков заряженных частиц после мощных вспышек на Солнце. *Третье условие* реализуется при наличии достаточно мощного и долговременного источника выброса HCl в полярную стратосферу, способного попасть внутрь циркумполярного вихря.

Специфика формирования весенних озоновых аномалий в стратосфере над Антарктидой и Арктикой обусловлена значительным отличием по скорости и устойчивости южного и северного циркумполярных вихрей, а также наличием в Антарктиде влк. Эребус — интенсивного источника HCl.

### Стратосферный циркумполярный вихрь как основной лимитирующий фактор образования озоновой дыры

Океаническая поверхность, окружающая Антарктиду, существенно усиливает зимний градиент температур у полярного фронта в отличие от материкового окружения в Арктике. В результате юж-

ный циркумполярный вихрь значительно устойчивее северного: он превышает его по площади, скорости ветра и продолжительности существования. Южный циркумполярный вихрь настолько сильный, что создает ветровую стенку, выступающую барьером для обмена воздушных масс, что приводит к изоляции и охлаждению стратосферного воздуха внутри его и препятствует меридиональному переносу озона из области его генерации в тропиках. Более слабый северный циркумполярный вихрь фактически не препятствует обмену стратосферных воздушных масс. Поэтому температуры внутри северного циркумполярного вихря, как правило, выше, чем внутри южного.

На рис. 1 приведены усредненные за период 1979–2012 гг. профили температуры для ст. Amundsen Scott ( $90^{\circ}$  ю.ш.) и Alert ( $83^{\circ}$  с.ш.,  $62^{\circ}$  з.д.) на основе ежедневных данных шар-зондовых измерений температуры зимой и летом, представленных на сайте [6].

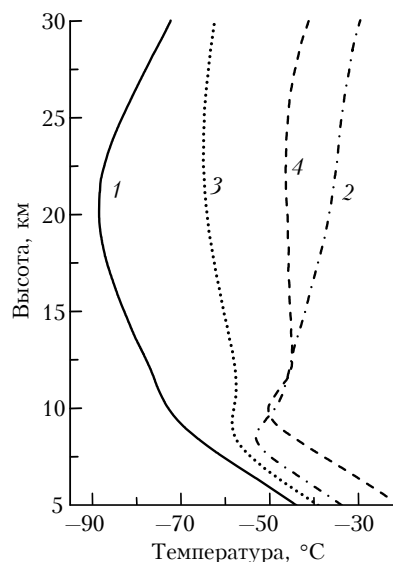


Рис. 1. Профили температуры над антарктической станцией Amundsen Scott ( $90^{\circ}$  ю.ш.) для июня–октября и января и над арктической станцией Alert ( $83^{\circ}$  с.ш.,  $62^{\circ}$  з.д.) для декабря–февраля и августа, усредненные за период 1979–2012 гг.: 1 —  $90^{\circ}$  ю.ш. (июнь–октябрь); 2 —  $90^{\circ}$  ю.ш. (январь); 3 —  $83^{\circ}$  с.ш. (декабрь–февраль); 4 —  $83^{\circ}$  с.ш. (август)

Стратосферные температуры внутри южного полярного вихря понижаются настолько сильно, что происходит выравнивание температурного градиента на уровне тропопаузы и в течение пяти зимних месяцев (июнь–октябрь) над Антарктидой полностью отсутствует тропопауза, что приводит к усилению тропосферно-стратосферного обмена. Над Арктикой таких изменений температурного профиля не происходит, тропопауза сохраняется на протяжении всей зимы за исключением локальных кратковременных явлений.

На рис. 2 приведены годовой ход скорости циркумполярного вихря, минимальных температур и площади ПСО на уровне 50 мбар, а также годовой ход ОСО над полярными регионами. При построе-

нии кривых на рис. 2, *a–в* ежесуточные данные, представленные на сайтах [7, 8], сглаживались по 10 точкам, а для кривых на рис. 2, *г* использовались ежемесячные данные [9].

