

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.510+551.521.3

**Лидарные исследования изменчивости вертикального распределения озона под влиянием процессов стратосферно-тропосферного обмена в Дальневосточном регионе**

**А.Н. Павлов, С.Ю. Столярчук, К.А. Шмирко, О.А. Букин\***

*Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН  
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5*

Поступила в редакцию 2.04.2012 г.

Рассматривается стратосферно-тропосферный обмен воздушными массами переходной зоны «материк — океан» на основе стационарных лидарных измерений вертикального распределения озона в атмосфере в период с 2007 по 2009 г. Проведенный нами совместный анализ вертикального распределения озона, стандартных метеопараметров и ветрового поля показывает, что процессы стратосферно-тропосферного обмена над г. Владивостоком обусловлены в основном образованием обширных складок тропопаузы, сформированных движением стратосферного воздуха с севера на юг и вниз в тропосферу к юго-западу от крупных циклонов. При этом увеличение концентрации озона и уменьшение влажности в верхней тропосфере наблюдаются в тех случаях, когда полярные воздушные массы формируются в тропосферное струйное течение вблизи субтропического струйного течения. В этом случае местоположение ядер обоих струйных течений становится неустойчивым, разрушается слой повышенной стабильности над тропопаузой, что приводит к возможности проникновения стратосферного воздуха в тропосферу в зоне взаимного влияния струйных течений.

*Ключевые слова:* лидарное зондирование атмосферы, стратосферно-тропосферный обмен, тропопаузный инверсионный слой, частота Брента–Вайсяля; lidar sounding, stratosphere-troposphere exchange, tropopause inversion layer, Brunt–Väisälä frequency.

**Введение**

Стратосферно-тропосферный обмен (СТО) воздушными массами обычно рассматривается как элемент общей циркуляции атмосферы, влияющий на множественные процессы: изменение радиационных потоков в верхней тропосфере и нижней стратосфере, химический состав воздуха, гетерогенные реакции и фотохимию атмосферы. Изучение процессов СТО с точки зрения оценки его влияния на радиационные процессы, климат и окислительную способность атмосферы проводилось в ряде таких международных проектов, как SPARC и STACCATO [1]. Исследование вертикального распределения и общего содержания озона активно осуществляется в рамках лидарной сети NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change).

\* Андрей Николаевич Павлов (anpavlov@iacp.dvo.ru); Сергей Юрьевич Столярчук (systolar@mail.ru); Константин Александрович Шмирко (kshmirko@gmail.com); Олег Алексеевич Букин (o\_bukin@mail.ru).

В основе метода обнаружения СТО используются результаты анализа динамики стратосферных и тропосферных трассерных газов вблизи уровня тропопаузы. Наиболее часто в качестве стратосферного трассерного газа используется озон, а в качестве тропосферного — пары воды. При этом область проникновения стратосферного воздуха в тропосферу оценивается по глубине инъекции сухого воздуха с повышенной концентрацией озона в верхней тропосфере.

Изучение процессов стратосферно-тропосферного обмена осуществляется через мониторинг трассерных газов с помощью различных методов, к числу которых относятся: 1) контактные измерения озона и паров воды с борта авианосителя [2–4]; 2) дистанционное активное и пассивное зондирование концентрации воды и озона в атмосфере [5–11] с земли и со спутника; 3) зондирование вертикального распределения концентрации озона и паров воды озонозондами [8, 10]. По оценкам экспертов Межправительственной комиссии по изменению климата (IPCC 4th Assessment) около 18% озона поступает в тропосферу

из нижней стратосферы [12], а основным источником тропосферного озона являются фотохимические реакции, тем не менее необходимость изучения СТО продиктована проблемами климатологии, контроля общего содержания и трендов тропосферного озона [13].

Несмотря на то что СТО — элемент общей циркуляции атмосферы и обмен между стратосферой и тропосферой происходит постоянно, местоположение и интенсивность его чрезвычайно изменчивы и зависят от множества других атмосферных процессов. Пространственные масштабы вторжения стратосферного воздуха в процессе СТО ограничены размерами 100–300 км в горизонтальном направлении и от 1 до 4 км — в вертикальном [14]. По этой причине экспериментальные наблюдения процессов СТО носят не регулярный, а эпизодический характер. Считается, что наиболее благоприятные условия для СТО реализуются в складках тропопаузы, которые возникают в высотных барических ложбинах, на периферии струйных течений с циклонической стороны, в вершинах высотных циклонов, в пределах циркумполярного вихря и при разрушении гравитационных волн [1, 5, 6, 15, 16].

Атмосфера Владивостока большую часть времени, особенно в зимне-весенний период, находится под влиянием субтропического струйного течения (ССТ) и длительное время (около 60%) в атмосфере присутствует двойная тропопауза, расположенная с циклонической стороны ССТ. Географическое местоположение Владивостока создает благоприятные предпосылки для изучения характеристик СТО и их связи с метеорологическими процессами.

## Аппаратура и методы

Станция лидарного зондирования атмосферы расположена на побережье Японского моря (131,9° в.д., 43,1° с.ш.). На атмосферу г. Владивостока распространяется действие самого мощного зимнего слоя озона в Северном полушарии. Этот планетарный максимум, простирающийся от ядра Сибирского зимнего антициклона до побережья Японского и Охотского морей, ограничен с юга субтропическим струйным течением, проходящим с запада на северо-восток над островами Японии и играющим ключевую роль в циркуляции воздушных масс нижней стратосферы этого региона.

Наши исследования базировались на совместном анализе динамики вертикального распределения стратосферного озона и стандартных метеопараметров на протяжении 2007–2009 гг. Всего за этот период наблюдения было получено более 1000 высотных профилей озона. Для построения меридиональных вертикальных разрезов ветрового поля, потенциальной температуры и влажности атмосферы использовались данные 13 станций мировой сети высотного метеозондирования [17], расположенных вблизи 132-го меридиана восточной долготы. В таблице приведены координаты местоположения этих станций.

