

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

#### Литература

1. Грингауз К. И., Рудаков В. А.//Искусственные спутники Земли. М., 1961. 6. 48—62.
2. Данилкин Н. П., Денисенко П. Ф., Соцкий В. В.//Ионосферные исследования. 1981. 34. 102—111.
3. Данилкин Н. П., Денисенко П. Ф., Суший С. М. и др.//Physica Solariterrestris. 1977. 4. 101—111.
4. Денисенко П. Ф., Соцкий В. В., Часовитин Ю. К. и др.//Распространение декаметровых радиоволн. М., 1980. 13—21.
5. Часовитин Ю. К., Шушкова В. В.//Геомagnetизм и астрономия. 1980. 20. 1. 25—28.
6. Rawer K., Ramakrishnan S., Bilitza D.//International reference Ionosphere IRI 79. Report UAG-82, WDC-A for STR. Boulder, USA. 1982.
7. Voss H. D., Smith L. G.//Geophys. Res. Letters. 6. 2. 93—96.

УДК 551.510; 550.380.8

### ВЫСОТНЫЕ ПРОФИЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОНОВ И ЕЕ ФЛУКТУАЦИЙ ДО ВЫСОТЫ 1500 КМ ПО ДАННЫМ РАКЕТЫ «ВЕРТИКАЛЬ-10»

В. В. Афонин, В. Г. Пядышев, В. И. Старцев (СССР)

На геофизической ракете «Вертикаль-10» для измерения температуры электронов  $T_e$  был установлен прибор ДЕЛЬТА, работающий на принципе высокочастотного зонда электронной температуры. В отличие от предыдущих экспериментов на ракетах типа «Вертикаль» в данном случае использовался не плоский, а сферический зонд ДЭТ-С диаметром 40 мм. Характерной особенностью прибора является: опросность (частота измерений) 10 раз в секунду, эффективное подавление вариаций потенциала корпуса до эквивалентных частот  $\sim 1$  Гц. Выходной сигнал имеет квазипостоянный характер и сглажен с постоянной времени  $\tau = 0,15$  с. Прибор нормально работал в течение всего полета, начиная с момента раскрытия штанг с датчиком и до высот менее 100 км на спуске, когда станция стала «кувыркаться».

1. **Описание данных.** На рис. 1 показаны усредненные по интервалам высот 10 км профили  $T_e(h)$  на подъеме и спуске станции. При подъеме «нормальный» профиль начинается с  $h = 240$  км. До этого с момента отделения станции на  $h = 160$  км и до  $h = 240$  км наблюдались сильные флуктуации  $T_e$  и сравнительно высокие значения  $T_e$ , вызванные, по-видимому, большими импульсными наводками по цепям питания или же облаком газа от ракеты-носителя. В целом профили очень хорошо совпадают между собой, что говорит о стабильности работы прибора и условий в ионосфере. На подъеме в диапазоне высот 600—1100 км наблюдаются вариации  $T_e$  с амплиту-

Температура  
 Ков В. А. // Искусственные спутники Земли.  
 Яценко П. Ф., Соцкий В. В. // Ионосферные  
 Яценко П. Ф., Суший С. М. и др. // Physica  
 Яценко В. В., Часовитин Ю. К. и др. // Распро-  
 М., 1980. 13—21.  
 Яценко В. В. // Геомагнетизм и аэрономия. 1980.  
 Яценко С., Bilitza D. // International reference  
 ICA for STR. Boulder, USA, 1982.  
 Geophys. Res. Letters. 6. 2. 93—96.

**ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОНОВ  
 ДО ВЫСОТЫ 1500 КМ  
 ЗОНДА «ВЕРТИКАЛЬ-10»**

Яценко В. И. Старцев (СССР)  
 «Вертикаль-10» для измерения темпе-  
 ратуры электронов. В приборе ДЕЛЬТА, работающий  
 на зонде электронной температуры. В  
 конструктивных элементах на ракетах типа «Вертикаль»  
 используется не плоский, а сферический зонд  
 характерной особенностью прибора явля-  
 ются частоты (частоты 10 раз в секунду, эффектив-  
 ный коэффициент усиления корпуса до эквивалентных ча-  
 стот имеет квазипостоянный характер и  
 $\tau = 0,15$  с. Прибор нормально работал  
 с момента раскрытия штанг с дат-  
 чиками на высоте 1500 км на спуске, когда станция стала  
 показаны усредненные по интерва-  
 лам на подъеме и спуске станции. При  
 измерении начинается с  $h = 240$  км. До этого  
 на высоте  $h = 160$  км и до  $h = 240$  км наблю-  
 дались сравнительно высокие значения  $T_e$ ,  
 обусловленные импульсными наводками по  
 каналу связи от ракеты-носителя. В целом  
 совпадают между собой, что говорит о ста-  
 бильности условий в ионосфере. На подъеме в  
 наблюдаются вариации  $T_e$  с амплиту-

