

1983

## Локальная концентрация ионосферной плазмы по данным различных методов на спутнике „Интеркосмос-19“

*Г. Л. Гдалевич, В. Д. Озеров, В. Ф. Губский, В. В. Афонин*

*Институт космических исследований — АН СССР*

*С. К. Чапкънов, Т. Н. Иванова, М. Х. Петрунова, Ц. П. Дачев*

*Центральная лаборатория для космических исследований — БАН*

*Я. Шмилауэр, К. Кубат*

*Геофизический институт — ЧАН*

*Г. В. Васильев, Л. П. Гончаров, М. Д. Флигель,  
Ю. В. Кушнеревский, Ю. Н. Шаулин, А. Т. Карпачев*

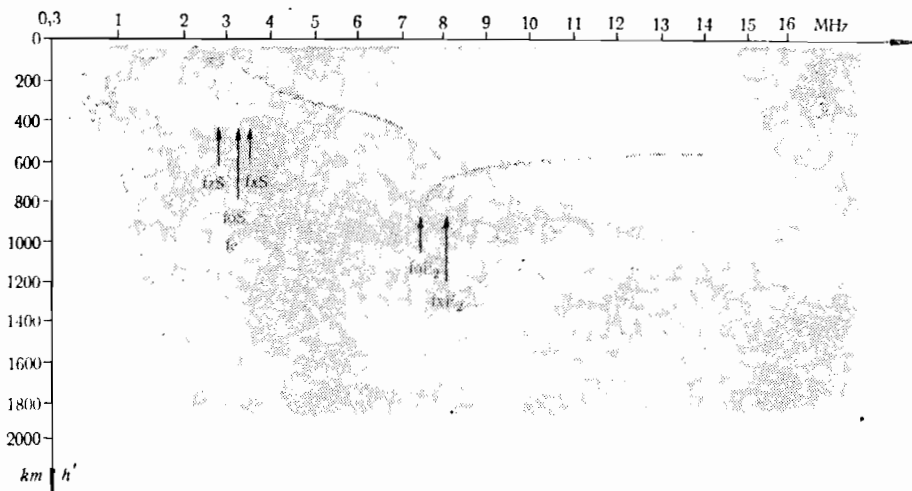
*ИЗМИРАН СССР*

Концентрация ионосферной плазмы является важнейшим параметром среды, определяющим поведение плазмы и влияющим на распространение радиоволн. На спутнике „Интеркосмос-19“ [1] для измерения концентрации заряженных частиц в ионосферной плазме были установлены ионосферная станция ИС-338 [2], две сферические ионные ловушки, зонд Ленгмюра (прибор П-4) [3] и прибор КМ-3 [4], позволяющий помимо своего основного значения — измерения температуры электронов методом высокочастотного зонда — определять концентрацию электронов в режиме измерения распределения их по скоростям (РС). В настоящем сообщении кратко описываются методы измерений, приводятся и анализируются данные о локальной концентрации ионосферной плазмы, полученные этими методами на нескольких орбитах ИСЗ „Интеркосмос-19“.

### 1. Методика измерений

ИС-338 работает на 338 фиксированных частотах в диапазоне 0,3 — 15,96 МГц. Длительность сеанса зондирования составляет 6 сек. Рабочие частоты переключаются автоматически через 25 kHz в диапазоне от 0,3 до 1,5 МГц и

через 50 kHz — от 1,5 до 15,95 МГц. На каждой частоте излучается один импульс длительностью 133 мкс. Частота повторения импульсов — 58,5 Hz. Мощность излучения, подводимая к антеннам, равна 140 ÷ 200 W. Излучение и прием отраженных от ионосферы сигналов производится при помощи одной



ис. 1

и той же антенной системы, которая состоит из двух взаимно перпендикулярных дипольных антенн („диполей“), расположенных в плоскости, параллельной земной поверхности, и под углом  $45^\circ$  к проекции на эту плоскость вектора скорости, причем больший диполь расположен под углом  $+45^\circ$ , меньший —  $-45^\circ$ . Большой диполь длиной 50 м (длина одного плеча — 25 м) обеспечивает работу ионосферной станции в диапазоне примерно от 0,3 до 5,0 МГц, малый диполь длиной 15 м (длина плеча — 7,5 м) — в диапазоне от 5,0 до 15,95 МГц. Переключение выхода передатчика и входа приемника на первую и вторую антенны производится при помощи фильтров. Регистрация ионограмм с выхода ИС-338 осуществляется в цифровом виде с помощью штатной телеметрической системы (ШТС) [5], имеющей бортовое запоминающее устройство, и аналоговой телеметрической системы (ЕТМС-А) [6, 7], работающей в режиме непосредственной передачи информации на Землю.

На рис. 1 показана ионограмма\*, полученная с помощью ШТС. Из-за ограниченного объема памяти этой телеметрии на каждой частоте регистрируется не более трех сигналов — отражений. Плазменные резонансы, как правило, не регистрируются. Отметим также, что при наличии  $F$ -рассеяния средней интенсивности из-за ограничения количества регистрируемых высот след теряет форму, и интерпретация ионограмм усложняется, а при сильном  $F$ -рассеянии становится невозможной. На рис. 2 представлена ионограмма\*\*, полученная через ЕТМС-А. В этом случае ионограмма регистрируется в

\* 7 март 1979;  $UT=13^h23^m18^s$ ;  $LT=-3,5^h$ ;  $LAT=2,5^\circ N$ ;  $LONG=141,5^\circ W$   $ALT=511$  km,  $f_H=0,714$  MNz.

