

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

КОСМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

Том X

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

2

МОСКВА · 1972

УДК 550.388

*К. Бишофф, К. Ш. Грингауз, Г. Кляйн, Ш. А. Кюрин,
Г. Кюбер, В. А. Рюаков*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ СОУДАРЕНИЙ ЭЛЕКТРОНОВ В ОБЛАСТИ E ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ РАКЕТНЫХ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ПОЛЕТА РАКЕТЫ «ВЕРТИКАЛЬ-1»

Приводится высотный ход частоты соударений электронов $\nu(h)$ в ионосфере до высоты ~ 105 км, определенный по результатам измерений наземной установкой АН ГДР поглощения радиоволн во время полета ракеты «Вертикаль-1» (28 ноября 1970 г.), с использованием значений электронной концентрации, измеренных одновременно ракетным дисперсионным радиоинтерферометром (СССР).

Кроме результатов в статье кратко описаны аппаратура и методика измерений.

28 ноября 1970 г. в средней полосе Европейской части СССР была запущена ракета «Вертикаль-1», во время полета которой проводились эксперименты, подготовленные учеными социалистических стран. В число экспериментов входили, в частности, измерения вертикального распределения электронной концентрации ($n, (h)$ -профиля) методом дисперсионного интерферометра (СССР) и наземные измерения поглощения радиоволн в ионосфере методом А1 (ГДР). Ракетные дисперсионные измерения $n, (h)$ -профилей проводятся уже в течение многих лет и дают надежные результаты [1–3]. Измерения ионосферного поглощения также проводятся в ряде стран [4, 5]. В нашем случае во время полета ракеты «Вертикаль-1» представилась возможность использовать для интерпретации данных о поглощении радиоволн одновременно полученное высотное распределение электронной концентрации.

В статье кратко описаны использованные методы измерений и аппаратура, наложены экспериментальные результаты и приведены определения частоты соударений электронов в области E ионосферы, полученные при совместном использовании данных обоих опытов.

Экспериментальные определения частот соударений электронов в слое E ионосферы проводились несколькими группами авторов. Перечень ряда подобных работ и некоторые полученные в них результаты приведены в разделе V настоящей статьи (см. рис. 7 и относящийся к нему текст).

1. АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ n_e

Измерения n_e проводились методом дисперсионного радиоинтерферометра. Эксперимент заключался в регистрации на Земле измененной разности фаз двух когерентных радиоволн с частотами $f_1 = 144$ МГц и $f_2 = 48$ МГц, излучавшихся передатчиком, установленным на ракете. Такие измерения систематически проводятся в СССР с 1954 г. [1]. Под-

робно методика измерений изложена в [2]. В последние годы аппаратура УКВ дисперсионного интерферометра была в значительной степени модернизирована по сравнению с ранее применявшейся (подробно описанной, например, в [6]). Был заменен бортовой передатчик; новый передатчик обеспечивает по каждому из двух каналов мощность примерно 1.5 *вт* на несимметричных нагрузках 75 *ом*. Стабильность частоты задающего генератора передатчика не хуже 10^{-6} . Потребляемая мощность около 25 *вт*. Новая приемно-фазометрическая аппаратура обеспечивает надежные измерения разности фаз при уровнях принимаемых сигналов примерно 1 *мкв*. Полоса пропускания приемного устройства составляет около 500 *гц*. Запись разности фаз Φ осуществлялась регистраторами двух типов — шлейфовыми осциллографами и регистраторами, в которых значения Φ записываются на кинолентку с экрана электронно-лучевой трубки. Последний вид регистрации имеет большую по сравнению с первым разрешающую способность (возможен отсчет с точностью $\sim 5^\circ$) и, кроме того, позволяет определять знак изменения разности фаз, что в ряде случаев весьма важно.

Найденные для выбранных интервалов времени Δt значения приращений разности фаз $\Delta\Phi$ позволяют получить значения электронной концентрации, средние для интервалов высот, проходимых ракетой за время Δt :

$$n_e = \frac{A \cdot \Delta\Phi}{v \cdot \Delta t} \text{ см}^{-3}, \quad (1)$$

где A — коэффициент, зависящий от применяемых частот и коэффициента умножения частоты в приемной аппаратуре (в нашем случае $A = 1.35 \cdot 10^4$ для второго вида регистрации); $\Delta\Phi$ выражается в *рад*; v — вертикальная скорость ракеты, *м/сек*; Δt — интервалы времени, *сек*, в нашем случае выбрано $\Delta t = 0.25$ *сек*.

Приведенное выражение для n_e получено для вертикального полета ракеты над приемным пунктом. Во время измерений на ракете «Вертикаль-1» это условие выполнялось.

