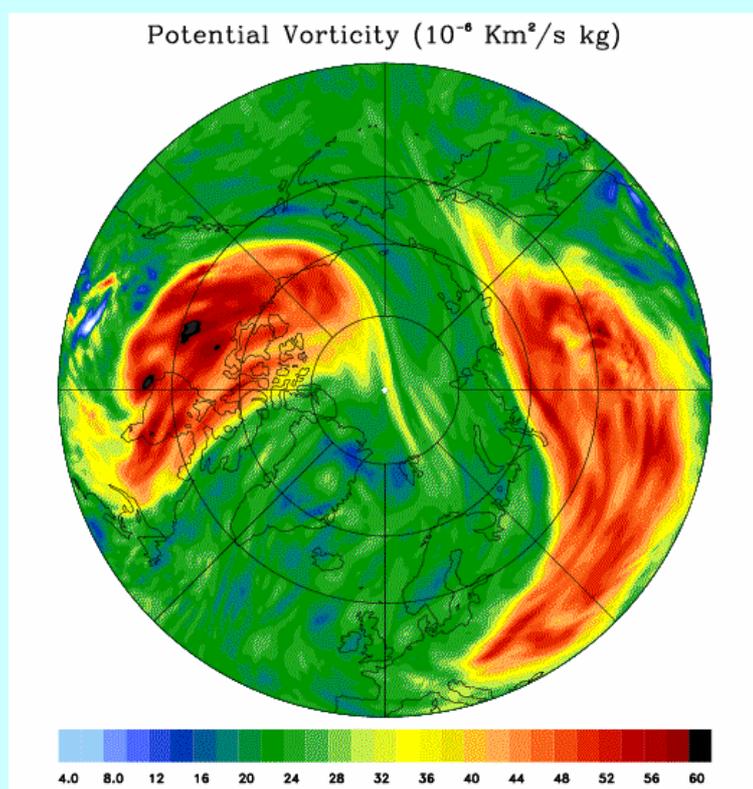


Состояние озонового слоя в Арктике

Зима 2008/09



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 2008/09 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 2008/09 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 2008/09 года относится к типу умеренных зим с крайне нестабильным полярным циклоном и его ранним финальным разрушением.

Холодное начало зимы в декабре 2008 года сопровождалось интенсивным образованием полярных стратосферных облаков (ПСО), но полярный циклон в это время располагался над полюсом в неосвещенной области. В течение января холодный циклон постепенно смещался от полюса в освещенную область, создавая предпосылки для химического разрушения озона, однако в конце января температура в стратосфере резко поднялась в результате мажорного стратосферного потепления и уже не опускалась до пороговых для образования полярных стратосферных облаков значений до конца сезона. Таким образом, благоприятный для химического разрушения озона период зимой 2008/09 года был очень коротким – примерно с середины января до конца первой декады февраля. На рис. 1 показано изменение силы полярного циклона в терминах средней потенциальной завихренности (ПЗ) на изэнтропическом уровне 475 К зимой 2008/09 года в сравнении с аналогичной величиной за последнее десятилетие.

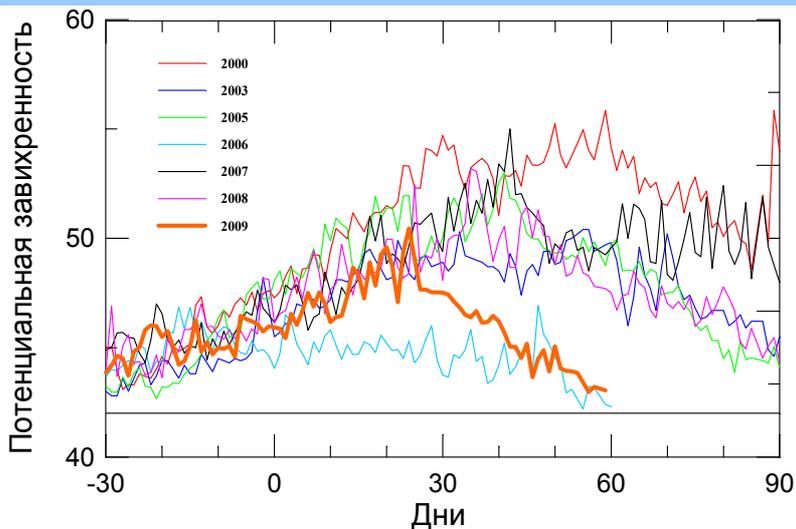


Рис. 1. Средняя потенциальная завихренность (ПЗ) в полярном циклоне на изэнтропическом уровне 475 К (18-19 км). Данные получены путем осреднения всех значений $ПЗ > 42$ ед. ПЗ ($10^{-6} \text{ км}^2 / \text{кгс}$) в узлах регулярной сетки.

