

Сеник И¹., Еланский Н¹., Дёмин В²..

¹ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Россия

² Полярный Геофизический Институт, Кольский научный Центр РАН,
Россия

УДК 551.510

**ВЛИЯНИЕ ГОРНЫХ РАЙОНОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ ПО
НАБЛЮДЕНИЯМ НА КИСЛОВОДСКОЙ ВЫСОКОГОРНОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ ИФА ИМ.
А.М.ОБУХОВА РАН**

Введение

Станции мониторинга состояния атмосферы, расположенные в горах, выше пограничного слоя, играют особую роль фоновых. Кроме того, в отсутствие сильно переменных составляющих пограничного слоя появляется возможность со значительно большей надежностью выделить вариации параметров атмосферы, инициируемые различными естественными процессами, в том числе особыми, характерными для горных районов. Учитывая, что горные регионы составляют значительную часть суши, влияние гор различного масштаба на состояние атмосферы оказывается существенным и требует пристального внимания. К числу явлений, которые влияют на деформацию поля малых примесей, в т.ч. озона и аэрозоля, относятся “lifting”-эффект, внутренние гравитационные волны (ВГВ) орографического происхождения, фёны, горно-долинная циркуляция.

Исследования, проводящиеся на Кисловодской высокогорной научной станции Института физики атмосферы РАН (КВНС) на Северном Кавказе (2070 м над уровнем моря), уникальны ввиду уникальности расположения станции, комплексности измерений и качества получаемых данных, которые позволяют выявлять слабые вариации и тонкие эффекты, недоступные на равнинных станциях (внутренние гравитационные волны (ВГВ), фен, локальная горно-долинная динамика, эффекты дальнего переноса, тренды, и пр.).

В данной работе представлены некоторые результаты исследований, проводимых на фоновой КВНС для обнаружения деформации поля озона (высотного распределения и приземной концентрации озона) в области действия ВГВ и влияния фенов - на приземные уровни и вариации озона.

Наблюдения общего содержания озона (ОСО) обнаруживают его квазипериодические изменения различного временного масштаба: от нескольких минут до нескольких лет. При этом внутрисуточные колебания изучены гораздо меньше.

Численные расчеты динамического и фотохимического механизмов воздействия ВГВ на содержание и распределение озона и других примесей [2,4] показали, что часть наблюдаемых квазипериодических колебаний могут быть объяснены орографическим эффектом.

Кисловодская высокогорная научная станция КВНС Института физики атмосферы РАН имеет удачное расположение для обнаружения связи между ВГВ и вариациями ОСО. S-S-W от КВНС на расстоянии 50 км находится гора Эльбрус. Эльбрус входит в горный массив, который выступает к северу от Главного Кавказского хребта (рис.1.). Значительно возвышаясь над хребтом, Эльбрус является мощным источником подветренных волн, что доказывают частое наблюдение характерных орографических форм облаков. Преобладающие ветры от S-W до N-W направления (повторяемость их в январе—марте составляет 71%) приводят к развитию возмущений в атмосфере именно в том секторе, из которого поступает информация об ОСО во время наблюдений на КВНС в околорассветное время.

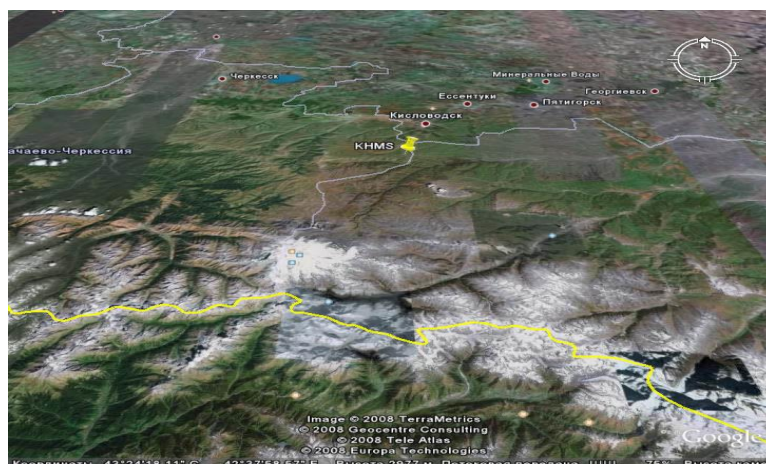


Рис.1 Карта расположения г.Эльбруса и КВНС ИФА РАН.