Следует отметить, что определение значений n_e возможно лишь при выполнении условия

$$n_e v \gg \int \frac{\partial n_e}{\partial t} dh, \quad (2)$$

где правый член неравенства — нестационарность столба ионосферы единичного сечения между передатчиком и приемником. Это условие не выполняется вблизи вершины траектории, где скорость ракеты v мала.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

Ракета «Вертикаль-1» была запущена в утреннее время (зенитное расстояние Солнца было $\psi = 82^\circ$) и достигла высоты 468 *км*. Полученные записи $\Phi(t)$ позволили определить значения n_e на высотах от 95 до 450 *км*. На больших высотах значения n_e не определялись, поскольку не соблюдалось условие (2). Для момента нахождения ракеты в вершине

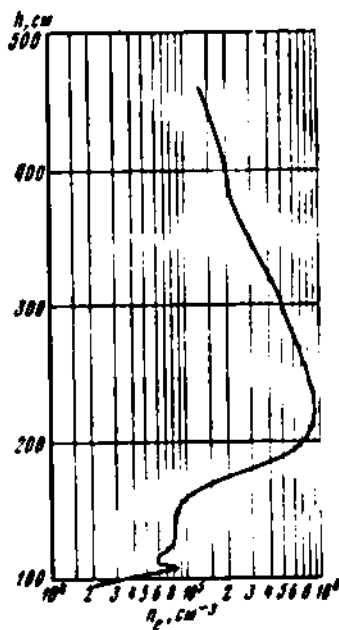


Рис. 1. Полный $n_e(h)$ -профиль, полученный 28.XI 1970 г.

траектории по записям $\Phi(t)$ определена нестационарность ионосферы, оказавшаяся равной $\sim 5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Прием сигналов с высот менее 95 км как обычно сопровождался помехами типа разряда, что нарушило фазовые измерения.

На рис. 1 приведен профиль электронной концентрации, построенный по данным, полученным на нисходящей ветви траектории. Разброс экспериментальных значений n_e от приведенной на рис. 1 кривой $n_e(h)$ составляет примерно $\pm 5\%$. На кривой отчетливо видны максимумы областей E и F . Значения электронной концентрации в максимумах областей E и F , вычисленные по данным ионосферной станции, расположенной в районе запуска ракеты, составляют: $n_{e, \max E} = 7,8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$ и $n_{e, \max F} = 8,5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$.

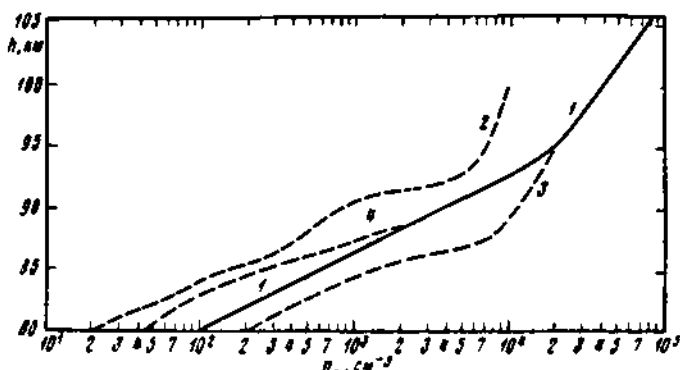


Рис. 2. $n_e(h)$ -профили для высот 80—105 км

Ионосферная станция вела регулярные измерения в период с 25.XI по 2.XII 1970 г. Эти измерения показали, что состояние ионосферы во время ракетного эксперимента было невозмущенным и типичным для указанного периода.

Для расчета поглощения радиоволн (см. раздел IV) необходимо иметь $n_e(h)$ -профиль не только для высот более 95 км, полученный в эксперименте с дисперсионным интерферометром на ракете «Вертикаль-1», но и для меньших высот. Одним из факторов, от которых наиболее сильно зависит величина n_e на малых высотах, является местное время. Из опубликованных результатов измерений на высотах менее 90 км нам удалось выбрать три $n_e(h)$ -профиля, почти точно соответствующих зенитному расстоянию Солнца во время полета ракеты «Вертикаль-1» ($\psi = 82^\circ$). Они приведены на рис. 2. Кривая 1 на высотах более 95 км построена по данным дисперсионного интерферометра, 2 — из работы [7], 3 — из работы [8], 4 — из работы [9]. Кривая 1 была продолжена до высоты 80 км таким образом, что ее часть на высотах ниже 95 км лежит между кривыми 2 и 3. Значения n_e , взятые из работ [7, 8], на высоте 95 км близки к измеренному нами на этой высоте значению. На высотах менее 80 км по данным работы [7] $n_e \ll 10^2 \text{ см}^{-3}$, а по данным работ [8, 9] $n_e \sim 10^2 \text{ см}^{-3}$.