Зимой 2008/09 года устойчивый полярный циклон сформировался в начале декабря и располагался над полюсом до середины января. На начальной стадии своего существования циклон оставался холодным и сильным. В середине января динамически возмущенный циклон начал деформироваться и вытянулся в сторону Канады в западном направлении и Центральной и Восточной Сибири в восточном, достигнув хорошо освещенной области. В конце января средние значения ПЗ начали резко уменьшаться, указывая на ослабление циклона. При этом сильное стратосферное потепление в конце января привело к разделению вихря на две части к 1 февраля. К 20 февраля меньший фрагмент циклона рассеялся, а сохранившийся до финального потепления фрагмент оставался очень слабым и небольшим по площади (менее порогового значения $5 \times 10^6 \text{ км}^2$)

Стратосферная температура и полярные стратосферные облака

По метеорологическим условиям зиму 2008/09 года в Арктике можно считать достаточно

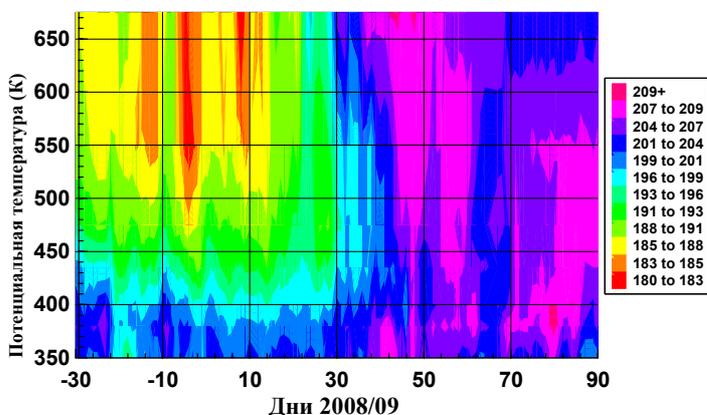


Рис. 2. Вертикальное распределение минимальных температур в полярном циклоне в течение зимне-весеннего периода

необычной: очень холодное начало зимы в конце января трансформировалось в одну из самых теплых зим за последнюю декаду.

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 2008/09 г.г.

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

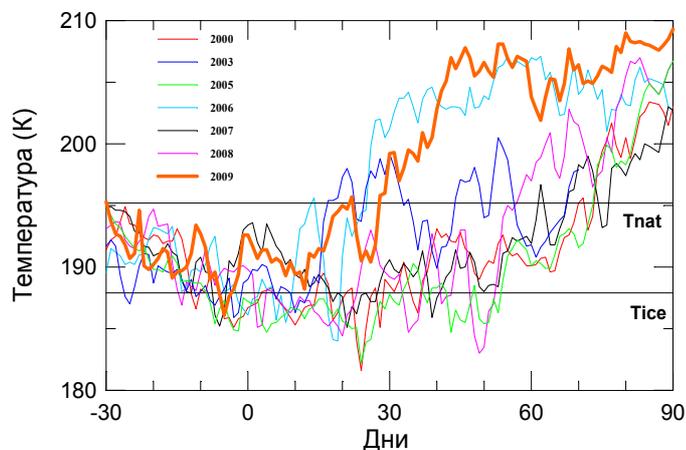


Рис. 3. Изменение ежедневной минимальной температуры в полярном циклоне на изоэнтропическом уровне 475 К (~18-19 км). Черными прямыми обозначены пороговые для образования ПСО I и II типа значения температуры.

