

Главная » Оптика атмосферы и океана » 2019 (25) » Труды

XXV Международный Симпозиум “Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы”

30 июня - 5 июля 2019 года, Новосибирск



NOVOSIBIRSK 2019

ATMOSPHERIC and OCEAN OPTICS. ATMOSPHERIC PHYSICS

Труды

Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXV Международного симпозиума.

Электронный ресурс

Томск: Издательство ИОА СО РАН.

ISBN 978-5-94458-176-1

© ИОА СО РАН им. В.Е. Зуева, 2019

Содержание

1. [Пленарные доклады](#)
2. [Конференция А. Молекулярная спектроскопия и атмосферные радиационные процессы](#)
3. [Конференция В. Распространение излучения в атмосфере и океане](#)
4. [Конференция С. Исследование атмосферы и океана оптическими методами](#)
5. [Конференция D. Физика тропосферы](#)
6. [Конференция Е. Физика средней и верхней атмосферы](#)

2002 (9)

2001 (8)

2000 (7)

1999 (6)

МОЛЕКУЛЯРНАЯ
СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО
РАЗРЕШЕНИЯ

ИМПУЛЬСНЫЕ ЛАЗЕРЫ НА
ПЕРЕХОДАХ АТОМОВ И
МОЛЕКУЛ

РАБОЧАЯ ГРУППА “АЭРОЗОЛИ
СИБИРИ”

РАСПРОСТРАНЕНИЕ
РАДИОВОЛН

КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ
“МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ,
ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОЛОГИЯ”

XXV МЕЖДУНАРОДНАЯ

КОНФЕРЕНЦИЯ Е

**ФИЗИКА СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ
АТМОСФЕРЫ**

ПЛИНИАНСКИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В СТРАТОСФЕРЕ

Зуев В.В.¹, Зуева Н.Е.¹, Савельева Е.С.¹, Герасимов В.В.^{1,2}

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

E-mail: vvzuev@imces.ru, n11.zueva@yandex.ru, ekat.savelieva@gmail.com, gvvsnafe@mail.ru

Ключевые слова: черный углерод, извержение влк. Пинатубо, озоновые аномалии

Аэрозольные частицы черного углерода (black carbon, BC), будучи в достаточном количестве в атмосфере Земли, способны значительно влиять на ее радиационный баланс и разрушать стратосферный озон в результате гетерогенных химических реакций. В тропосфере существует множество источников BC: сжигание био- и ископаемого топлива, лесные пожары, производство электроэнергии, промышленная деятельность и т.д. В стратосфере основным источником наночастиц BC являются авиационные выбросы. Предполагается, что другим мощнейшим источником BC в стратосфере являются плинианские извержения с $VEI \geq 5$. Предложен возможный механизм образования BC в вулканическом канале в процессе извержения.

В «сухих» условиях стратосферы черный углерод (black carbon, BC) имеет время жизни более 3-х лет [1] и способен активно разрушать озон в ходе гетерогенных реакций [2]. В верхней тропосфере и нижней стратосфере BC присутствует в концентрациях 0,01–0,1 нг/м³ [3]. Известно, что основным источником BC в стратосфере являются авиационные выбросы [4]. Также эпизодическое попадание BC в стратосферу может происходить в результате формирования мощных конвективных облаков руго-cumulonimbus (pyroCb) при масштабных лесных пожарах [5].

Методы прямых измерений вулканогенного BC, в частности, по исследованиям осадочных материалов, неэффективны из-за большого углеродного фона. Однако возможно наличие опосредованной связи параметров, характеризующих состояние стратосферы, с присутствием вулканогенного BC. В качестве такого индикатора можно рассматривать длительную депрессию озона в тропической стратосфере после мощных вулканических извержений с $VEI \geq 5$. На рис. 1 представлен временной ход среднемесячных значений общего содержания озона (OCO) над станцией Mauna Loa (19,42° с.ш., 155,29° з.д.), полученный по данным World Ozone and Ultraviolet Data Center (WOUDC, <http://www.woudc.org>). Как видно из рис. 1, после извержений вулканов Эль-Чичон (апрель 1982 г., $VEI = 5$) и Пинатубо (июнь 1991 г., $VEI = 6$) в тропической стратосфере наблюдалось длительное истощение озона продолжительностью около 6 лет.