Методика

Измерения ОСО на КВНС регулярно проводятся с 1979 г. С 1989 г. и по настоящее время – с помощью спектрофотометра Брюера № 43, а до конца 1989 г. - с помощью спектрофотометра М-3 ИФА по прямому солнечному излучению. ОСО определялось по интенсивности солнечного излучения на длинах волн 308,8—313,0 и 311,1—315,2 нм методом абсорбционной спектроскопии. Единичное значение ОСО находилось путем осреднения прямого и

обратного спектра солнечного излучения. Частота измерений - одно значение в минуту. Среднеквадратичное отклонение ОСО в отсутствие возмущающих условий составляло менее 1 Е.Д. для реализации длительностью 1—3 ч.

Подчеркнем, что в эксперименте важной характеристикой является дисперсия временного ряда на небольших временных участках при измерении в невозмущенных условиях. В случае спокойной атмосферы случайные флуктуации могут составлять всего несколько десятых Е.Д. (не превышают 1Д.Е.).

Изменения ОСО в зоне подветренных горных волн составляют согласно модельным расчетам [4] в типичных случаях 1—2%, а в наиболее благоприятных условиях даже 3—5% от среднего его значения. Стандартные спектрофотометры могут уверенно контролировать относительные изменения ОСО такой величины.

Таким образом, регулярные колебания в возмущенной атмосфере с амплитудой 1-3 Е.Д. фиксируются надежно.

Для исследований были использованы дни, когда существовали условия не только для образования мощной волновой системы в тропосфере, но и для распространения волн в стратосфере.

На КВНС в серии наблюдений были зафиксированы периодические колебания ОСО с амплитудой 2-3 Е.Д. и периодами 25-30 мин. и с периодами 12-15мин. и с меньшей амплитудой порядка 1-1.5 Е.Д.

Проведено сопоставление на географической схеме (рис.2) положений областей атмосферы, охваченных возмущением от горного массива Эльбруса, с сечением озонного слоя, которое производит смещающийся со временем (за счет изменения зенитного угла и азимута) зондирующий луч Солнца. Положение секторов азимутальных углов, для которых велись наблюдения ОСО, и возмущенная часть воздушного потока, прошедшего над горным массивом высотой более 3,5 км отмечены тонкими и толстыми пунктирными линиями соответственно. На схеме обозначены относительные вариации ОСО и проекции на уровень 2 км пересечения зондирующим лучом условными верхней (30 км) и нижней (16 км) границами озонного слоя соответственно тонкими и толстыми сплошными линиями. Изогипсы проведены через 1 км.

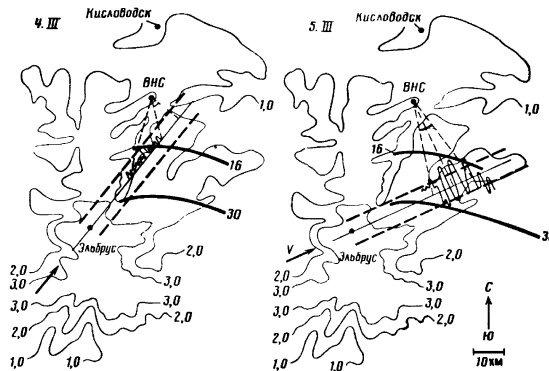


Рис. 2 Схема регистрации орографических возмущений атмосферы по измерениям общего содержания озона в атмосфере в районе КВНС

После вычисления скорости смещения сканирующего луча на разных уровнях в атмосфере получены длины волн, соответствующие наблюдавшимся 25-30 мин. колебаниям, при условии стационарности процесса. Длины волн колеблются от 4 до 5 км на высотах 20-30 км, где в основном сосредоточен озон. Это совпадает с теоретической оценкой длины стационарных волн при двухмерном обтекании горного массива ($\lambda=2\pi V/N$, где N - частота Брента – Вайселя) порядка 4-6 км при значительной устойчивости воздуха средней тропосферы, что и наблюдалось в дни эксперимента.

Регистрируемые колебания ОСО с периодами 5—7 мин вызваны вариациями аэрозоля в нижней атмосфере, которые в свою очередь могут быть следствием действия местных орографических факторов.

