ГЕОФИЗИКА

УДК 551.510.534

АНОМАЛИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ В 1983 г.

А. Х. Хргиан, А. А. Куколева

(кафедра физики атмосферы и математической геофизики)

Рассмотрены связь уменьшения общего содержания озона в Северном полушарии в 1983 г. с динамикой атмосферы, его распределение по вертикали и связь с температурой. Результаты получены на основе материала сборников «Ozone Data for the World» за 1984 г.

Озон (трехатомный кислород O_3) атмосферы, примешанный к воздуху в очень малом количестве (в среднем около $4\cdot10^{-7}$ по объему), играет, однако, значительную роль. Он защищает биосферу от опасной для нее радиации Солнца с $\lambda=280$—320 нм. Кроме того, образующийся при распаде озона атомарный кислород взаимодействует с другими малыми газовыми составляющими воздуха и важен поэтому для баланса многих примесей атмосферы [1].

Вот почему привлекло всеобщий интерес открытие в 1980-е годы так называемой «озонной дыры» (ОД) — резкого убывания весной количества атмосферного озона над южной полярной областью. Общее содержание озона (ОСО) X убывало там в весенние месяцы (сентябрь—октябрь) на 40%, уменьшаясь временами, по данным спутниковых наблюдений, до 108 е. Д. (е. Д. — единица Добсона — соответствует 0,001 см слоя озона, приведенного к нормальным условиям давления и температуры) в поясе 70—80° ю. ш.

Для объяснения ОД был предложен ряд гипотез: об увеличении содержания хлора (и других активных веществ) в воздухе, об особых гетерогенных реакциях озона на частицах предполагаемых стратосферных облаков, об ослаблении общего, идущего в верхней стратосфере переноса озона из тропических широт в полярные и т. д.

По данным наблюдений в обсерваториях Северного полушария было обнаружено, что и в Северном полушарии весной 1983 г. возникала, хотя и более слабая, аномалия ОСО.

Объектом нашего исследования была аномалия количества O_3 в Северном полушарии в январе—апреле 1983 г. Мы попытались выявить 1) географические особенности аномалии и ее изменение со временем; 2) возможную связь убыли озона с динамикой атмосферы; 3) распределение убыли p_3 — парциального давления озона — по вертикали при аномалии. Мы использовали данные [2] за 1983 г. по 55 станциям Северного полушария (сведения о ежедневных значениях X и данные вертикальных зондирований p_3 и T в атмосфере), карты абсолютной топографии уровней от 500 до 10 мбар «Синоптического бюллетеня» [3] и таблицы индексов циркуляции [4] за 1983 г.

Под аномалией мы понимали длительное (более 10 дней) отклонение ОСО от нормы, превосходящее величину σ, учитывающую естественную изменчивость содержания озона и ошибку измерения прибора: $\sigma^2=\sigma^2_{\text{ест}}+\sigma^2_{\text{приб}}$ с мерой надежности 0,9.

Как показал проведенный нами анализ данных европейских и североамериканских обсерваторий, среднее месячное ОСО в январе—марте 1983 г. понижалось ниже нормы на 34—40 е. Д., а, например, в Орхусе (Дания) — на 54 е. Д., в Карибу (Канада) — на 50 е. Д. Аномалия была наибольшей в высоких широтах (50—70° с. ш.) как в I (европейском), так и в III (североамериканском) секторах Северного полушария, где среднее месячное ОСО уменьшалось на 7—13% от нормы. В I секторе аномалия X достигла в среднем —60 е. Д. (—17%) в 5-й пентаде января и —84 е. Д. (—22%) во 2-й пентаде марта, а в III секторе — соответственно —42 е. Д. (—12%) в 6-й пентаде января и —55 е. Д. (—14%) во 2-й пентаде марта. Ход изменений X, таким образом, был сходным в обоих секторах.

В умеренных широтах (30—50°) в целом убыль O_3 также наблюдалась, но была несколько меньше — в среднем 5—9%. Аномалия была отмечена и в Нью-Дели под 28° с. ш. — до —30 е. Д. (около —11%) в январе и —24 е. Д. (—8%) в марте.

