

сферы ниже максимума слоя F2 до начала суббури и в максимуме ее развития. Анализ результирующих данных позволил установить ряд основных закономерностей.

Ионосфера ведет себя как единое целое, т. е. высоты и электронные концентрации меняются на всем регионе одновременно. Характер этих изменений зависит от широты и, в меньшей степени, от долготы. Наибольшие амплитуды изменений параметров ионосферы наблюдаются в северной части региона, а наименьшие — в южной. До начала суббури ионосфера наклонена в северном направлении, а в максимуме суббури — в южном. Высоты получают положительное возмущение, а критические частоты — отрицательные. Аналитически возмущение можно представить в виде квадратичной зависимости:

$$Y(t) = Y_0(t) + \frac{4\Delta Y(t-t_0)}{T} \left(1 - \frac{t-t_0}{T}\right) \delta$$

Здесь  $Y(t)$  — параметр ионосферы;  $Y_0(t)$ ,  $\Delta Y$  — его спокойная часть и амплитуда возмущения, соответственно;  $t$ ,  $t_0$  — время текущее и начала суббури, соответственно;  $T$  — продолжительность суббури,  $\delta = 1$  при  $t - t_0 \leq T$ ,  $\delta = 0$  при  $t < t_0$  и  $t - t_0 > T$ .

Средние параметры суббури в трех точках с соответствующими номерами и координатами приведены в таблице, где  $\Delta h$  — амплитуда подъема слоя F, в км,  $\Delta f$  — амплитуда изменения критической частоты, в МГц,  $T$  — продолжительность суббури в часах,  $\varphi$  и  $\lambda$  — географические координаты.

	$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ E$	$T$	$\Delta h$	$\Delta f$
1	60,0	52,5	3,3	50	0,35
2	35,0	52,5	3,4	44	0,25
3	47,5	20,0	3,6	40	0,20

Полученные результаты можно использовать для построения системы краткосрочного ионосферного прогноза в ночных среднеширотных условиях во время суббури.

1. Гордеев О. К., Карманов П. И., Фаткуллин М. Н. Пространственно-временное развитие ионосферной суббури в ночной среднеширотной области F. — В кн.: Физика и структура экваториальной ионосферы. — М.: Наука, 1981, с. 155—175.

2. Карманов П. И. Объемная интерполяция параметров ионосферы. В сб.: Электродинамика и распространение волн. Томск: Изд. Томского госуниверситета, 1987, вып. 6, с. 283—286.

## ТЕХНОГЕННЫЕ ВКЛАДЫ В ПРОЦЕССЫ УБЫЛИ СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА

Наземными и орбитальными средствами регистрации количества озона в стратосфере выявлена сложная картина его убыли. Особенно серьезная обстановка создается в полярных областях планеты. Сорокапроцентная убыль озона над Антарктикой дополняется пятном гашения озона над Арктикой (2,8% в год) по дуге Шпицберген — Северная Европа — Ленинград. Имеющиеся рабочие гипотезы о причинах глобальной убыли озона и механизмах этой убыли не учитывают эффекта суммирования техногенных факторов и геолого-геофизической специфики районов гашения озона.

Предлагается рабочая гипотеза, в которой причины гашения озона представляются комплексом техногенных и природных факторов. Убыль озона рассматривается как сумма двух процессов: а) нарушение природных (геокосмических) условий генерации озона и б) увеличение интенсивности гашения озона в наиболее неравновесных полярных областях. Как ухудшение условий природной генерации, так и его гашение связывается с крупномасштабными технологиями в антропогенной деятельности.

Сам процесс убыли озона является гомеостазированным за счет непрерывной техногенной подкачки (вещественной и энергетической) стратосферы, ионосферы и магнитосферы (геокомоса). Снижение условий генерации обусловлено техногенной деформацией солнечно-земных взаимодействий. Примером такой деформации является нарушение недельных ходов геомагнитных колебаний  $P_1$  и  $P_2$ . Озоногенерация как тонкий процесс создания и поддержания физико-химического состояния стратосферы, является чувствительным процессом к слабым внешним воздействиям.

