

**В.И. Демин, М.И. Белоглазов, В.А. Шишаев**

## **О содержании озона в приземном слое на архипелаге Шпицберген в 2005–2006 гг.**

*Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Анатиты*

Поступила в редакцию 2.03.2007 г.

Представлены результаты измерений приземного озона на арх. Шпицберген в 2005–2006 гг. В годовом ходе наиболее высокие содержания озона отмечаются в марте–апреле, наименьшие – летом (июль–август). В более чем 50% времени концентрации находятся в диапазоне от 25 до 35 млрд<sup>-1</sup>, в 86% времени – между 20–40 млрд<sup>-1</sup>. Максимальные концентрации озона в периоды полярного дня меньше концентраций в период полярной ночи. Суточный ход озона в приземном слое в течение большей части года отсутствует и даже в летние месяцы выражен крайне слабо (амплитуда менее 4 млрд<sup>-1</sup>).

### **Введение**

В 2005–2006 гг. Полярным геофизическим институтом КНЦ РАН были выполнены измерения приземной концентрации озона (ПКО) на арх. Шпицберген. Обсерватория ПГИ расположена на западном побережье острова Западный Шпицберген, в 3 км севернее пос. Баренцбург, вблизи мыса Хеэродден на расстоянии примерно 1 км от заливов Грендфиорд и Ис-фиорд, на высоте 95 м над уровнем моря; географические координаты 78,09° с.ш., 14,20° в.д.

Изучение динамики ПКО на Шпицбергене восполняет в некоторой степени пробел, вызванный отсутствием станций озонового мониторинга в Российском секторе Арктики. При этом, несмотря на добычу угля, архипелаг считается одним из наиболее экологически чистых регионов.

### **Природные условия**

Архипелаг Шпицберген (Свальбард) – группа больших и малых островов между 74° и 81° с.ш., 10° и 35° в.д., расположенный в западной части Центрального полярного бассейна. Общая площадь – 63 тыс. км<sup>2</sup>. Почти 60% суши покрывают ледники. Самый большой остров архипелага – Западный Шпицберген.

Это типичная гористая страна с многочисленными остроконечными горами и гребнями. Горы невысокие (наивысшая точка архипелага достигает 1717 м), но сильно расчлененные; на востоке они переходят в плато высотой до 800 м. Западные и северо-западные берега острова изрезаны заливами, вдающимися далеко в сушу.

Климат архипелага – арктический, смягченный проходящим у западного побережья Шпицбергена ответвлением Норвежского течения. Благодаря теплоте течения, море и заливы у западных берегов Шпицбергена нередко бывают свободными ото льда даже зимой, часто не замерзают до января–

февраля и освобождаются ото льда в мае–июне, в то время как восточные проливы обычно забиты льдом и летом.

Средняя температура в марте (самый холодный месяц) –12,6 °С, средняя температура июля (самый теплый месяц) +4,5 °С. В зимний период (с сентября по апрель) температура редко опускается ниже –30 °С, в летний (с июня по август), как правило, не превышает +10 °С.

Шпицберген расположен довольно близко к району активной циклонической деятельности. По этой причине характерны частые колебания температуры и влажности воздуха, атмосферного давления и силы ветра. В западной части архипелага даже в самый разгар зимы случаются оттепели и идут дожди.

Характерной особенностью Шпицбергена является значительное количество облачности в летнее время (в среднем 8 баллов нижнего яруса).

Полярный день на широте 78° длится с 19 апреля до 24 августа, а полярная ночь – в период с 27 октября по 15 февраля.

### **Приборы**

Измерения приземного озона на Шпицбергене проводились одновременно двумя газоанализаторами. Первый из них – хемилюминесцентный озонметр, изготовленный в ПГИ, производит отсчеты каждые 10 с с точностью около 15% [1]. Прибор аналогичного типа ранее использовался при исследованиях приземного озона в Арктике [2]. С помощью второго – электрохимического озонметра, изготовленного «ПБОЮЛ В.В. Рудаков» № 30477000037631, г. Москва) по методике, изложенной в работе [3], выполнялись часовые или шестичасовые отсчеты с погрешностью не более 10%. Калибровка озонметров проводилась с помощью генератора озонвоздушной смеси, разработанного и изготовленного в ПГИ [4].