Станции метеорологического зондирования

№ станции	Расположение	Северная широта, град	Восточная долгота, град
24959	Якутск	62	129,71
31300	Зей	53,7	127,3
31369	Николаевск-на-Амуре	53,15	140,7
31510	Благовещенск	50,5	127,5
31736	Хабаровск	48	135,23
31873	Дальнереченск	45,9	133,73
50953	Харбин	45,75	126,76
31977	Владивосток	43,3	132
54292	Янджи	42,88	129,46
47090	Сокчо	38,2	128,57
47138	Похан	36	129,38
47827	Кагошима	31,6	130,55
47909	Назе	28,38	129,55

Для измерения вертикальных профилей озона методом дифференциального поглощения и коэффициентов обратного рассеяния аэрозоля использовался лидар, разработанный Центром физического приборостроения ИОФ РАН. Лидар включает излучатель с эксимерным ХеСl-лазером (энергия в импульсе до 200 мДж, длительность импульса 20 нс и частота до 100 Гц) с преобразованием генерируемого излучения с  $\lambda_1 = 308$  нм в излучение с  $\lambda_2 = 353$  нм в водородной ячейке за счет вынужденного комбинационного рассеяния на молекулах водорода. Рассеянное в атмосфере излучение собирается зеркальным телескопом с апертурой 600 мм и разделяется интерференционными фильтрами в спектральном блоке на 6 каналов (два канала с  $\lambda_1 = 308$  нм, два канала с  $\lambda_2 = 353$  нм и по одному каналу с  $\lambda_5 = 331$  нм и  $\lambda_6 = 331$  нм). В каналах с  $\lambda_1 = 308$  и  $\lambda_2 = 353$  нм около 10% излучения используется для регистрации сигнала в нижней части атмосферы до высот около 20 км, а остальная часть излучения — для регистрации сигнала до высот порядка 40 км в зависимости от оптических условий.

В блоке регистрации используются стробируемые ФЭУ и восьмиканальный счетчик фотонов. Для подавления сигнала из ближней зоны используется электромеханическая система отсечки. Типичная продолжительность измерения одного профиля составляла порядка 30 мин при частоте посылок зондирующих импульсов 50 Гц. При этом точность измерения сигнала изменялась от 2–3 до 10% в нижней стратосфере и достигала 30% на высоте более 40 км. Точность измерения 10% является худшей оценкой для случаев, когда область перекрытия двух нижних и двух высотных каналов лидара располагалась выше 16–18 км. Для снижения влияния погрешностей численного дифференцирования используемого в данном методе восстановления концентрации озона применялась процедура предварительного сглаживания зарегистрированных сигналов гауссовым фильтром полушириной 1 км.

## Анализ полученных результатов

К числу атмосферных процессов, влияющих на температурный режим в области тропопаузы и способствующих разрушению слоя повышенной стабильности, относятся атмосферные синоптические вихри, воздействующие на конфигурацию движений струйных течений. На 43° с.ш. в нашем регионе довольно часто присутствует как субтропическое, так и полярное струйные течения, формирующиеся в высотных фронтальных зонах максимальных градиентов давления и температуры. Субтропическое струйное течение прослеживается в виде практически непрерывного пояса сильных западных ветров на северной периферии субтропических областей высокого давления. Ось струи проходит на высотах порядка 12–13 км и располагается на 132° в.д. и 30° с.ш. зимой, смещаясь до 45° с.ш. в конце лета. При этом скорость течения существенно уменьшается. В зимний период точка зондирования часто находится в области двойной тропопаузы, что проявляется на профилях озона в уменьшении концентрации на высотах порядка 15 км из-за процессов обмена с тропической тропосферой. Обсуждению этих процессов и возможных механизмов формирования такого профиля посвящена наша работа [18].

Полярное струйное течение (ПСТ) относится к тропосферным среднеширотным течениям, формирующимся в области полярного фронта. Как правило, оно наблюдается в области 45–65° с.ш. и располагается в диапазоне высот 8–10 км. Совместный анализ вертикального распределения озона и ветрового поля над г. Владивостоком показывает, что увеличение концентрации озона в верхней тропосфере наблюдается в тех случаях, когда полярные воздушные массы формируются в тропосферное струйное течение вблизи ССТ. В этом случае местоположение ядер обоих струйных течений становится неустойчивым, что может приводить к проникновению стратосферного воздуха в тропосферу в зоне их взаимодействия. Эти процессы в основном обусловлены движением стратосферного воздуха с севера на юг и вниз в тропосферу в изгиб тропопаузы к юго-западу от крупного циклона [19]. Несколько эпизодов регистрации проникновения стратосферного озона в верхнюю тропосферу приведены на рис. 1 совместно с усредненными за этот месяц вертикальными профилями (пунктирная линия).

Для всех эпизодов регистрации СТО характерно то, что в момент регистрации отмечалось взаимодействие ССТ с тропосферными струйными течениями.