\*\* 10 апрель 1979;  $UT=16^h33^m06^s$ ;  $LT=19,18^h$ ;  $LAT=62,7^\circ N$ ;  $LONG=41,17^\circ E$   $ALT=554$  km,  $f_H=1,175$  MNz.

полном объеме, и ограничений, отмеченных выше, нет. На обеих фигурах стрелками отмечены характерные частоты. Локальная электронная плазменная частота  $f_e$  определяется либо непосредственно с ионограмм, либо по частотам отсечек обыкновенной ( $f_oS$ ), необыкновенной ( $f_xS$ ) и Z-й ( $f_zS$ )

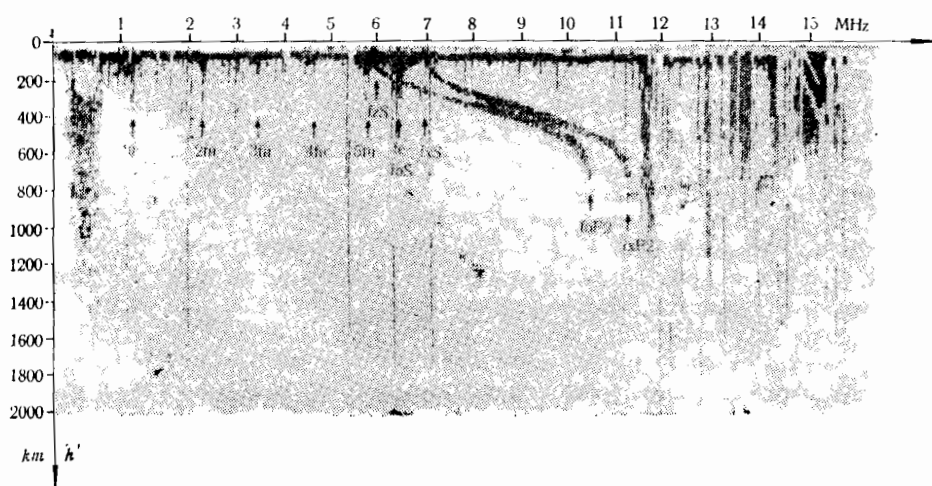


Рис. 2

компонент. Известно, что  $f_e = f_oS = \sqrt{f_xS(f_xS - f_h)} = \sqrt{f_zS(f_zS + f_h)}$ , где  $f_h$  — гирочастота, которая определяется из ионограммы или расчетным путем. Электронная концентрация связана с частотой формулой  $n_e = 1,24 f_e^2 \cdot 10^4$  (здесь  $f_e$  в MHz). Соответственно точность определения электронной концентрации через частоту связана соотношением  $|\Delta n_e| = 1,24 \cdot 10^4 \cdot 2 f_e \Delta f_e$  и  $\left| \frac{\Delta n_e}{n_e} \right| = \frac{2 \cdot \Delta f_e}{f_e}$ . Точность снятия каких-либо величин с графика в линейном масштабе равна половине цены деления. В нашем случае при четко выделяемом следе на ионограмме или его крае в диапазоне 0,3—1,5 MHz  $|\Delta f_e| = 0,0125$  MHz, а в интервале 1,5—15,95 MHz  $|\Delta f_e| = 0,025$  MHz.

Для получения цифровых ионограмм на борту „Ионозонд-ИК“ и записи их в память штатной телеметрической системы в составе спутниковой системы ИС-338 имеется кодирующее устройство КУ [5], преобразующее аналоговую информацию в цифровую. Метод преобразования следующий. В момент начала зондирующего импульса передатчика ионозонда запускается счетчик высотомера, который отсчитывает количество импульсов тактовой частоты 15 kHz (соответствующий период равен удвоенному времени распространения радиоволны на расстояние 10 km), называемых метками высоты. Число импульсов, отсчитанных до момента превышения некоторого уровня передним фронтом отраженного сигнала, и поступающих с выхода приемника ионозонда преобразуется в 8-разрядный двоичный код. Полученное число передается в блок промежуточной памяти БПП, входящий в состав системы ИС-338, а счетчик продолжает счет дальше до появления 2-го и 3-го чисел, которые также передаются в БПП. Если за период работы ИС-338 на одной фиксированной частоте будет зарегистрировано меньше 3-х отражений (или шумовых импульсов), то остальные числа будут фиксированными, соответствующими максимальной дальности 2000 km. На про-

тяжении сеанса работы ИС-338 на 338 фиксированных частотах будет записано 1014 двоичных 8-ми разрядных числа, по 3 на каждой частоте. По окончании сеанса эти числа переписываются в память штатной телеметрической системы. Ограниченная емкость памяти ШТС вынуждает принять ряд мер для уменьшения возможности „засорения“ ее числами, относящимися не к отраженным от ионосферы полезным сигналам, а к различным помеховым сигналам. В число помех входят сигналы, вызванные переходными процессами в приемнике во время и после воздействия мощного импульса собственного передатчика. Для устранения выдачи в БПП и ШТС чисел, относящихся к этому виду помех, выход приемника принудительно запирается на время  $533 \mu\text{s}$ , соответствующее дальности от 0 до 80 км. В это время входят длительность самого зондирующего импульса передатчика  $133 \mu\text{s}$ , время восстановления чувствительности приемника после окончания импульса передатчика  $\sim 200\text{—}300 \mu\text{s}$  и некоторый запас  $\sim 100\text{—}200 \mu\text{s}$ . Вследствие этого в действительности в БПП и ШТС регистрируются дальности до отражающих областей, начиная не от нуля, а от 80 км, и кончая 2000 км, т. е. все следы на ионограммах обрезаются на отметке 80 км.