В измерительный комплекс обсерватории входит также автоматическая метеорологическая станция М-49М, а для воссоздания более полной метеорологической картины используются наблюдения расположенной в 3 км южнее метеорологической станции «Баренцбург» (78,1° с.ш., 14,2° в.д., 75 м над уровнем моря).

## Результаты измерений

Годовой ход среднемесячных ПКО на арх. Шпицберген представлен на рис. 1. Явный весенний максимум озона, вызванный интенсивным поступлением озона из стратосферы при разрушении зимнего циркумполярного вихря, является типичным для большинства станций Арктического региона.

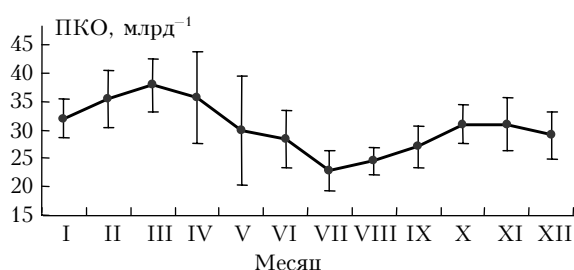


Рис. 1. Годовой ход среднемесячных ПКО в обсерватории «Баренцбург» (вертикальными отрезками отмечены среднеквадратичные отклонения)

Сравнение, например, среднесуточных ПКО на Шпицбергене и на Кольском п-ове (обсерватория ПГИ в Ловозеро (67,97° с.ш., 35,02° в.д.) [5] показывает, что весной и летом (март–июль) они примерно одинаковы, однако осенью и зимой (август–февраль) ПКО на архипелаге на 5–10 млрд<sup>-1</sup> выше вследствие более интенсивного турбулентного обмена из-за близости к району активной циклонической деятельности и большей неустойчивости воздушных масс над свободной ото льда теплой морской поверхностью (в 10–15 км от обсерватории находится незамерзающая поверхность Гренландского моря). Аналогичный Шпицбергену годовой ход ПКО наблюдается, например, и в Исландии (ст. Heimaey, данные WDCGG (World Data Centre for Greenhouse Gases)).

Обращает на себя внимание то, что летние ПКО на арх. Шпицберген оказываются, как правило, наиболее низкими в году и даже в период полярного дня они не превышают концентраций, характерных для периода полярной ночи.

Сезонные вариации ПКО на обсерватории в Баренцбурге и на горной станции «Цепелин» в Нью-Олесунне (северо-западная часть Шпицбергена, 78°54' с.ш., 11°53' в.д., 475 м над уровнем моря) практически подобны. При этом, однако, среднесуточные значения ПКО на обсерватории ПГИ в среднем на 3–4 млрд<sup>-1</sup> меньше, чем на ст. «Цепелин».

Несмотря на то что метеосостояние на Шпицбергене меняется довольно часто, межсуточная изменчивость ПКО небольшая: в июне–феврале разность

в среднесуточных ПКО между соседними днями в более чем 50% случаев не превышает 2 млрд<sup>-1</sup>, почти в 70% случаев — 3 млрд<sup>-1</sup> и только в апреле–мае достигает в среднем 6 млрд<sup>-1</sup>. Практически такой же характер носят межсуточные изменения на ст. «Цепелин». Это может свидетельствовать о довольно однородных полях ПКО в регионе в период с июня по февраль и более сложном пространственном распределении во второй половине весны.

Суточный ход ПКО на арх. Шпицберген отсутствует в течение большей части года и даже летом, включая период полярного дня, выражен крайне слабо (рис. 2).