течение зимы. Температуры ниже пороговых значений для образования ПСО I типа наблюдались непрерывно с декабря 2008 до конца января 2009 года в широком диапазоне потенциальной температуры 450-650 К. На уровнях выше 550 К в отдельные периоды в течение декабря и января температура в стратосфере опускалась ниже пороговых значений для образования ПСО II типа – ледяных частиц. Однако площадь образования ПСО зимой 2008/09 г.г. была весьма ограниченной (рис. 4). Серия минорных потеплений, наблюдавшихся в верхней стратосфере с середины декабря, вызвала незначительное повышение температуры в нижней стратосфере. Период образования ПСО закончился в конце января – существенно раньше, чем в предыдущие годы – вследствие сильного мажорного потепления, которое затем трансформировалось в финальное.

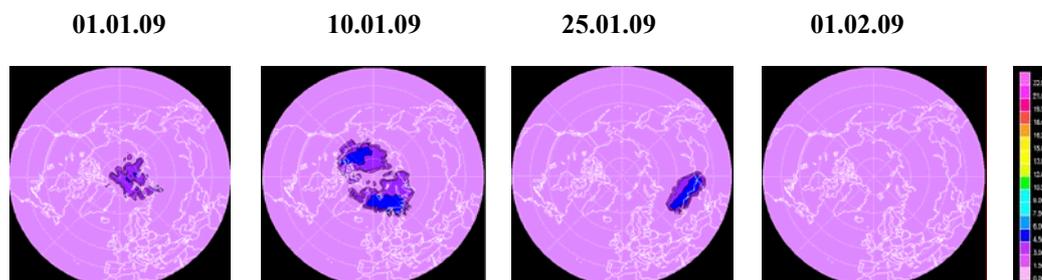


Рис. 4. Площадь возможного образования полярных стратосферных облаков на изоэнтропическом уровне 475К зимой 2008/09 г.г. Цветовая шкала обозначает удельную площадь поверхности частиц ПСО ($\mu\text{км}^2 / \text{см}^3$).

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

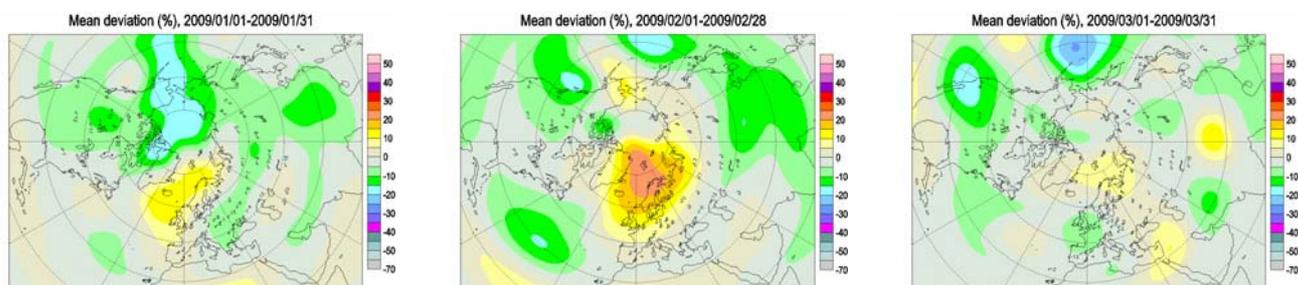


Рис. 5. Среднемесячные отклонения ОСО (%) от многолетних средних значений с января по март для зимы 2008/09 г.г.

химических процессов. На рис. 5 приведены среднемесячные отклонения ОСО от многолетних средних значений с января по март для зимы 2008/09 года. Многолетние средние значения ОСО рассчитаны по данным спутникового прибора TOMS за период 1978-1988 г. В январе 2009 года распределение ОСО над Арктикой (выше широты 60°) определялось, в основном, присутствием стратосферного полярного циклона над этим сектором Арктики. Низкие значения ОСО (до 20% ниже многолетних средних значений) наблюдались в январе над северо-западным сектором Арктики, над Аляской и северной частью Тихого океана. При этом над Скандинавией и северной частью Атлантики наблюдались значения ОСО на 5-10% выше климатической нормы. Начиная с третьей декады января, когда полярный циклон начал разделяться и вытягиваться в сторону Канады в западном полушарии и Сибири в восточном, область низких значений ОСО сместилась в эти регионы. В феврале и марте распределение озона в Арктике определялось уже внециклонными динамическими процессами. В феврале над частью Арктики наблюдались повышенные значения ОСО (до 15-20% над юго-восточным сектором). В марте в высоких широтах преобладали близкие к климатической норме значения ОСО с небольшим превышением (до 5%) над юго-восточным сектором Арктики.

