

ОДНОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗОНДА ЛЕНГМЮРА НА РАКЕТЕ «ВЕРТИКАЛЬ-10» И СПУТНИКЕ «ИНТЕРКОСМОС-БОЛГАРИЯ-1300»

К. Георгиева, Т. Иванова (НРБ), В. Ф. Губский (СССР)

Запуск ракеты «Вертикаль-10» во время пролета спутника «Интеркосмос-Болгария-1300» дал возможность сравнить результаты измерений параметров ионосферной плазмы. Это повышает достоверность измерений и расширяет возможность каждого эксперимента. Спутник «Интеркосмос-Болгария-1300» был выведен на орбиту 7 августа 1981 г. Параметры орбиты: наклонение— $81,2^\circ$, высота апогея — 906 км, высота перигея — 825 км, период обращения — 101,9 мин. Запуск ракеты «Вертикаль-10» состоялся 21 декабря 1981 г. в 21 ч 34 мин 46 с московского времени в средних широтах европейской части СССР по траектории, близкой к вертикальной. Научная аппаратура была установлена внутри отдельного гермоконтейнера, который отделился от ракеты-носителя на высоте 130 км. Контейнер с научной аппаратурой был стабилизирован по трем осям. Время запуска ракеты определялось, во-первых, тем, чтобы траектория космического аппарата (КА) «Вертикаль-10» проходила в условиях ночной неосвещенной ионосферы; во-вторых, тем, чтобы на нисходящем участке траектории на выходе пролета спутника получить наиболее возможное сближение с ним.

Аппаратура для измерений. На спутнике «Интеркосмос-Болгария-1300» и КА «Вертикаль-10» были установлены одинаковые приборы для измерений концентрации и температуры электронов методом цилиндрического зонда Ленгмюра. Оба прибора имели одинаковые усилители зондовых токов, генераторы разверток. В приборе на КА «Вертикаль-10» отсутствовала схема адаптивной регулировки диапазона развертки в зависимости от потенциала корпуса КА, так как в проведенных ранее экспериментах на ракете «Вертикаль» не отмечалось значительного изменения потенциала корпуса, что было подтверждено также результатами данного запуска. Одинаковыми были также оба цилиндрических зонда: они имели длину 120 мм и диаметр 2 мм. Со стороны установки зонда на штанге имелась охранная секция длиной 110 мм и диаметром 5 мм. Зонды и охранные секции были сделаны из нержавеющей стали и позолочены методом напыления. На спутнике зонд располагался на конце отдельной металлической штанги длиной 30 см, закрепленной на другой штанге на расстоянии 2 мм от оболочки спутника. При этом продольная ось зонда всегда была направлена вертикально вниз на

Землю и перпендикулярно вектору скорости. На КА «Вертикаль-10» зонд установлен на конце штанги длиной 50 см, располагавшейся на боковой поверхности КА. Продольная ось зонда во время подъема и спуска КА перпендикулярна вектору скорости и ориентирована горизонтально относительно поверхности Земли. Таким образом, зонды на обоих КА находились примерно под углом 90° друг к другу.

Период измерения каждой зондовой характеристики на обоих КА составлял 1 с. На спутнике измерения велись непрерывно, а на КА «Вертикаль-10» — циклически, при этом цикл измерений составлял 6 с, в течение которых 3 с измерялись зондовые характеристики и 3 с напряжение на зонде постоянно равнялось —3 В. Такая цикличность измерений для ряда зондовых приборов была сделана с целью устранения возможных взаимных помех.

Результаты измерений и обсуждение. С помощью КА «Вертикаль-10» определялись вертикальные распределения параметров ионосферной плазмы в диапазоне высот 100—1510 км. Продолжительность измерений составила примерно 1400 км. Результаты непосредственно передавались на Землю по телеметрическим каналам. Измерения на спутнике «Интеркосмос-Болгария-1300» проводились в течение 20 мин на участке орбиты Северного полушария. При этом показания научных приборов записывались на бортовой магнитофон и затем, после окончания сеанса запоминания, передавались на Землю.

Зондовые характеристики, измеренные на КА «Вертикаль-10», имели вид, типичный для характеристик цилиндрического зонда. На общее изменение тока за период развертки были наложены нерегулярные мелкомасштабные колебания с амплитудой до $\sim 0,4$ В и квазичастотой, сравнимой с частотой опросов телеметрического канала 100 Гц. Во время полета ракеты амплитуда этих мелкомасштабных изменений была наибольшей на участке подъема и постепенно убывала во время спуска ракеты. Такие флуктуации токов можно было бы объяснить либо наличием мелкомасштабных неоднородностей в окружающей среде, либо помехами со стороны бортовой аппаратуры.

