

АРКТИЧЕСКИЙ ПОЛЯРНЫЙ СТРАТОСФЕРНЫЙ ВИХРЬ И ОБЛАКА

ARCTIC POLAR STRATOSPHERIC VORTEX AND CLOUDS

А.А. Черемисин¹, А.В. Кушнаренко¹, В.Н. Маричев², С.В. Николашкин³, П.В. Новиков⁴

¹*Политехнический институт Сибирского федерального университета,*

²*Институт оптики атмосферы СО РАН,*

³*Институт космических исследований и аэронавтики СО РАН им. Ю.Г. Шафера,*

⁴*Филиал ГОУ ВПО Иркутский государственный университет путей сообщения*

In winter time in the stratosphere of Arctic region a so-called polar stratospheric vortex is formed. In a central part of this vortex there is an essential reduction of atmospheric temperatures. At temperatures less than 200K the requirements for condensation of particles of polar stratosphere clouds (PSC) can be satisfied. It is known that the PSCs play an important role in ozone destruction. Till 2004 on the near polar area of Russia there were no lidar stations for observations of the PSCs. Regular lidar measurements of PSCs were started in Yakutsk in 2004. In the given report the results of last three winters periods observations are present.

According to the balloon data and data of Upper Atmosphere Research Satellite (UARS), PSCs were observed at stratospheric temperatures which were significantly higher than the known temperature thresholds of PSC particles condensation. The backward trajectories of air masses passed above Yakutsk at different altitudes on the days of PSCs observation were calculated on the base of wind and temperature UARS data. The analysis has shown that PSCs could be formed 2-6 days before their observation at the lowest temperatures on air mass trajectory. These temperatures were frequently higher than PSC formation threshold right up to 10K. Besides Scandinavia, new regions of PSCs formation have been found.

Стратосферные аэрозоли привлекают к себе внимание, т.к. доказано, что они оказывают заметное влияние на климат [2]. Известно, что стратосферный аэрозольный слой наполняется в основном за счет вулканических извержений [1, 8]. Но среди стратосферных аэрозольных образований особый интерес вызывают полярные стратосферные облака (ПСО), которые могут оказывать климатическое влияние и, что еще более важно, которые играют существенную роль в механизме разрушения озонового слоя и возникновения озоновых дыр. На поверхности частиц ПСО происходит накопление и активация галогенов, что приводит к разрушению молекул озона. ПСО наблюдаются в некоторых районах Земли, в частности, в северной Европе, на Аляске и в Антарктиде в зимний период. Причиной образования облаков являются низкие температуры, свойственные воздушным массам северного и южного полярных стратосферных вихрей. В этих условиях происходит конденсация частиц ПСО, состоящих из воды, серной и азотной кислот, размер которых может достигать нескольких микрон и даже десятков микрон.

С начала 90-х годов 20-го века в исследовании ПСО, благодаря своим широким возможностям, находят средства лидарного зондирования, размещенные на наземных станциях и на самолетах. В Европе лидарные станции действуют на широтах от 66° до 79° с.ш. и на долготах от 12° до 27° в.д. В настоящее время стратосферная лидарная станция создана и в России, в г. Якутске (62° с.ш., 130° в.д.). Ее географическое положение вблизи границы полярного круга дает возможность наблюдать явления, характерные для полярных областей и, в частности, ПСО.

Лидарный пункт зондирования создан совместно Институтом оптики атмосферы (ИОА) СО РАН и Институтом космических исследований и аэронавтики (ИКФИА) СО РАН. Лидар СЛ-1 для этих целей был разработан и создан в ИОА СО РАН на основе телескопа системы Ньютона с приемным зеркалом диаметром 60 см и Nd-YAG-лазера с длиной волны излучения 532нм. Основные параметры лидара и методика восстановления аэрозольной стратификации атмосферы из одноволновых лидарных измерений описаны в [4]. Профиль аэрозольной стратификации отслеживается по отношению R суммарного коэффициента обратного рассеяния к молекулярному. Значение отношения рассеяния R ,

близкое к единице указывает на практическое отсутствие аэрозоля. ПСО можно было неоднократно наблюдать визуально с земли как перламутровые облака.

Измерения вертикального распределения стратосферного аэрозоля в дежурном режиме наблюдений были начаты с 1 ноября 2004 г.