Один из нетипичных эпизодов СТО воздушными массами наблюдался 28 марта 2009 г. В этот период сформировалась сложная барическая система, состоящая из двух антициклонов (Сибирского и над Охотским морем) и циклона над северо-западной частью Китая. Это привело к тому, что в области тропопаузы над Владивостоком сформировалось двунаправленное движение воздушных масс. На рис. 2 представлена карта максимальных ветров по данным Корейского метеорологического агентства

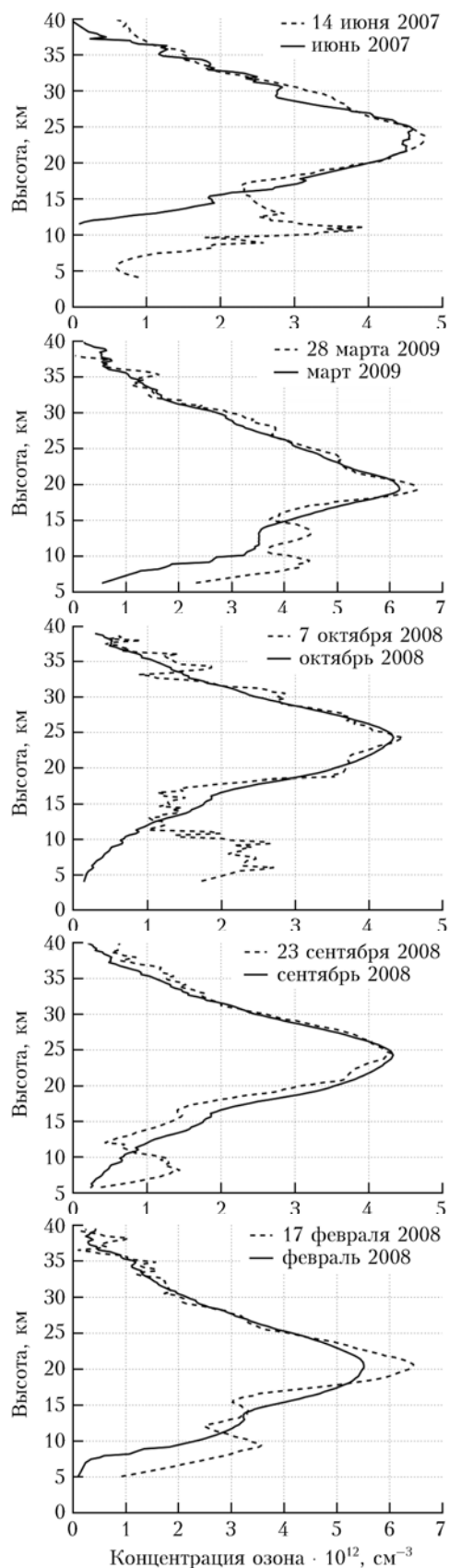
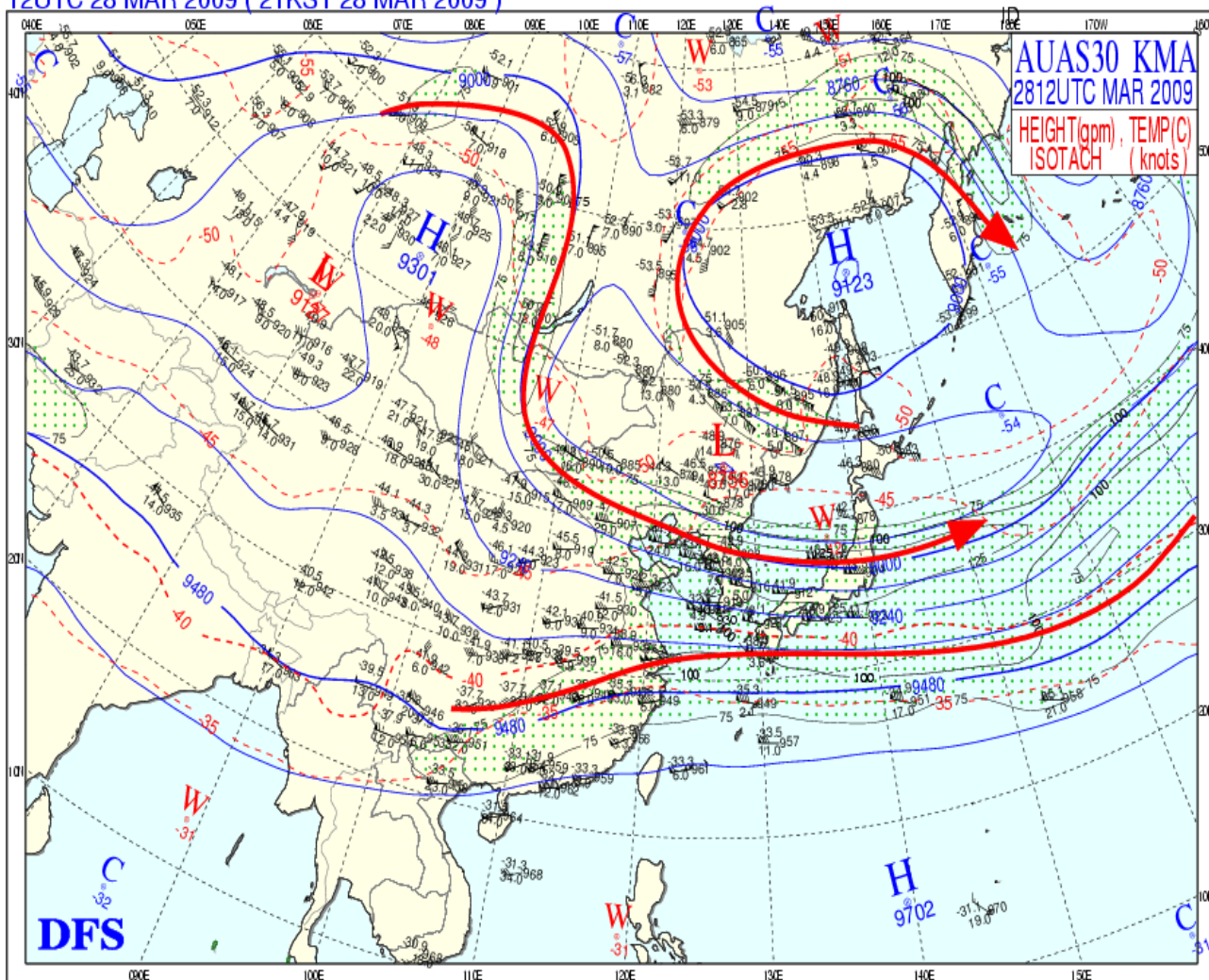