В комплект аппаратуры для зондовых измерений параметров ионосферной плазмы входят: цилиндрический зонд, две сферические 3-х электродные ловушки, а также блок электроники П-4, обеспечивающий работу зонда и ловушек [3].

Цилиндрический зонд предназначен для измерений концентрации и температуры электронов, а сферические ловушки — для измерений концентрации положительных ионов.

Зондовыми методами измеряются параметры ионосферной плазмы непосредственно вблизи места расположения зонда. Поэтому для надежных измерений параметров окружающей среды, на которые бы не влияли элементы конструкции спутника, важным является выбор места установки датчиков. Цилиндрический зонд длиной 120 мм и диаметром 1 мм, имеющий охранную секцию длиной также 120 мм, укреплен на конце отдельной металлической штанги длиной  $\sim 500$  мм. Штанга установлена в нижней части оболочки спутника под углом  $30^\circ$  к его вертикальной оси. Продольная ось цилиндрического диполя перпендикулярна вектору скорости. Сферические ионные ловушки диаметром 60 мм установлены на концах отдельных металлических штанг. Штанги расположены диаметрально противоположно, под углом  $90^\circ$  к вертикальной оси спутника и повернуты таким образом, что штанги 1-й и 2-й ловушек составляют углы с вектором скорости спутника, равные, соответственно,  $\sim 45^\circ$  и  $\sim 135^\circ$ . Токи заряженных частиц собираемых цилиндрическим зондом, измеряются отдельным усилителем входящим в состав блока электроники. Сферические ловушки работают попеременно через 4 с, и токи положительных ионов, собираемые ловушками, измеряются одним общим для них усилителем.

С помощью цилиндрического зонда непосредственно изменяются зондовые характеристики (зависимость токов в цепи зонда от величины напряжения, подаваемого на зонд), которые передаются на Землю по ТМ каналам. Каждое значение электронной концентрации  $n_e$  и температуры  $T$  вычисляется путем математической обработки отдельной зондовой характеристики. Период измерения зондовых характеристик составляет 0,5 с в режиме непосредственной передачи и 2 с — в режимах запоминания.

Участок вольт-амперной характеристики цилиндрического зонда Ленгмюра, соответствующий ускорению электронов, позволяет определить концентрацию электронов при

$$\frac{eU}{kT} \gg 1,$$

$$n_e = \frac{\pi}{A_3 e} \cdot \sqrt{\frac{m_e}{e}} \cdot \sqrt{\frac{dj_e^2}{dU}},$$

где  $K$  — постоянная Больцмана,

$A_3$  — поверхность зонда,

$T$ ,  $m_e$  и  $e$  — соответственно, температура, масса и заряд электрона,

$j_e$  — электронный ток на зонд,

$U$  — потенциал зонда относительно плазмы.

По величине тока ионов на коллектор сферической ионной ловушки с „плавающим“ потенциалом внешней сетки нетрудно определить концентрацию ионосферной плазмы:

$$n_i \approx n_e \approx \frac{j_{i,k}}{\alpha e V S},$$

где  $n_i$  — концентрация ионов,  $j_{i,k}$  — ток ионов на коллектор ловушки,  $\alpha$  — коэффициент „прозрачности“ системы сеток ловушки,  $V$  — скорость спутника,  $S$  — площадь поперечного сечения ловушки.

В случае приложения к внешней сетке ловушки изменяющегося потенциала  $U$ , тормозящего ионы,  $n_i$  определяется по крутизне  $|dj_{i,k}/du|$  наиболее круто падающего квазилинейного участка вольт-амперной характеристики сферической ионной ловушки

$$n_i = \frac{m_i V |dj_{i,k}/dU|}{2\alpha e^2 S},$$

где  $m_i$  — масса иона.

Прибор П-4 имеет четырехшкальный усилитель, позволяющий измерять ток в цепи коллектора попеременно двух ионных ловушек. Например, на рис. 3 изображены три вольт-амперные характеристики ионного тока ловушек, самые малые величины которого измерены с максимальным усилением, соответствующим первой шкале (в виде отдельных точек, соединенных пунктиром), а большие величины — с меньшим усилением, соответствующим второй шкале (в виде почти сплошных кривых). Отрезки горизонтальных линий, чередующиеся с вольт-амперными характеристиками, изображают результаты измерения коллекторного тока второй ловушки, внешняя сетка которой постоянно находится под плавающим потенциалом.

Концентрация электронов в приборе КМ-3 (высокочастотный зонд) определяется путем измерения тока, соответствующего первой производной вольт-амперной характеристики зонда при плавающем потенциале. Измерение первой и второй производных вольт-амперной характеристики зонда производится в течение  $1,2 \div 1,8$  с каждые 24 с. При этом на зонд подается напряжение, состоящее из трех компонент: гармонического напряжения с амплитудой 50 мВ эфф и частотой 1667 Hz, плавающего потенциала и напряжения, изменяющегося ступенями по 23,5 мВ от  $-1$  В до  $+0,5$  В.