Используя эти данные, мы экстраполировали $n_e(h)$ -профиль, экспериментально полученный 28 ноября 1970 г., до высоты 80 км, получив, таким образом, кривую 1 (рис. 2).

III. МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОВОЛН

Определение поглощения радиоволн в ионосфере проводилось методом импульсного зондирования, известным под международным названием A1, с использованием частот 1,0; 1,5 и 2,0 Мгц. Метод заключается в сравнении средней амплитуды импульсов E_1 , отраженных от ионосферы при действующей высоте отражения h' с опорным значением амплитуды

E_0 . За амплитуду E_0 при вертикальном зондировании обычно принимается значение напряженности поля на расстоянии 1 км от передающей антенны в вертикальном направлении. Если предположить, что отраженная волна является, так же, как и прямая, сферической, то амплитуда отраженного сигнала

$$E_1 = \frac{E_0}{2h'} \exp \left\{ -2 \int_0^{h'} k dh \right\}, \quad (3)$$

где k — коэффициент поглощения. Тогда полное поглощение в ионосфере $2 \int_0^{h'} k dh$ (в дБ) может быть определено из выражения

$$L(\Delta\delta) = 20 \lg \frac{E_0 2h'}{E_1} = A_0 - A_1 - 20 \lg 2h'. \quad (4)$$

Преимуществом импульсного метода является возможность определения времени прохождения сигнала и, таким образом, длины пути радиоволны, а также возможность выделения сигналов, отраженных от различных высот, и многократных отражений. Для измерения поглощения этим методом в Центральном институте солнечно-земной физики АН ГДР была разработана и изготовлена специальная установка, названная АМА (Absorptionsmeßanlage), при создании которой был использован многолетний опыт измерений методом А1 в этом институте. Особенностью этой установки является возможность измерения поглощения одновременно на трех частотах (в диапазоне от 1 до 4 МГц), вывод данных в цифровой форме с большой скоростью записи, транспортабельность установки, что делает возможным использование установки одновременно с проведением других экспериментов.



Высокая скорость регистрации данных имеет большое значение при сильных флуктуациях (Федингах) отраженного сигнала, поскольку для определения значений E_0 и соответственно A_0 для фиксированного момента времени необходимо использовать большее число единичных измерений, чтобы исключить влияние Федингов.

Основные части станции АМА: блок передатчика, блок приемников и регистрирующие устройства.

Блок передатчика состоит из трех кварцевых генераторов и шестикаскадного широкополосного усилителя мощности, последние три каскада

работают по двухтактной схеме. Длительность управляющего импульса в последнем каскаде составляет 100 мксек при частоте повторения 30 гц. Импульсная мощность на выходе блока передатчика около 30 кет. Напряжение возбуждения вырабатывается тремя кварцевыми генераторами (по числу рабочих частот), которые попеременно подключаются ко входу широкополосного усилителя, таким образом импульсы каждой из рабочих частот следуют с частотой 10 гц. Мощность на выходе контролируется по индикатору с электронно-лучевой трубкой, причем имеется возможность регулировки мощности.

Для излучения и приема сигналов используется система из двух дельта-антенн, подвешенных взаимно перпендикулярно на общей мачте. Длина основания 120 м, высота вершины 32 м. Диаграмма направленности таких антенн имеет максимум в вертикальном направлении.

Блок приемников содержит три приемника, обеспечивающих прием каждой из рабочих частот. Настройка приемников на нужную частоту осуществляется сменой ячеек входных каскадов и гетеродинов, остальные части приемников идентичны. Приемная антенна подключается поочередно ко входам каждого из трех приемников при помощи коммутатора. Каждый из приемников собран по супергетеродинамной схеме и содержит семь каскадов, три из которых имеют логарифмические характеристики (УПЧ с частотой 450 кгц). Гетеродины приемников имеют кварцевую стабилизацию, обеспечивающую точную настройку приемников. Полоса пропускания приемников 32 кгц. Сопротивление несимметричных входов — 70 ом. Динамический диапазон входных сигналов — 60 дб (от 1 мке до 1 мв), при этом выходное напряжение изменяется на 20 дб (0,6—6 в). Динамический диапазон может быть расширен до 120 дб путем включения на входе приемника калиброванного ступенчатого аттенюатора (0—60 дб). Затухание аттенюаторов может изменяться ступенями через 6 дб автоматически или вручную. Для контроля усиления и характеристик приемников ко входу аттенюаторов подключаются вместо антенны специальные генераторы калиброванных напряжений. Для поддержания постоянства характеристик усиления наиболее ответственные элементы приемника термостатированы, при этом изменение усиления не превышает 0,5 дб в течение длительного времени. Сигналы с выходов детекторов поступают на регистраторы через каскад усиления с сохранением постоянной составляющей.