Рис. 1. Усредненные вертикальные профили озона за отдельные месяцы (сплошная линия) и характерные профили эпизодов проникновения стратосферного воздуха в тропосферу

12UTC 28 MAR 2009 ( 21KST 28 MAR 2009 )



Korea Meteorological Administration(KMA)

12UTC 28 MAR 2009 ( 21KST 28 MAR 2009 )

Рис. 2. Карта барических полей и направлений максимальных ветров 28.03.2009

[20] с отображением барических систем на уровне 300 гПа, что соответствует высоте порядка 9 км.

Воздушные массы ПСТ, огибая центры барической системы из антициклона над Сибирью и циклона над северо-востоком Китая, спустились с 65° с.ш. до 40°. В районе Северной Кореи воздушная масса ПСТ вошла в соприкосновение с ССТ, образуя объединенное струйное течение в восточном направлении южнее Владивостока. Ядра ССТ и ПСТ отчетливо прослеживаются на поперечном разрезе ветрового поля на рис. 3, а (35 и 38° с.ш.), построенного по данным станций высотного метеозондирования, координаты которых приведены в таблице. Севернее Владивостока было расположено второе среднеширотное струйное течение, распространяющееся в противоположном — западном направлении, которое сформировалось на границе Китайского циклона и антициклона над Охотским морем. При этом область турбулентного перемешивания встречных струйных течений в широком высотном диапазоне находилась непосредственно над точкой зондирования.

Одновременное присутствие нескольких струйных течений и привнесенных ими воздушных масс из различных широт привело к нарушению температурной стратификации в области тропопаузы, ограничивающей стратосферно-тропосферный обмен, и разрушению слоя повышенной стабильности (СПС), где значения частоты Брента–Вяйсяля имеют локальный максимум. На рис. 3, б приведены вертикальные профили квадрата частоты Брента–Вяйсяля  $N^2$ , характеризующие усредненную стабильность воздушных масс за март, включающие и мелкие события СТО (сплошная линия) и события на момент регистрации глубокого стратосферно-тропосферного обмена (штриховая линия). На среднемесечном профиле  $N^2$  отчетливо просматривается диапазон высот сезонной тропопаузы по характерному скачку  $N^2$  на границе «тропосфера — стратосфера» около 10 км. Напротив, практически монотонное и слабое возрастание  $N^2$  в области высот 6–19 км говорит об отсутствии 28 марта 2009 г. четкой границы раздела стратосферных и тропосферных воздушных масс.

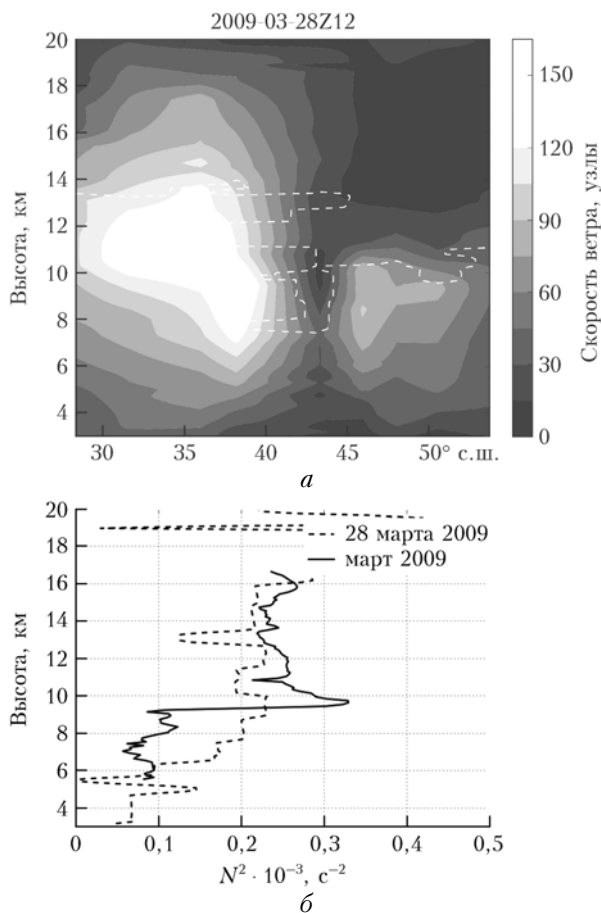


Рис. 3. Ветровое поле и положение тропопаузы (штриховая линия) 28.03.09 (а); усредненный профиль квадрата частоты Брента–Вайсяля за март 2009 г. (сплошная линия) и профиль во время регистрации процесса стратосферно-тропосферного обмена 28.03.09 (б)

Наблюдавшийся 23.09.08 процесс стратосферно-тропосферного обмена характерен тем, что произошло объединение ПСТ и ССТ в течение с общим ядром. При этом ССТ, имеющее невысокую скорость в это время года, изменило свое высотное положение, снизившись более чем на 2 км до уровня ПСТ, что отражено на рис. 4.

Точка зондирования оказалась непосредственно под ядром объединенного струйного течения, расположенного на высоте около 10 км. В этом случае стратосферное вторжение прослеживается на вертикальном распределении озона (ВРО) до уровня около 5 км, а на профиле водяного пара на рис. 4, а вплоть до высоты 2,5 км. На широтном вертикальном разрезе аномальное уменьшение влажности в тропосфере прослеживается в широтном диапазоне около 5° с наклоном от высоких широт к низким. Аналогичные изменения ВРО и профилей влажности, приведенные на рис. 5, наблюдались и 7.10.08.