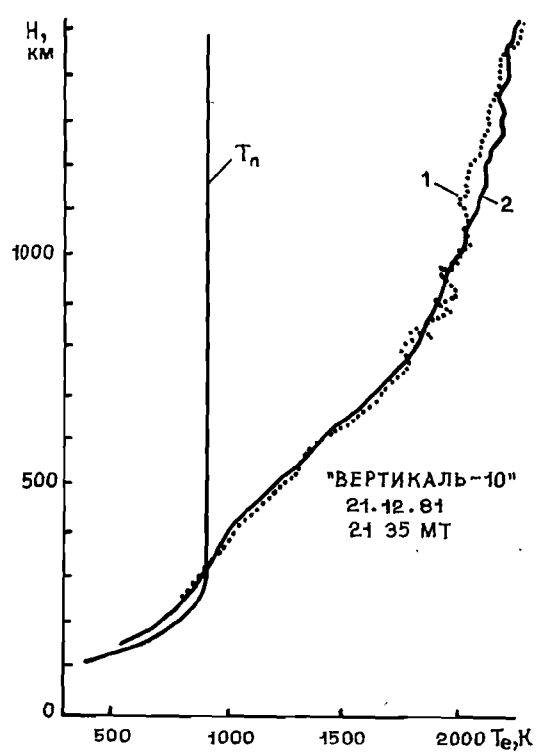


Рис. 1. Высотное распределе-  
 ние  $T_e$  на подъеме (1) и спуске  
 (2) зонда

дой до 150°K. На рис. 1 дан также профиль температуры нейтраль-  
 ных частиц, вычисленных по модели Кляйна. Во время пусков раке-  
 ты «Вертикаль-10» равенство  $T_e = T_n$  наблюдалось до 300 км с  
 максимальным отклонением  $\sim 50$  K.

Для исследования вариаций  $T_e$  был построен профиль их срав-  
 нений по высоте. На рис. 2 приведены граничные значения  $T_{max}$  и  
 $T_{min}$  на участках  $\Delta h = 10$  км для подъема и спуска соответственно.  
 Очевидно, что вариации  $T_e$  непостоянны по высоте. В нижней части  
 профиля на  $h < 640$  км и на  $h > 1100$  км во время подъема амплитуда  
 вариаций  $T_e$  составляет 5% от средней величины. Это соответ-  
 ствует  $T_e = T_{max} - T_{min} = 100$  K на  $h < 640$  км и  $\Delta T_e \approx 300$  K на  $h >$   
 $> 1100$  км. В диапазоне высот 640—1100 км наблюдаются повышен-  
 ные флуктуации  $T_e$ , размах которых достигает  $\sim 25\%$  от средней ве-  
 личины  $T_e$ . На рис. 2 слева приведена высотная зависимость разма-  
 ха этих флуктуаций в интервалах высот  $\Delta h = 10$  км. На высоте  
 640 км во время подъема начинается неожиданный и резкий рост  
 амплитуды флуктуаций. Можно выделить две области повышения  
 флуктуаций: 640—800 км и 820—1000 км.