В блоке приемников находится также высокостабильный (10^{-4}) опорный генератор на 60 кгц, из колебаний которого формируются все необходимые для работы передатчика, приемников и регистраторов синхронизирующие импульсы и метки времени.

На рис. 3 изображена часть установки АМА (а — стойка приемников, б — фоторегистраторы, в — регистраторы с перфолентой).

Отраженные сигналы наблюдаются на экранах электронно-лучевых трубок, с использованием временной развертки типа А. Для отсчета действующих высот имеются метки. Один из таких регистраторов используется для визуального контроля, три других — для фотографирования отражений на каждой из трех частот. Фотографирование производится тремя 16-мм кинокамерами со скоростью один кадр в 2 сек. Образец записи отраженного сигнала с экрана электронно-лучевой трубки показан на рис. 4.

Имеется возможность путем стробирования выделить для регистрации интересующий нас отраженный импульс. Амплитуда выбранного для регистрации импульса преобразуется в цифровую форму (8 бит в двоичном коде) с частотой 5 гц для каждой из рабочих частот. Эти данные регистрируются на перфоленту (отдельный регистратор для каждой рабочей частоты). Во время эксперимента с ракетой «Вертикаль-1» записи проводились сеансами по 10 мин, т. е. каждая запись содержала 3000 отсчетов амплитуд и, кроме того, включала в себя сведения об усилении приемника, положении ступенчатого аттенюатора и рабочей частоте. Данные в такой

форме можно непосредственно вводить в вычислительную машину для расчетов значений амплитуд в децибелах.

Для непосредственного контроля получаемых данных имеются также три самописца со скоростью протяжки бумаги 60 мм/час, на которых регистрируется амплитуда сигнала (после обратного преобразования цифровых данных в аналоговую форму).

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОВОЛН

Как следует из приведенного выше в разделе III описания, для определения поглощения из записей амплитуд сигналов по формуле (4) необходимо знать опорное значение A_0 , среднее значение амплитуды A , для момента времени, для которого определяется L — поглощение в ионосфере, и длину пути распространения радиоволн (за которую мы принимаем удвоенную действующую высоту $2h'$) для введения поправок при изменении длины пути распространения. Поскольку диаграмма направленности антенны точно не известна, получение значений A_0 чисто аналитическим путем невозможно. Поэтому значения A_0 были определены путем амплитудных измерений в период времени, когда можно было считать, что ионосферное поглощение $L \approx 0$, как это обычно делается при определении поглощения радиоволн методом А1. Имеющиеся сведения о состоянии электронной концентрации в нижней ионосфере позволяют считать, что условие $L \approx 0$ выполняется в ночное время. Поэтому измерения значений A_0 были проведены в ночное время в период 19.XI — 1.XII 1970 г. Так же, как и во время дневных амплитудных измерений A_1 , во время ночных калибровочных измерений регистрация амплитуд производилась в течение 10-минутных периодов с частотой 5 гц. С помощью ЭВМ (ZRA-2) были вычислены медианные значения для каждых 3 тыс. значений амплитуд, получающихся за 10-минутные интервалы. Одновременно со значениями амплитуд сигналов регистрировались путем фотографирования с экрана электронно-лучевой трубки данные о высоте отражения, которые в дальнейшем использовались при расчетах на ЭВМ для введения поправки на длину пути, проходимого радиоволнами.

Несмотря на то, что уровни отраженных сигналов были достаточно высоки, измеренные значения A_0 на всех трех частотах имеют большой разброс, который составлял на 1 Мгц примерно $\pm 1,5$ дб, на 1,5 Мгц — примерно ± 2 дб и на 2,0 Мгц — примерно ± 3 дб. Аналогичный разброс наблюдается также и на других станциях, использующих метод А1. Возможно, этот разброс является результатом вариаций остаточного ночного поглощения. До настоящего времени нет метода определения такого ночного поглощения. Для всех расчетов поглощения L , описанных в этой статье, использовалось значение A_0 , определенное как медианное значение результатов всех ночных измерений (по пять измерений в течение каждой ночи).

В день запуска ракеты за 2 час до старта были начаты непрерывные измерения поглощения, которые велись в течение 4 час. Кроме того, были определены значения поглощения за каждый час с 25 до 30.XI 1970 г. Эти ежечасные измерения проводились для изучения характера временных изменений поглощения в месте наблюдений, а также для выяснения, являются ли определенные нами в день запуска значения поглощения типичными для данного периода. Для выяснения ионосферной обстановки были использованы нонограммы, полученные ионосферной станцией, расположенной вблизи места запуска ракеты, в частности, для того, чтобы проверить, не искажались ли измерения поглощения во время полета ракеты спорадическим слоем E_s . Анализ нонограмм показал, что во время полета ракеты слой E_s отсутствовал.