Однако при этом происходило не объединение струйных течений, а разделение ССТ на два потока, отстоящих друг от друга на 12 широтных градусов. В этом случае протяженность области аномального уменьшения влажности вплоть до высоты около 3 км, располагавшаяся между двумя потоками в тропосфере, была более 10° с.ш.

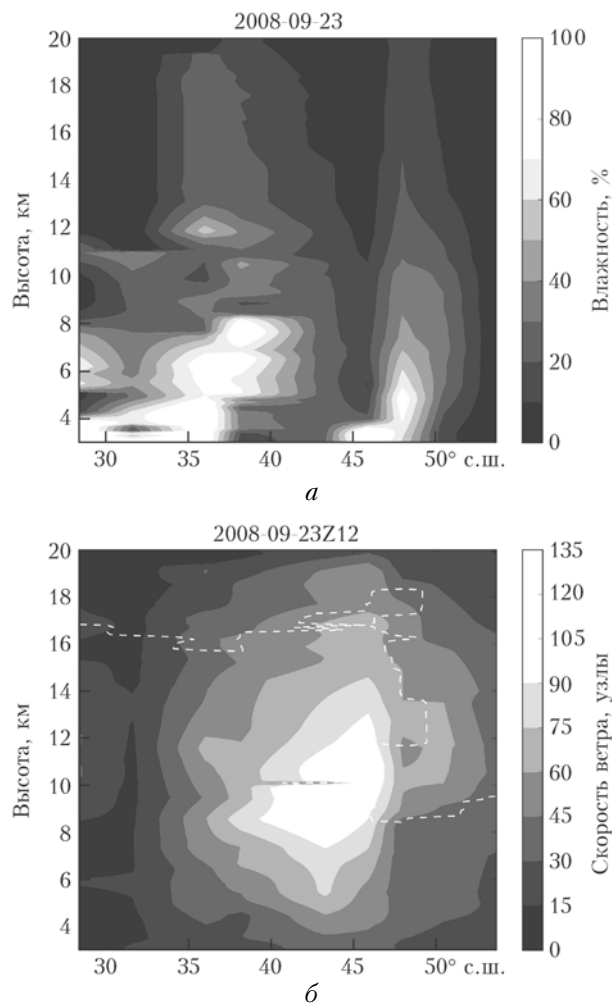


Рис. 4. Меридиональный разрез поля относительной влажности 23.09.08 (а); меридиональный разрез ветрового поля и положение тропопаузы (штриховая линия) 23.09.08 (б)

Процесс стратосферно-тропосферного обмена 17.02.09 характеризовался тем, что наблюдалась резко выраженная почти вертикальная структура ветрового поля (рис. 6) на северной стороне ССТ в высотной фронтальной зоне, образованной ССТ и обширным глубоким циклоном, протянувшимся от Камчатки до Байкала.

На рис. 7 представлена карта максимальных ветров на уровне 300 гПа с отображением барических систем.

Полярные воздушные массы и ослабленная периферия ССТ, располагавшаяся севернее фронтальной зоны, образовали объединенное течение, ядро которого проходило над точкой зондирования на высоте около 12 км, что было почти на 1 км выше основного ядра ССТ. Объединенное течение огибало циклон с северо-запада и образовывало обширную наклонную складку тропопаузы, которая на разрезе влажности прослеживается вплоть до 30° с.ш. и высот порядка 2 км. Эту складку тропопаузы можно также заметить на спутниковых снимках в инфракрасных каналах в полосах поглощения водяного пара. На вертикальном распределении озона