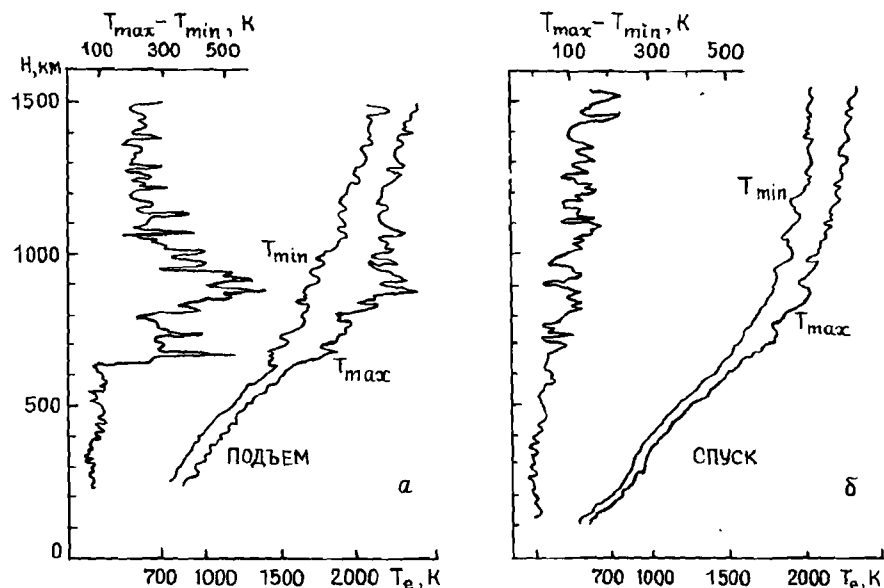
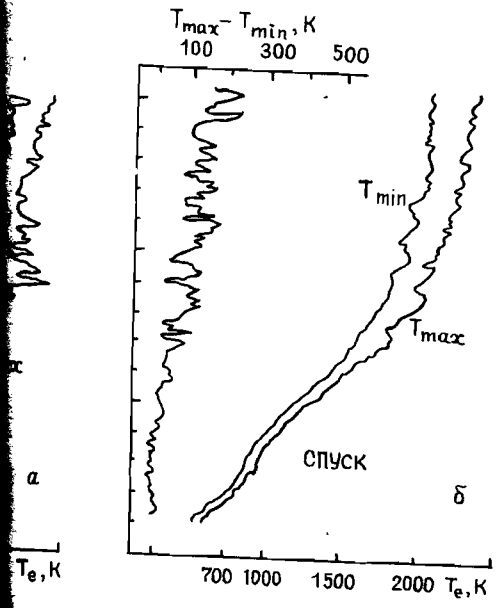


Рис. 2. Граничные значения  $T_{max}$  и  $T_{min}$  на участках  $\Delta h = 10$  км для подъема (а) и для спуска (б)

2. **Обсуждение результатов.** Особенностью высотных профилей  $T_e(h)$ , показанных на рис. 1, является очень хорошее совпадение на подъеме и спуске. Основной источник погрешностей измерения  $T_e$  методом ВЧ-зонда — отклонение функции распределения электронов по скоростям от максвелловской. Поскольку в ночное время на средних широтах таких отклонений не наблюдается, то при хорошем согласии измеренных значений  $T_e$  с модельными величинами  $T_e$  на  $h \lesssim 300$  км можно считать, что в приведенных результатах измерения  $T_e$  отсутствуют заметные погрешности и профили  $T_e(h)$  обладают высокой надежностью.

Высотные профили  $T_e(h)$  имеют типично ночное поведение, характерное для профилей, формирующихся под воздействием притока тепла сверху. Из полученных данных следует, что поток тепла сверху равен  $8,6 \cdot 10^8$  эВ  $\cdot$  см $^{-2} \cdot$  с $^{-1}$ .

Особый интерес представляют флуктуации  $T_e$ . Прежде чем их обсуждать, необходимо выяснить, насколько они являются реальными. Погрешность самого прибора составляет менее 10 и 30 К в нижней и верхней частях профиля соответственно. Наводки на датчик, например от передатчика, не могут вызвать таких флуктуаций, так как постоянная времени входной цепи датчика составляет 0,15 с и сама носит емкостной характер. Наводки на кабельную сеть от других систем станции вызывают следующие погрешности:



$T_{min}$  на участках  $\Delta h = 10$  км для подъема (а) и для

спуска (б). Особенностью высотных профилей является очень хорошее совпадение фактической и теоретической кривой. Основной источник погрешностей измерения — неточность функции распределения электронов. Поскольку в ночное время на высотах 550, 960 и 1480 км не наблюдается, то при хорошем совпадении фактической и теоретической кривой  $T_e$  с модельными величинами  $T_n$  на высотах 550, 960 и 1480 км в приведенных результатах измерения погрешности и профили  $T_e(h)$  обла-

даны. Они имеют типично ночное поведение, формирующихся под воздействием приливных данных следует, что поток тепла  $q \approx 10^{-1}$  Вт/см<sup>2</sup>. Флуктуации  $T_e$ . Прежде чем их анализировать, насколько они являются реальными, необходимо знать, насколько они являются реальными. Выбор составляет менее 10 и 30 К в зависимости от высоты соответственно. Наводки на датчик, не могут вызвать таких флуктуаций. Входная цепь датчика составляет 100 Ом. Наводки на кабельную линию вызывают следующие погрешности:

$T_e, K$ . . .	500	1000	1500	2000	2500
$T_e/\Delta U_{TM} K/мВ$	0,32	0,47	0,70	1,0	1,40

На рис. 3 приведены вариации  $T_e$  от времени полета на высотах 550, 960 и 1480 км (в), (г), (д) соответственно. Там же в верхней части приведены временные ходы телеметрических напряжений