Химическое разрушение озона в полярном циклоне.

Расчеты химических потерь озона в полярном циклоне в зимне-весенний период 2008/09 года проводились по данным спутниковых измерений озона MLS-AURA.. Для расчета неадиабатического оседания воздушных масс в полярном циклоне использовалась модель радиационного переноса. На рис. 6 приведены результаты спутниковых измерений отношения смеси озона на изоэнтропическом уровне 475 К.

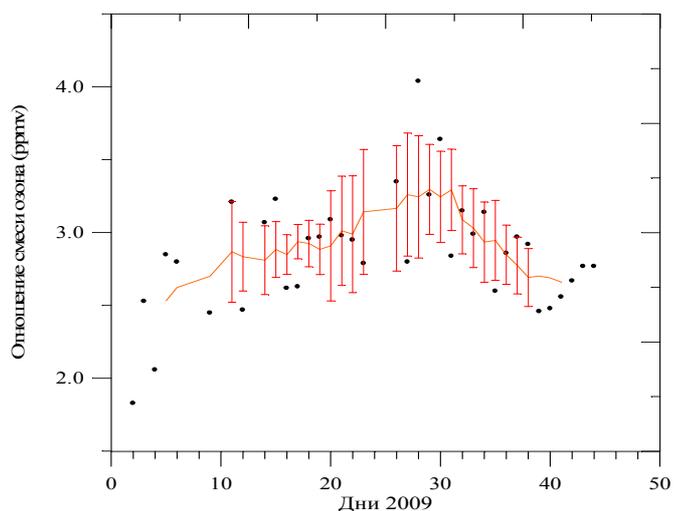


Рис. 6. Отношение смеси озона на изоэнтропическом уровне 475К в полярном циклоне зимой 2008/09 года по данным MLS-AURA (точки). Красная кривая — 7-дневное скользящее среднее значение.

Можно отметить лишь незначительное уменьшение отношения смеси озона в течение первой декады февраля 2009 года на стратосферных высотах 15 – 20 км (на изоэнтропических уровнях 425-475 К), указывающее на преобладание процесса химического разрушения озона в тот период, когда полярный вихрь сместился в освещенную область, а в стратосфере еще содержалось достаточное количество активного хлора. Совокупное действие динамического (неадиабатическое опускание воздушных масс в полярном циклоне) и химических процессов привело к 15%-му уменьшению отношения смеси озона на изоэнтропическом уровне 475 К к 10 февраля. Далее на всех высотах наблюдался рост отношения смеси озона за счет неадиабатического опускания воздушных масс.

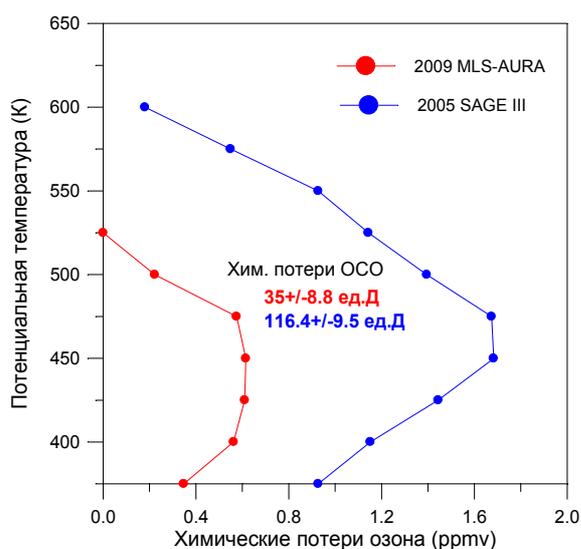


Рис. 7. Вертикальное распределение суммарных за зимне-весенний период химических потерь озона в полярном циклоне по данным спутникового зондирования в Арктике зимой 2008/09 года. Для сравнения приведена величина ХПО зимой 2004/05 года — максимальное значение ХПО за двадцатилетний период наблюдений в Арктике.