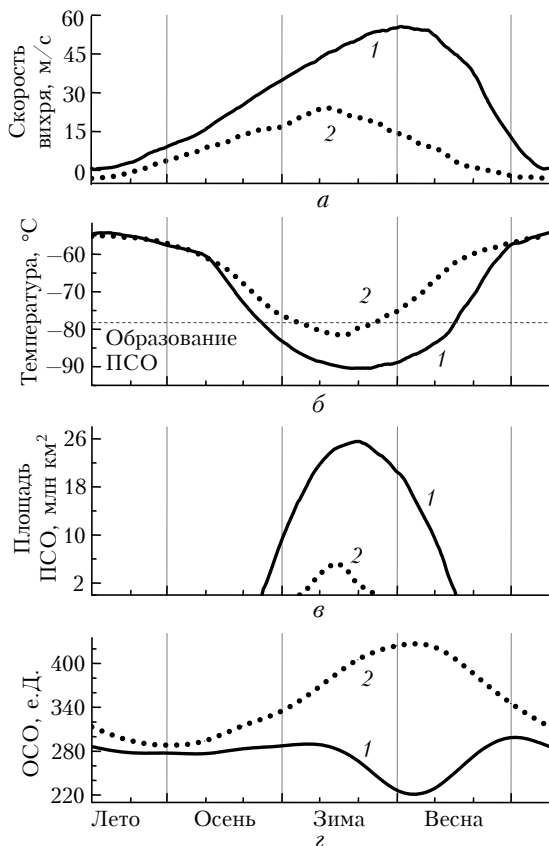


Рис. 2. Средний за период 1979–2012 гг. годовой ход скорости циркумполярного вихря (*a*), минимальных температур (*б*) и площади ПСО (*в*) на уровне 50 мбар (~20 км), а также средний за период 1979–2008 гг. годовой ход ОСО (*г*) над Антарктидой и Арктикой (1 – 90–60° ю.ш.; 2 – 90–60° с.ш.)

Из рис. 2, *a* видно, что скорость вращения южного циркумполярного вихря более чем в 2 раза выше скорости северного вихря. В результате процессы, протекающие в период зимы над Антарктидой, носят более продолжительный и глубокий характер по сравнению с аналогичными явлениями над Арктикой. Период критически низких стратосферных температур (< -78 °C), необходимых для формирования ПСО, в Антарктиде в среднем более чем в 2 раза продолжительнее, чем в Арктике, а площадь антарктического ПСО в 5 раз больше арктического (см. рис. 2, *б, в*).

Очень важно, что значительные площади ПСО над Антарктидой регулярно сохраняются весной, когда при появлении в полярной стратосфере солнечной радиации становится возможным протекание реакции фотодиссоциации  $Cl_2$  (5). Тогда в результате всего комплекса реакций (1)–(5) в весенний период над Антарктидой обеспечиваются все необходимые условия для активного разрушения стратосферного озона. Поэтому в усредненном за 30 лет

годовом ходе ОСО весной над Антарктидой формируется выраженный минимум ОСО (см. рис. 2, *г*).

В Арктике стратосфера не выхолаживается так сильно, как над Антарктидой, поэтому арктическое ПСО – это редкое явление, особенно весной. На рис. 2, *в* видно, что при 34-летнем усреднении годового хода площади ПСО над Арктикой это атмосферное образование проявляется только в зимний период в условиях полярной ночи, когда отсутствует солнечная радиация и протекание реакции фотодиссоциации  $Cl_2$  (5) невозможно. Поскольку арктическое ПСО весной появляется крайне редко, при усреднении годового хода ОСО над Арктикой за 30 лет на рис. 2, *г* в этот период года виден не минимум, а максимум ОСО, обусловленный усилением меридионального транспорта стратосферного озона из области его генерации в тропиках в зимне-весенний период.

Хотя и эпизодически, озоновые аномалии регистрировались в Северном полушарии в феврале–марте 1986, 1993, 1995, 1997, 2000, 2005 и 2011 гг. Самые крупные из них наблюдались в 1997 и 2011 гг., когда ОСО в центральной части озоновой дыры сохранялось ниже 240 е.Д. в течение ~3 нед и эпизодически понижалось до 220 е.Д. На рис. 3 приведен годовой ход скорости циркумполярного вихря для 60° с.ш., минимальных температур и площади ПСО на уровне 50 мбар, а также ОСО для пояса 90–60° с.ш. над Арктикой для аномального 1997 г.