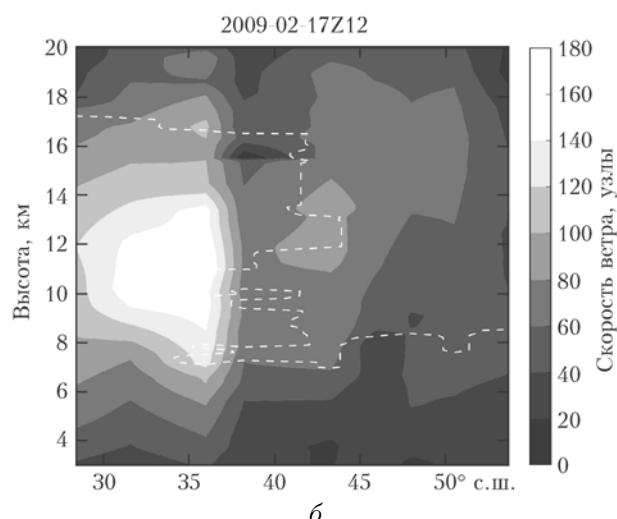
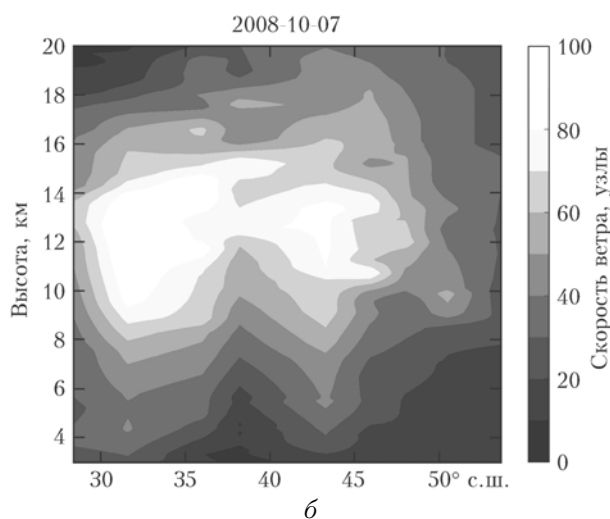
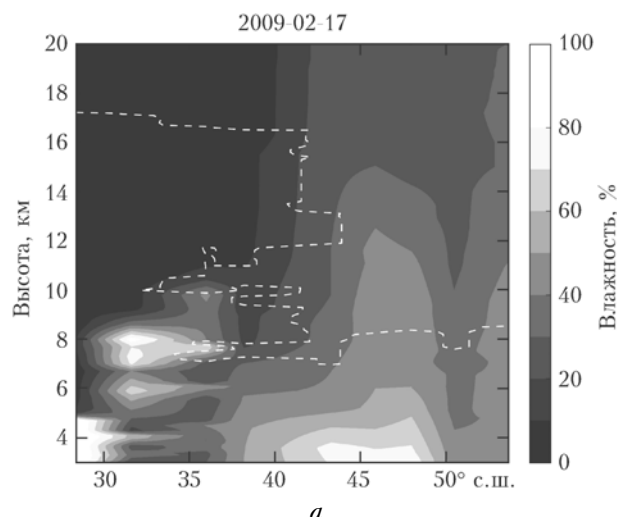
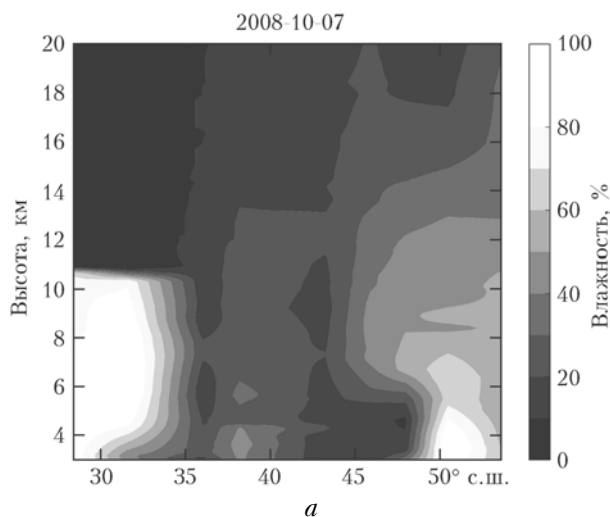


Рис. 5. Меридиональный разрез поля относительной влажности 07.10.08 (а); меридиональный разрез ветрового поля 07.10.08 (б)

Рис. 6. Меридиональный разрез поля относительной влажности и положение тропопаузы (штриховая линия) 17.02.09 (а); меридиональный разрез ветрового поля и положение тропопаузы (штриховая линия) 17.02.09 (б)

стратосферное вторжение прослеживается до высот 6–7 км, поскольку этот высотный профиль приходится на верхнюю часть наклонной складки тропопаузы.

Процесс стратосферно-тропосферного обмена, который наблюдался 14.06.07, характеризовался взаимным влиянием ССТ и ПСТ, расстояние между которыми было около 8° с.ш. Меридиональные сечения ветрового поля и поля влажности приведены на рис. 8.

Ось ССТ располагалась при этом на высоте около 13 км, а ось ПСТ около 11 км. Точка зондирования в этом случае оказалась под центром области соприкосновения течений, что видно по структуре образовавшегося ветрового поля. На вертикальном разрезе поля влажности в области соприкосновения течений около 43° с.ш. соответствует область пониженной влажности до высот порядка 3 км, тогда как в соседних районах ниже и выше по широте такие значения влажности наблюдаются на 2 км выше.

## Заключение

Проведенный нами совместный анализ вертикального распределения озона, стандартных метеопараметров и ветрового поля показывает, что процессы стратосферно-тропосферного обмена над городом Владивостоком обусловлены в основном образованием обширных складок тропопаузы, сформированных движением стратосферного воздуха с севера на юг и вниз в тропосферу к юго-западу от крупных циклонов. При этом увеличение концентрации озона и уменьшение влажности в верхней тропосфере наблюдаются в тех случаях, когда полярные воздушные массы формируются в тропосферное струйное течение вблизи субтропического струйного течения. В этом случае местоположение ядер обоих струйных течений становится неустойчивым, разрушается слой повышенной стабильности над тропопаузой, что приводит к возможности проникновения стратосферного воздуха в тропосферу в зоне взаимного влияния



