

ИНТЕРКОСМОС

Некоторые результаты научных экспериментов на ракетах
„Вертикаль 1 и 2“ и на спутниках „Интеркосмос 2 и 5“

Издано в

АН ГДР

Институт Электроники

Редакционная коллегия:

Ю. Рустенбах, К-Х. Бишофф, Д. Фин.

1974

ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ, ПРОВЕДЕННЫЕ ПРИ
ПОМОЩИ СПУТНИКА "ИНТЕРКОСМОС-2"

Г.Л.Гдалевич, Б.Н.Горожанкин,
И.С.Кутиев, Д.Т.Самарджиев,
К.Б.Серафимов

Исследования экваториальной аномалии
области F и внешней ионосферы при
помощи сферических ионных ловушек

При помощи трехэлектродной сферической ионной ловушки получено распределение ионной концентрации в экваториальной области по измерениям на спутнике "Интеркосмос-2" в период с 30 декабря 1969 г. по 20 января 1970 г. Экваториальная аномалия проявлялась в области высот от 200 до 500 км днем и от 800 до 1200 км ночью.

В ночной ионосфере выше 900 км наблюдается минимум вблизи геомагнитного экватора в широтном распределении концентрации положительных ионов.

В В Е Д Е Н И Е

Характерной формой широтного распределения дневных и вечерних значений электронной концентрации области является распределение с двумя максимумами на геомагнитных широтах $\sim 15 + 30^{\circ} N$ и $15 + 30^{\circ} S$ и мини-

мумом около магнитного экватора. Ночью это распределение, по данным наземного зондирования, сменяется на распределение с максимумом вблизи магнитного экватора, в годы максимума солнечной активности подобного ночного распределения нет. Существование экваториальной аномалии впервые обнаружил Эпплтон в 40-х годах [1]. Морфологические сведения об аномалии, данные о ее развитии, условиях существования и исчезновения можно найти в [1-8] и др. Теоретические объяснения экваториальной аномалии рассматривались в [9-16] и др. Возможности исследования экваториальной ионизации и планетарного распределения электронной и ионной концентрации спутниковыми методами позволили получить многие данные о высотном ходе экваториальной аномалии, ее суточных и сезонных изменениях, а также о влиянии солнечного излучения на экваториальную "долину". Обобщенные результаты прямых экспериментов, а также обзор современных теорий можно найти в [17-21]. Хотя уже опубликованы многочисленные результаты, однако на данном этапе неясны основные морфологические закономерности незондируемой наземными средствами части области F_2 , расположенной выше максимума электронной концентрации. В частности, по разным исследованиям экваториальное понижение электронной и ионной концентрации не наблюдается выше 500 км

(например, [17]), а в других работах утверждается, что аномалия должна наблюдаться до 700 км [19]. Существуют отдельные результаты, указывающие на существование экваториальной аномалии и на высотах до 900 км. Изменения планетарного распределения положений широтных максимумов и минимумов электронной концентрации также требует дальнейшего изучения. Довольно неясны и даже противоречивы сведения о передвижении максимумов к экватору в вечернем периоде и о формировании максимумов после восхода Солнца (в сравнении, например, [18] с [19]). До сих пор отсутствуют сведения о долготном эффекте в развитии аномалии. Не проанализировано также влияние солнечной активности на аномальные явления в незондируемой области, неизвестно влияние различных ионных компонент на процессы формирования аномалии и т.д.

Поэтому задача этого исследования следующая: пользуясь данными ионных ловушек, установленных на спутнике с адекватно выбранной орбитой, получить новые сведения об экваториальной аномалии и выяснить возможность ее исследования зондовыми методами. Для этой цели был использован спутник "Интеркосмос-2" (выведен на орбиту 25 декабря 1969 г. - подробности см. [22]).

Метод измерения и использованная аппаратура

Измерения концентрации положительных ионов с использованием сферических ионных ловушек проводятся с 1958 г. Впервые такие ловушки были установлены на третьем советском спутнике Земли [23], выведенном на орбиту 15 мая 1958 г., однако физические обоснования и проект постановки опытов, реализованных на этом спутнике, были изложены значительно ранее [24]. Эксперименты со сферическими ионными ловушками были продолжены на спутнике "Космос-2" [25, 26], запущенном 6 апреля 1962 г. На англо-американском спутнике "Ариаль-1", выведенном на орбиту 26 апреля 1962 г., также была использована сферическая ионная ловушка [27, 28], которая работала в качестве масс-спектрометра. Такая же ловушка была установлена на спутнике "Эксплорер-31" [29], запущенном 29 ноября 1965 г.