Локализация озоновых минимумов обязана специфике геолого-геофизических условий, куда входят все виды проработки верхнего полупространства вертикальным перетоком энергии: высокочастотные излучения (ледовые и тектонические подвижки), акустические проработки, сейсмические и микросейсмические воздействия, множество микро- и макропульсаций и др. Кроме того, полярные области, будучи частью влагорегулятор-

ных механизмов планеты, стягивают промышленные газовые и тонкодисперсные отходы, причем это стягивание сопровождается автообогащением техногенных веществ.

Характер развития процесса убыли озона в стратосфере Антарктики довольно сложен, и грубо его можно подразделить на две фазы: а) скрытая фаза существования убыли озона, во время которой готовящееся воспроизводство «озоновой дыры» неявно, но прогрессивно нарастает, и б) явная фаза существования «озоновой дыры» в октябре (количественные оценки — убыль на 40% озона по территории примерно 5 млн. км<sup>2</sup>).

Следует также отметить, что последние спутниковые регистрации свидетельствуют о том, что глобальное уменьшение озона нарастает во времени (доклад Д. Хита в конгресс США, 1987 г.).

По мере нарастания техногенного вклада в общий состав природных процессов над Антарктидой возрастает и отклик этой территории. Причем, он формируется в особо чувствительных и неравновесных районах к внешним воздействиям. Так, первая регистрация «озоновой дыры» над станцией Халли-Бей располагается в непосредственной близости от крупной рифтовой зоны, изобилующей сейсмическими и геодинамическими явлениями. Несмотря на сложность «озоновой дыры» в общей конфигурации на первых этапах ее обнаружения, ее пространственные особенности (в проекции на поверхность Земли) следуют районам с высокой тектоно-физической напряженностью. К 1987 году картина существенно упростилась — в сторону уменьшения концентрации озона и сглаживания градиентов. Наступающий период активного Солнца, в свою очередь, усложнит общую картину генерации и гашения озона. Нельзя сбрасывать со счетов и факт техногенной модификации солнечно-земных взаимосвязей. Нарушение естественного хода наземных механизмов отклика на вспышечную активность Солнца предвещает ряд неожиданных явлений геофизически активной Антарктиды. В свою очередь, по мере нарастания убыли озона, будет нарастать и общепланетарное функциональное значение этой убыли, как в направлении нарушения влагооборота, так и в генерации дополнительных термоградиентов. Кроме того, локализация дефицитных пятен приурочена к областям влияния мировых аномалий геомагнитного поля. Эти аномалии являются местами стока не только ионизированных частиц, но и атмосферного кислорода, что может

служить своеобразными озоновыми ловушками. Наличие полярных вихрей, температурных перепадов, избытка техногенных озоноразрушающих веществ дополняют общую картину прогрессирующей убыли озона.

М. А. Шустов

### СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОЗОНОДЕФИЦИТНЫХ СЛОЕВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Проблемы глобальной экологии, к которым, в частности, относятся вопросы сохранения озонового слоя планеты, особенно актуальны в условиях возрастающего влияния антропогенных факторов на атмосферные процессы.

Механизм генерации и распада озона традиционно описывают модельным интегральным циклом Чепмена, и, как правило, без учета влияния конкретных условий протекания его стадий. В то же время экспериментально наблюдаемые широтно-сезонные вариации количества озона в столбе (толщина озонового слоя (ТОЗ) не могут быть объяснены с учетом лишь спектральных факторов генерации — распада озона. В частности, нет ответа на вопрос, почему в экваториально-тропической области ТОЗ минимальна вне зависимости от сезона (<260 ед. Добсона); а максимумы и минимумы ТОЗ, наблюдаемые в полярных областях, приходится для северного полушария на март-апрель (до 440 ед.) и сентябрь—ноябрь (300 ед.), соответственно; для южного полушария — размытый минимум с января по сентябрь (менее 300 ед. и менее 280 ед. с мая по июль); и острый максимум (>380 ед.) в ноябре-декабре. Попытки объяснить перераспределение концентрации озона его меридиональной циркуляцией нельзя признать удачными, поскольку сезонные распределения максимумов и минимумов концентраций озона в северном и южном полушариях антисимметричны.

Для описания реальной динамики генерации — распада озона необходим учет следующих факторов: мгновенная концентрация озона ( $\dot{N}$ ) определяется совокупностью процессов фотогенерации озона ( $V_{\phi}$ ) из исходных реагентов; фотораспадом озона ( $V_{\phi r}$ ); распадом озона ( $V_r$ ) при взаимодействии его с