

В. В. КАТЮШИНА, Ю. А. РОМАНОВСКИЙ

УТРЕННЕ-ВЕЧЕРНЯЯ АСИММЕТРИЯ ТЕРМОСФЕРЫ
В ПЕРИОД ГЕОМАГНИТНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ

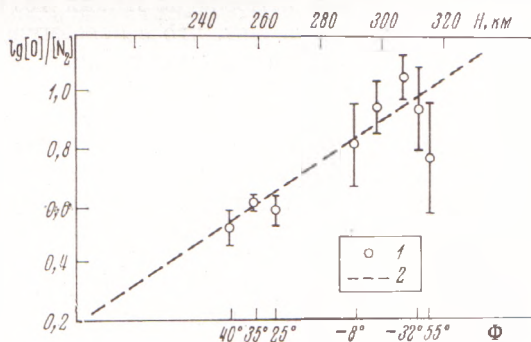
(Представлено академиком Е. К. Федоровым 22 X 1973)

Исследования верхней атмосферы, проведенные в последнее время, показали, что реакция нейтральной атмосферы на геомагнитное возмущение характеризуется увеличением температуры и плотности атмосферы (^{1, 2}), изменением ее состава (³), а также возникновением системы глобальной циркуляции атмосферы (⁴). Однако особенности вариаций указанных параметров атмосферы в периоды возмущений выявлены слабо, что объясняется прежде всего малым количеством экспериментальных данных о поведении атмосферы во время геомагнитной бури.

Ниже приводятся данные о некоторых особенностях вариаций состава и температуры термосферы на высотах 200–300 км, полученные при проведении масс-спектрометрического эксперимента на борту ИСЗ «Космос-274». Спутник был запущен 24 III 1969 г. на орбиту с параметрами: апогей 320 км, перигей 220 км, наклонение 65°. Измерения ионного и нейтрального состава атмосферы осуществлялись с помощью радиочастотного масс-спектрометра типа Беннета МХ 6407П (⁵) с ионным источником полузакрытого типа. В ходе эксперимента прибор был ориентирован по вектору скорости спутника.

В настоящей работе рассматриваются данные по вариациям нейтрального состава термосферы, полученные на четырех витках ИСЗ (16–19) в период с 7^h20^m по 15^h05^m UT 25 III 1969 г. во время геомагнитного возмущения ($K_p=4^+-5$), которое произошло в фазу восстановления сильной

Рис. 1. Зависимость величины отношения $[O]/[N_2]$ от высоты в невозмущенных условиях по экспериментальным данным, полученным на 22 витке (1) и по модели Яккия 1971 г. (2). Φ — геомагнитная широта



геомагнитной бури ($K_p=8$) 24 III 1969 г. (⁶). Для характеристики вариаций нейтрального состава атмосферы в невозмущенных условиях привлечены данные измерений, проведенных на 32 витке ИСЗ в период с 7^h20^m по 8^h24^m UT 26 III 1969 г., когда K_p -индекс не превышал 2⁻.

При анализе нейтрального состава масс-спектрометром были зарегистрированы атомный и молекулярный кислород и молекулярный азот термосферы. Пик O_2 на масс-спектрометрах значительно превышал пик O, что свидетельствовало о практически полной рекомбинации атомного кислорода внутри масс-спектрометра. Это обстоятельство позволило оценивать ва-

риации атомного кислорода в атмосфере по изменениям величины пика молекулярного кислорода при предположении, что степень рекомбинации атомного кислорода внутри прибора не менялась в течение эксперимента. Правильность такого предположения подтверждается данными рис. 1, где сравниваются зависимости величины отношения $[O]/[N_2]$ от высоты, по-