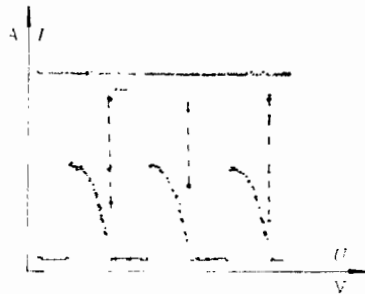


Рис. 3

Первая ступень развертки определяется запомненным плавающим потенциалом. Сигнал тока зонда поступает на вход усилителя тока с сопротивлением  $R=216 \text{ k}\Omega$  в цепи обратной связи, затем — в управляемый усилитель с усилением  $2^{A1}$ ; непосредственно измеряются амплитуды первой и второй гармоники сигналов на входах двух полосовых фильтров:

$$U_{F1} = j_{F1} R 2^{A1}, \quad U_{F2} = j_{F2} R 2^{A1} 2^{A12},$$

где  $2^{A1}$  — общее усиление,  $2^{A12}$  — усиление в канале второй гармоники. Для определения  $n_e$  измеряется первая гармоника сигнала на первой ступени развертки, соответствующей последнему значению „плавающего“ потенциала  $U_0$  опорного зонда до начала измерения распределения по скоростям. Полный ток на изолированный зонд равен

$$j_+ - j_- = 0,$$

где

$$(1) \quad j_- = j_e = j_{e0} e^{-\frac{e|U_0|}{kT}}, \quad j_+ = j_i + j_{fe} = en_e V S (1 - \kappa U_0) + j_{fe}$$

$\kappa$  — коэффициент, учитывающий влияние неоднородности поля около зонда,  $j_{fe}$  — фототок. Благодаря высокой однородности поля зонда, обусловленной наличием охранных электродов достаточно больших размеров (намного больше радиуса Дебая), и тому, что  $U_0 < 0$ , изменения ионного тока при изменении потенциала зонда незначительны, т. е. можно положить  $\kappa \simeq 0$ . „Плавающий“ потенциал

$$U_0 = -\frac{kT}{e} \ln \frac{j_{e0}}{j_+}$$

определяется балансом компонент зондового тока ( $I$ ). Он автоматически устанавливается на любом изолированном теле в плазме, но для его поддержания на зонде необходима изоляция зонда от токонесущих частей корпуса спутника не хуже, чем  $10^{11} \Omega$ . Это условие заведомо выполняется, так как сопротивление изоляции цепей и входное сопротивление предусилителя в режиме измерения электронной температуры гораздо больше, чем  $10^{11} \Omega$ .

При воздействии запомненного потенциала  $U_0$  и гармонического напряжения  $U_1$  электронный ток на зонд оказывается равным

$$(2) \quad \begin{aligned} j_{e,U} &= j_{e0} e^{\frac{e(U_0 + U_1 \sin \omega t)}{kT}} = j_{e0} e^{\frac{eU_0}{kT}} e^{\frac{eU_1}{kT} \sin \omega t} \\ &= j_{e0} e^{\frac{eU_0}{kT}} \left[ I_0\left(\frac{eU_1}{kT}\right) - 2I_1\left(\frac{eU_1}{kT}\right) \sin \omega t - 2I_2\left(\frac{eU_1}{kT}\right) \cos 2\omega t + \dots \right], \end{aligned}$$

где  $I_0, I_1, I_2$  — модифицированные функции Бесселя чисто мнимого аргумента. Отсюда видно, что постоянная составляющая тока увеличивается в  $I_0(eU_1/kT)$  раз, следовательно, нарушается равновесие токов, и на зонд течет электронный ток  $\Delta j_e = j_e \left[ I_0\left(\frac{eU_1}{kT}\right) - 1 \right]$ . Под воздействием поверхностной пленки зонда действующий потенциал зонда смещается на величину  $\Delta U$

$$(3) \quad j_{e,\Delta U} = j_{e0} e^{\frac{e(U_0 - \Delta U)}{kT}} e^{\frac{eU_1}{kT} \sin \omega t} = j_{e0} e^{\frac{eU_0}{kT}} e^{-\frac{e\Delta U}{kT}} \left[ I_0\left(\frac{eU_1}{kT}\right) - 2I_1\left(\frac{eU_1}{kT}\right) \sin \omega t - \dots \right],$$

поэтому амплитуда первой гармоники тока равна

$$(4) \quad j_{1,1} = j_{e0} e^{\frac{eU_0}{kT}} e^{-\frac{e\Delta U}{kT}} 2I_1\left(\frac{eU_1}{kT}\right),$$

откуда

$$j_e = j_{e0} e^{\frac{eU_0}{kT}} = j_{F1} \left[ e^{\frac{e\Delta U}{kT}} / 2I_1\left(\frac{eU_1}{kT}\right) \right].$$

Сравнивая токи  $j_-$  и  $j_+$ , из (1) получим

$$(5) \quad j_+ = en_e SV + j_{fe} = j_{F1} \left[ e^{\frac{e\Delta U}{kT}} / 2I_1\left(\frac{eU_1}{kT}\right) \right],$$

откуда

$$n_e = \frac{U_{F1}}{R2^{\Delta 1}} \cdot \frac{1}{2eSVI_1\left(\frac{eU_1}{kT}\right)} e^{\frac{e\Delta U}{kT}} - \frac{j_{fe}}{eSV}.$$

В уравнении (6) все величины известны ( $T$  определяется до начала режима РС), за исключением  $j_{fe}$  и  $\Delta U$ . Характер изменения фототока можно учесть выражением

$$(7) \quad \begin{cases} j_{je}(0) \cos \beta & \text{-- в случае, если зонд освещен} \\ & \text{солнцем} \\ 0 & \text{-- в отсутствие освещения} \end{cases},$$

где  $\beta$  — угол между нормалью к поверхности датчика и направлением на Солнце. Смещение  $\Delta U$  вызвано загрязнением поверхности зонда и, вследствие зависимости от тока  $\Delta j_e$ , изменяется пропорционально электронной температуре. Обе величины, по-видимому, зависят от времени существования спутника на орбите. Их непосредственное определение невозможно и поэтому, необходимо сравнение с данными  $n_e$ , полученными другими методами.