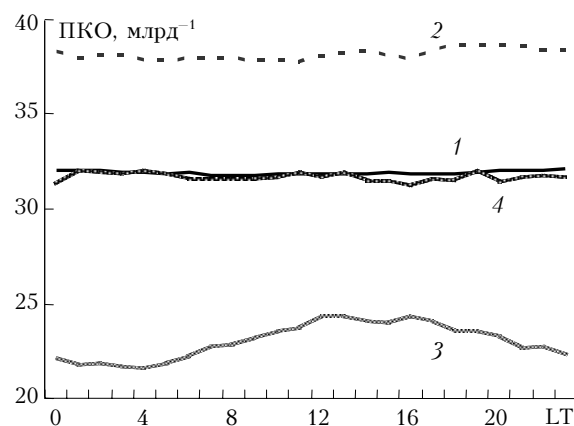


Рис. 2. Суточный ход ПКО в обсерватории «Баренцбург» в различные сезоны года: 1 — январь, 2 — апрель, 3 — июль, 4 — октябрь

Его проявление наблюдается только в мае–сентябре, когда радиационный баланс подстилающей поверхности в регионе положителен и происходит регулярная перестройка процессов турбулентного обмена в течение суток. Однако амплитуда этого суточного хода невелика: 2–4 млрд<sup>-1</sup>. Причина небольших амплитуд, на наш взгляд, — низкие значения дневной температуры приземного воздуха, определяющие интенсивность термической турбулентности, и относительно высокие скорости ветра в течение всех суток. Так, например, среднесрочные скорости ветра в июле во все сроки (включая и ночные) оказались около 3 м/с. При таких скоростях ветра в условиях сильно пересеченного рельефа приземный слой является хорошо перемешанным, турбулентные потоки достаточно велики и не позволяют сформироваться у земли (например, ночью) слою обедненного озона воздуха, тем более что эмиссия озоноразрушающих веществ почвой и растительностью в Арктике невелика [6, 7].

Как показывают аналогичные исследования на Кольском п-ове, при скоростях ветра более 3 м/с суточный ход ПКО в Ловозеро также не проявляется [8].

На рис. 3 представлена повторяемость среднесуточных ПКО на Шпицбергене. В более чем 50% времени ПКО находятся в диапазоне от 25 до 35 млрд<sup>-1</sup>, 86% времени ПКО находятся между 20–40 млрд<sup>-1</sup>.

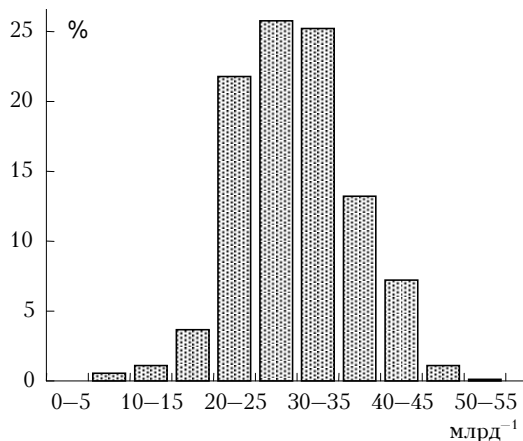


Рис. 3. Повторяемость среднесуточных ПКО в обсерватории «Баренцбург», 2005–2006 гг.

За период измерений содержания озона в приземном слое на Шпицбергене в 2005–2006 гг. наиболее высокие значения были зарегистрированы в конце апреля 2006 г.: 26 и 27 апреля на обсерватории «Баренцбург» уровень ПКО достиг 55–60 млрд<sup>-1</sup>. С 1 по 5 мая 2006 г. ПКО могли быть и большими (по данным наблюдений на ст. «Цепелин», 5 мая среднечасовые ПКО достигли рекордных значений 83 млрд<sup>-1</sup>), однако по техническим причинам данные обсерватории ПГИ в этот период времени отсутствуют.

Эпизод со столь высокими и нехарактерными для Арктики концентрациями озона был вызван адвекцией загрязненного воздуха из Восточной Европы (Прибалтика, Беларусь, ЕТР), где в условиях повышенного давления и солнечной погоды происходило фотохимическое образование озона из окислов азота и летучих углеводородов, поступивших в массовом количестве вследствие обширных сельскохозяйственных пожаров (отчет Финского метеорологического института: <http://www.fmi.fi/uutiset/index.html?Id=1146827202.html>). Данное событие весьма подробно проанализировано в специальной работе [9]. Отметим, что в этот же период очень высокие ПКО наблюдались во всей Северной Европе [9] и на ЕТР [10].