Зондовые характеристики, измеренные на КА «Интеркосмос-Болгария-1300», меняли свой вид при движении КА вдоль орбиты от низких широт к высоким. Так, если в экваториальной области они имели вид, типичный для показателей цилиндрического зонда, то вблизи среднеширотного провала на участках ускорения электронных токов отмечалось немонотонное изменение токов. Выше потенциала плазмы, отмеченного на зондовых характеристиках, наблюдалось слабое увеличение или даже уменьшение электронного тока при повышении напряжения на зонде. При дальнейшем росте напряжения на зонде характер изменения зондового тока возвращался к типовому. Наиболее значительными такие нарушения наблюдались

при наименьшей концентрации в среднеширотном провале. На зондовых характеристиках, полученных на КА «Интеркосмос-Болгария-1300», на всем участке орбиты не обнаружено мелкомасштабных нерегулярных изменений, подобных наблюдавшимся на КА «Вертикаль-10». В этом отношении зондовые характеристики были чистыми, без помех.

Обработка результатов измерений с обоих КА проводилась в ИКИ АН СССР по одинаковой методике. Концентрация электронов вычислялась по участку ускорения электронов с использованием характерной зависимости для цилиндрического зонда. При использовании такой методики нет необходимости знать величину потенциала плазмы, температуру электронов; дрейф нуля усилителя токов также не влияет на результат измерения концентрации. Ввиду отмеченных выше особенностей зондовых характеристик, регистрируемых на спутнике, концентрацию электронов в этом случае находили также методом определения тока при потенциале плазмы. Представленные ниже результаты измерений концентрации электронов на спутнике получены таким способом. Температура электронов вычислялась по характеру изменения токов на участке торможения. Наличие линейного участка в полулогарифмическом масштабе является доказательством имеющегося максвелловского распределения электронов по скоростям. Из-за указанных выше помех, имеющих на зондовых характеристиках КА «Вертикаль-10», вычисление температуры электронов было затруднено; при обработке необходимо было производить сглаживание токовых величин.

Распределение концентрации электронов $n_e(h)$ по высоте (рис. 1,а) характеризуется наличием неоднородностей концентрации, что особенно заметно на восходящем участке траектории, на высотах более 700 км. В отличие от дневных запусков аппаратов «Вертикаль», в данном эксперименте отмечается большее различие вертикальных профилей $n_e(h)$, измеренных во время подъема и спуска КА, что особенно заметно на высотах ниже максимума F2 слоя. Исходя из характера изменения $n_e(h)$ профиля, можно сделать вывод о том, что переход основной массы от O^+ к ионам H^+ происходит на высоте ~ 750 км.

Распределения электронной температуры по высоте, измеренные во время подъема и спуска КА «Вертикаль-10» (рис. 1,б), также характеризуются однородным изменением на высотах выше 600 км. На рис. 1,а, б показано, что вертикальные профили $n_e(h)$ и $T_e(h)$ во время подъема и спуска КА различаются на высотах 600—1300 км. Такие данные, полученные за относительно короткое время (порядка нескольких минут), указывают на наличие быстрого изменения характеристик ионосферной плазмы в указанной области высот.

На рис. 2 представлены распределения концентрации электронов и температуры электронов T_e , измеренные на спутнике в период