## 2. Результаты измерений

На рис. 4 приведены результаты измерений 7. 03. 1979 г. на 113 витке концентрации плазмы зондом Ленгмюра (кривая „а“) и сферическими ловушками в режимах „плавающего“ (кривая „с“) и тормозящего потенциала внешней сетки (кривая „в“). На этом и других рисунках по оси абсцисс указаны сверху вниз: 2) геомагнитная широта (MLAT), 3) местное время (LT), 4) высота спутника (ALT), 1) универсальное московское время (UT). Из рис. 4 видно, что данные сферической ловушки с „плавающим“ потенциалом отличаются наибольшим временным разрешением. Изменения концентрации по данным зонда и ловушки синфазны и имеют подобный характер, хотя сами значения концентрации отмечаются приблизительно в одно и то же число раз. Эти отличия превышают возможные ошибки измерений и вероятнее всего связаны с частичным „затенением“ ловушек солнечными батареями от потока плазмы, создаваемым движением спутника. В связи с этим в дальнейшем для сравнения используются данные зонда Ленгмюра, а данные ловушки с „плавающим“ потенциалом — для определения тонкой структуры изменений концентрации плазмы.

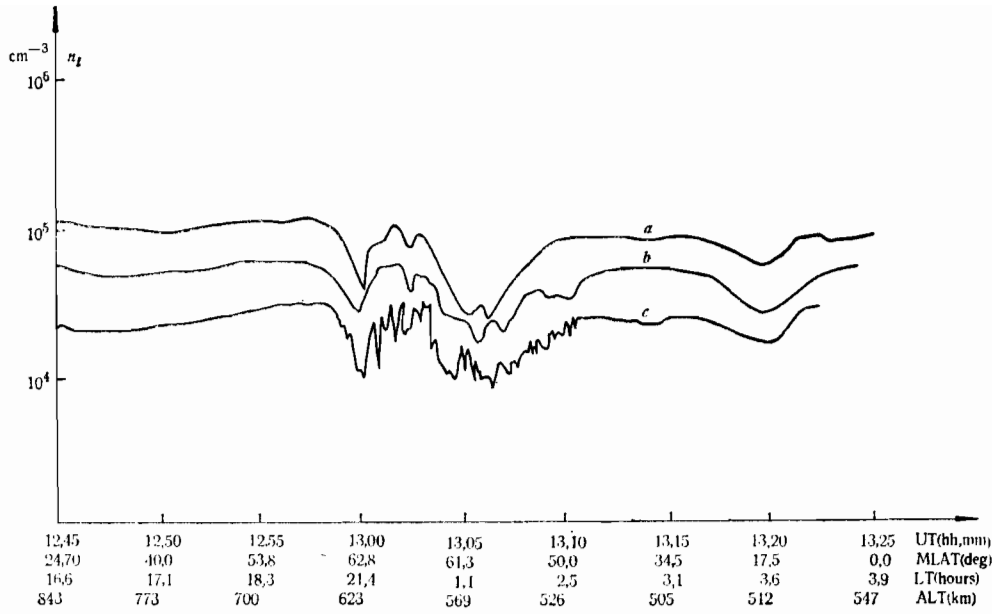


Рис. 4

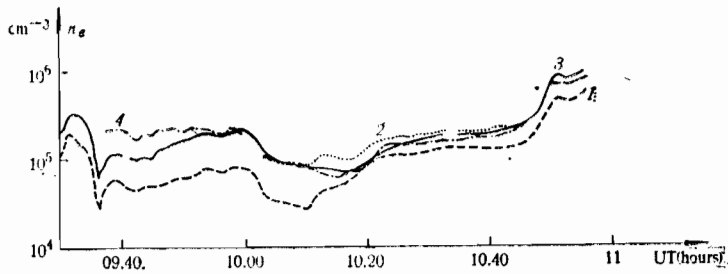


Рис. 5

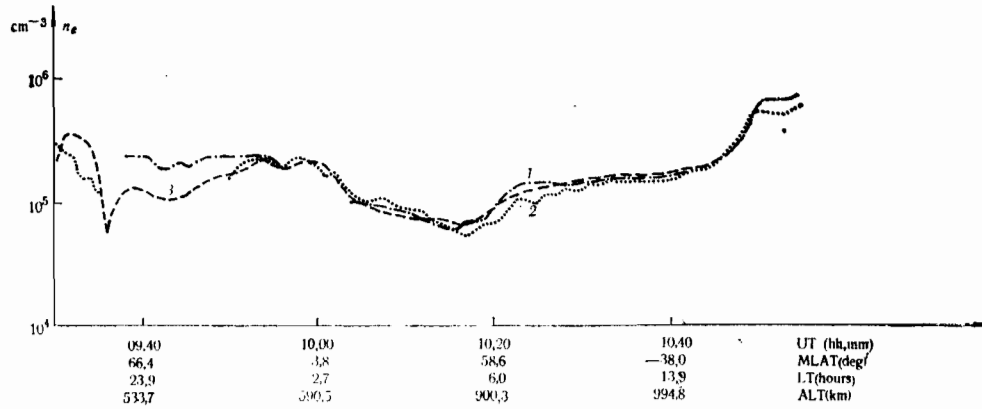


Рис. 6



Величины поправок к данным прибора КМ-3 были получены из сравнения результатов измерения  $n_e$  ионозондом и прибором КМ-3 14.03.1979 г. на витках 213, 214. Рис. 5 иллюстрирует необходимость введения этих поправок: показаны значения  $n_e$ , непосредственно измеренные прибором КМ-3