В целом ряде работ (см., например, [11–13]) сообщается о длительных (до нескольких дней) периодах с аномально низким, близким к нулю, содержанием озона в приземном слое на арктических побережьях при адвекции воздушных масс с ледовых пространств и разрушении озона в реакциях с бромидом. Несмотря на то что о таких эпизодах говорится как о вполне обычных явлениях, за период наблюдений 2005–2006 гг. на обсерватории «Баренцбург» ни одного подобного случая нами не было зафиксировано. Вместо этого наблюдались временные снижения ПКО до 5–10 млрд<sup>-1</sup> продолжительностью от нескольких минут до нескольких часов. Однако в нашем случае снижение ПКО было, скорее всего, вызвано локальным поступлением загрязненного воздуха, например из района пос. Баренцбург. Тем не менее пос. Баренцбург очень мал (всего около 500 чел.), автотранс-

порт (только служебный) крайне немногочислен, а следовательно, маловероятно, что он может оказать сильное влияние на поле приземного озона в регионе. Из его наиболее загрязняющих источников следует выделить возникающие время от времени пожары на угольных отвалах и, в гораздо меньшей степени, шлейфы дыма от городских котельных, иногда наблюдаемые в окрестностях обсерватории. Однако сильные ветры в регионе, значительная расчлененность рельефа, в том числе закрытость обсерватории от города холмами, способствуют быстрому рассеянию примесей, в связи с чем случаи низких ПКО довольно редки. По этой причине антропогенное воздействие пос. Баренцбург на ПКО невелико и при статистической обработке не проявляется — например, при построении среднего за месяц суточного хода (см. рис. 2) или при изучении зависимости ПКО от направления ветра [14]. Для иллюстрации сказанного, в январе 2006 г. среднесуточные ПКО на обсерватории при направлениях ветра 170–185° (сектор прихода газовых и аэрозольных загрязнений из пос. Баренцбург) составили в среднем 34,7 млрд<sup>-1</sup>, а при направлениях ветра с «чистых» территорий — 35,7 млрд<sup>-1</sup>.

Данный результат не является чем-то неожиданным. Так, анализ антропогенного воздействия на ПКО в окрестностях более крупного промышленного города (Кольский п-ов, г. Апатиты — 80 тыс. жителей, более 12 тыс. автомобилей) показал, что антропогенное воздействие на приземный озон практически ограничивается городской чертой и даже в центре города не проявляется при скоростях ветра более 3 м/с [5, 8].

## Заключение

На основе анализа результатов измерений приземной концентрации озона, проведенных в 2005–2006 гг. на арх. Шпицберген в окрестности пос. Баренцбург, показано следующее:

- в годовом ходе наиболее высокие концентрации отмечаются весной, а минимальные в июле–августе, как и на других арктических станциях;
- максимальные концентрации озона в периоды полярного дня меньше концентраций в период полярной ночи;
- суточный ход ПКО отсутствует в течение большей части года и даже в летние месяцы выражен крайне слабо (амплитуда менее 4 млрд<sup>-1</sup>);
- межсуточная изменчивость среднесуточных ПКО невелика (в среднем составляет 2 млрд<sup>-1</sup> и только в апреле–мае увеличивается до 6 млрд<sup>-1</sup>), что свидетельствует о довольно малоградиентном в регионе поле приземного озона в июне–феврале;
- случаи наиболее высоких концентраций озона создаются весной при адвекции воздушных масс с континента;
- очевидных признаков антропогенного воздействия пос. Баренцбург на содержание озона в приземном слое в окрестностях обсерватории не выявлено.

Авторы выражают признательность ведущему инженеру А.А. Галахову и персоналу обсерватории ПГИ «Баренцбург» за установку и обслуживание аппаратуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 05-05-64271).