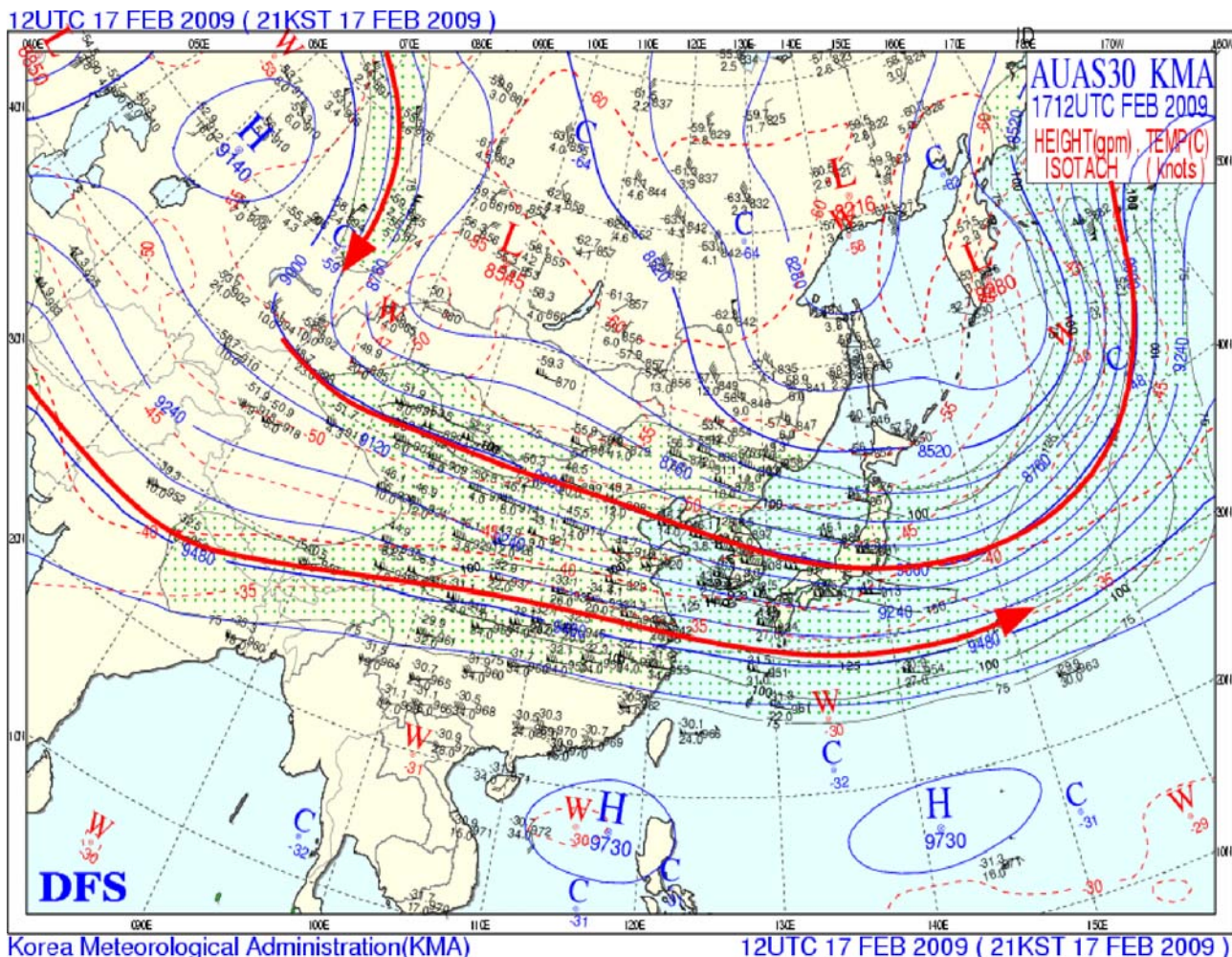


Рис. 7. Карта барических полей и направлений максимальных ветров 17.02.2009

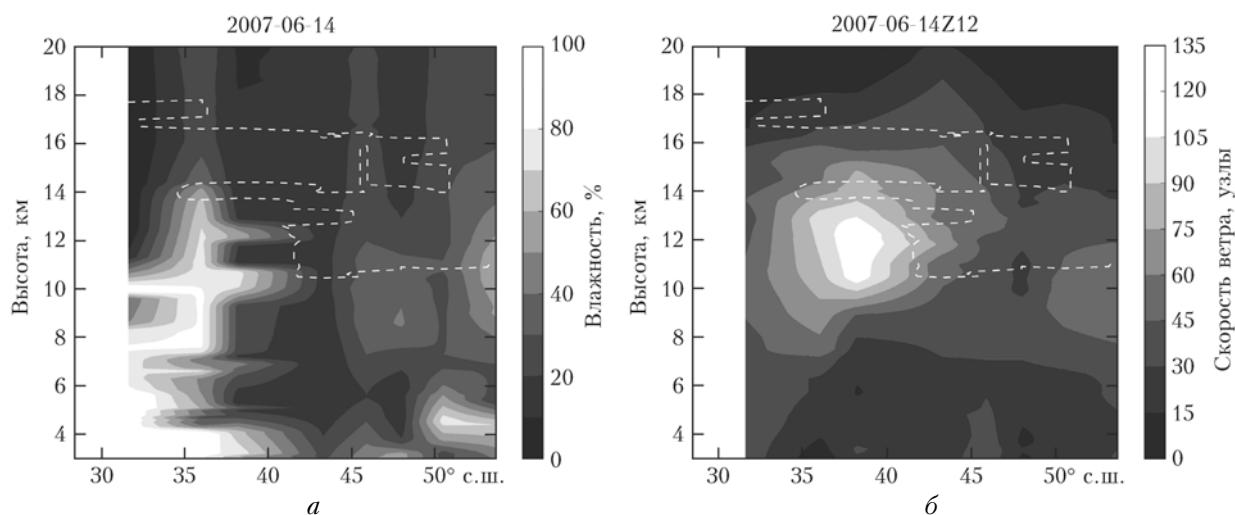


Рис. 8. Меридиональный разрез поля относительной влажности и положение тропопавзы (штриховая линия) 14.06.07 (а); меридиональный разрез ветрового поля и положение тропопавзы (штриховая линия) 14.06.07 (б)

струйных течений. Кроме того, в зимний период, когда над станцией зондирования часто расположены среднеширотная и тропическая тропопавзы одновременно, наблюдается процесс обмена между тропиче-

ской тропосферой и среднеширотной стратосферой. На профилях озона и  $N^2$  это проявляется в уменьшении концентрации и стабильности на высотах порядка 15 км и их увеличении над тропопавзой.

Экспериментальные работы выполнялись на оборудовании, уникальных стендах и установках Центра коллективного пользования «Лазерные методы исследования конденсированных сред, биологических объектов и мониторинга окружающей среды» Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации и РФФИ, грант № 11-05-98533-р\_восток\_a.