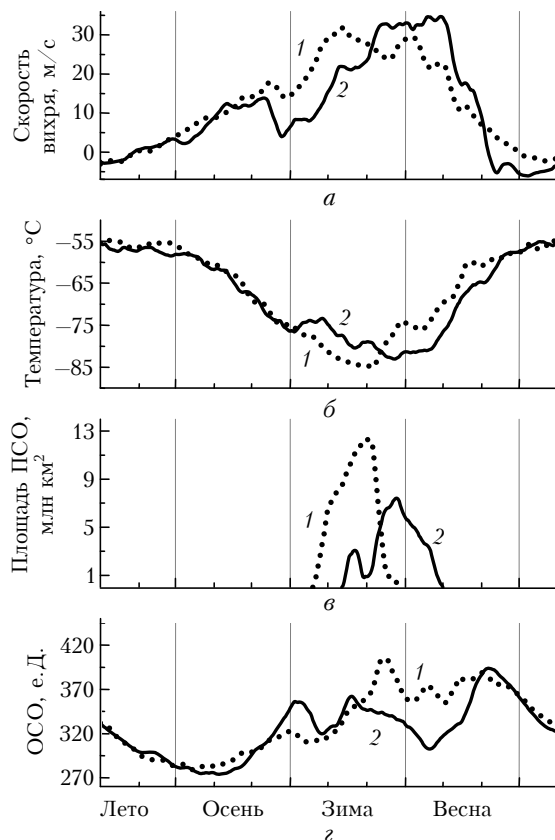


Рис. 3. Годовой ход скорости арктического вихря (*a*), минимальных температур (*б*), площади ПСО (*в*) и ОСО (*г*) над Арктикой в 1990 и 1997 гг. (1 – 07.1989–06.1990; 2 – 07.1996–06.1997)

Ежегодные данные сайта [8] заглаживались по 10 точкам. Для сравнения на рис. 3 показана годовая динамика тех же параметров в 1990 г., когда озоновой дыры над Арктикой не было. Видно, что, несмотря на схожие скорости вихря, критически низкие минимальные температуры и даже более масштабные ПСО, озоновая дыра не сформировалась. Ясно, что значительная озоновая аномалия в 1997 г. образовалась благодаря более позднему формированию ПСО, захватившему весенний период, когда при реализации всего комплекса реакций (1)–(5) стимулируется активное разрушение озона.

На рис. 4 представлены межгодовые изменения скорости циркумполярного вихря и ОСО в весенний период над полярными регионами.

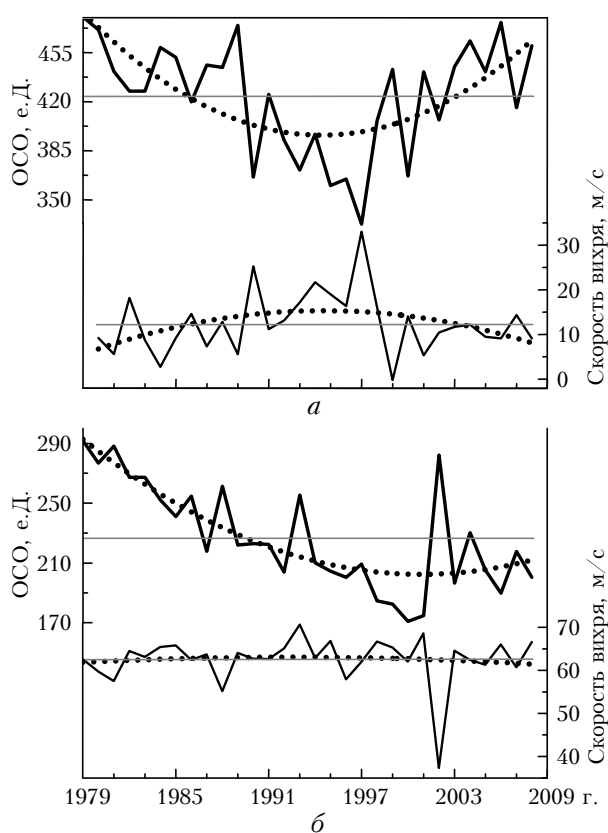


Рис. 4. Межгодовые изменения скорости циркумполярного вихря на широте  $\pm 60^\circ$  и ОСО в широтном поясе  $\pm(90-60^\circ)$  для весенних месяцев: в марте в Арктике (а) и в сентябре в Антарктиде (б). Точками изображены параболические тренды, серыми прямыми – уровни средних значений

