



**Ракетное
зондирование
верхней
атмосферы
и ионосферы**

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ



*Ракетное
зондирование
верхней атмосферы
и ионосферы
до высоты 1500 км*

*Ответственный редактор
доктор физико-математических наук
К. И. Грингауз*

Ростов-на-Дону

Издательство Ростовского университета
1989

P19
УДК 551.510:550.380.8;629.79

*Печатается по решению отделения физики
и атомной энергетики Северо-Кавказского научного центра
высшей школы*

Рецензенты

доктор физико-математических наук М. Н. Изаков,
доктор физико-математических наук Е. Г. Фесенко,
кандидат физико-математических наук Н. В. Кривошеев

Редакционная коллегия:
К. И. Грингауз (отв. редактор),
П. Ф. Денисенко, В. Г. Истомин,
Н. Е. Шейдаков, Н. М. Шютте

Редактор *В. И. Литвиненко*

P $\frac{1704060000-060}{M175(03)-89}$ 24-89

ISBN 5-7507-0208-1

4. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1979.
5. Данилкин Н. П., Денисенко П. Ф., Суший С. М. и др.//Physica Solariterrestris. 1977. 4. 101—111.
6. Данилкин Н. П., Денисенко П. Ф., Соцкий В. В. Исследование точности оперативного контроля ионизации области D на основе данных радиозондирования//Ионосферные исследования, М., 1981. № 34.
7. Худсон Д. Статистика для физиков. 2-е изд., доп. М., 1970.
8. Васильев Г. В. Исследование погрешностей измерения параметров ионосферы методом вертикального зондирования и вопросы проектирования аппаратуры: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1970. 147 с.
9. Бишофф К., Грингауз К. И., Кляйн Г. и др.//Космические исследования. 1972. 10. 2. 228—238.
10. Thrane E. V., Piggot W. R.//J. Atmos. Terr. 1966. 28. 721—737.
11. Aggorwal K. M., Narinder N., Setty C. S. G. K.//Planet Sci. 1979. 27. 753—768.
12. Гусев В. Д., Данилкин Н. П., Денисенко П. Ф. и др.//Геомагнетизм и аэрномия. 1977. 17. 4. 645—648.
13. Данилкин Н. П., Денисенко П. Ф., Суший С. М. и др.//Геомагнетизм и аэрномия. 1976. 16. 5. 803—808.
14. Bigyukov A. V., Danilkin N. P., Denisenko P. F. et al.//Space Res. 1977. 18. 451—455.
15. Бирюков А. В., Данилкин Н. П., Денисенко П. Ф. и др.//Космические исследования. 1980. 18. 5. 748—753.
16. Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. 2-е изд., перераб. М., 1967.
17. Banks P.//Planet Space Sci. 1966. 14. 1085—1105.
18. Charukov S., Gdalevich G., Petrovova M. et al.//Paper 4. 3. 1. Presented at XIX COSPAR meeting. Philadelphia, USA. June 1976.
19. Гдалевич Г. Л., Чапкынов С. К., Банков Г. Л. и др.//Космические исследования. 1978. 3. 394—398.
20. Medin A. E., Salah J. E., Evans J. V. et al.//J. Geophys. Res. 1977. 82. 16. 2139—2147.
21. Hedin A. E., Refer C. A., Newton G. P. et al.//J. Geophys. Res. 1977. 82. 10. 2148—2156.
22. Часовитин Ю. К., Ключева Н. М., Миронова Л. С.//Геомагнетизм и аэрномия. 1982. 22. 4. 582.
23. Rawer K., Ramakrishnan S., Bilitza D.//International Reference Ionosphere. Brussels, 1978. P. 75.

УДК 551.510;550.380.8

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЛАЗМЫ И ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ТЕЧЕНИЕ 1970—1981 гг. ПРИ ЗАПУСКАХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАКЕТ СЕРИИ «ВЕРТИКАЛЬ»

**Г. Л. Гдалевич, В. Ф. Губский, В. Д. Озеров
(СССР)**

В СССР на протяжении более чем двух 11-летних периодов солнечной активности проводились исследования верхней атмосферы

и ионосферы при помощи геофизических ракет АН СССР. Эти исследования позволили получить богатый материал о процессах, происходящих в ионосферной плазме, что имеет существенное значение при создании различных теоретических, гибридных и эмпирических моделей ионосферы.

