

Состояние озонового слоя в Арктике

Зима 2009/10



Центральная аэрологическая обсерватория

Росгидромет

<http://www.cao-rhms.ru>

Исследования эволюции озонового слоя под воздействием естественных и антропогенных факторов является важной задачей в изучении климата. Химическое разрушение озона, вызванное антропогенными факторами, наиболее заметно проявляется в Арктике и Антарктике внутри полярного циклона в зимне-весенний период. Сильная изменчивость метеорологических условий в Арктике вследствие высокой активности планетарных волн в северном полушарии приводит к заметной межгодовой изменчивости величины химических потерь общего содержания озона в арктическом полярном циклоне – от практически нулевых значений в теплые зимы (например, в 1998/99 году) до 30% и более в холодные зимы (1999/00, 2004/05 годы).

В зимне-весенний период 2009/10 года Центральная аэрологическая обсерватория (Росгидромет) продолжала осуществлять мониторинг состояния озонового слоя в высоких широтах северного полушария. Для оценок химических потерь озона (ХПО) в полярном циклоне использовались данные спутникового прибора MLS-AURA.

Метеорология полярного циклона зимой 2009/10 года

Для Арктики характерна большая межгодовая изменчивость динамических характеристик полярного циклона (силы, стабильности, длительности, а также температурного режима) и, как следствие, степени химического разрушения озона. Зима 2009/10 года в целом относится к типу умеренных зим с крайне нестабильным вследствие высокой активности планетарных волн полярным циклоном, очень низкими стратосферными температурами в начале зимы и довольно ранним мажорным потеплением в конце января.

На рис. 1 показано изменение силы полярного циклона в терминах средней потенциальной завихренности (ПЗ) на изэнтропическом уровне 475 К зимой 2009/10 года в сравнении с аналогичной величиной за последнее десятилетие. Зимой 2009/10 года устойчивый полярный циклон сформировался в середине ноября. В первой декаде декабря циклон разделился на две равные части. Более сильная и холодная часть циклона располагалась над канадским сектором Арктики. После восстановления в конце декабря циклон располагался над Северным полюсом, постоянно охлаждаясь до середины января. В этот период в стратосфере наблюдались температуры на 7-10° С ниже климатической нормы. Отличительной особенностью этого периода является ярко выраженная волновая структура полей температуры и геопотенциала над Гренландией, Скандинавией и Новой Землей, характерная для орографических гравитационных волн. Во второй половине января динамически возмущенный циклон переместился в европейский сектор Арктики,

при этом область низких температур сместилась из центра циклона к периферии, усиливая его нестабильность. Внезапное стратосферное потепление в конце января привело к сильной деформации формы циклона и к повторному его разделению в середине февраля с последующим восстановлением в начале марта. Подобная динамическая нестабильность полярного циклона зимой 2009/10 года способствовала проникновению воздушных масс из средних и низких широт во внутреннюю область циклона, а также обратному переносу, особенно в периоды разделения с последующей реорганизацией циклона.

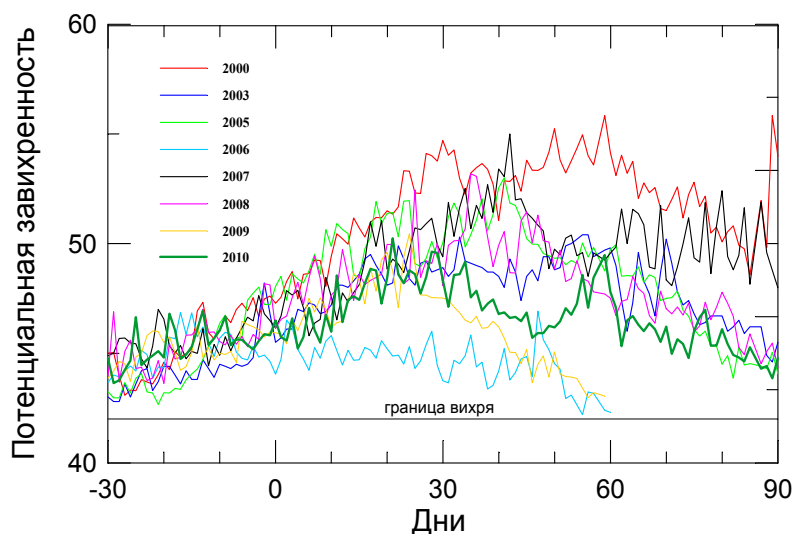


Рис. 1. Средняя потенциальная завихренность (ПЗ) в полярном циклоне на изэнтропическом уровне 475 К (18-19 км). Данные получены путем осреднения всех значений. ПЗ в узлах регулярной сетки внутри циклона. Значение ПЗ=42 ед ($10^{-6} \text{ км}^2/\text{кгс}$) принимается за границу циклона.