В течение трех зим над г. Якутском неоднократно наблюдались ПСО. Уже при первых наблюдениях облаков в ноябре выявились, на наш взгляд, интересные особенности существования ПСО над г. Якутском [4]. В данной работе представлены результаты трехлетних исследований эпизодов появления ПСО на основе результатов лидарных измерений коэффициента обратного рассеяния, спутниковых данных по температуре и полю скоростей ветра в стратосфере северного полушария, а также ретроспективного анализа движения воздушных масс. Использование совокупности этих данных позволило выявить особенности появления ПСО над г. Якутском.

Мы провели ретроспективный анализ температуры для стратосферных воздушных масс, которые прошли над г. Якутском на различных высотах в интересующие нас дни лидарного наблюдения ПСО. Рассчитывалось перемещение лагранжевой точки (воздушной массы) в заданном поле скоростей. Использовались данные BADC (British Atmospheric Data Centre) [9], которые содержат информацию о трех компонентах скорости ветра и температуре в зависимости от широты, долготы, высоты и времени. Данным BADC соответствует синоптический масштаб усреднения по времени и географическим координатам. Данные по скорости приведены в узлах сетки с шагом 2,5 градуса по широте и 3,75 градуса по долготе, с шагом от 2 до 3 км по высоте и с периодом 1 сутки. Исходное положение воздушной массы задавалось временем ее прохождения над г. Якутском, географическими координатами города и его высотой над уровнем моря.

При интегрировании использовалась простейшая интерполяция скорости ветра по пространству и времени, на основе использования точек, которые являются ближайшими к текущей точке траектории. Согласно оценкам на основе данных BADC, вертикальное перемещение воздушных масс за неделю не превышало 1-2 км. Изменение метеопараметров за счет такого смещения оказалось не очень существенным по сравнению с декларированными ошибками измерений. Поэтому в данном случае мы пренебрегли вертикальным перемещением и учитывали только горизонтальное перемещение воздушной массы вдоль изобарической поверхности.

На рис.1 представлены обратные траектории воздушных масс, которые находились на высоте 18 км над г. Якутском 22 и 23 ноября 2004 г. и поле температур на 18 ноября 2004 г.

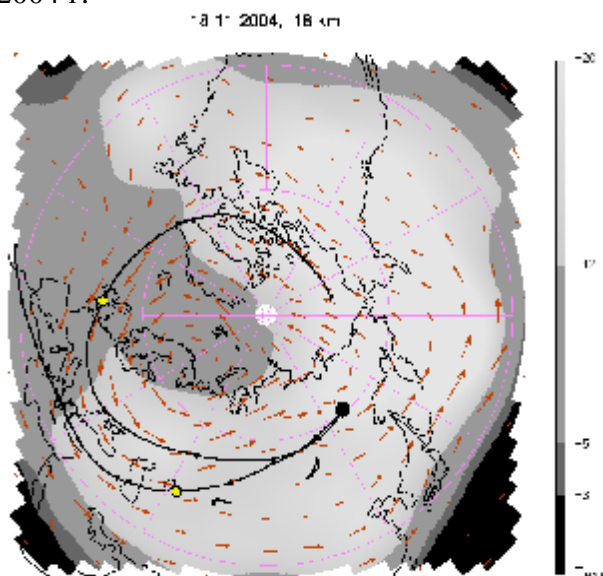


Рис.1. Обратные траектории воздушных масс, прошедших на высоте 18 км над г. Якутском 22 и 23.11.2004 и поле температур на 18.11.2004.

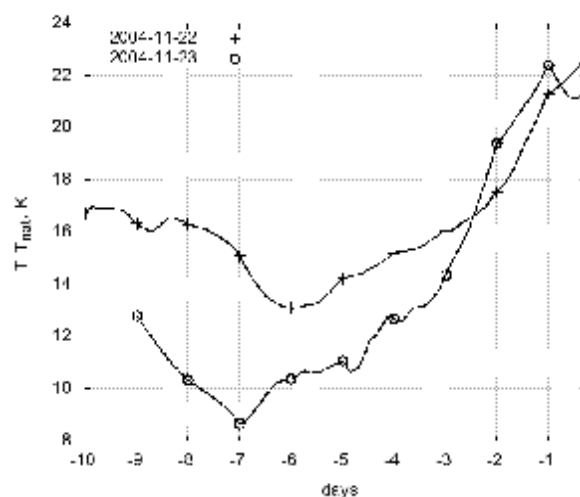


Рис.2. Температура движущихся воздушных масс, прошедших на высоте 18 км над г. Якутском 22 и 23 ноября 2004 г.