На рис. 4, а видно, что поведение ОСО над Арктикой в марте в значительной степени регулируется скоростью циркумполярного вихря. Чем выше скорость вихря, тем ниже значения ОСО. Причем эта противофазность проявляется как в межгодовых колебаниях, так и в параболических тенденциях. Весной в сентябре над Антарктидой реализуется иная ситуация (рис. 4, б). Скорость антарктического вихря устойчиво из года в год сохраняется высокой (за исключением 2002 г.) с незначительными колебаниями относительно уровня среднего значения

практически с нулевым параболическим трендом. Но при этом параболический тренд ОСО показывает его значительное понижение, особенно в 80-е гг. XX в. Следовательно, в этот период наряду со скоростью циркумполярного вихря ОСО значительно регулировал дополнительный фактор. Этим фактором, также играющим ключевую роль в формировании озоновой дыры, является присутствие в полярной стратосфере достаточного количества соединений хлора, в первую очередь хлороводорода HCl, для эффективного протекания гетерогенных реакций (3) или (4).

### Вулкан Эребус – источник обогащения антарктических ПСО хлороводородом

В Антарктиде находится постоянно действующий вулкан Эребус ( $77,53^\circ$  ю.ш.,  $167,17^\circ$  в.д., высота 3794 м), входящий в список самых активных вулканов на Земле. По характеру активности Эребус относится к вулканам стромболианского типа. В его главном кратере находится лавовое озеро, не застывающее из-за непрерывных конвективных процессов подъема и перемешивания магмы, которая циркулирует от камеры, расположенной глубоко в вулкане. Извержения, инициируемые в магматической камере, создают вулканические «бомбы», выбрасываемые со скоростью  $\sim 100$  м/с обычно на высоту  $\sim 150$  м от поверхности озера [10]. В периоды высокой активности вулкана, например как в сентябре 1984 г., диаметр «бомб» может достигать 10 м, а высота выброса – более 1 км от поверхности озера [11]. Рядом с лавовым озером в главном кратере находится пепловое жерло, из которого периодически выходит столб вулканических газов. Эребус – один из немногих вулканов, представляющий собой «систему открытого жерла» («open vent system»), объясняющую устойчивость и разнообразие активности вулкана: частую смену между пассивной и активной дегазацией и взрывными извержениями [12, 13]. Жерло с лавовым озером и пепловое жерло имеют общую магматическую камеру. Для лавового озера характерна пассивная дегазация, в свою очередь активная дегазация наблюдается из пеплового жерла и, как правило, предвещает взрывные извержения от поверхности лавового озера. Для большинства вулканов стромболианского типа максимальная вертикальная скорость дегазации находится в интервале от 23 до 203 м/с [14]. У Эребуса минимальная начальная скорость дегазации у пеплового жерла составляет  $\sim 200$  м/с [15]. Однако, учитывая особенности строения вулкана, можно полагать, что скорость дегазации в максимально активной фазе извержения достигает 300 м/с.

Преобладающими компонентами газовых выбросов являются водяной пар  $H_2O$ , углекислый газ  $CO_2$  и диоксид серы  $SO_2$  с массовыми долями 0,37, 0,56 и 0,03 [16] соответственно. Средняя массовая доля хлороводорода HCl составляет 0,02 при объе-

ме выбросов HCl в среднем 50 т/сут. Эребус является доминирующим источником хлора в Антарктиде, его вклад составляет ~80% [17].

Пик активности вулкана наблюдался в начале 80-х гг., эмиссия SO<sub>2</sub> и HCl в 1983 г. достигала 231 и 167 т/сут [18] соответственно. Если полагать, что газовая эмиссия влк. Эребус может достигать стратосферных высот, интенсивное наполнение антарктической стратосферы диоксидом серы и хлороводородом в начале 80-х гг. должно было стимулировать протекание гетерогенных реакций на поверхности ПСО, что привело к быстрому падению весеннего ОСО (см. рис. 4, б) в результате активизации хлорного цикла разрушения озона.