Первоначально запуски геофизических ракет проводились до высоты 500 км. На рис. 1 показаны высотные профили $n_e(h)$ и $T_e(h)$, полученные при запусках ракет 28.11.70, 20.08.71 и 02.09.75. Основные данные об этих ракетных пусках и соответствующей геофизи-

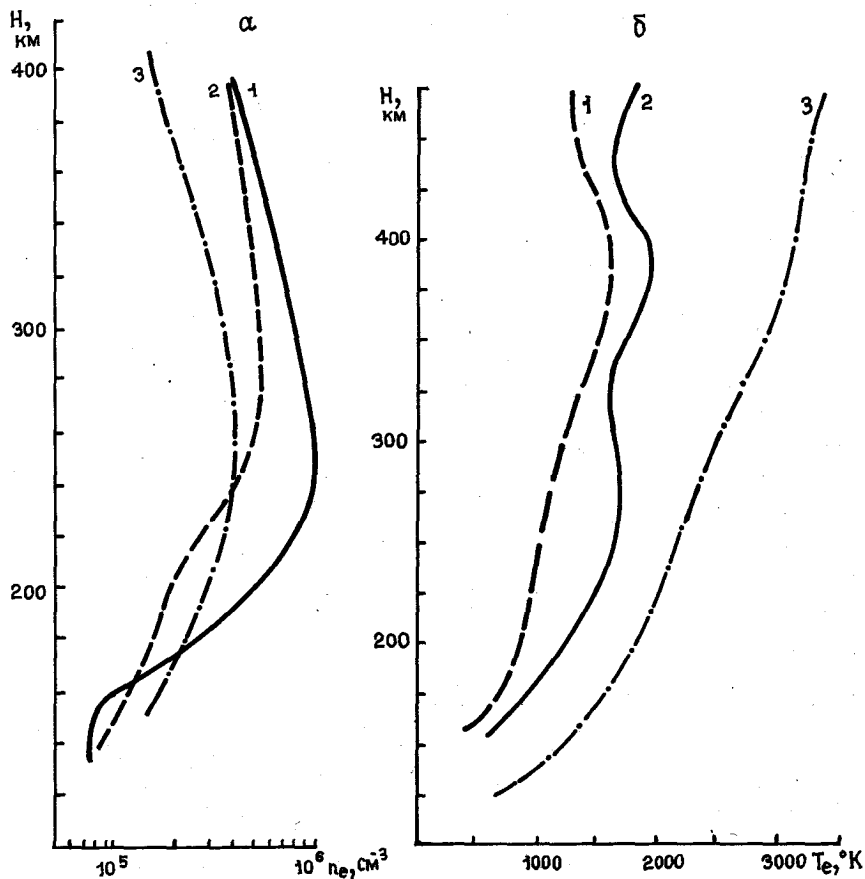


Рис. 1. Профили $n_e(h)$ до высоты 400 км (а) и $T_e(h)$ до высоты 460 км (б) по данным геофизических ракет серии «Вертикаль». Даты запусков: 1—28.11.70; 2—20.08.71; 3—02.09.75

ческой обстановке приведены в таблице. Все эксперименты осуществлялись на средних широтах европейской части СССР в одном геофизическом пункте. Траектории ракет были близки к вертикальным. В этих экспериментах для измерений концентрации электронов n_e и электронной температуры T_e использовались плоский зонд Ленгмюра, двух- и трехэлектродные электронные ловушки [1, 2], а также цилиндрический зонд Ленгмюра (ЦЗЛ). Концентрация положительных ионов регистрировалась сферической ловушкой (СФЛ). Плоский зонд Ленгмюра и электронные ловушки устанавливались непосредственно на корпусе ракеты; датчики ЦЗЛ, СФЛ — на отдельных штангах длиной 500 мм. В эксперименте 02.09.75 для измерений n_e и T_e использовались только цилиндрический зонд Ленгмюра и сферическая ловушка.

Значения гелиофизических параметров
во время запусков геофизических ракет «Вертикаль» № 4, 6, 7, 10 и ВЗА

№ пуска	Дата	T, ч, м	Зенитный угол Солнца, град.	F _{10.7}	K _p
1	28.11.70	08.10	82	148,9	2 ₋
2	20.08.71	06.00	78	141,0	0 ₊
3	02.09.75	07.40	67	86,0	3 ₀
4	14.10.76	13.30	66—71	73,0	1 ₀
5	25.10.77	15.25	76—81	88,1	0 ₀
6	03.11.78	14.45	66	161,6	2 ₊
7	21.12.81	21.15	142	146,0	2 ₀

Стабилизация ракеты в полете по трем осям обеспечивалась с помощью газовыделяющей системы с точностью 1—3°. Такая система стабилизации способствовала уменьшению концентрации заряженных частиц вблизи ракеты [2]. Это подтверждается тем, что величины n_e , по данным плоских зондов, примерно на 40% меньше величин n_e , измеренных дисперсионным интерферометром, применявшимся в этих же ракетных пусках для определения $n_e(h)$ [3]. Тем не менее полученные зондовыми и радиометодами высотные зависимости $n_e(h)$ имеют подобную форму. Поэтому зондовые значения n_e были нормированы к значению n_e в максимуме кривой $n_e(h)$, определенной дисперсионным интерферометром. Величины n_e , вычисленные по данным цилиндрического зонда, в пределах погрешности $\approx 10\%$ совпадали с данными дисперсионного интерферометра.