На рис. 5 показаны сводные результаты дневных измерений. На этом рисунке сплошной кривой показаны результаты измерений 28.XI 1970 г.

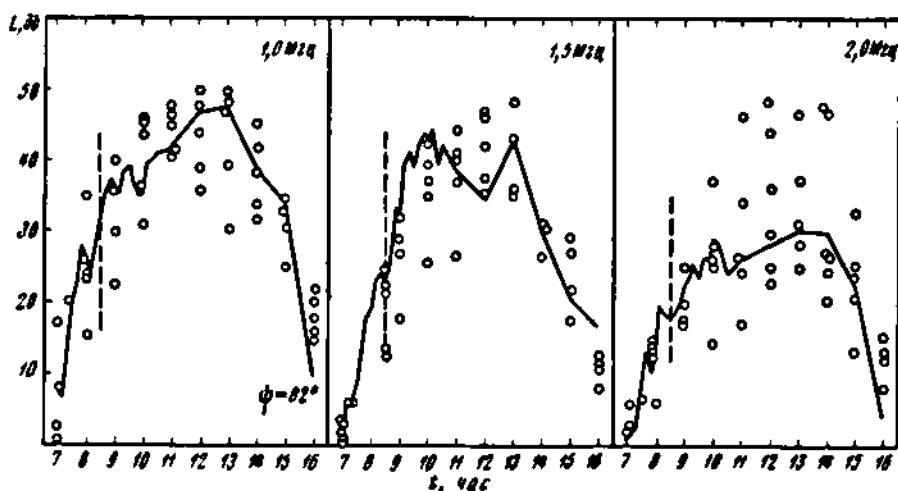


Рис. 5. Результаты измерения поглощения L

Видно, что ход кривой поглощения в этот день представляется типичным для всего периода измерений поглощения. Разброс значений дневного поглощения для различных дней довольно велик, особенно на частоте 2 Мгц . Интерпретация этого явления требует дополнительных исследований, которые выходят за рамки настоящей статьи. Нам представляется, что в течение нескольких дней имело место аномально высокое поглощение, которое типично для зимних месяцев.

V. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБОИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ СОУДАРЕНИЙ

Для определения в исследованной области частоты соударений $\nu_{\text{сод}}$ используются формулы магнитоионной теории Эпилтона — Хартри (например, [10, 11]) без учета зависимости частоты соударений от энергии электронов, которая учитывается обобщенной теорией Эпилтона — Хартри [12]. Соответствующее сравнение этих двух теорий в работе [13] показало, что для всех трех применявшихся нами частот можно пользоваться соотношением $\nu_{\text{сод}} = 2.5 \nu_{\text{с}}$, которое точно выполняется при условии $\nu_{\text{с}} < \omega \left(1 + \frac{\omega_L}{\omega}\right)$. Здесь $\nu_{\text{с}}$ — средняя частота соударений, пропорцио-

нальная квадрату наимвероятнейшей скорости электронов; ω — круговая частота сигнала, ω_L — продольная компонента гирочастоты. Магнитоионная теория позволяет определять поглощение при помощи выражения

$$L(\omega) = 2 \cdot 8,68 \frac{\omega}{c} \int_0^{\infty} \chi dh, \quad \text{дб.} \quad (5)$$

Здесь коэффициент 2 учитывает двойной путь волны; ω выражена в рад/сек , χ — мнимая часть коэффициента преломления, c — скорость света в вакууме. Для комплексного коэффициента преломления в соответствии с магнитоионной теорией используется следующее выражение:

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - g}, \quad (6)$$

где

$$-g = i \frac{\left(\frac{Y_T^2}{2}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{Y_T^2}{2}\right)^2 + Y_L^2(1-X-iZ)^2}}{1-X-iZ};$$

$$X = \frac{\omega_N^2}{\omega^2}, \quad Y = \frac{\omega_h}{\omega}, \quad Z = \frac{v_{\text{суд}}}{\omega}$$

(ω_N — плазменная частота, ω_h — гирочастота); индексы L и T относятся к продольной и поперечной компонентам Y соответственно. Из формулы (6) видно, что мнимая часть коэффициента преломления χ зависит не только от значений гирочастоты и частоты сигнала, но и от частоты соударений электронов $v_{\text{суд}}$ и концентрации электронов.