Максимальную высоту газовой струи, выбрасываемой в процессе активной дегазации Эребуса, можно рассчитать с использованием формулы Morton [19, 20]:

$$H = 1,87 \cdot 10^{-3} E^{0,25}, \quad (6)$$

где  $E = C_p R_o q \tau (T - T_a)$  – термическая энергия выброса, Дж;  $C_p$  – теплоемкость материала извержения;  $R_o$  – плотность материала извержения;  $\tau$  – продолжительность периода извержения, с;  $T$  – температура материала извержения;  $T_a$  – температура окружающего воздуха;  $q = (\pi d^2 v)/4$  – объемный расход извержения, м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>;  $d$  – диаметр жерла вулкана;  $v$  – скорость извержения. Согласно литературным данным [21, 22], можно выбрать следующие значения этих параметров для извержения влк. Эребус:  $d = 15$  м,  $v = 300$  м/с,  $C_p = 1000$  Дж/(кг·К),  $R_o = 5$  кг/м<sup>3</sup>,  $\tau = 9000$  с,  $T = 1773$  К и  $T_a = 233$  К. Тогда максимальная высота газовой струи составит 14,5 км, а с учетом высоты пеплового жерла 3,5 км получается высота газового выброса  $H \approx 18$  км уже в стратосфере. В работе [23] приведены результаты самолетных измерений, проведенных в октябре 1989 г. над Антарктидой на высоте 8 км, фактически уже в полярной стратосфере. На всем протяжении полета в диапазоне 77–89° ю.ш. и 165° в.д. регистрировались вулканогенные частицы KCl, выброшенные влк. Эребус на эту стратосферную высоту. Так что достижение газовым выбросом стратосферных высот – реальное явление. Кроме того, за счет восходящего движения воздушных потоков внутри циклонального вихря при отсутствии тропопаузы (см. рис. 1) может происходить дополнительный подъем вулканических газов на еще большие высоты. Таким образом, в процессе активной дегазации влк. Эребус антарктическая стратосфера одновременно обогащается ядрами конденсации ПСО из сернокислотного аэрозоля, формирующегося из SO<sub>2</sub>, и хлороводородом HCl, необходимым для протекания гетерогенных реакций (3) или (4), способствующих разблокированию эффективного каталитического хлорного цикла разрушения озона (1) в весенний период.

В Южном полушарии циркумполярный вихрь устойчиво располагается над Антарктидой, что гарантированно обеспечивает попадание газовых выбросов влк. Эребус внутрь вихря. Циркумполярный вихрь в Северном полушарии, как правило,

дрейфует относительно полюса, приобретая сложные вытянутые, часто «гантелеобразные» формы. Поэтому вероятность попадания непосредственно внутрь этого вихря газовых выбросов активных вулканов Исландии, Камчатки или Аляски мала.

## Заключение

Для формирования весенней озоновой аномалии необходимо одновременное сочетание нескольких факторов: а) высокая скорость и устойчивость полярного вихря, что обеспечивает хорошую изоляцию и выхолаживание воздушных масс внутри вихря, б) наличие ядер конденсации ПСО, в) наличие достаточного количества HCl для обеспечения гетерогенных реакций на поверхности частиц ПСО. Принципиальные отличия в условиях формирования зимне-весенних озоновых аномалий над Арктикой и Антарктидой заключаются в следующем:

1) скорость и устойчивость циркумполярного вихря в Антарктиде значительно выше, чем в Арктике, что способствует достижению более низких температур в стратосфере;

2) в Антарктиде существует источник дополнительного поступления ядер конденсации частиц ПСО на сернокислотном аэрозоле и их обогащения хлороводородом HCl – влк. Эребус.

В результате антарктические озоновые аномалии являются глубокими, продолжительными и регулярными, а арктические встречаются эпизодически, они незначительны и кратковременны. Большие масштабы озоновой дыры над Антарктидой сохраняются из-за продолжающейся активности влк. Эребус.

1. Звягинцев А.М., Зуев В.В., Крученицкий Г.М., Skorobogatyy T.B. О вкладе гетерофазных процессов в формирование весенней озоновой аномалии в Антарктиде // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 3. С. 29–34.
2. Dobson G.M.B. Exploring the atmosphere. Oxford: Clarendon Press, 1963. 209 p.
3. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н., Кузнецов Г.И. Об эволюции весенней антарктической озоновой аномалии // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 7. С. 580–583.
4. Farman J.C., Gardiner B.G., Shanklin J.D. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction // Nature (Gr. Brit.). 1985. V. 315, N 6016. P. 207–210.
5. Finlayson-Pitts B.J., Pitts J.N. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications. California: Academic Press, 2000. 969 p.
6. URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
7. URL: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/SH.html>
8. URL: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/NH.html>
9. Van der A R.J., Allaart M.A.F., Eskes H.J. Multi Sensor Reanalysis of Total Ozone // Atmos. Chem. Phys. 2010. V. 10, N 22. P. 11277–11294.
10. Dibble R.R., Kyle P.R., Rowe C.A. Video and seismic observations of Strombolian eruptions at Erebus volcano, Antarctica // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2008. V. 177, N 3. P. 619–634.
11. Kelly P.J., Kyle P.R., Dunbar N.W., Sims K.W.W. Geochemistry and mineralogy of the phonolite lava lake,