Характер траекторий отражает факт существования в это время на синоптическом масштабе циркумполярного стратосферного вихря.

Температура воздушной массы должна соответствовать температуре атмосферы в соответствующей точке траектории. Температура движущихся воздушных масс, прошедших над г. Якутском 22 и 23 ноября 2004 г., представлена на рис.2. Начало отсчета времени соответствует времени прохождения воздушной массы над Якутском. Температуры отсчитываются от пороговой температуры T_{NAT} конденсации NAT.

На рис.3 представлена обратная траектория воздушных масс, которые находились на высоте 18 км над г. Якутском 3 декабря 2004 г. и поле температур на 30 ноября 2004 г. На рис.4 представлена температура движущихся воздушных масс.

Стратосфера должна была быть достаточно холодной, чтобы в ней началась конденсация частиц ПСО и сформировались облака. Конденсация частиц на высотах около 18 км должна происходить при температурах, которые ниже примерно 195 К [7]. Между тем, согласно данным спутниковых измерений температура в стратосфере на высоте 18 км над Якутском не только в дни наблюдения 22 и 23, но и в предшествующие дни ноября была заметно выше порога образования частиц ПСО более, чем на 17К. Спутниковые измерения температуры над Якутском были подтверждены данными шарзондовых измерений, которые отличались от спутниковых не более, чем на 5К. При этом средняя ошибка при определении температуры со спутника равна 1-2К.

Итак, согласно существующим представлениям, при наблюдаемой достаточно высокой температуре стратосферы конденсации частиц ПСО над г. Якутском не должно было происходить. Можно предположить, что облака образовались ранее, когда температура соответствующей воздушной массы была более холодной. Как видно из рис.1 область наиболее холодной атмосферы находилась в окрестности центра циркумполярного вихря. Анализ поля скоростей ветра показал, что области наиболее холодной стратосферы связаны с полярным вихрем, эпицентр которого 18 ноября находился в районе Норвежского моря. Траектории воздушных масс, прошедших над Якутском 23 ноября на высоте 18 км, пересекли 18 ноября эти области наиболее холодной стратосферы. С этими минимальными температурами можно связать образование сильных аэрозольных слоев, которые затем наблюдались в г. Якутске.

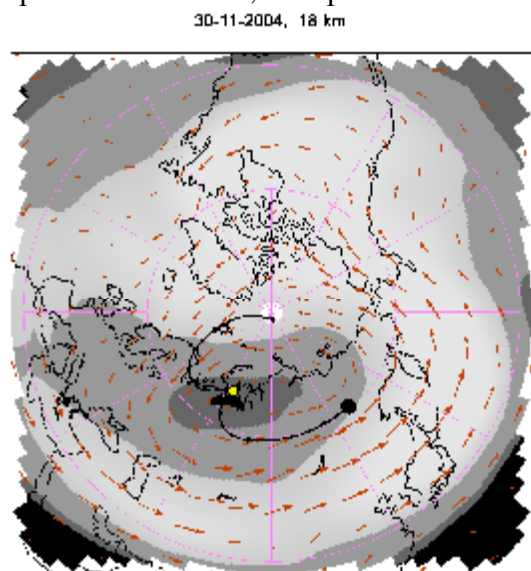


Рис.3. Обратные траектории воздушных масс, прошедших на высоте 18 км над г. Якутском 3 декабря 2004 г. и поле температур на 30 ноября 2004 г.

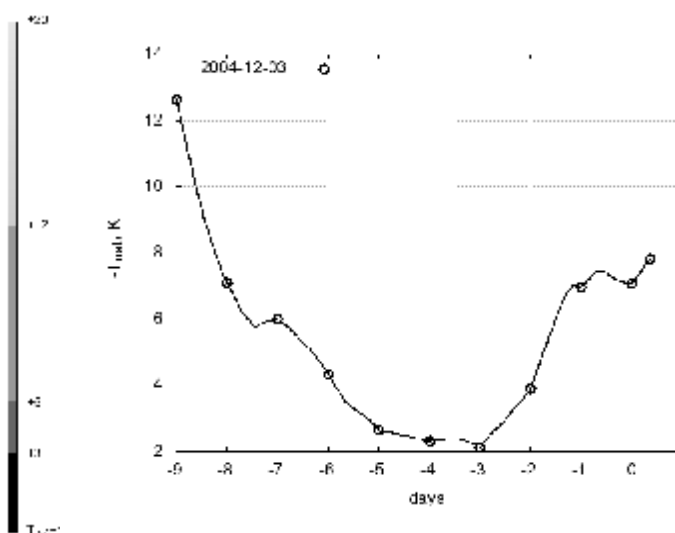


Рис.4. Температура движущихся воздушных масс, прошедших на высоте 18 км над г. Якутском 3 декабря 2004 г.