При сопоставлении барического поля синоптических карт [3] с полем ОСО обнаружилась связь убыли озона с расположением струйных течений (СТ). К се-

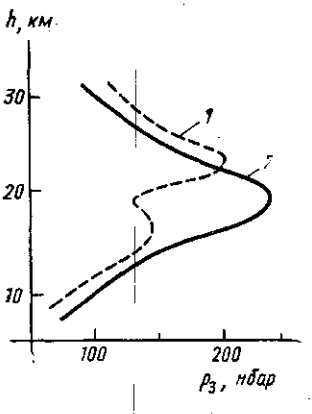
веру от оси СТ в холодной массе воздуха убыль озона, как правило, была значительнее, чем в теплой — к югу. Такое поведение ОСО отличалось от «обычного» в районах, где СТ вовлечены в длинные волны циркуляции атмосферы. Согласно [1], наблюденное в отдельные дни севернее от оси СТ содержание озона увеличивается по сравнению с нормой примерно на 20 е. Д., тогда как мы выявили там уменьшение ОСО в 1983 г. (до 90 е. Д. в. отдельные пентады). Как «нормальные» значения $\Delta X_н$, так и аномальные $\Delta X_а$ за 1983 г. указаны в таблице.

Средние отклонения ОСО (в е. Д.) от его средних многолетних значений в областях, прилегающих к зоне струйных течений: $X_н$— „нормальное" отклонение, $\Delta X_а$—наблюденное в 1983 г.

Сезон	Ложбина длинной волны						Гребень волны		
	к северу от оси СТ			к югу от оси СТ			к югу от оси СТ		
	$X_н$	$X_а$	n	$\Delta X_н$	$\Delta X_а$	n	$\Delta X_н$	$\Delta X_а$	n
Зима	+20	—27	124	—11	—22	71	—30	—35	261
Весна	+24	—23	72	+5	—38	62	—18	—26	96

К зиме отнесены январь и февраль, к весне—март; n—число наблюдений.

Нами была найдена также положительная связь сглаженных по пентадам временных рядов X и $J'=J_м/J_з$ (J' — отношение зонального $J_з$ и меридионального $J_м$ индексов циркуляции) на уровнях 100 и 30 мбар (~16 и ~24 км). Коэффициент корреляции R достигал +0,64 на обсерватории Брэкнелл (Великобритания) и +0,68 на обсерватории Эдмонтон (Канада) при использовании J' для уровня 30 мбар. Отметим, что, согласно [4], в рассматриваемый нами период наблюдалось значительное усиление зонального переноса в Северном полушарии.



Вертикальный профиль парциального давления озона p_3 на станции Черчилл (Канада) в апреле: данные за 1983 г. (*1*) и усредненные по многолетним измерениям (*2*)

При исследовании вертикальных профилей парциального давления O_3 и T (использованы результаты 133 зондирований) на обсерваториях Хоэнпейсенберг (ФРГ), Линденберг (ГДР), Резольют, Гус-Бей, Эдмонтон и Черчилл (Канада) выяснилось, что убыль p_3 была неравномерно распределена по высоте. Она была максимальна на уровнях 150—70 мбар (14—20 км), где достигала —55% от нормы. В ряде случаев наблюдался и небольшой рост p_3 выше уровня 30 мбар (24 км) — примерно на 20 нбар.

По внешнему виду профили p_3 часто (в 63% случаев) характеризовались «провалом» на уровне между 130 и 70 мбар и вторичным максимумом p_3 на больших высотах (рисунок).

Аномалию озона сопровождало повышение температуры на 2—3° на уровнях 300—200 мбар (9—12 км) и повсеместное ее понижение на 2—6° до уровня 10 мбар (31 км). Существовала положительная корреляция между p_3 и T на уровнях 50—10 мбар (например, $R=+0{,}50$ на обсерватории Черчилл на уровне 30 мбар и +0,69 на обсерватории Хоэнпейсенберг на той же высоте), причем изменения концентрации озона опережали изменения температуры.