Наличие экспериментально определенного высотного распределения электронной концентрации при использовании ряда различных предположений о высотном распределении частоты соударений позволяет рассчитать соответствующие значения поглощения радиоволн, которые затем можно сравнить с измеренным поглощением L и выбрать такую высотную зависимость $v_{\text{суд}}(h)$, которая будет наилучшим образом удовлетворять измеренным значениям поглощения. Эти достаточно сложные расчеты проведены на ЭВМ (ODRA-1204).

Для теоретических расчетов поглощения был использован профиль электронной концентрации, представленный кривой 1, рис. 2 (см. раздел II). В этом случае, в предположении, что на всех высотах ниже 80 км концентрация $n_e = 0$ (поглощение радиоволн отсутствует), расчеты частоты соударений дадут, очевидно, верхний предел возможных значений — $v_{\text{суд max}}$. Однако оценка поглощения радиоволн с частотой $f = 1$ Мгц, проведенная в предположении, что значения $n_e = 10^2$ см $^{-3}$ и $v_{\text{суд}} = 10^7$ см $^{-1}$ имеют место на всех высотах от 80 до 60 км, показала, что в этом случае поглощение для этих высот составит всего 3 дБ, т. е. незначительную часть от полного поглощения радиоволн, отраженных от слоя E ($L \approx 33$ дБ, см. рис. 5). Это показывает, что определенные без учета поглощения на высотах менее 80 км значения $v_{\text{суд max}}$ весьма близки к истинным значениям.

Другой проблемой при этих расчетах является оценка истинной высоты отражения. Условие отражения $n = 0$ при использовании формулы Эпплтона — Хартри не выполняется с действительными значениями высоты, как в случае отсутствия соударений. Поэтому для определения высоты отражения мы должны использовать приближенный метод, чтобы избежать трудностей строгого решения волнового уравнения. В работах [14, 15] показано, что рассчитанные по формулам магнитоионной теории значения полного поглощения лишь на несколько процентов меньше значений, которые были бы получены из решения волнового уравнения. Для наших расчетов высота отражения определена из условия равенства действительной и мнимой части коэффициента преломления ($\mu^2 = \chi^2$), поскольку такая высота примерно совпадает с истинной высотой отражения ([16]; для применявшихся частот также [17]). Пренебрежение поглощением вблизи высоты отражения приводит к завышению вычисленных значений частоты соударений.

На рис. 6 показан типичный пример расчетных зависимостей от высоты значений χ и μ для обыкновенной компоненты радиоволны. Полное поглощение было получено численным интегрированием уравнения (5) с шагом интегрирования 100 м. Расчет χ и μ для необыкновенной волны показал, что $\chi_x \approx 10\chi_o$, так что вклад необыкновенной компоненты в принятый сигнал должен быть в нашем эксперименте весьма малым.

На рис. 7 сплошной кривой 1 показано высотное распределение $v_{\text{суд}}$, полученное из распределения $v_{\text{суд}}$, приведенного в работе [18], где оно рассчитано на основе стандартной модели атмосферы США [19]. На этом же