Между тем, минимальные по спутниковым данным температуры воздушных масс были выше указанных температур конденсации частиц ПСО.

Следует отметить, что в настоящее время известно, что ПСО могут образовываться, когда температура на синоптическом масштабе на несколько градусов выше температуры образования ПСО. В этом случае формирование облаков весьма часто управляется похолоданием, вызываемым гравитационными волнами [5]. Согласно модельным расчетам при температурах, превышающих порог образования частиц ПСО, сравнительно длительное время могут существовать ПСО, состоящие из твердофазных частиц [6]. В дополнение следует сказать, что результаты физико-химического анализа условий конденсации смесей воды, серной и азотной кислот предсказывают существование композитных частиц с температурами образования 195-205 К и даже 205-220 К [3]. Эти величины превышают температуры воздушных масс вблизи эпицентра полярного вихря, а значит, возможно образование ПСО из такого рода частиц. Так или иначе, аэрозольные слои наблюдались в г. Якутске на тех высотах, для которых ретроспективные части соответствующих траекторий воздушных масс проходили по области наиболее холодной стратосферы вблизи эпицентра полярного вихря.

В случае эпизода наблюдения ПСО 3 декабря 2004 г. (рис.3 и 4), с учетом погрешности спутниковых измерений, температуры вполне соответствуют классическому порогу образования частиц облаков. Так же как и в первом случае воздушные массы имели низкие температуры за несколько дней до их прихода в Якутск.

Таким образом, ретроспективный анализ траекторий и температур воздушных масс, прошедших над Якутском, выявил, что ПСО наблюдались в те дни, для которых ретроспективные части соответствующих траекторий воздушных масс проходили по области наиболее холодной стратосферы вблизи эпицентра циркумполярного вихря. Это области вблизи Скандинавии, где часто наблюдают ПСО, и область Северный Урал – Новая Земля. Можно предположить, что ПСО образовались в этих холодных областях и затем за несколько суток ветром были перенесены в г. Якутск.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 07-05-00734а.

Список литературы

1. Ельников А.В., Креков Г.М., Маричев В.Н. Лидарные наблюдения стратосферного слоя аэрозоля над Западной Сибирью // Физика атмосферы и океана. 1988. Т.24, №8. С. 818-823.
2. Кондратьев К.Я. Атмосферный аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 1. Свойства аэрозоля различных типов // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т.17, №1. С. 5-24.
3. Поповичева О., Старик А., Фаворский О. Проблемы влияния авиации на газовый и аэрозольный состав атмосферы // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2000. Т. 36, №2. С. 163-176.
4. Черемисин А.А., Кушнаренко А.В., Маричев В.Н., Николашкин С.В., Новиков П.В. Метеоперенос и полярные стратосферные облака над г. Якутском зимой 2004-2005 г. // Метеорология и гидрология. 2007. №3. С. 47-53.
5. Blum U., Fricke K.H., Baumgarten G., Schoch A. Simultaneous lidar observations of temperatures and waves in the polar middle atmosphere on the east and west side of the Scandinavian mountains: a case study on 19/20 January 2003 // Atmos. Chem. Phys. 2004. V. 4. P. 809-816.
6. König von M.V., Bremer H., Kleinböhl A. *et al.* Using gas-phase nitric acid as an indicator of PSC composition // J. Geophys. Res. 2002. V. 107, No.D20. P. 101029-101039.
7. Stein B., Wenderkind C., Wille H. *et al.* Optical classification, existence temperature, and coexistence of different polar stratospheric clouds types // J. Geophys. Res. 1999. V. 104, No.D19. P. 23983-23993.
8. Zuev V.V., Burlakov V.D., El'nikov A.V. *et al.* Processes of long-term relaxation of stratospheric aerosol layer in Northern Hemisphere midlatitudes after a powerful volcanic eruption // J. Atmosph. Environment. 2001. V. 35. P. 5059-5066.
9. <http://badc.nerc.ac.uk/home>