Для изучения вариаций приземного озона на КВНС используются непрерывные измерения, проводящиеся с 1989г. Газоанализатор Dasibi 1008-АН работает на КВНС в круглосуточном режиме в удаленной от крупных населенных пунктов зоне альпийских лугов. Забор воздуха осуществляется на высоте 3м. Чувствительность приборов - 1 ppb, абсолютная погрешность измерений - 1-2 ppb. Частота измерений - 10 с. Время релаксации прибора на уровне 95% - 50 с. Относительная погрешность на участке порядка 40минут составляет 0.1ppb

Для получения более детальных пространственных и временных характеристик вариаций озона в 1987г. использовались дополнительно к стационарному газоанализатору Dasibi 1008-АН два мобильных хемилюминесцентных газоанализатора производства Лаборатории экологического контроля (Санкт-Петербург), имеющих малое время реагирования - около 1 сек. Чувствительность приборов 1-2 ppbv, относительная погрешность (полученная на спокойных участках ряда продолжительностью около 50минут) составляет 0.1ppb Калибровка всех приборов выполнялась регулярно.

ВГВ орографического или другого происхождения, например, от развитой конвекции, обнаруживаются в изменчивости приземного озона на КВНС. Важное условие для наблюдений таких тонких эффектов – слабая возмущенность поля приземного озона, что выполняется на КВНС благодаря удаленности от источников загрязнения.

Задача по изучению влияния фенів на уровень приземного озона на КВНС встала особенно остро в связи с необходимостью объяснить необычный отрицательный тренд приземного озона. Долговременные вариации озона высокогорных Европейских станций, например Jungfraujoch (JFJ, 3580м над у.м.), имеют противоположенную тенденцию к увеличению приземного озона. Факторы, рассматривающиеся стандартно для объяснения наблюдаемых

тенденций приземного озона, следующие: изменения антропогенной эмиссии предшественников озона (в Европе эмиссии сокращаются); дальний перенос, регулируемый долговременными вариациями динамических процессов; изменения интенсивности интрузий стратосферного воздуха (что стандартно принято оценивать по высоте прохождения траекторий воздушных масс и некоторым диагностическим параметрам вдоль траектории).

При этом очевидно упускаются из внимания мезомасштабные явления, связанные с процессом адиабатного опускания воздуха, обогащенного озоном, из верхних слоев тропосферы: фёны, неподвижные антициклоны, стримеры и др. Эти явления имеют общие со стратосферными вторжениями признаки: повышенная концентрация озона, резкое потепление и низкая влажность. Однако для фена определен целый комплекс метеорологических факторов [6]: резкое повышение температуры и понижение влажности воздуха (<35%), определенные направление и скорость ветра, отсутствие нижней облачности и осадков, орографическая облачность.

Для горных и предгорных районов, в отличие от равнинных станций, интрузии, связанные с фёнами, могут иметь систематический характер и влиять на характеристики изменчивости, в частности, вносить вклад в долговременную изменчивость озона.

Результаты

Изучение формирования тонкой структуры в распределении озона в атмосфере под влиянием внутренних гравитационных волн (ВГВ) разного происхождения, в частности орографических, связано с трудностями постановки эксперимента, с корректировкой режимов наблюдений, с зависимостью от расположения возмущенной области относительно сканирующего луча и пр. Тем не менее, попытки наземных наблюдений важны, т.к. ВГВ играют существенную роль в переносе энергии и в изменчивости озона.

В 1988г нами [3] были зафиксированы орографические эффекты на КВНС: по результатам наземных наблюдений ОСО обнаружены короткопериодические колебания, вызванные воздействием ВГВ на распределение озона в стратосфере и тропосфере, с амплитудой 2-3 Е.Д. и периодами 25-30 мин. и с периодами 12-15мин. с амплитудой порядка 1-1.5 Е.Д., связанные со стационарной и нестационарной компонентами натекающего потока соответственно.