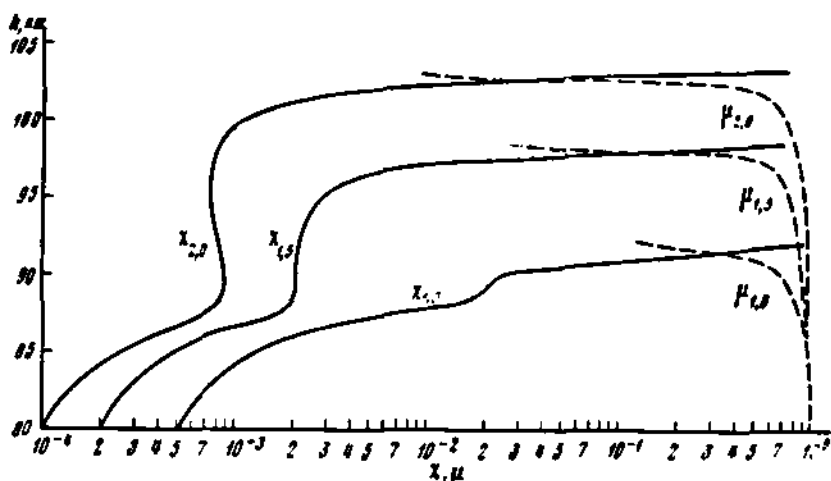


Рис. 6. Кривые $\mu(h)$ и $\chi(h)$
индексы при χ и μ — значения частот

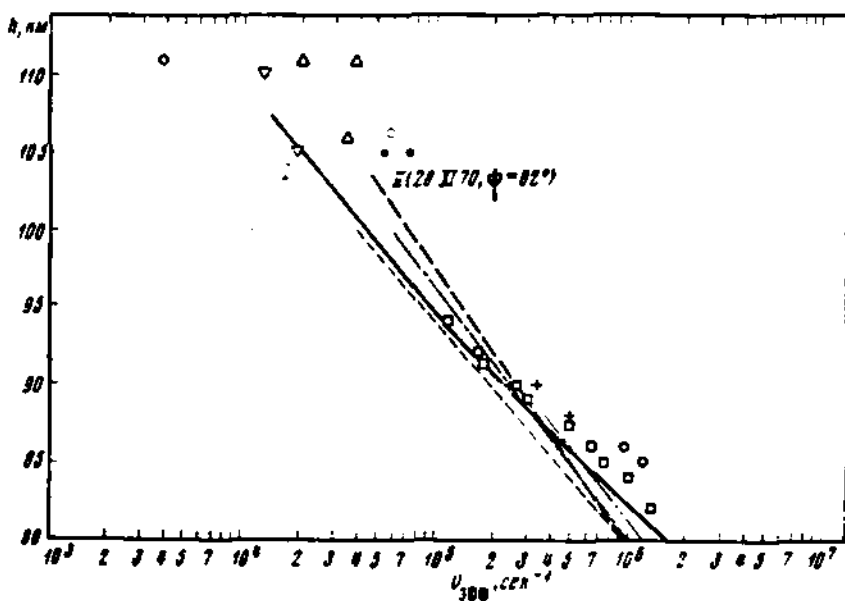


Рис. 7. Кривые $v_{000}(h)$

рисушке разными значками показаны значения v_{000} , полученные экспериментально различными авторами [14, 20—28].

Указанным выше методом были рассчитаны значения поглощения для каждой из трех частот с использованием значений v_{000} , соответствующих кривой I на рис. 7, и n_e — кривой I на рис. 2. Оказалось, что рассчитанное для частоты 1 Мгц поглощение превышало значения поглощения, измеренные установкой АМА во время полета ракеты, а для частот 1,5 и 2,0 Мгц — было меньше измеренных значений. Наилучшее согласие между рассчитанными и измеренными значениями поглощения на всех трех частотах было достигнуто при использовании изображенного на рис. 7 (кривая II) профиля $v_{000}(h)$, который имеет большую крутизну, чем кривая I.

Из приведенных на рис. 7 данных можно сделать вывод, что использованный нами метод может применяться для определения значений v_{000} и

высотной зависимости $v_{\text{эфф}}(h)$. Выше было упомянуто, что для основной части исследуемой области и для применявшихся частот справедливо соотношение $v_{\text{эфф}} \approx \sqrt{1/v_{\text{эфф}}}$, с помощью которого можно рассчитать частоту $v_{\text{эфф}}$ — более употребительную величину, зависящую от давления и температуры электронов и нейтрального газа.

Интегрирование $\chi(h)$ показывает также, что вблизи высоты отражения поглощение резко возрастает и на последних двух километрах до высоты отражения составляет 41% полного поглощения для частоты 1 Мгц, 50% — для 1,5 Мгц и 53% — для 2 Мгц.

В дополнении к этим высоким значениям поглощения вблизи высоты отражения из кривых $\chi(h)$ было найдено, что нижняя часть области E вносит значительный вклад в полное поглощение. Эти результаты важны для интерпретации временных вариаций ионосферного поглощения, особенно для количественных сравнений измерений на различных частотах.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Расчеты поглощения с использованием профилей $n_e(h)$ и $v_{\text{эфф}}(h)$, приведенных на рис. 2 (кривая I) и рис. 7 (кривая II), показали, что по крайней мере для малых углов возвышения Солнца при восходе главная часть поглощения падает на область вблизи высоты отражения. Такой результат получен также в работе [14]. Это означает, что радиоволны с частотами 1,5 и 2,0 Мгц в значительной степени поглощаются в нижней части области E.

Нам представляется, что в настоящее время этот эффект не учитывается в достаточной степени при интерпретации результатов измерений поглощения радиоволн.

2. При последующих расчетах такого рода представляется необходимым оценить дополнительную часть поглощения, получающуюся при использовании высоты отражения, определяемой из строгого решения волнового уравнения, вместо использованной нами высоты, на которой $\chi = \mu$. Если этой дополнительной частью поглощения нельзя пренебречь, то полученные в настоящей работе значения $v_{\text{эфф}}$ несколько завышены.

3. Полученные значения $v_{\text{эфф}}$, приведенные на рис. 7 (кривая II), лежат внутри области значений $v_{\text{эфф}}$, определенных различными методами и в разные времена другими авторами.