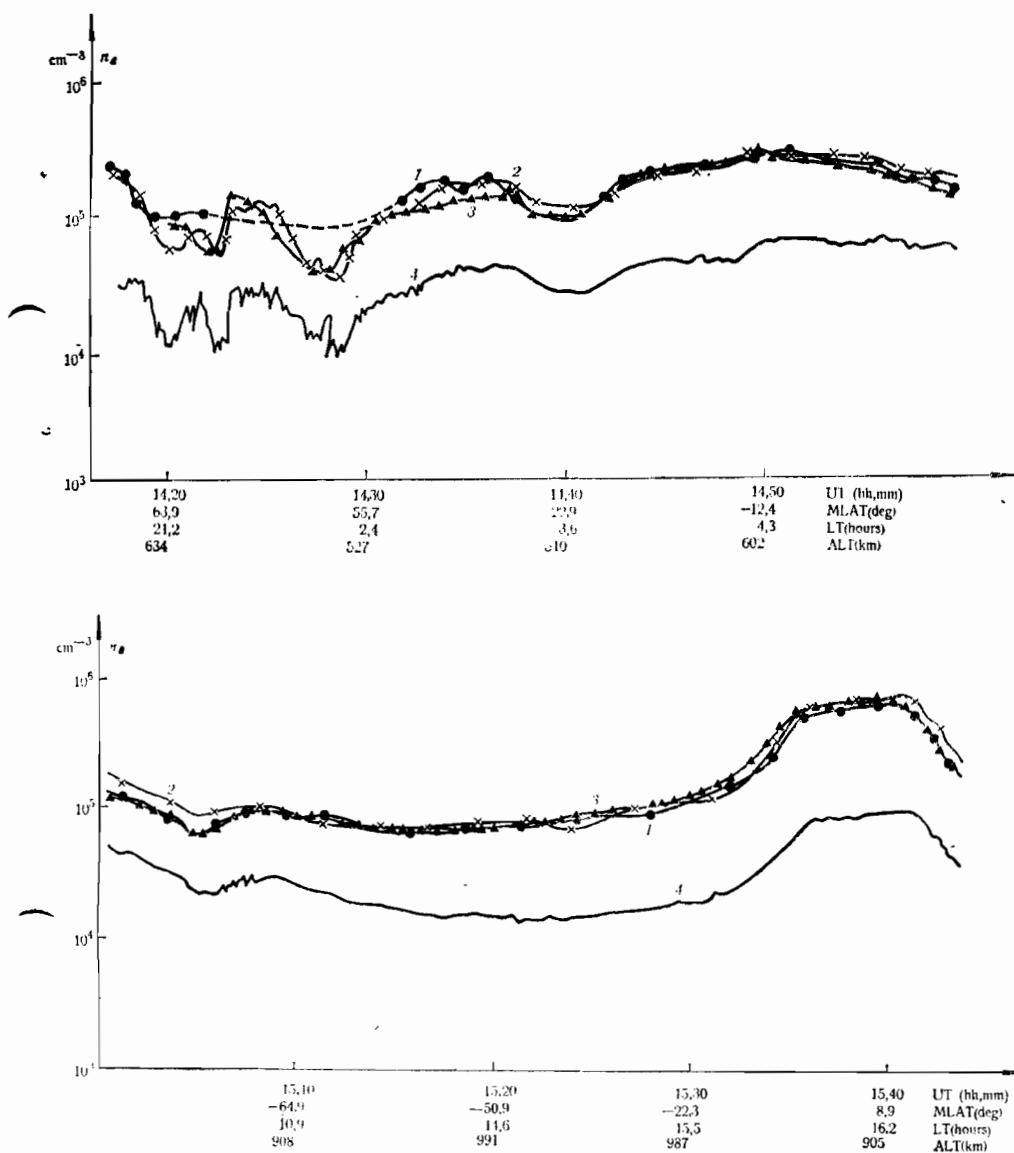


Рис. 7 а о

(кривая 1); с учетом поправки  $\Delta U=0,155 \text{ V}$ ,  $j_{fe}=0$  (кривая 2); с поправкой  $\Delta U=0,155 \text{ V}$  и  $j_{fe}(\beta)$  при  $j_{fe}(0)=4,2 \cdot 10^{-9} \text{ A cm}^{-2}$  (см. выражение (7)) — кривая 3 — и, наконец, данные ИС-338 (кривая 4). На рис. 6 приведены результаты измерений  $n_e$  на витках 213, 214 ионосферной станцией ИС-338 (кривая 1), зондом Ленгмюра (кривая 2) и прибором КМ-3 (с учетом той

же величины фототока и поправкой  $\Delta U = 0,155 \text{ V}$  — кривая 3). Значения  $n_e$  по данным зонда Ленгмюра и ионозонда практически совпадают. Значения же  $n_e$  по данным КМ-3 с учетом поправок также хорошо совпадают с данными зонда Ленгмюра и ионозонда, за исключением интервала времени