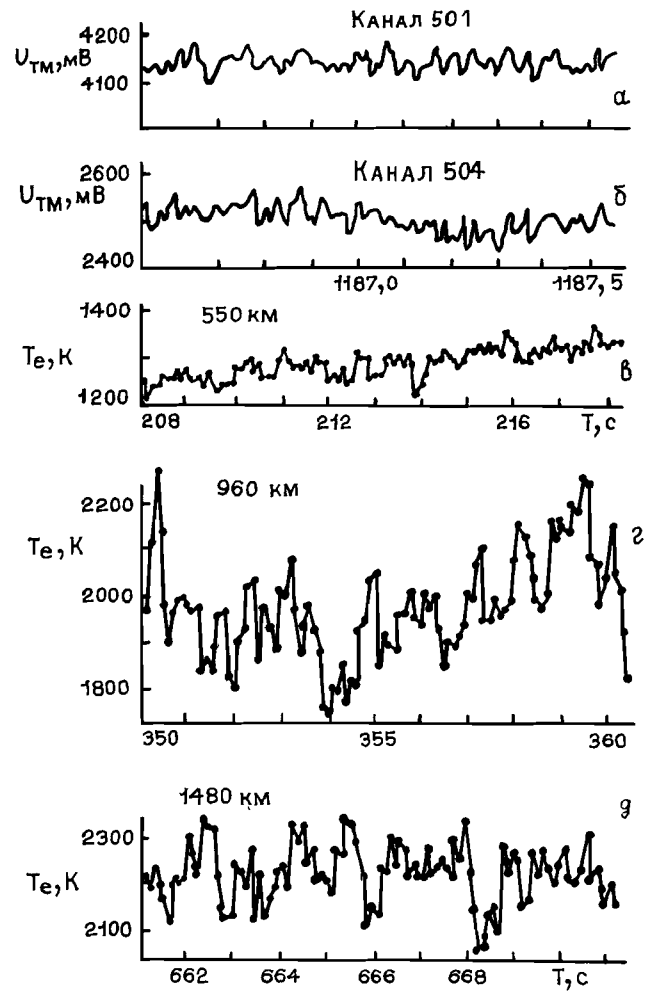


Рис. 3. Вариации телеметрического напряжения  $U_{TM}$  и температуры электронов  $T_e$ .

$U_{TM}$  (а) по каналу  $T_e$  (канал 501) и по каналу 504 (б), по которому передавалось постоянное контрольное напряжение. Видно, что на обоих каналах имеют место наводки одинакового характера с размахом  $\approx 100$  мВ. Такие наводки могут вызывать кажущиеся вариации  $T_e$  с размахом в верхней части траектории 100—140 К и 70 К на высотах менее 700 км. Поэтому показанные на рис. 3,в вариации могут быть вызваны влиянием наводок на кабельную сеть прибора, однако этим нельзя объяснить вариации  $T_e$  на рис. 3,г, размах которых достигает 300 К.

Таким образом, можно считать, что наблюдавшиеся на подъеме в диапазоне высот 640—1100 км вариации  $T_e$  являются реальными. Величина их достигает 20% от средней величины  $T_e$ , а характерные частоты — 1 Гц. На рис. 4 повторены профили  $T_e(h)$  и вычисленные теоретические профили в предположении постоянства величины потока тепла сверху. Видно, что на подъеме профиль укладывается на теоретический всюду, за исключением интервала 600—1100 км, причем границы этого отличия выделяются четко, особенно на  $h=1100$  км. Профиль спуска совпадает с теоретическим в верхней части и на  $h < 600$  км. Отсюда следует, что в обоих случаях в диапазоне высот  $> 600$  км происходит дополнительный нагрев электронов, приводящий к повышению  $T_e$  на  $\approx 200$  К. Механизм этого нагрева нестационарен: во время подъема он локализован на высоте 600—1100 км, а с течением времени область его действия расширяется вверх. Именно в этом диапазоне на подъеме наблюдаются квазиволнообразные флуктуации  $T_e$ , позволяющие предположить, что этот механизм включает взаимодействия типа волна—частица. Для выявления его природы требуются дополнительные исследования с привлечением данных других приборов. Возможно, что запуск ракеты сыграл роль триггерного механизма в сложном процессе ионосферно-магнитосферного взаимодействия; не исключено также, что этот процесс вызван локальным возмущением в ионосфере.