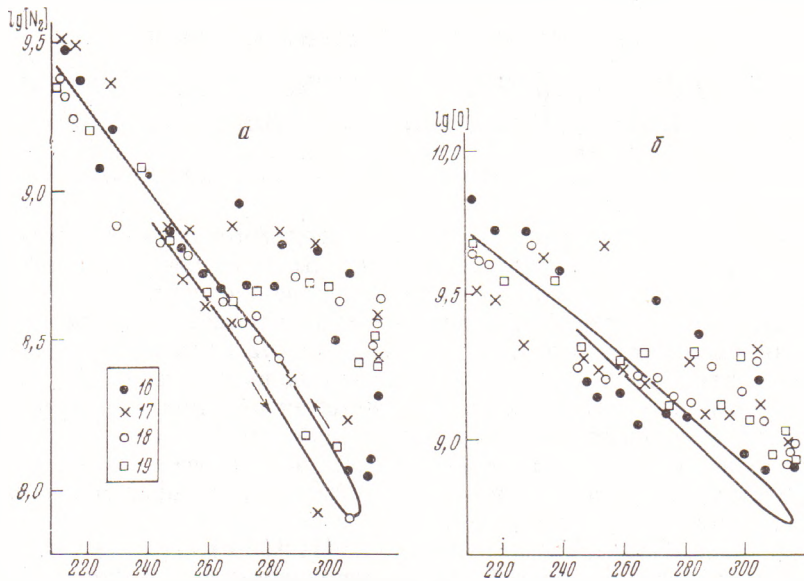


Рис. 2. Сопоставление с моделью Яккия 1971 г. данных по концентрациям $[N_2]$ и $[O]$, полученных на 16, 17, 18 и 19 витках в период геомагнитного возмущения. Стрелками указана последовательность получения данных вдоль орбиты спутника. Сплошными кривыми показаны значения $[N_2]$ и $[O_2]$, рассчитанные по модели Яккия

лученные на 32 витке ИСЗ в магнито-спокойных условиях и рассчитанные по модели нейтральной атмосферы Яккия 1971 г. (⁷). Сопоставление приведенных данных показывает, что в невозмущенных условиях наблюдается хорошее совпадение экспериментальных и модельных значений отношения $[O]/[N_2]$, за исключением субавроральной области, где экспериментальные значения этого отношения ниже модельных.

На рис. 2 приводится зависимость концентраций $[N_2]$ и $[O]$ от высоты по измерениям на 16–19 витках ИСЗ в период геомагнитного возмущения. Здесь же приводятся значения $[N_2]$ и $[O]$, рассчитанные по модели Яккия с учетом широты, местного времени, уровня солнечной и магнитной активности, соответствующих каждому отдельному измерению. Данные эксперимента нормированы к модели. Из рис. 2 следует, что модель Яккия в основном хорошо описывает вариации $[N_2]$ и $[O]$ в период возмущения, однако часть данных эксперимента существенно отклоняется от модельных значений. Для характеристики отклонения экспериментальных значений $[N_2]$ и $[O]$ от модельных на рис. 3 приведены зависимости величин

$$\delta [n] = \lg [n]_{\text{эксп}} - \lg [n]_{\text{мод}}$$

от геомагнитной широты Φ и местного геомагнитного времени LGT. Данные рис. 3 показывают, что вариации δ в северном и южном полушарии различны. Так, на широте $\Phi = 40^\circ \text{С}$ $\delta_{[N_2]} = 0$, в то время как на широте $\Phi = 40^\circ \text{Ю}$ ($\Phi = -40^\circ$) $\delta_{[N_2]} = 0,55$. Наибольшие значения δ соответствуют измерениям в утренние часы на южных субавроральных широтах.

Если не предполагать существенных изменений температуры и состава атмосферы на уровне турбопаузы, то, оценив температуру экзосферы T_∞ по модели Яккия (⁷), можно получить значения $T_\infty = 1000^\circ \text{K}$ в области, где $\delta = 0$. Максимальные значения δ соответствуют увеличению температуры на $\Delta T = 850^\circ \pm 150^\circ \text{K}$. В пределах точности эксперимента $\delta_{[O]}$ и $\delta_{[N_2]}$ дают одинаковые значения ΔT .

Различный темп изменения $[N_2]$ и $[O]$ с широтой в период возмущения приводит к тому, что на средних и субавроральных широтах в ночные и утренние часы отношение $[O]/[N_2]$ существенно изменяется: так, на широте $\Phi = 50^\circ \text{Ю}$ в $3^h - 5^h \text{LGT}$ оно уменьшается в 5–7 раз по сравнению с невозмущенными условиями.