4. Профиль $v_{\text{эфф}}(h)$ несомненно должен зависеть от местного времени, сезона и от уровня солнечной активности (так как $v_{\text{эфф}}$ зависит от плотности и температуры нейтральной атмосферы на рассматриваемых высотах). Чтобы можно было выявить и проанализировать указанные зависимости, необходимо продолжать подобные измерения, проводя эксперименты в разное время, с тем чтобы набрать статистически достаточное количество результатов.

В описанных работах помимо авторов статьи участвовали Ф. Кальберг (установка АМА), А. В. Бирюков, Ю. В. Мусатов, Г. К. Новожилов и Л. А. Шнырева (дисперсионный интерферометр).

Дата поступления
1 ноября 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Грингауз. Докл. АН СССР, 120, № 6, 1234, 1958.
2. К. И. Грингауз, В. А. Рудаков. Сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 6. Изд-во АН СССР, 1961, стр. 48.
3. Г. Г. Гетманцев, К. И. Грингауз и др. Изв. вузов (радиофизика), 11, № 5, 649, 1968.
4. E. V. Appleton, W. R. Piggott. JAPT, 5, 141, 1954.
5. K. Bischoff, J. Taubenheim. Gerlands. Beitr. Geophys., 73, 93, 1964.
6. К. И. Грингауз, В. А. Рудаков, А. В. Капорский. Сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 6. Изд-во АН СССР, 1961, стр. 34.

7. J. E. Salah, S. A. Bowhill. *Aeronomy Rep. No. 14, Univ. of Ill., Urbana, 1966.*
 8. A. Haug. В книге: *Electron density profiles in ionosphere and exosphere* (ed. G. Frihagen), North-Holland, Amsterdam, 1966. (Русский перевод: *Распределение электронов в верхней атмосфере*. «Мир», М., 1969.)
 9. R. A. Smith, T. N. R. Coyne, R. G. Loch, I. A. Bourne. *Proc. conference on ground-based radio wave propagation studies of the lower ionosphere. Ottawa, 1966, I, p. 335.*
 10. J. A. Ratcliffe. *The magneto-ionic theory and its applications to the ionosphere. Cambridge, 1959.* (Русский перевод: Дж. А. Ратклифф. *Магнитоионная теория и ее приложения к ионосфере*. Изд-во иностр. лит., 1962.)
 11. В. Л. Глязбург. *Распространение электромагнитных волн в плазме*. Физматгиз, 1960.
 12. H. K. Sen, A. A. Wyller. *J. Geophys. Res.*, 65, No. 12, 3931, 1960.
 13. C. S. G. Setty, A. R. Jain, A. B. Gupta. *Proc. of the III Int. Symp. on Equatorial Aeronomy, Ahmedabad, India, I, 1969, p. 70.*
 14. J. A. Fejer, R. W. Vice. *J. Atmos. and Terr. Phys.*, 16, No. 3/4, 307, 1959.
 15. J. E. Titheridge. *J. Atmos. and Terr. Phys.*, 22, No. 3, 200, 1961.
 16. В. Л. Глязбург. *Теория распространения радиоволн в ионосфере*. Гостехиздат, 1949.
 17. K. Rawer, K. Suchy. *Radio Observation of the Ionosphere* (sect. 9), in *Handbuch d. Physik (Geophysik III/2)*. Springer Verlag, 1967.
 18. E. V. Thrane, W. R. Piggott. *J. Atmos. and Terr. Phys.*, 28, No. 8, 721, 1966.
 19. *U. S. Standard Atmosphere*, U. S. Gov. Printing Office, Washington, D. C., 1962.
 20. J. A. Fejer. *J. Atmos. and Terr. Phys.*, 7, 322, 1955.
 21. M. Jespersen et al. *Electron density distribution in ionosphere and exosphere* (ed. by E. Thrane). North-Holland, Amsterdam, 1964. (Русский перевод: *Электронная концентрация в ионосфере и экзосфере*. «Мир», М., 1966).
 22. J. E. Hall, J. Fooks. *Planet. Space Sci.*, 13, 1013, 1965.
 23. W. J. G. Beynon, K. Davies. *Proc. Phys. Soc. Conf. Cambridge, 1954, p. 40.*
 24. D. M. Schlapp. *J. Atmos. and Terr. Phys.*, 16, 340, 1959.
 25. J. D. Whitehead. *J. Atmos. and Terr. Phys.*, 16, 99 and 283, 1959.
 26. K. V. V. Namana, R. Rao. *Proc. IGY Symp. I, CSIR New Delhi, 1962, p. 149.*
 27. L. G. H. Huxley. *Proc. Roy. Soc.*, A200, 486, 1950.
 28. E. A. Mochtly, J. S. Shirke. *Paper pres. at the COSPAR Conf., Tokyo, 1968.*
-