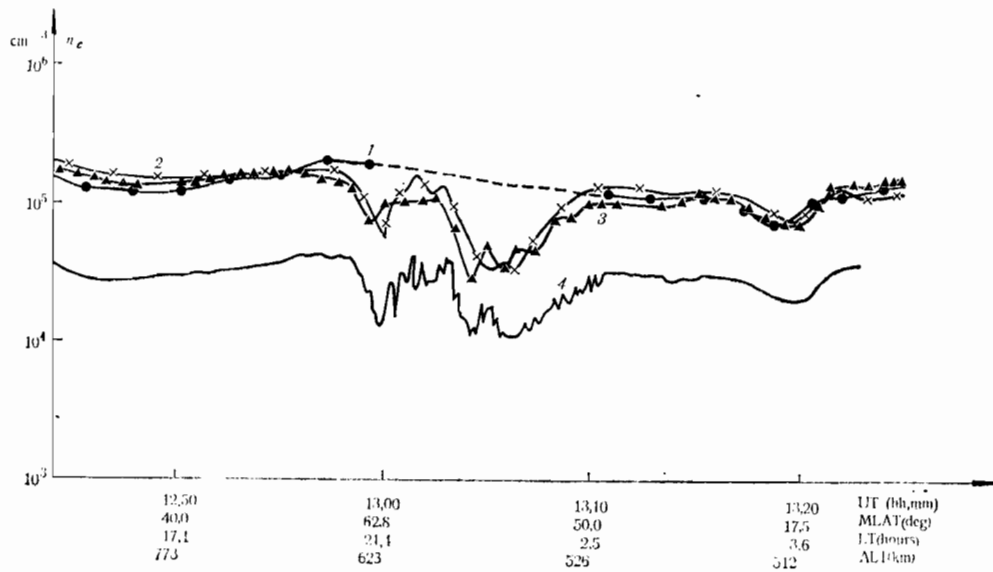


Рис. 7 в

UT = 9<sup>h</sup>40<sup>m</sup> ÷ 9<sup>h</sup>50<sup>m</sup>, когда спутник находился в северной ночной полярной зоне. На рис. 7 (а, б, в) показаны результаты измерений  $n_e$  различными методами на витках 113, 114 07. 03. 1979 г. Поправки к данным прибора КМ-3 были сделаны с учетом того, что  $\Delta U = 0,155 \text{ mV}$  и  $j_{fe}(0) = 6,2 \cdot 10^{-9} \text{ A cm}^{-2}$ . Кривая 1 изображает данные ИС-338 2 — зонда Ленгмюра, 3 — прибора КМ-3 и 4 — сферической ловушки с „плавающим“ потенциалом. Пунктиром отмечены участки орбиты, на которых данные ионозонда невозможно обработать из-за влияния  $F$ -рассеяния. По данным ионной ловушки, эти участки характеризуются наличием глубоких неоднородностей плазмы.

### 3. Обсуждение результатов сравнения

Для правильного сравнения значений  $n_e$ , полученных зондовыми методами и при помощи ИС-338, требуется оценить расстояние от спутника, на котором происходит первое отражение радиоволн. В соответствии со сказанным выше, вследствие запираания приемника в течение 533  $\mu\text{s}$ , все следы на ионограммах обрезаются на отметке 80 км. Это расстояние — не истинное, а действующее, равное произведению времени группового запаздывания излученных импульсов на скорость света в вакууме. Запаздывание радиоволн на частотах, близких плазменной, достаточно велико и можно ожидать, что реальный путь этих волн будет значительно меньше действующего расстояния. Для оценки соотношения между истинным и действующим расстояниями был рассмотрен ряд ионограмм с наименьшим временем запаздывания, на которых след имел малый наклон. Эти данные, относящиеся к 19. 07.

Таблица 1

Время МСК				Географические координаты		Высота (км) спутника	$l_{\text{ист}}$ км	$n_e(l_{\text{ист}}) \cdot 10^4$ $\text{см}^{-3}$	$n_e \cdot 10^4$ $\text{см}^{-3}$
1	17	15	36	17°, 36 N	178°, 7 E	629	5,5	7,44	7,26
2	17	16	40	13°, 51 N	179°, 6 E	615	7,9	8,38	8,19
3	17	17	44	9°, 65 N	179°, 5 W	601	5,6	9,86	9,72
4	17	18	48	5°, 76 N	178°, 7 W	588	6,2	11,54	11,31
5	17	19	52	1°, 86 N	177°, 8 W	576	7,3	13,42	13,18
6	17	20	56	2°, 05 N	177°, 0 W	565	7,3	13,42	13,18
7	17	22	00	5°, 98 N	176°, 1 W	555	6,8	11,54	10,31
8	17	23	04	9°, 91 N	175°, 2 W	545	8,3	6,67	6,56
9	17	24	08	13°, 85 N	174°, 3 W	538	7,3	6,11	5,95
10	17	25	12	17°, 79 N	173°, 4 W	530	5,8	7,08	6,91
11	17	26	16	21°, 73 N	172°, 4 W	524	5,5	7,02	6,84

379 г., представлены в табл. 1, в которой  $l_{\text{ист}}$  означает реальный путь волны от спутника до области отражения, соответствующий кажущемуся расстоянию в 80 км  $n_e$  (ИСЗ) и  $n_e(l_{\text{ист}})$  — значения электронной концентрации, соответственно в окрестности спутника и на удалении  $l_{\text{ист}}$  от него, полученные из  $n_e(H)$ -профилей. Последние рассчитывались таким образом, чтобы определенные по ним высотно-частотные кривые совпадали с наблюдаемыми. При этом величина невязки составляла не более 10 км [8]. Из таблицы видно, что  $l_{\text{ист}}$  изменяется в пределах 5–9 км, а  $n_e(l_{\text{ист}})$  превышает  $n_e$  (ИСЗ) на 1,5–3%, т. е. плазменные частоты на этих уровнях будут отличаться друг от друга на 0,01–0,03 МГц. Эти значения лежат в пределах ошибки ( $\pm 0,0125$  МГц в диапазоне частотной перестройки 0,03–1,5 МГц; и  $\pm 0,025$  МГц от 1,5 до 16 МГц), с которой можно снять значения частот с ионограмм. Таким образом, значения частот, соответствующих отметке 80 км, с указанной выше точностью равны частотам отсечки на уровне спутника. Этот вывод тем более верен для высот, превышающих 600 км, где  $\Delta n_e / \Delta H$  ( $H$  — высота над поверхностью Земли) уменьшается, и время группового запаздывания увеличивается.