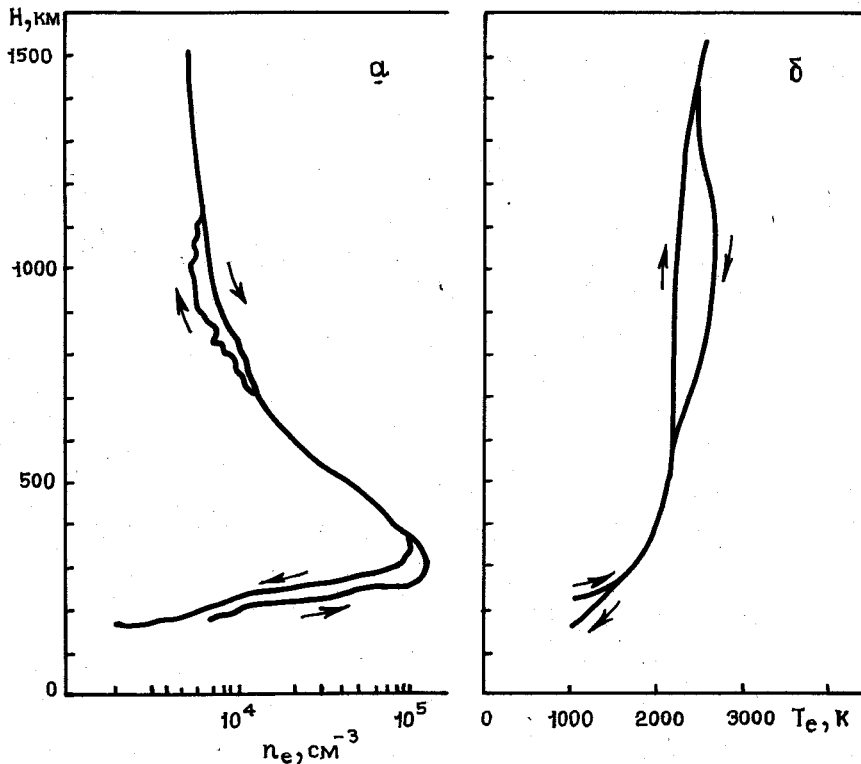


Рис. 1. Распределение концентрации (а) и температуры (б) электронов по высоте, измеренное на ракете «Вертикаль-10» 21.12.81 методом цилиндрического зонда Ленгмюра

его одновременного пролета в зоне пуска ракеты. На участке спуска КА «Вертикаль-10» в 21 ч 54 мин 34 с было отмечено наибольшее сближение со спутником «Интеркосмос-Болгария-1300», которое составило 54 км. На момент наибольшего сближения измеренные величины концентрации и температуры электронов составили: на спутнике $n_e = 1,0 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$, $T_e = 3000 \text{ К}$; на КА «Вертикаль-10» $n_e = 0,87 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$, $T_e = 2750 \text{ К}$. Как уже упоминалось, в измеренных в это время на спутнике величинах n_e и T_e не отмечалось неоднородностей такого масштаба, как на КА «Вертикаль-10». Различие в результатах измерений на обоих КА незначительно превышает экспериментальные ошибки. Можно отметить, что величины n_e и T_e , замеренные на спутнике, не более чем на 10% выше соответствующих данных КА «Вертикаль-10». Возможно, что это различие происходит из-за разных траекторий КА в результате указанного выше быстрого

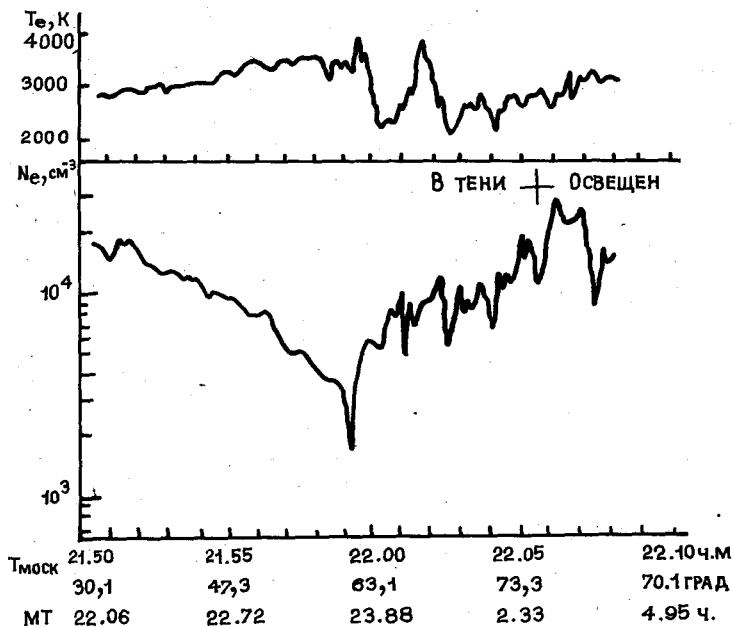


Рис. 2. Распределение концентрации электронов $N_e(h)$ и температуры электронов T_e , измеренное на спутнике «Интеркосмос-Болгария-1300» 21.12.81

изменения характеристик ионосферной плазмы в области высот пролета спутника. Не исключено также в некоторой степени влияние различной ориентации зондов.

Различие распределений концентрации электронов $n_e(h)$ на высотах максимума F2 слоя и ниже может быть объяснено естественным снижением концентрации, происходящим в ночной ионосфере за время полета КА «Вертикаль-10». Но также это уменьшение может быть вызвано воздействием на ионосферную плазму продуктов сгорания ракеты-носителя [1]. В ночной ионосфере такое воздействие должно быть более сильным, так как отсутствует мощный дневной источник ионизации. При таком предположении более достоверными для этих высот при вертикальном ракетном зондировании следует считать профили, получаемые на восходящих участках траектории.

Литература

1. Карпов В. Д., Козлов С. Н., Ткачев Г. Н. // Космические исследования. 1980. 18. 2. 266—277.