Стратосферная температура и полярные стратосферные облака

Начало зимы с середины декабря до конца января 2010 года было исключительно

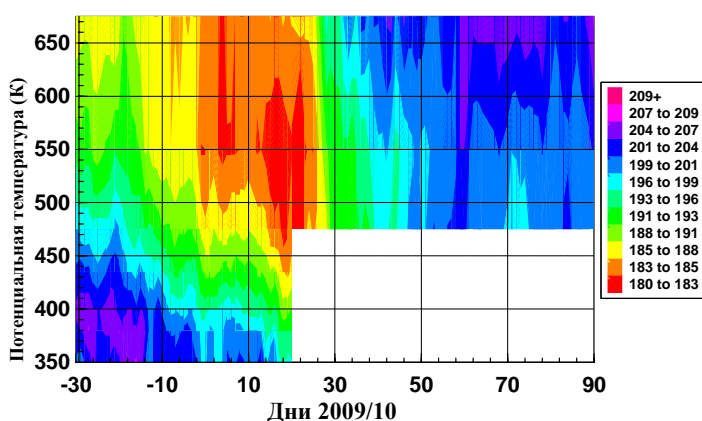


Рис. 2. Вертикальное распределение минимальных температур в полярном циклоне в течение зимне-весеннего периода 2009/10 г.г.

холодным с характерными температурами в стратосфере на 7-10° С ниже многолетних средних значений.

Вертикальное распределение минимальных температур в течение зимне-весеннего периода и изменение ежедневной минимальной температуры в полярном циклоне на изэнтропическом уровне 475 К (~18-19 км) для зимы 2009/10 г.г.

приведено на рис. 2 и 3 соответственно. На рис. 4 показано изменение площади образования полярных стратосферных облаков (ПСО) на изэнтропическом уровне 475К в

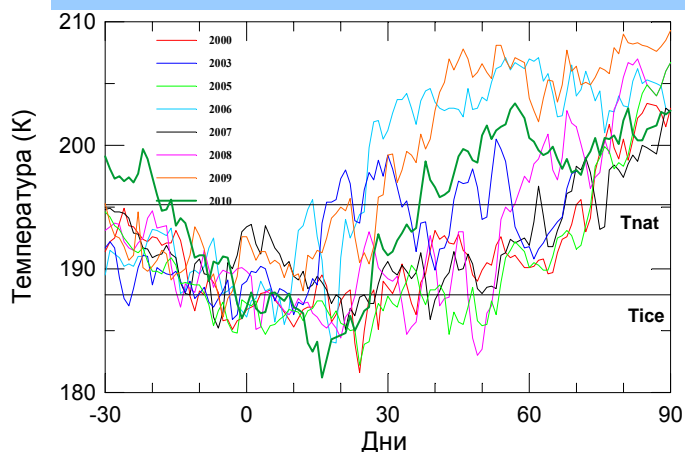


Рис. 3. Изменение ежедневной минимальной температуры в полярном циклоне на изэнтропическом уровне 475 К (~18-19 км). Черными прямыми обозначены пороговые для образования ПСО I и II типа значения температуры.

течение зимы. Температуры ниже пороговых значений для образования ПСО I типа наблюдались непрерывно с середины декабря 2009 до конца января 2010 года в широком диапазоне потенциальной температуры 400-600 К. Площадь образования ПСО достигла максимальных значений 12 млн км² к середине января на изэнтропических уровнях 475-550 К (рекордное значение составляет 17 млн км² в 2005 году). В течение января температура в стратосфере опускалась ниже пороговой для образования ПСО II типа (ледяных частиц), при этом на изэнтропических уровнях выше 475 К площадь их образования превосходила ранее наблюдавшиеся значения. Зима 2009/10 года была одной из немногих за последние 50 лет, когда температура ниже точки инея наблюдалась в синоптическом масштабе. Гравитационная волновая активность, наблюдавшаяся в стратосфере над северной Европой в течение января, вызвала дополнительное охлаждение стратосферы до температуры образования ПСО II типа. Мажорное потепление в конце января завершило период образования ПСО.