По нашему мнению, в гибели озона повинно несколько факторов: 1) усиление зонального переноса воздуха могло препятствовать доступу богатого озоном воздуха тропических широт (где находится его основной источник) в высокие широты; 2) повышение концентрации аэрозоля атмосферы (вследствие ряда вулканических извержений в начале 80-х гг.) могло усилить гетерогенные химические реакции, разрушающие озон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Кузнецов Г. И., Хргиан А. Х. Проблема наблюдений и исследований атмосферного озона. М., 1981. С. 113—117. [2] Ozone Data for the World/Publ. by Atmospheric Environment Service, Downsview—Ontario. Canada, 1983. [3] Синоптический бюллетень. Ч. 1, январь—март 1983 г. Обнинск, 1984. [4] Индексы атмосферной циркуляции, январь—март 1983 г. М.: Гидрометцентр СССР, 1984.

Поступила в редакцию
16.01.89

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 6

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 621.315.592

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ ДЕФЕКТНОСТИ КРИСТАЛЛА GaAs НА ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННУЮ МОДИФИКАЦИЮ ЦЕНТРОВ РЕКОМБИНАЦИИ

И. С. Бегичев, П. К. Кашкаров, В. Ю. Тимошенко

(кафедра общей физики для химического факультета)

Исследовалось лазерно-индуцированное дефектообразование в монокристаллах GaAs, исходная дефектность которых варьировалась посредством имплантации ионов Ar^+. Показано, что в зависимости от дозы имплантации лазерное излучение вызывает либо генерацию, либо отжиг центров. Обсуждается возможный механизм явления.

1. Известно, что при импульсном лазерном облучении (ИЛО) с энергиями W меньше порога плавления поверхности $W_п$ генерация дефектов в полупроводниках происходит в узком приповерхностном слое кристалла [1, 2]. Протяженность слоя определяется глубиной области кристалла, разупорядоченной в процессе приготовления образцов (резка, полировка, травление). В связи с этим представляется интересным исследовать влияние исходной дефектности полупроводника на процессы образования центров рекомбинации при ИЛО. Ранее [3] такие эксперименты были выполнены на кристаллах GaAs, существенно различающихся по степени дефектности, которая определялась особенностями их роста. В настоящей работе первичная дефектность изменялась контролируемым образом за счет облучения поверхности GaAs ионами аргона.

2. Использовались поверхности (100) монокристаллов GaAs : Te ($n=10^{17}$ см$^{-3}$). Облучение выполнялось ионами Ar^+ с энергией 40 кэВ и дозами $D=10^{10}$—10^{14} ион/см^2 при ориентации пучка под углом 8° к оси ⟨100⟩ при 300 К. Дефектообразующее лазерное воздействие осуществлялось моноимпульсами рубинового ОКГ ($h\nu=1{,}8$ эВ, $\tau=20$ нс). Для гомогенизации светового луча применялся кварцевый диффузор. Момент плавления поверхности при ИЛО фиксировался по возникновению фазы высокого отражения [4]. Изменение дефектности образцов после ионного и лазерного облучения регистрировалось методом фотолюминесценции (ФЛ) с помощью автоматизированного промышленного спектрометра СДЛ-2. Для возбуждения ФЛ использовался аргоновый ($h\nu=2{,}54$ эВ) лазер. Все эксперименты по ИЛО и регистрации ФЛ выполнялись на воздухе при 300 К.

3. В спектре ФЛ исходных образцов GaAs, а также после их облучения ионными и лазерными лучами преобладала краевая люминесценция с максимумом при $h\nu=1{,}42$ эВ. Форма линии ФЛ при указанных воздействиях не изменялась, изменялась только ее интенсивность. Поэтому дефектность кристалла мы будем характеризовать величиной интенсивности ФЛ в максимуме этой линии I_m.

4. Имплантация ионов Ar^+ в GaAs, начиная с дозы 10^{10} ион/см^2, приводила к заметному гашению ФЛ, что, видимо, связано с генерацией центров безызлучательной рекомбинации [5]. С ростом концентрации последних симбатно растет и величина I_m^{-1}, что хорошо видно из рисунка (кривая *1*). Для $D=10^{14}$ ион/см^2 параметр I_m^{-1} увеличивается в 50 раз по сравнению с исходным значением. Отметим, что концент-