Теория сферических ионных ловушек приведена также в работах [30, 31, 32].

Сферические ионные ловушки, примененные на спутнике "Интеркосмос-2", (внешний вид которых показан в [22]), являлись трехэлектродными, причем каждая из них состояла из внешней сетки, внутренней (антифотоэлектронной) сетки и коллектора. Внутренние сетки ловушки имели

потенциал -95 в относительно корпуса (-82 в относительно коллекторов), обеспечивающий подавление фотоэмиссии с коллекторов. Коллекторы через источники напряжения $I3$ в соединены со входами усилителей постоянного тока. При этом на коллекторах создавался отрицательный потенциал $-I3$ в относительно корпуса. Блок-схема включения ловушек и усилителей представлена на рис. I.

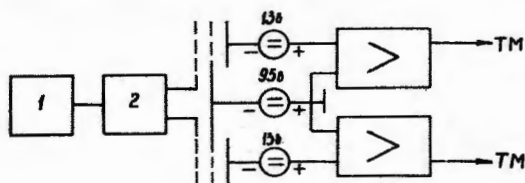


Рис. I. Блок-схема включения ионных ловушек. I - генератор пилообразного напряжения, 2 - коммутатор.

Внешний диаметр сферических ловушек составлял 6 см, а результирующий коэффициент прозрачности (по внешней и внутренней сеткам) - 0,53. Усилители постоянного тока

были выполнены по дифференциальной схеме, имели двухшкальные выходы и позволяли регистрировать коллекторные токи ионных ловушек в диапазоне $(0,005 + 2,5)$ мка. Для распознавания циклов пилообразного напряжения в выходные цепи усилителей коллекторных токов вводились отрицательные прямоугольные маркерные импульсы, задний фронт которых соответствовал началу нарастающего участка пилообразного напряжения. Относящаяся к сферическим ионным ловушкам электронная аппаратура функционировала как в режиме непосредственной передачи, так

и в режиме запоминания информации на протяжении одного витка.

Методика обработки экспериментальных данных

С помощью радиотелеметрической системы на Землю передавались значения выходных напряжений усилителей постоянного тока по чувствительной и грубой шкалам, а также мгновенные значения пилообразного напряжения. Так как ловушки были установлены приблизительно в диаметрально противоположных точках относительно геометрического центра спутника, то всегда одна из них находилась вне области ионной тени, создаваемой спутником. При обработке использовались показания ловушки, лежащей вне области ионной тени.

На первом этапе обработки строились вольт-амперные характеристики, т.е. зависимости коллекторного тока I_k ловушки от мгновенного значения U пилообразного напряжения на ее внешней сетке. Как показано в [23], вольт-амперные характеристики сферической ионной ловушки должны иметь линейный участок с угловым коэффициентом

$$\frac{dI_k}{du} = -\frac{2dse^2}{m_i V_s} n_i,$$

где d - результирующий коэффициент прозрачности сеток ловушки, S - площадь центрального сечения ловушки, e - заряд электрона, m_i - масса иона, V_s - поступательная скорость спутника, n_i - концентрация положительных ионов (ионизованных однократно). Отсюда получаем:

$$n_i = \frac{m_i V_s}{2 d S e^2} \left| \frac{d I_k}{d u} \right|. \quad (1)$$

Согласно [23], проекция линейного участка в/а характеристики на ось U должна иметь длину ΔU , превышающую значение потенциала полного торможения ионов

$$\varphi_T = \frac{m_i V_s^2}{2 e}. \quad (2)$$

Однако анализ вида в/а характеристик, полученных на данном спутнике, показал, что реальные характеристики имели укороченные линейные участки, причем часто выполнялось условие $\Delta U < \varphi_T$. Причиной этого обстоятельства следует считать несколько заниженное значение использованного в данных опытах потенциала коллектора относительно корпуса спутника.

Лабораторные исследования сферической ионной ловушки данного типа, проведенные в вакуумной камере при облучении ловушки потоками положительных ионов, подтвердили,

что из-за отсутствия полного собирания ловушкой ионов при пониженном абсолютном значении потенциала коллектора и энергиях, превышающих 2,4 эв, линейный участок в/а характеристики укорачивается. Однако те же лабораторные исследования подтвердили, что при этом угловой коэффициент линейного участка характеристики не изменяется. Это позволяет определять достоверно отношение концентрации к массе однокомпонентной среды, а при наличии двух линейных участков в/а характеристики - вычислить то же отношение для второго сорта ионов (в двухкомпонентной среде). С другой стороны, разность потенциалов торможения ионов с двумя различными массами дает возможность найти разность масс этих ионов.