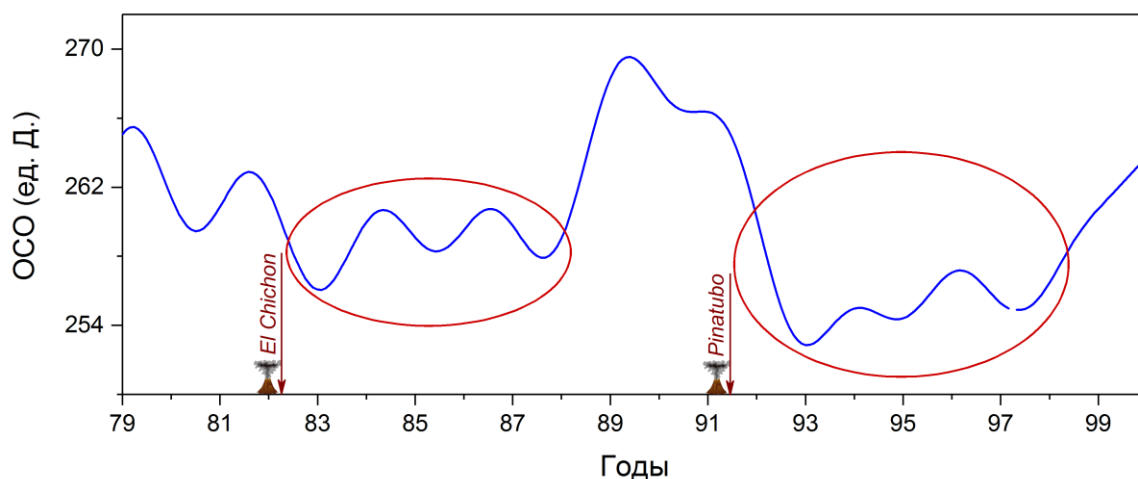


Рисунок 1 – Временной ход сглаженных по 12 точкам (с использованием FFT фильтра) среднемесячных значений ОСО над станцией Мауна Лоа. Стрелками отмечены даты извержений вулканов Эль-Чичон и Пинатубо, эллипсами выделены периоды вулканогенных депрессий тропического стратосферного озона.

Как правило, длительное истощение стратосферного озона после вулканических извержений связывают с присутствием в стратосфере высоких концентраций сернокислотного аэрозоля. При этом коэффициент аккомодации (mass accommodation coefficient) α , определяющий эффективность абсорбции молекул озона сернокислотным аэрозолем, не превышает 10^{-8} [6]. Максимальные значения α могут достигать 10^{-6} в полярных областях при $T \leq 196$ К [7]. Но даже они существенно ниже уровня значимых воздействий на озоносферу, который составляет $\geq 10^{-4}$ [8].

Как известно, одним из наиболее эффективных циклов разрушения стратосферного озона является каталитический хлорный цикл:



При низкой солнечной радиации в высоких широтах восстановление атомов хлора из монооксида хлора может происходить по реакциям:

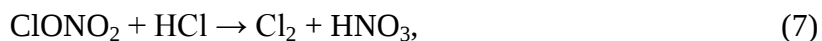


где $h\nu$ – энергия кванта света, M – некоторый атом или молекула. Однако реакции (3)–(5) блокируются реакцией, которая превращает химически активный монооксид хлора в пассивную молекулу-резервуар, хлорнитрат:



Восстановление молекулярного хлора из молекулы-резервуара ClONO_2 может протекать на

поверхности сернокислотного аэрозоля [9]:



Эффективность протекания реакций (7)–(9) (reactive uptake coefficient, γ_{rxn}) определяется вероятностью поглощения хлороводорода (HCl) и хлорнитрата (ClONO₂) сернокислотным аэрозолем. Этот процесс происходит при достаточно низких температурах и усиливается с понижением температуры и уменьшением концентрации серной кислоты в растворе [10, 11]. При температуре 200–205 К γ_{rxn} реакции (7), которая является наиболее эффективной, составляет $\sim 10^{-4}$ – 10^{-3} , а при температуре ниже 195 К $\gamma_{\text{rxn}} \geq 0,1$ [12]. Однако в присутствии большого количества частиц сернокислотного аэрозоля после крупных извержений вулканов γ_{rxn} реакций (7)–(9) становится значимой при температурах 210–215 К [13]. В результате эти реакции способны усилить хлорный цикл разрушения озона в нижней стратосфере и верхней тропосфере средних широт за пределами полярных областей [14].

Но на более низких широтах реакции (7)–(9) становятся неэффективными из-за усиления фотолиза HNO₃:



В результате, увеличивается количество молекул NO₂, блокирующих хлорный цикл по реакции (6). В работе [13] показано, что реакции (7)–(9) сохраняют свою значимость при температурах 210–215 К в нижней стратосфере в присутствии вулканогенного сернокислотного аэрозоля только на широтах выше 50°, где скорость фотолиза HNO₃ остается относительно низкой. То есть, в низких широтах, тем более в тропиках, сернокислотный аэрозоль фактически не участвует в разрушении стратосферного озона. Следовательно, его длительное истощение должно быть связано с другим долгоживущим вулканогенным аэрозолем, реактивным по отношению к озону. Продолжительную депрессию стратосферного озона можно объяснить присутствием в вулканических выбросах наноразмерных частиц ВС, характеризующихся длительным временем жизни в стратосфере более 3-х лет [1] и высокой константой разрушения озона на его поверхности (reaction probability) $\gamma \sim 2 \cdot 10^{-3}$ [2].