Аналогичный эффект изменения состава и температуры термосферы наблюдается по данным измерений, проведенных в спокойных условиях на 32 витке. Однако в этом случае увеличение ΔT , определенное по $\delta_{[N_2]}$, составляет $400^\circ \pm 200^\circ \text{K}$ и область развития эффекта значительно меньше (рис. 1 и 3, 5).

Приведенные результаты показывают, что в ходе эксперимента наблюдалось значительное изменение температуры, плотности и состава термосферы, обусловленное влиянием геомагнитного возмущения. Максимальная амплитуда возмущения отмечается в утренние часы в южной субавроральной зоне, а минимальная — в вечерние часы в северной субавроральной зоне. Специфика спутниковых экспериментов не позволяет строго разделить зависимости от различных параметров, в данном случае от широты и местного времени. Следует отметить, что в период равноденствия проявление широтной асимметрии в реакции нейтральной атмосферы на геомагнитное возмущение является маловероятным. Более того, следует считать установленным сходство явлений, происходящих в геомагнитно-сопряженных областях (⁸).

В связи с этим можно предполагать, что обнаруженное в эксперименте явление значительного изменения состава, температуры и плотности термосферы в утренние часы является проявлением утренне-вечерней асимметрии реакции нейтральной атмосферы на геомагнитное возмущение, т. е. в субавроральных и среднеширотных областях степень возмущения термосферы в утренние часы значительно больше, чем в вечерние. Представляется возможным связать это явление с утренне-вечерней асимметрией высыпания авроральной и квазизахватенной радиации в период геомагнитной бури, а именно: преимущественным высыпанием геоактивных корпускул в утренние часы (⁸). Слабые высыпания частиц и в относительно спокойных условиях обуславливают существование утренне-вечерней асимметрии термосферы в невозмущенный период, хотя степень проявления ее в таком случае заметно меньше. Наличие значительного возмущения термосферы в поздние утренние часы показывает, что оно может быть вызвано не только мягкими электронами, но и электронами с $E = 10 - 40 \text{ кэВ}$, максимум высыпания которых приходится на поздние утренние часы.

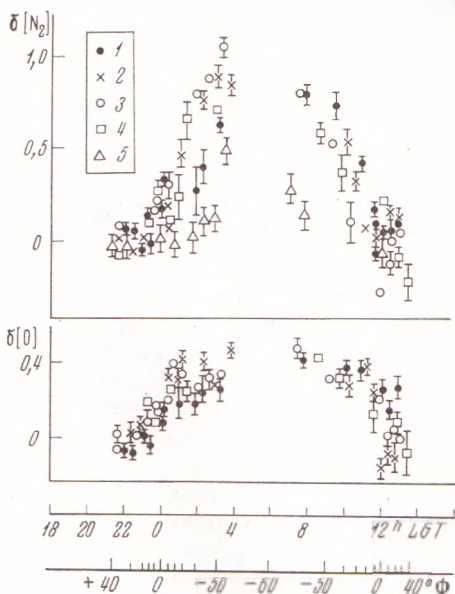


Рис. 3. Величины отклонения экспериментальных данных от модели Яккия в зависимости от геомагнитной широты Φ и местного геомагнитного времени LGT, полученные на 16 (1), 17 (2), 18 (3) и 19 (4), 32 (5) витках

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В. Г. Истомину за постановку эксперимента и обсуждение результатов, а также Д. И. Козлову за содействие в проведении эксперимента.

Институт прикладной геофизики
Москва

Поступило
4 X 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. E. Blamont, J. M. Luton, Space Res., v. 11 (1971). ² M. Roemer, Space Res., v. 11 (1971). ³ D. R. Tausch, G. R. Carignan, C. A. Reber, J. Geophys. Res., v. 76, № 34 (1971). ⁴ H. Volland, H. G. Mayr, J. Geophys. Res., v. 76, № 16 (1971). ⁵ A. E. Рафаэльсон, А. М. Шерешевский, Масс-спектрометрические приборы, М., 1968. ⁶ Solar-Geophysical Data, № 297 (1969). ⁷ L. G. Jacchia, Spec. Report Smithson, Astrophys. Observ., № 332 (1971). ⁸ С. М. Акасофу, Полярные и магнитосферные суббури, М., 1972.