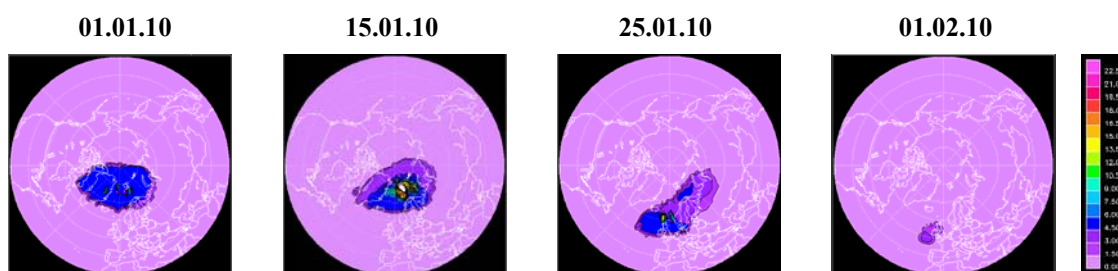


Рис. 4. Площадь возможного образования полярных стратосферных облаков на изэнтропическом уровне 475К зимой 2009/10 г.г. Цветовой шкалой отмечена удельная площадь поверхности частиц ПСО (мкм² / см³).

Эволюция общего содержания озона в Арктике

Изменение общего содержания озона (ОСО) в арктических широтах в течение зимне-весеннего периода является результатом совокупного действия динамических и

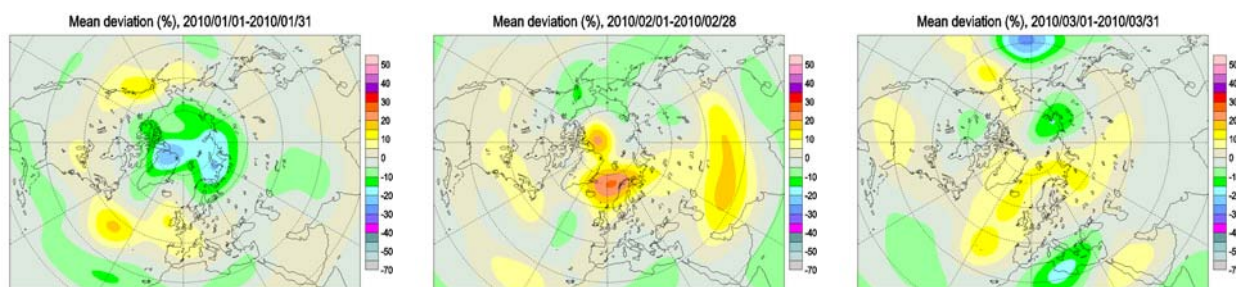


Рис. 5. Среднемесячные отклонения ОСО (%) от многолетних средних значений с января по март для зимы 2009/10 г.г.

химических процессов. На рис. 5 приведены среднемесячные отклонения ОСО от многолетних средних значений с января по март для зимы 2009/10 года. Многолетние средние значения ОСО рассчитаны по данным спутникового прибора TOMS за период 1978-1988 г. В январе 2010 года среднемесячное распределение ОСО над Арктикой (выше широты 60°) определялось, в основном, присутствием стратосферного полярного циклона над Северным полюсом. Дефицит озона в этот период составлял ~ 25% над Арктикой и ~10-15% над северной Европой, Сибирью и Канадой. Величина отрицательных аномалий в этот период составляла 10-20%. Максимальные отклонения от многолетних средних значений (до -30%) наблюдались в третьей декаде января над северными районами Сибири. В феврале после мажорного стратосферного потепления, приведшего к разделению и смещению циклона, распределение ОСО над высокими широтами кардинально изменилось. Над Северным полюсом и Скандинавией наблюдались значительные положительные аномалии - до 25 % выше нормы. Область пониженных значений ОСО (до 10% ниже нормы) сместилась в район Чукотки и Аляски. В марте в высоких широтах также наблюдалась неоднородность в распределении ОСО – величина отклонения от нормы менялась от -10-15% над северными районами Сибири и Канадой до +10-15% над северной Атлантикой и европейской частью России.

Химическое разрушение озона в полярном циклоне.

Расчеты химических потерь озона в полярном циклоне в зимне-весенний период 2009/10 года проводились по данным спутниковых измерений озона MLS-AURA. Для расчета неадиабатического оседания воздушных масс в полярном циклоне использовалась

радиационная модель. На рис. 6 приведены результаты спутниковых измерений отношения смеси озона на изоэнтропическом уровне 475 К.