Следовательно, по данным ионограмм, при отчетливых следах можно измерить  $n_e$  вблизи спутника (на расстояниях менее 5–8 км). С учетом этого и погрешности измерения зондом Ленгмюра, равной примерно 10% величины  $n_e$ , можно считать, что результаты измерения  $n_e$  зондом Ленгмюра ионозондом в окрестности спутника совпадают. Учет поправок к измеренным величинам тока (при „плавающем“ потенциале) позволяет с некоторой осторожностью использовать для оценки локальной величины электронной концентрации данные прибора КМ-3. Это вызвано тем, что в некоторых случаях величины  $n_e$ , полученные прибором КМ-3, отличаются от данных зонда Ленгмюра и ионозонда. Проведение большего количества сопоставлений, вероятно, сможет устранить упомянутую необходимость „осторожности“ использования  $n_e$  по данным прибора КМ-3.

В заключении необходимо подчеркнуть большие возможности комплексного исследования столь интересного явления, как  $F$ -рассеяние. Данные ИС-338 позволяют судить о пространственном распределении соответствующих областей ионосферной плазмы, а зондовые методы вскрывают тонкую структуру возмущений концентрации плазмы в этих областях.

## Литература

1. Кавелин, С. С., В. Г. Васильев, И. Н. Лысенко, И. М. Поллуксов, Г. В. Петренко. Спутник „Интеркосмос-19“. — Аппаратура для исследования внешней ионосферы, М., ИЗМИРАН СССР, 1980, 7—12.
2. Васильев, Г. В., Л. П. Гончаров, Ю. В. Кушнеревский, В. В. Мигулин, М. Д. Флигель. Спутниковая система импульсного зондирования ионосферы ИС-338. — Аппаратура для исследования внешней ионосферы, М., ИЗМИРАН СССР, 1980, 13—29.
3. Иванова, Т. М. Петрунова, С. Чапкынов, Г. Л. Гдалевич, В. Ф. Губский. Прибор П-4 для измерения концентрации и температуры электронов, а также концентрации положительных ионов, — Аппаратура для исследования внешней ионосферы, М., ИЗМИРАН СССР, 1980, 109—119.
4. Кубат, К. Я. Клас, Я. Шмилауэр, В. В. Афонин. Прибор КМ-3 для измерения электронной температуры и распределения скоростей тепловых электронов. — Аппаратура для исследования внешней ионосферы, М., ИЗМИРАН СССР, 1980, 120—135.
5. Васильев, Г. В., С. П. Гайдаш, В. Н. Князев, Ю. М. Ковалев, Ю. В. Кушнеревский, А. В. Перерушев, М. Д. Флигель, О. Ф. Шмелер. Устройство для преобразования и оперативного хранения ионограмм в цифровом виде в системе ИС-338. — Аппаратура для исследования внешней ионосферы, М., ИЗМИРАН СССР, 1980, 90—100.
6. Терехин, Г. И., А. Д. Рябова, В. Грим, Л. Майер, А. Банфилви, Р. Редл, С. Алешкевич, К. Новак, С. Ройшик. Телеметрическая система ЕТМС-А на спутнике „Интеркосмос-19“. — Аппаратура для исследования верхней ионосферы, М., ИЗМИРАН СССР, 1980, 203—215.
7. Гончаров, Л. П., В. П. Прохоренко, Э. А. Прохоренко. Быстродействующий регистратор спутниковых ионограмм БРИС-1. — Аппаратура для исследования внешней ионосферы, М., ИЗМИРАН СССР, 1980, 264—270.
8. Шоя, Л. Д. Вопросы идентификации нестационарных объектов в задачах электромагнитного зондирования ионосферы. Диссертация, М., ИЗМИРАН СССР, 1980.

Поступила 14 октября 1982 г.

### Local Concentration of the Ionospheric Plasma on Data by Different Methods of the "Intercosmos-19" Satellite

*G. Gdalevich, S. Chapkunov et al.*

#### (Summary)

A few methods for measuring the concentration of the charged particles in the ionospheric plasma, electrons and positive ions are described in short by means of instrument mounted aboard the "Intercosmos-19" satellite: a miniature ionospheric station IS-338 (USSR), a combined probe device P-4 (Bulgaria) with two spherical traps and a cylindric Langmuir probe, as well as a КМ-3 device (Czechoslovakia) with a high-frequency flat probe. Examples of ionograms are given, the latter being obtained by IS-338 and transmitted by the two satellite telemetric systems as well as the volt-ampere characteristics of P-4 device. The results of the local concentration measurement of the ionospheric plasma by the different methods during several orbits of the "Intercosmos-19" satellite are given. The reasons for the appearance of differences in the data from the different devices are analysed. In the comparisons of the electron concentration obtained by means of 338-satellite and P-4 device, a good coincidence is noted.