- Erebus volcano, Antarctica: 1972–2004 and comparison with older lavas // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2008. V. 177, N 3. P. 589–605.
12. *Aster R., Mah S., Kyle P., McIntosh W., Dunbar N.W., Johnson J., Ruiz M., McNamara S.* Very long period oscillations of Mount Erebus volcano // *J. Geophys. Res. B.* 2003. V. 108, N 11. P. 2522–2544.
  13. *Oppenheimer C., Moretti R., Kyle P.R., Eschenbacher Al., Lowenstern J.B., Hervig R.L., Dunbar N.W.* Mantle to surface degassing of alkalic magmas at Erebus volcano // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 2011. V. 306, N 3–4. P. 261–271.
  14. *Donne D.D., Ripepe M.* High-frame rate thermal imagery of Strombolian explosions: Implications for explosive and infrasonic source dynamics // *J. Geophys. Res. B.* 2012. V. 117, N 9. P. 206–218.
  15. *Тазиев Г.* На вулканах / Пер. с фр. М.: Мир, 1987. 264 с.
  16. *Oppenheimer C., Kyle P.R.* Probing the magma plumbing of Erebus volcano, Antarctica, by open-path FTIR spectroscopy of gas emissions // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2008. V. 177, N 3. P. 743–754.
  17. *Zreda-Gostynska G., Kyle P.R., Finnegan D.L., Prestbo K.M.* Volcanic gas emissions from Mount Erebus and their impact on the Antarctic environment // *J. Geophys. Res. B.* 1997. V. 102, N 7. P. 15039–15055.
  18. *Zreda-Gostynska G., Kyle P.R., Finnegan D.L.* Chlorine, fluorine and sulfur emissions from Mount Erebus, Antarctica and estimated contribution to the Antarctic atmosphere // *Geophys. Res. Lett.* 1993. V. 20, N 18. P. 1959–1962.
  19. *Morton B.R., Taylor G.I., Turner J.S.* Turbulent Gravitational Convection from Maintained and Instantaneous Sources // *Proc. Roy. Soc. London. A.* 1956. V. 234, N 1196. P. 1–23.
  20. *Glaze L.S., Baloga S.M.* Sensitivity of buoyant plume heights to ambient atmospheric conditions: Implications for volcanic eruption columns // *J. Geophys. Res. D.* 1996. V. 101, N 1. P. 1529–1540.
  21. *Steinberg G.S., Babenko J.I.* Experimental velocity and density determination of volcanic gases during eruption // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 1978. V. 3, N 1–2. P. 89–98.
  22. *Csatho B., Schenk T., Kyle P., Wilson T., Krabill W.B.* Airborne laser swath mapping of the summit of Erebus volcano, Antarctica: Applications to geological mapping of a volcano // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2008. V. 177, N 3. P. 531–548.
  23. *Chuan R.L.* Dispersal of volcano derived particles from Mount Erebus in the Antarctic atmosphere // *Volcanological and Environmental Studies of Mount Erebus, Antarctica / Antarct. Res. Ser.* 1994. V. 66. P. 97–102.

**V.V. Zuev, N.E. Zueva, E.S. Saveljeva. Specificity of formation of the Antarctic and Arctic ozone anomalies.**

The conditions of formation of spring ozone anomalies in the Arctic and Antarctic are compared. It is shown that the distinction between polar ozone anomalies is due to a significant difference in the velocity and stability of the southern and northern polar vortices, as well as to the Antarctica's Mount Erebus volcano, which is the powerful source of HCl. The paper describes the nature of its volcanogenic activity and the mechanism of the volcanogenic gas emissions transport to the Antarctic stratosphere.