1. Белоглазов М.И., Боровков Л.П., Васильев А.Н., Воронин А.И., Лазутин Л.Л., Носков С.П., Черноус С.А., Сирота В.Г., Хенриксен К. Хемиллюминесцентный озонметр // Сб. науч. тр. ПГИ КНЦ РАН «Приборы и методика геофизического эксперимента». Мурманск: Изд. ООО «МИП-999», 1997. С. 43–48.
2. Ørnes H., Bersås S., Teodorsen A., Henriksen K., Sirota V., Vasiliev A. Measurements of surface ozone in Svalbard and Tromsø // Int. report. The Auroral Observ., University of Tromsø. Tromsø, Norway, December, 1993. 24 p.
3. Komhyr W.D. Operations handbook. Ozone measurements to 40 km altitude with model 4a electrochemical concentration cell (ECC) ozonesondes (used with 1680-MHz radiosondes) // NOAA Tech. Memor. ERL ARL-149, Air research Lab. Silver Spring, Maryland, 1986. 49 p.
4. Шিশаев В.А., Белоглазов М.И. Генератор озона с переменной скважностью напряжения возбуждения // Сб. науч. тр. ПГИ КНЦ РАН «Приборы и методика геофизического эксперимента». Мурманск: Изд. ООО «МИП-999», 1997. С. 49–50.
5. Демин В.И., Белоглазов М.И., Еланский Н.Ф. Некоторые результаты мониторинга приземного озона на Кольском полуострове (1999–2003 гг.) // Метеорол. и гидрол. 2005. № 10. С. 10–20.
6. Исидоров В.А. Органическая химия атмосферы. СПб.: Химиздат, 2001. 352 с.
7. Bakwin P.S., Wofsy S.C., Song-Miao Fan, Fitzjerald D.R. Measurements of NO[x] and NO<sub>2</sub> concentrations and fluxes over Arctic tundra // J. Geophys. Res. D. 1992. V. 97. N 15. P. 16545–16557.
8. Демин В.И., Белоглазов М.И., Еланский Н.Ф. Некоторые результаты мониторинга приземного озона на Кольском п-ове при разных уровнях антропогенного загрязнения атмосферы // Экол. химия. 2004. Т. 13. № 3. С. 142–150.
9. Stohl A., Berg T., Burkhardt J.F., Fjaeraa A.M., Forster C., Herber A., Hov Ø., Lunder C., McMillan W.W., Oltmans S., Shiobara M., Simpson P., Solberg S., Stebel K., Ström J., Tørseth K., Treffeisen R., Virkkunen K., Yttri K.E. Arctic smoke – record high air pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in Eastern Europe in spring 2006 // Atmos. Chem. Phys. 2007. V. 7. N 2. P. 511–534.
10. Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н., Демин В.И. Содержание озона над территорией Российской Федерации во втором квартале 2006 г. // Метеорол. и гидрол. 2006. № 8. С. 119–123.
11. Jacobi H.W., Kaleshke L., Richter A., Rozanov A., Burrows J. Observation of a fast ozone loss in the marginal ice zone of the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. 2006. V. 111. D15309. doi: 10.1029/2005JD006715, 200.
12. Honrath R.E., Jaffe D.A. Measurement of nitrogen oxides in the Arctic // Geophys. Res. Lett. 1990. V. 17. N 5. P. 611–614.
13. Solberg S., Schmidbauer N., Semb A., Stordal F., Hov Ø. Boundary-layer ozone depletion as seen in the Norwegian Arctic in spring // J. Atmos. Chem. 1996. V. 23. P. 301–332.
14. Белоглазов М.И., Демин В.И., Картечко А.Ю. Изменчивость приземной концентрации озона в окрестностях Баренцбурга // Сб. матер. Пятой междунар. конф. «Комплексные исследования природы Шпицбергена». Вып. 5. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. С. 85–95.

*V.I. Demin, M.I. Beloglazov, V.A. Shishaev. On ozone contents in the surface layer in the Spitsbergen archipelago during 2005–2006.*

The results of surface ozone measurements in the Spitsbergen archipelago during 2005–2006 are described. The seasonal ozone variation shows a pronounced maximum of the monthly mean values in the late spring (April–May) and minimum in summer similar to many other Arctic sites. The surface ozone concentrations during the Polar day period do not exceed the ones during the polar night period.

The mean daily surface ozone concentrations are in the range between 25 and 35 ppb for 50% cases and between 20 and 40 ppb for 86% cases.

The diurnal ozone variations are not detected for much of the year. The mean amplitude of day variation is less than 2–4 ppb even during summer months.