В эксперименте 02.09.75 датчики ЦЗЛ и СФЛ устанавливались на контейнере, который на высоте 100 км отделялся от ракеты при ее подъеме. Направление продольной оси контейнера стабилизировалось в пространстве. За время полета (750 с) контейнер сделал вокруг продольной оси 3,5 оборота.

Согласно данным рис. 1, в годы минимума солнечной активности (в 1975 г.) во внешней ионосфере T_e несколько выше, а p_e — меньше (в максимуме ионизации области F2 примерно на порядок), чем в годы максимальной солнечной активности (в 1970—1971 гг.). Следовательно, величины p_e существенным образом влияют на значения T_e .

Эксперименты на геофизических ракетах «Вертикаль» № 4, 6, 7, 10 являются развитием и продолжением ракетных комплексных исследований, проведенных ранее до высоты 500 км. В этих экспериментах осуществлялись масс-спектрометрические измерения ионного и нейтрального состава, регистрировались концентрация электронов радио- и зондовыми методами, температура электронов зондовыми методами, поглощение ультрафиолетового излучения. Проведение таких экспериментов в настоящее время особенно актуально по следующим причинам. В последние годы интенсивно развивается моделирование ионосферной плазмы и получение профилей $T_e(h)$ и данных о массовом составе ионов по распределениям $p_e(h)$ в предположении диффузно-равновесного распределения ионов [4,5]. Проведение комплексных экспериментов на ракетах, запускаемых почти вертикально, позволяет добывать наиболее точные данные об ионосферных и атмосферных параметрах и, таким образом, дает возможность проконтролировать создаваемые модели и методы получения профилей $T_e(h)$ и данных о массовом составе ионов.

В экспериментах на ракетах «Вертикаль» № 4, 6, 7, 10 научная аппаратура была установлена на отделяемом от ракеты контейнере. Ориентация контейнера относительно найденного направления на Солнце поддерживалась с точностью 1° . Таким образом, контейнеры были стабилизированы по трем осям в области высот 200—500 км при подъеме и при спуске — до высоты 70 км.

Среди других научных приборов на этих же ракетах для измерений концентрации и температуры электронов находился цилиндрический зонд Ленгмюра, концентрация положительных ионов регистрировалась трехэлектродной сферической ловушкой. Оба датчика были размещены на отдельных штангах на расстоянии 500 мм от оболочки контейнера. Штанга с зондом крепилась на теневой стороне контейнера, диаметрально противоположной направлению на Солнце, а штанга со сферической ловушкой — в перпендикулярном направлении на боковой стороне контейнера (по отношению к направлению на Солнце). Работа научных приборов происходила по циклограмме, чтобы исключить возможное взаимное влияние приборов из-за изменений потенциала контейнера при работе приборов. Период разверток пилообразных напряжений, подаваемых на цилиндрический зонд и сферическую ловушку, равнялся 1 с.