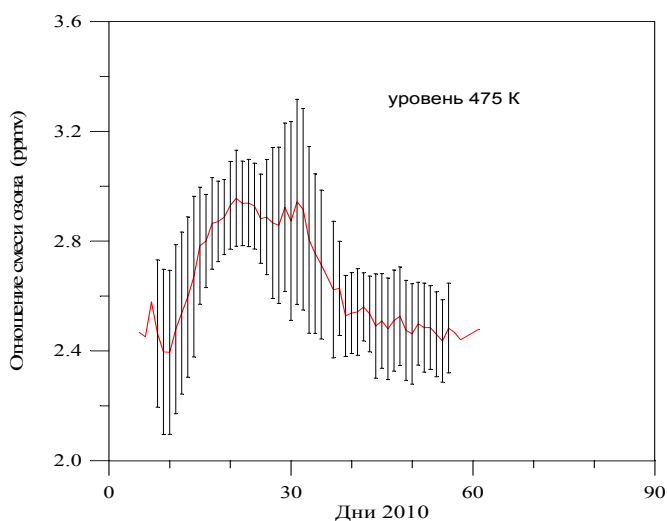


Рис. 6. Отношение смеси озона (7-дневное скользящее среднее значение) на изоэнтропическом уровне 475К в полярном циклоне зимой 2009/10 года по данным MLS-AURA..

До середины января на всех стратосферных высотах наблюдался рост отношения смеси озона за счет неадиабатического опускания воздушных масс в полярном циклоне. С середины января на изоэнтропических уровнях 425-550 К (15-25 км) началось заметное уменьшение отношения смеси озона, длившееся до 20-х чисел февраля и указывающее на преобладание процесса химического разрушения озона в тот период, когда полярный вихрь сместился в освещенную область. Следует отметить кратковременное увеличение отношения смеси озона в начале февраля 2010 года после стратосферного потепления, вызванное заносом в циклон воздушных масс из более низких широт.

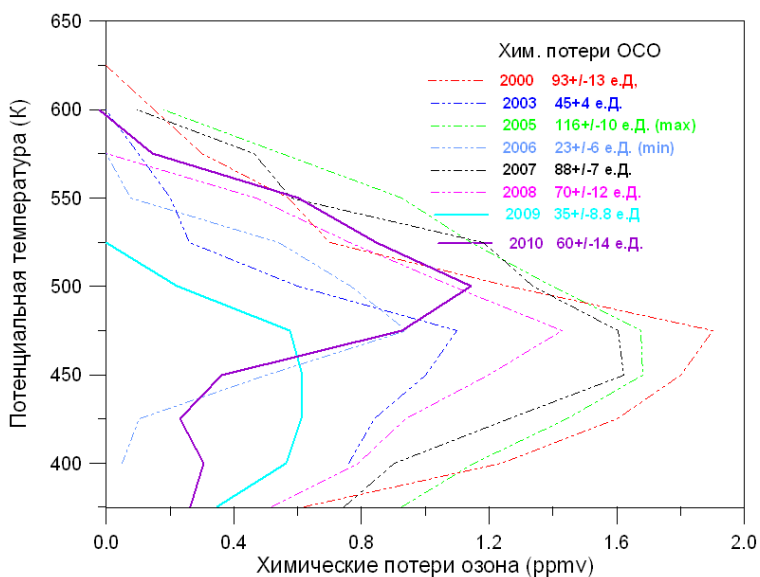


Рис. 7. Вертикальное распределение суммарных за зимне-весенний период химических потерь озона в полярном циклоне по данным спутникового зондирования

На рис. 7 представлены результаты расчета средних по циклону химических потерь озона за период с 5 января по 20 февраля 2010 г. по данным MLS-AURA в сравнении с данными, полученными за последние 10 лет. Процесс химического разрушения озона протекал в диапазоне потенциальных температур 400-600 К. Скорость химических потерь озона, постепенно увеличиваясь с начала января, достигла максимальных значений -5 ppb в час в светлое время суток в конце января и постепенно снизилась до нулевых значений к концу февраля. Максимум озоновых потерь ~ 1.2 ppm наблюдался на изоэнтропическом уровне 500 К. Существенно меньшие потери озона по сравнению с предыдущими годами наблюдались ниже уровня 450 К. Величина химических потерь ОСО в полярном циклоне зимой 2009/10 года составляла 57 ± 14 е.Д. – это средняя величина ХПО за последнее десятилетие. На рис. 8 приведена зависимость величины химических потерь ОСО от величины объема воздушной массы, занимаемой полярными стратосферными облаками в течение зимне-весеннего периода за последнее десятилетие. Величина ХПО за зимне-весенний период 2009/10 года отлично укладывается в линейную зависимость между этими величинами.