Зимой 2008/09 года процесс химического разрушения начался во второй декаде января, а завершился к концу первой декады февраля, то есть существенно раньше, чем в

предыдущие годы. В диапазоне потенциальных температур 425K-475K скорость химических потерь озона, постепенно увеличиваясь с середины января, достигла максимальных значений $-35 \div -40$ ppм в день начале февраля. На рис. 7 представлены результаты расчета средних по циклону химических потерь озона за период с 15 января по 10 февраля 2009 г. по данным MLS-AURA в сравнении с данными, полученными аномально холодной зимой 2004/05 года. Процесс химического разрушения озона протекал в достаточно узком диапазоне потенциальных температур 400-525 К. Максимум озоновых потерь ~ 0.6 ppм наблюдался на изоэнтропических уровнях 425-475 К.

Величина химических потерь ОСО в полярном циклоне зимой 2008/09 года составляла 35 ± 8.8 е.Д., т. есть существенно меньшую величину по сравнению со значительными потерями ОСО в холодные зимы последнего десятилетия (93 ± 13 е.Д. в 1999/2000г., 116 ± 10 е.Д. в 2004/05 г.). На рис. 8 приведена величина химических потерь ОСО за последнее десятилетие в зависимости от объема воздушной массы, занимаемой полярными стратосферными облаками в течение зимне-весеннего периода. Следует отметить тесную корреляцию между этими величинами.

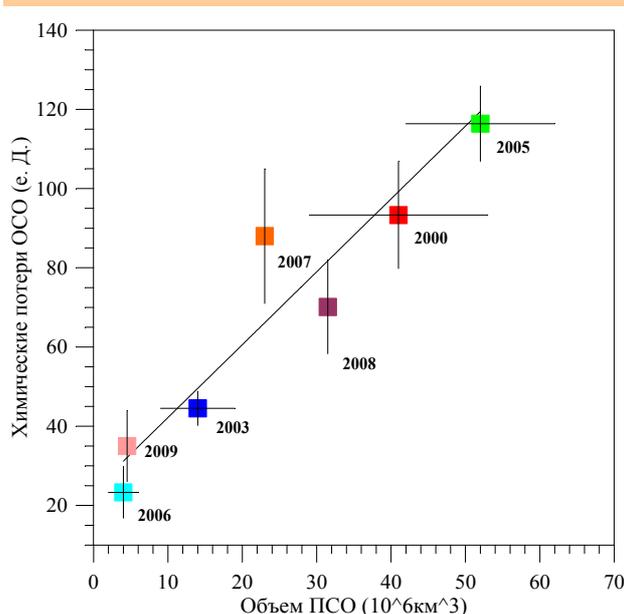


Рис. 8. Зависимость величины химических потерь ОСО от объема воздушной массы, занимаемой полярными стратосферными облаками в течение зимне-весеннего периода. Расчеты ХПО проведены по данным баллонных измерений озона на российских станциях Салехард (2000, 2003, 2007), СП-35 (2008) и данным спутниковых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

Заключение

По метеорологическим условиям зиму 2008/09 года в Арктике можно считать достаточно необычной: очень холодное начало зимы в конце января трансформировалось в одну из самых теплых зим за последнюю декаду. Холодное начало зимы в декабре и январе сопровождалось интенсивным образованием полярных стратосферных облаков (ПСО), но полярный циклон в это время располагался над полюсом в неосвещенной области. В

течение января холодный циклон постепенно смещался от полюса в освещенную область, создавая предпосылки для химического разрушения озона, однако в конце января температура в стратосфере резко поднялась в результате мажорного стратосферного потепления и уже не опускалась до пороговых для образования полярных стратосферных облаков значений до конца сезона. Таким образом, благоприятный для химического разрушения озона период был очень коротким – примерно с середины января до конца первой декады февраля. К тому же площадь образования ПСО зимой 2008/09 г.г. была весьма ограниченной. Вследствие этих причин химические потери ОСО в полярном циклоне зимой 2008/09 года составили 35 ± 8.8 е.Д., т. есть существенно меньшую величину по сравнению со значительными потерями ОСО в холодные зимы последнего десятилетия (93 ± 13 е.Д. в 1999/2000г., 116 ± 10 е.Д. в 2004/05 г.)

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 2008/09 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 2008/09 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>).