На рис. 2 показаны высотные профили $p_e(h)$ и $T_e(h)$, получен-

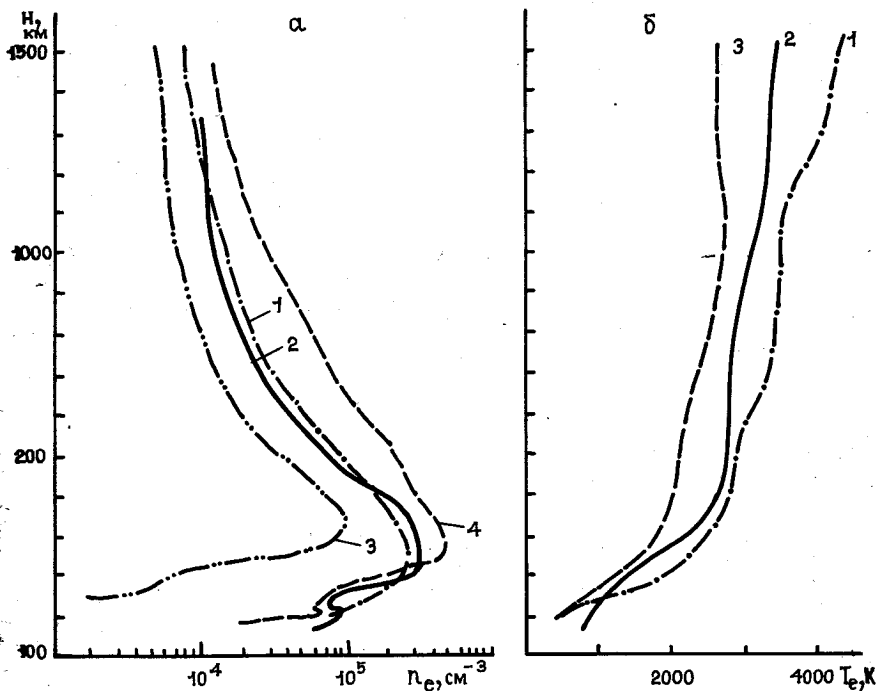


Рис. 2. Профили $p_e(h)$ и $T_e(h)$ до высоты 1500 км по данным геофизических ракет «Вертикаль»: 1—14.10.76; 2—25.10.77; 3—21.12.81; 4—03.11.78

ные во время экспериментов на геофизических ракетах «Вертикаль» № 4, 6, 7, 10 [6]. Основные данные об этих ракетных пусках приведены в таблице. Согласно этим данным, три эксперимента проведены в осенний период в послеполуденное время примерно при одинаковых зенитных расстояниях Солнца и в магнитно-спокойных условиях. Поскольку 1976 г. являлся годом минимума 11-летнего цикла солнечной активности, а 1977—1978 гг. были годами перехода к максимуму солнечной активности, то изменения профилей $p_e(h)$ и $T_e(h)$ от эксперимента к эксперименту, по всей видимости, являются отражением изменений 11-летнего цикла солнечной активности. Из рис. 1,а видно, что по мере нарастания солнечной активности концентрация в максимуме области F2 увеличивается и возрастает высота расположения максимума. Перегиб в высотных профилях $p_e(h)$ в области высот 700—800 км можно было бы интерпретировать как изменение массы основной компоненты ионов. Однако это не подтверждается видом вольт-амперных характеристик и данными масс-спектрометрических измерений. На основании эксперимента на ракете «Вертикаль-4» было высказано предположение о

том, что форма профиля $n_e(h)$ на высотах 700—800 км меняется из-за изменения скорости или направления потоков заряженных частиц между ионосферой и плазмосферой [6]. Позже оценки скорости потоков заряженных частиц по данным эксперимента на ракете «Вертикаль-6» показали, что на этих высотах действительно происходит изменение направления потоков заряженных частиц [7, 8], которое на этих высотах отмечалось и по данным некогерентного рассеяния [9]. Таким образом, приведенные на рис. 2,а профили $n_e(h)$ показывают, что использование диффузно-равновесных распределений n_e для получения данных о $T_e(h)$ и массовом составе ионов без учета направления и величины потока заряженных частиц, связывающего плазмосферу с областью F2 ионосферы, может быть неправомерным даже на средних широтах.

Данные рис. 2,б были использованы для получения аппроксимирующих уравнений высотного распределения температуры электронов [10].

Литература

1. Гдалевич Г. Л., Губский В. Ф., Дмитриева И. Д. // Космические исследования. 1967. 5. 3. 456—461.
2. Гдалевич Г. Л. // Некоторые результаты научных экспериментов на ракетах «Вертикаль-1, 2» и на спутнике «Интеркосмос-2 и 5»/АН ГДР. Берлин, 1974. 140—149.
3. Грингауз К. И., Гдалевич Г. Л., Рудаков В. А. и др. // Ионосферные исследования. 1972. 20. 43—47.
4. Titheridge J. E. // Planet. Space Sci. 1976. 24. 11. 2229—2245.
5. Titheridge J. E. // J. Geophys. Res. 1976. 81. 19. 3227—3233.
6. Гдалевич Г. Л., Чапкынов С. К., Банков Л. Г. и др. // Космические исследования. 1978. 16. 394—397.
7. Serafimov K., Chapkunov I., Kutiev I. et al. // Space Res. 1979. 19. 291—295.
8. Георгиева К., Иванова Т., Губский В. Ф. // См. настоящий сб. С. 110—114.
9. Evans J. V. // Planet. Space Sci. 1975. 23. 11. 1461—1482.
10. Серафимов К. Космические исследования в Болгарии. София, 1978.

УДК 551.590.21.523

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, КОНЦЕНТРАЦИИ И СОСТАВА НЕЙТРАЛЬНОЙ АТМОСФЕРЫ НА РАКЕТЕ «ВЕРТИКАЛЬ-7»

И. Апати, Т. Сэмрел (ВНР), Н. М. Шютте (СССР)

Комплекс научной аппаратуры на ракетах серии «Вертикаль» был составлен таким образом, чтобы обеспечить возможность одновременных исследований распределений по высоте интенсивно-