На фоне регулярных процессов в 1992г были зафиксированы интенсивные орографические эффекты, которые проявились также во временной изменчивости приземного озона. Внутренние гравитационные волны вызывают колебания его концентрации с периодами 5 - 8, 12 - 16 и 25 - 35 мин и амплитудой в единицы ppb. Эти колебания наблюдались в трех разнесенных пунктах с высокой степенью когерентности (0.8-0.9), что позволило подтвердить их волновую структуру [5]. Анализ аэрологических данных подтвердил наличие условий для существования ВГВ с периодами 12-20мин. в слое 1.5-3км.

Весной 2007 удалось провести несколько синхронных измерений массовой концентрации аэрозоля, ОСО и приземного озона. Были проанализированы синоптический материал и метеоданные для этих дней. Впервые для подтверждения воздействия ВГВ на поле озона в районе КВНС был применен локализованный спектральный анализ (Вейвлет анализ). Подвижное частотно-временное окно выявило в неоднородном процессе, участки с локальной периодичностью. Вейвлет-анализ подтвердил наличие нестационарных колебаний, на отдельных участках временной шкалы, например 1.05.2007, отмечается отчетливый дрейф частоты, соответствующий наблюдаемым изменениям колебаний от 13мин до 35 мин в течение 2.5часа.

Анализ данных приземной концентрации озона на КВНС, метеорологических и синоптических данных [6] показал, что во время фена значения озона могут увеличиваться значительно, до 15-20ppb, однако чаще меняются не столь существенно, на 5ppb (это зависит, например, от вертикального градиента озона в каждой конкретной ситуации).

Выявлены синоптические ситуации, характерные для фена в районе КВНС: прохождение циклона к северу и к северо-западу от Кавказских Гор. В этой ситуации южные воздушные потоки вынуждены течь поперек горных хребтов и КВНС оказывается в подветренном районе горного хребта, где и наблюдается обычно повышение концентрации озона.

Выявлено, что фёновый эффект более выражен при устойчивой стратификации и на фоне низких температур, т.е. зимой он должен проявляться сильнее, чем летом. Это подтверждается наблюдениями в различных горных регионах например, в Хибинах [7]. Кроме того, в холодное полугодие над восточной акваторией Черного моря происходит активный циклогенез. В связи с этим фёноподобные ситуации встречаются довольно часто.

Чтобы более полно, оценить вклад верхних слоев тропосферы в формирование уровня приземного озона, был оценен индекс F_{oz} : $F_{oz} \sim N_f(m, Y) * \Delta O_{3f}(m)$, где $N_f(m, Y)$ - количество зарегистрированных случаев пониженной относительной влажности воздуха ($Hum \leq 35\%$) и резкого потепления (и др. признаки фёноподобных явлений); $\Delta O_{3f}(m)$ – средний по всем годам вклад одного события в данном месяце m в формирование значения приземной концентрации озона O_3 (или средняя сезонная мощность одного события).

Для КВНС были рассчитаны среднемесячные индексы F_{oz} с 1994 до 2006г. Анализ изменчивости индекса F_{oz} 2006г для КВНС показал, что рассмотренные явления: преобладают в холодный период (01-03, 10-12); существует тенденция к усилению влияния верхней тропосферы в период с 1994 до 2006гг, что не объясняют отрицательный тренд приземного озона на КВНС, но может частично компенсировать уменьшение озона в холодный период и тем самым объяснить наблюдаемую закономерность: максимальный отрицательный тренд озона на КВНС – в теплый период, минимальный – в холодный период.

Заключение

Горы различного масштаба динамическими и термальными эффектами порождают сильную неоднородность в структуре воздушного потока и оказывают влияние на перераспределение малых примесей в атмосфере на квазисиноптическом масштабе и мезомасштабе.

Наблюдение с помощью наземных наблюдений короткопериодических колебаний в ОСО и приземного озона и отождествление их с волновыми процессами орографического и метеорологического происхождения развивает направление использования озона как инструмента для изучения динамики атмосферы [3]. С другой стороны влияние ВГВ проявляется в показаниях почти всех озонметрических станций и такое влияние должно учитываться при определении точностных характеристик действующих стационарных спектрофотометров или газоанализаторов.

В формировании поля озона и др. примесей в горных районах существенную роль играют особые, специфические факторы: “lifting-effect”, фены, горно-долинная циркуляция. Их вклад в изменчивость увеличивается, учитывая систематический характер их влияния.