1. Stohl A., Bonasoni P., Cristofanelli P., Collins W. Stratosphere-troposphere exchange: A review, and what we have learned from STACCATO // J. Geophys. Res. D. 2003. V. 108, N 12. P. STA1/1–STA1/15.
2. Brioude J., Cammas J.-P., Cooper O.R. Stratosphere-troposphere exchange in a summertime extratropical low: analysis // Atmos. Chem. Phys. 2006. V. 6, N 9. P. 2337–2353.
3. Hoor P., Fischer H., Lange L., Lelieveld J., Brunner D. Seasonal variations of a mixing layer in the lowermost stratosphere as identified by the CO–O<sub>3</sub> correlation from in situ measurements // J. Geophys. Res. D. 2002. V. 107, N 5. doi: 10.1029/2000JD000289.
4. Pan L.L., Bowman K.P., Shapiro M., Randel W.J., Gao R.S., Campos T., Davis C., Schauffler S., Ridley B.A., Wei J.C., Barnet C. Chemical behavior of the tropopause observed during the Stratosphere-Troposphere Analyses of Regional Transport experiment // J. Geophys. Res. D. 2007. V. 112(18110). doi: 10.1029/2007JD008645.
5. Galani E., Balis D., Zanis P., Zerefos C., Papayannis A., Wemli H., Gerasopoulos E. Observations of stratosphere-to-troposphere transport events over the eastern Mediterranean using a ground-based lidar system // J. Geophys. Res. D. 2003. V. 108, N 12. P. STA12/1–STA12/10.
6. Зуев В.В., Бурлаков В.Д., Долгий С.И., Невзоров А.В., Ельников А.В. Наблюдения прорыва стратосферных масс в верхнюю тропосферу по лидарным измерениям озона // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 7. С. 593–599.
7. Hwang S.-H., Kim J., Cho G.-R. Observation of secondary ozone peaks near the tropopause over the Korean peninsula associated with stratosphere–troposphere exchange // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. doi: 10.1029/2006JD007978.
8. Pan L.L., Randel W.J., Gille J.C., Hall W.D., Nardi B., Massie S., Yudin V., Khosravi R., Konopka P., Tarasick D. Tropospheric intrusions associated with the secondary tropopause // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. doi: 10.1029/2008JD011374.
9. Ravetta F., Ancellet G. Identification of dynamical processes at the tropopause during the decay of a cutoff low using high resolution airborne lidar measurements // Mont. Weater Rev. 2000. V. 128, N 9. P. 3252–3267.
10. El Amraoui L., Attié J.-L., Semane N., Claeys M., Peuch V.-H., Warner J., Ricaud P., Cammas J.-P., Piacentini A., Josse B., Cariolle D., Massart S., Bencherif H. Midlatitude stratosphere – troposphere exchange as diagnosed by MLS O<sub>3</sub> and MOPITT CO assimilated field // Atmos. Chem. Phys. 2010. V. 10, N 5. P. 2175–2194.
11. Eisele H., Scheel H.E., Sladkovic R., Trickl T. High-resolution lidar measurements of stratosphere–troposphere exchange // J. Atmos. Sci. 1999. V. 56, N 2. P. 319–330.
12. Climate Change 2007 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC (Climate Change 2007). Cambridge University Press, 2007. 996 p.
13. Hocking W.K., Carey-Smith T., Tarasick D.W., Argall P.S., Strong K., Rochon Y., Zawadzki I., Taylor P.A. Detection of stratospheric ozone intrusions by windprofiler radars // Nature (Gr. Brit.). 2007. V. 250. P. 281–284.
14. US Environmental Protection Agency Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants // Office of Research and Development National Center for Environmental Assessment, Washington Office Washington, DC. 2006. V. 1. P. EPA/600/R–05/004aF-cF.
15. Roelofs G.J., Kentarchos A.S., Trickl T., Stohl A., Collins W.J., Crowther R.A., Hauglustaine D., Klonecki A., Law K.S., Lawrence M.G., von Kuhlmann R., van Weele M. Intercomparison of tropospheric ozone models: Ozone transport in a complex tropopause folding event // J. Geophys. Res. D. 2003. V. 108, N 12. P. STA14/1–STA14/13.
16. Куколева А.А. Оценки потоков озона через поверхность тропопаузы при мезомасштабных процессах // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2002. Т. 38, № 5. С. 683–693.
17. URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
18. Букин О.А., Нгуен Суан Ань, Павлов А.Н., Столярчук С.Ю., Шмирко К.А. Влияние струйных течений на вертикальное распределение озона и характеристики тропопаузного инверсионного слоя в Дальневосточном регионе // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2011. Т. 47, вып. 5. С. 660–668.
19. Danielsen E.F. Stratosphere–troposphere exchange, based on radioactivity, ozone and potential vorticity // J. Atmos. Sci. 1968. V. 25, N 3. P. 502–518.
20. URL: <http://web.kma.go.kr/eng/weather/images/satellite.jsp>

**A.N. Pavlov, S.Yu. Stolyarchuk, K.A. Shmirko, O.A. Bukin. Lidar measurements of variability of the ozone vertical distribution caused by the stratospheric-tropospheric exchange at Far East region.**

This paper covers the question of stratosphere-troposphere exchange in 2007–2009 in transitional “ocean – continent” zone by means of lidar measurements of vertical ozone distribution. The simultaneous analysis of vertical ozone distribution, meteo and wind field parameters shows that stratosphere-troposphere exchange over the Vladivostok is caused primarily by tropopause folds, which are formed due to stratospheric air movements from north to south and then into the troposphere southwest from cyclones. In this case, positive trend of ozone concentration and decrease of air humidity in upper troposphere occurs when polar air masses forms polar jet in the vicinity of subtropical jet. Hence, the location of kernels of both jets becomes unstable and breaks down a tropopause inversion layer, that leads to possibility of stratospheric air intrusions into the troposphere in the area of mutual influence of jet streams.