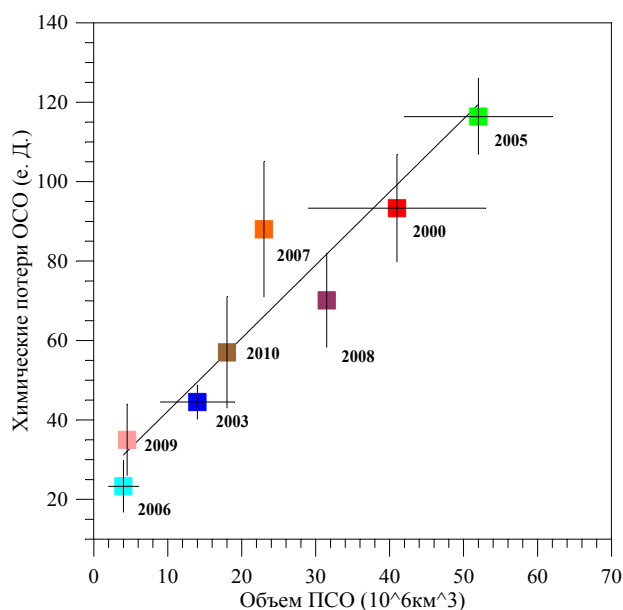


Рис. 8. Зависимость величины химических потерь ОСО от объема воздушной массы, занимаемой полярными стратосферными облаками в течение зимне-весеннего периода. Расчеты ХПО проведены по данным баллонных измерений озона на российских станциях Салехард (2000, 2003, 2007), СП-35 (2008) и данным спутниковых измерений SAGE III (2005) и MLS-AURA (2006, 2009, 2010).

Заключение

Зима 2009/10 года в целом относится к типу умеренных зим с крайне нестабильным вследствие высокой активности планетарных волн полярным циклоном, очень низкими стратосферными температурами в начале зимы и довольно ранним мажорным потеплением в конце января. Дважды в течение зимнего периода наблюдалось разделение циклона на две части с последующим восстановлением. Подобная динамическая

нестабильность полярного циклона способствовала проникновению воздушных масс из средних и низких широт во внутреннюю область циклона, а также обратному переносу. Отличительной особенностью зимы 2009/10 года является также ярко выраженная волновая структура полей температуры и геопотенциала над Гренландией, Скандинавией и Новой Землей в январе, характерная для орографических гравитационных волн.

Температуры ниже пороговых значений для образования ПСО I типа наблюдались непрерывно с середины декабря 2009 до конца января 2010 года в широком диапазоне потенциальной температуры 400-600 К. Зима 2009/10 года была одной из немногих за последние 50 лет, когда температура ниже точки образования ПСО II типа (ледяных частиц) наблюдалась в январе в синоптическом масштабе. Однако ранее мажорное потепление в конце января, как и предыдущей зимой, завершило период образования ПСО и тем самым ограничило степень химического разрушения озона. Величина химических потерь ОСО в полярном циклоне зимой 2009/10 года составляла 57 ± 14 е.Д. – это средняя величина ХПО за последнее десятилетие.

Источники данных

Бюллетень доступен на сайте ГУ ЦАО: http://www.cao-rhms.ru/ofvsa/index_LEI.html.

Работа проводилась в рамках темы ЦНТП Росгидромета **3.1.1 «Исследование особенностей современного климата и его изменений и усовершенствование государственной системы мониторинга климата».**

Расчеты ХПО в зимне-весенний период 2009/10 года проводились сотрудниками ЦАО на базе данных данных спутникового прибора MLS-AURA. Данные измерений озона спутниковым прибором MLS-AURA получены на сайте GES Distributed Active Archive Center.

Анализ полей метеоэлементов в течение зимне-весеннего периода 2009/10 года проводился на основе данных Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF).

Анализ полей ОСО проводился на базе данных World Ozone and UV Data Centre at Environment Canada.

Модельные данные по площади возможного образования ПСО на уровне 475 К получены на сайте ETHER (Centre for Atmospheric Chemistry Products and Services).

Расчеты объема ПСО до 2008 года проводились в Alfred Wegener Institute, Potsdam, Germany, объем ПСО в 2009 году рассчитан сотрудниками ЦАО.

Мониторинг состояния озонового слоя в Арктике на долговременной основе осуществляется учеными США и Европы (соответствующие отчеты доступны на сайтах

US National Center for Environmental Prediction (NCEP):
<http://www.cpc.noaa.gov/products/stratosphere> и European Ozone Research Coordinating Unit
(EORCU): <http://www.ozone-sec.ch.cam.ac.uk>).