Для извержений с $\text{VEI} \geq 7$ должны возникнуть значительные климатические изменения согласно модели «ядерной зимы», где ВС в стратосфере играет определяющую роль. При извержениях супервулканов с $\text{VEI} \sim 8$ в стратосферу может быть выброшено более 1 Мт ВС.

Численное моделирование последствий выброса в тропическую стратосферу такого количества ВС, проведенное в [1], указывает фактически на разрушение озоносферы. Вероятнее всего, возникший эффект «бутылочного горлышка» (bottleneck) после катастрофического извержения вулкана Тоба 75 тыс. лет назад [15], приведший к практически полному исчезновению человечества, был связан не только с резким и длительным похолоданием, но и с разрушением озоносферы и усилением опасной для биосферы коротковолновой части УФ-В радиации.

1. Kravitz B., Robock A., Shindell D.T., Miller M.A. Sensitivity of stratospheric geoengineering with black carbon to aerosol size and altitude of injection // *J. Geophys. Res. D*. 2012. V. 117, N 9. P. D09203.
2. Bekki S. On the possible role of aircraft-generated soot in the middle latitude ozone depletion // *J. Geophys. Res. D*. 1997. V. 102, N 9. P. 10751–10758.
3. Hendricks J., Kärcher B., Döpelheuer A., Feichter J., Lohmann U., Baumgardner D. Simulating the global atmospheric black carbon cycle: a revisit to the contribution of aircraft emissions // *Atmos. Chem. Phys.* 2004. V. 4, N 11–12. P. 2521–2541.
4. Wilkerson J.T., Jacobson M.Z., Malwitz A., Balasubramanian S., Wayson R., Fleming G., Naiman A.D., Lele S.K. Analysis of emission data from global commercial aviation: 2004 and 2006 // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. V. 10, N 13. P. 6391–6408.
5. Fromm M., Tupper A., Rosenfeld D., Servranckx R., McRae R. Violent pyro-convective storm devastates Australia's capital and pollutes the stratosphere // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33, N 5. P. L05815.
6. Harker A.B., Ho W.W. Heterogeneous ozone decomposition on sulfuric acid surfaces at stratospheric temperatures // *Atmos. Environ.* 1979. V. 13, N 7. P. 1005–1010.
7. Dlugokencky E.J., Ravishankara A.R. Laboratory measurements of direct ozone loss on ice and doped-ice surfaces // *Geophys. Res. Lett.* 1992. V. 19, N 1. P. 41–44.
8. Cadle R.D., Crutzen P., Ehhalt D. Heterogeneous chemical reactions in the stratosphere // *J. Geophys. Res.* 1975. V. 80, N 24. P. 3381–3385.
9. Hofmann D.J., Solomon S. Ozone destruction through heterogeneous chemistry following the eruption of El Chichon // *J. Geophys. Res. D*. 1989. V. 94, N 4. P. 5029–5041.
10. Robinson G.N., Worsnop D.R., Jayne J.T., Kolb C.E., Davidovits P. Heterogeneous uptake of ClONO₂ and N₂O₅ by sulfuric acid solutions // *J. Geophys. Res. D*. 1997. V. 102, N 3. P. 3583–3601.
11. Robinson G.N., Worsnop D.R., Jayne J.T., Kolb C.E., Swartz E., Davidovits P. Heterogeneous uptake of HCl by sulfuric acid solutions // *J. Geophys. Res. D*. 1998. V. 103, N 19. P. 25371–25381.
12. Finlayson-Pitts B.J., Pitts J.N. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications*. California: Academic Press, 2000. 969 p.
13. Hanson D.R., Ravishankara A.R., Solomon S. Heterogeneous reactions in sulfuric acid aerosols: A framework for model calculations // *J. Geophys. Res. D*. 1994. V. 99, N 2. P. 3615–3629.
14. Hendricks J., Lippert E., Petry H., Ebel A. Heterogeneous reactions on and in sulfate aerosols: Implications for the chemistry of the midlatitude tropopause region // *J. Geophys. Res. D*. 1999. V. 104, N 5. P. 5531–5550.
15. Robock A., Ammann C.M., Oman L., Shindell D., Levis S., Stenchikov G. Did the Toba volcanic eruption of ~74 ka B.P. produce widespread glaciation? // *J. Geophys. Res. D*. 2009. V. 114, N 10. P. D10107.