#### Заключение и выводы

1. Получены профили  $T_e(h)$  до высоты 1500 км с высокой надежностью для подъема и спуска ионосферной станции «Вертикаль-10».
2. Поток тепла из плазмосферы в ионосферу на широте пуска в 22ЛМТ составлял  $8,6 \cdot 10^8$  эВ·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>.
3. На восходящем участке траектории в диапазоне высот 640—1100 км наблюдались квазиволнообразные вариации  $T_e$  с размахом 20% и характерными частотами 1 Гц.
4. Форма профилей  $T_e(h)$  свидетельствует о наличии в диапазоне высот  $> 640$  км дополнительного нагрева электронного газа, приводящего к повышению  $T_e$  в среднем на  $\approx 200$  К.
5. Дополнительный нагрев и квазиволновой характер флуктуаций  $T_e$  позволяют предполагать наличие в плазме волнообразного процесса, природа которого неясна. Этот процесс имеет нестационарный

501) и по каналу 504 (б), по которому контрольное напряжение. Видно, что наводки одинакового характера с размахом могут вызывать кажущиеся вариации траектории 100—140 К и 70 К на высоте, показанные на рис. 3, в вариации могут быть связаны с воздействием на кабельную сеть прибора, однако вариации  $T_e$  на рис. 3, г, размах которых можно считать, что наблюдавшиеся на подъеме 1 км вариации  $T_e$  являются реальными. От средней величины  $T_e$ , а характерные вторые профили  $T_e(h)$  и вычисленные предположении постоянства величины погрешности на подъеме профиль укладывается с исключением интервала 600—1100 км, вариации выделяются четко, особенно на высоте, совпадает с теоретическим в верхней части. Следует, что в обоих случаях в диапазоне 600—1100 км дополнительный нагрев электронов, на  $\approx 200$  К. Механизм этого нагрева, видимо, он локализован на высоте 600—1100 км, область его действия расширяется с высотой. На подъеме наблюдаются квазипериодические колебания, позволяющие предположить, что этот процесс имеет тип волна—частица. Для выяснения этого требуются дополнительные исследования с помощью приборов. Возможно, что запуск ракетного механизма в сложном процессе ионосферного взаимодействия; не исключено также, что локальным возмущением в ионосфере.

до высоты 1500 км с высокой надежностью ионосферной станции «Вертикаль-10». Вариации в ионосферу на широте пуска в  $10^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Эти траектории в диапазоне высот имеют квазипериодические вариации  $T_e$  с размахом частотами 1 Гц. Это свидетельствует о наличии в диапазоне высот дополнительного нагрева электронного газа, при среднем на  $\approx 200$  К. Этот процесс имеет нестационарный квазипериодический характер флуктуаций температуры в плазме волнообразного процесса. Этот процесс имеет нестационарный

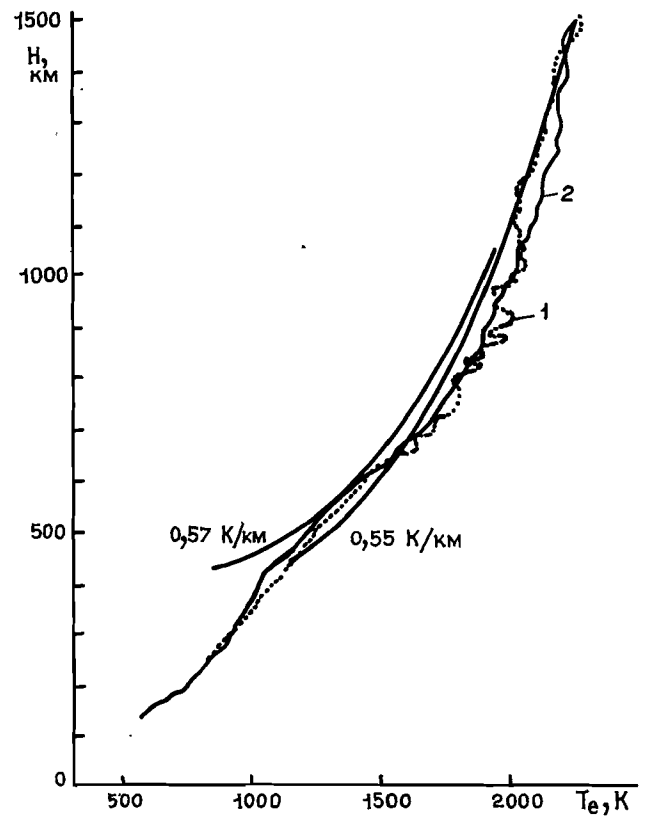


Рис. 4. Сравнение реальных профилей  $T_e(h)$  на подъеме (1) и спуске (2) с вычисленными теоретическими профилями

характер. В данном случае либо запуск ракеты послужил триггерным механизмом в более сложном процессе ионосферно-магнитосферного взаимодействия, либо этот процесс вызван локальным возмущением в ионосфере.