ლიტერატურა - REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Н.Ф. Еланский, А.Н. Груздев, Ю.Л.Трутце, 1983, Оценка воздействия внутренних гравитационных волн на содержание озона и взаимодействующих с ним примесей в стратосфере. Москва: В кн. Атмосферный озон. Ред. А.Х. Хргиан и Н.Ф.Еланский., “Наука”. 18-27с (на русск.яз).
2. А.Н.Груздев, Н.Ф.Еланский, 1984, Оценка воздействия горных подветренных волн на содержание малых газовых примесей в тропосфере. Москва: Изв. АН СССР, ФАО, 20,7, 558-565с. (на русск.яз).
3. Н.Ф.Еланский, И.А.Сеник, А.Х.Хргиан, 1988, Вариации общего содержания озона в области горных подветренных волн. Москва: Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. Т.24, No 9, 959-966 с. (на русск.яз).
4. A.N.Gruzdev, N.F.Elansky,1985, Ozone concentration data applied for studying mesoscale wave processes in the atmosphere. Atmospheric Ozone, Proc. of Quadr. Ozone. Symp., Greece 3-7 Sept. 1984, D.REIDEL PUBL. Dordrecht, 157-162 p. (angl.).
5. N.F. Elansky, I.A.Senik, J.V.Makarov, 1992, Surface ozone variability at Kislovodsk observatory. Sharlottesville: Abstr. Quadr. Ozone Symp., Sharlottesville, June 4 - 13., 85 P. (angl).
6. V.I. Demin, N.F. Elansky, I.A. Senik, 2006, Changes in the ozone contents at the Kislovodsk mountain observatory during the foehns caused by the air crossing of the Big Caucasian ridge Physics of Auroral Phenomena: Abstracts of XXIX Annual seminar, Apatity 27 Feb – 3 March 2006, PGI KSC RAS - Апатиты., PP. 76 p. (angl).
7. В.И.Демин, М.И.Белоглазов, Е.Г.Мокров, 2005, Феновые эффекты над Хибинами в концентрации приземного озона // Оптика атмосферы и океана. Т. 18. 2005 г. №7, 613-617с. (на русск.яз).

UDC 551.510

INFLUENCE OF MOUNTAIN REGIONS ON THE DISTRIBUTION OF SMALL ADMIXTURES IN THE ATMOSPHERE ACCORDING TO OBSERVATIONS AT THE HIGH-MOUNTAIN SCIENTIFIC STATION OF THE A. OBUKHOV INSTITUTE OF PHUSICS OF ATMOSPHERE IN KISLOVODSK./Sennik I., Elansky N., Diomin V./. Transactions of the Georgian Institute of Hydrometeorology. -2008. - т.115. – p. 220-227. - .; Russ.; Summ. Eng.; Russ.

Experiments on detection of periodic variations of total ozone content and surface ozone under influence Internal Gravity Wave at Kislovodsk high-mountainous scientific station IPA RAS (2070 m asl, the Shadzhatmaz Plateau, Caucasus) are described.

The results of ozone concentration measurements at KHMS during a Foehn caused by air crossing of Great Caucasian ridge are presented. The analysis shows that significant increases in surface ozone concentration by 15-25ppb are induced by Foehn. The index for estimation of the contribution of the upper layers of the troposphere in long-term variations of surface ozone at KHMS is used.

УДК 551.510

ВЛИЯНИЕ ГОРНЫХ РАЙОНОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА КИСЛОВОДСКОЙ ВЫСОКОГОРНОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ ИФА ИМ. А.М.ОБУХОВА РАН. / Сеник И., Еланский Н., Дёмин В./Сб.Трудов Института Гидрометеорологии Грузии. –2008. – т.115. – с. 220-227. – Рус.; Рез. Англ.,Рус.

Описаны эксперименты по обнаружению периодических вариаций ОСО и приземного озона под влиянием ВГВ орографического происхождения на Кисловодской высокогорной научной станции ИФА РАН.

Оценено влияние, оказываемое фёнами на приземный озон (повышение значений на 5-25ppb). Выявлены синоптические ситуации, характерные для фёнов. Использован индекс для оценки вклада верхних слоев тропосферы в долговременные вариации приземного озона на КВНС

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН «Фундаментальные науки –медицине. 2008», грантов РФФИ № 07-05-00428, 06-05-65308 и МНТЦ-3032