Основные результаты эксперимента

Для выявления особенностей в планетарном распределении ионной концентрации в области F^+ были использованы частично обработанные материалы, полученные в период с 30 декабря 1969 г. по 20 января 1970 г.

На рис.2 в качестве примера показаны изменения ионной концентрации, измеренной днем на 72 витке 30.12.1969 г. На оси абсцисс отложены геомагнитная широта (ограниченная интервалом обычно наблюдаемой экваториальной анома-

лии) и соответствующие высоты пролета спутника. Из рисунка четко виден "геомагнитный контроль" распределения ионной концентрации, который ведет к образованию

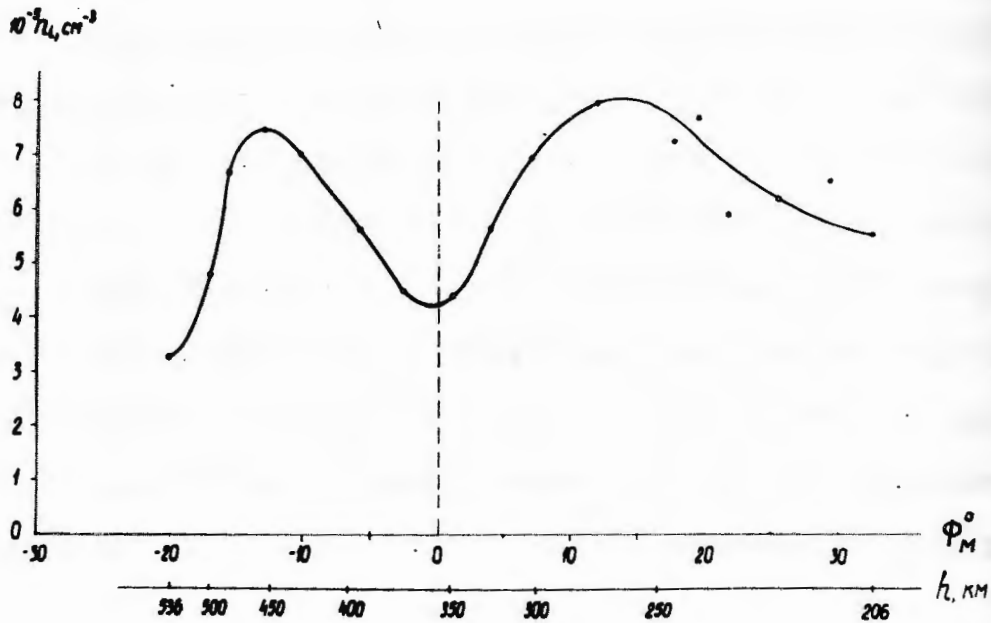


Рис.2. Пример экваториальной аномалии в распределении ионной концентрации (n_i), 30.12.1969 (день)

минимума около геомагнитного экватора и появлению двух максимумов (один в южном полушарии около 13° геомагнитной широты и другой в северном - около 14° северной геомагнитной широты). Северный максимум расположен вблизи максимума области F, который, по нашему анализу $n(h)$ - профилей ряда восточно-европейских станций в декабрьском периоде 1969 г., проявляется обычно на

высотах 270–350 км. Анализ этого и многочисленных других случаев показывает, что положения максимумов мало зависят от высотного распределения ионов и определяются главным образом влиянием геомагнитной широты. В самом деле, минимум в области высот около максимума области F и наличие южного максимума на высоте около 450 км, на которой концентрация заряженных частиц должна уже понижаться, показывают, что в этой области геомагнитных широт распределение N_i определяется геомагнитным полем. Величины N_i на рис.2 вычислены из вольт-амперных характеристик, указывающих на однокомпонентный ионный состав, который рационально идентифицировать с ионами атомарного кислорода. Преобладающее влияние последнего в рассматриваемом высотном диапазоне подтверждается наличием только одного линейного участка вольт-амперных характеристик, и литературными данными [17, 18, 19, 20, 21, 23, 24] и др.) .

Многочисленные результаты различных прохождений спутника, проанализированные нами, приводят к подтверждению примера на рис.2, конечно, с минимумами и максимумами в геомагнитном широтном распределении на разных, только приблизительно совпадающих широтах. Для анализа последних на гистограмме рис.3а показаны случаи расположения минимума в освещенном периоде суток относительно геомагнитной широты в процентах к общему числу минимумов.

Из гистограммы видно, что в 47% всех случаев минимумы располагаются на широтах $\pm 5^\circ$ около геомагнитного экватора. При этом в 38% случаев минимум Π_i точно совпа-

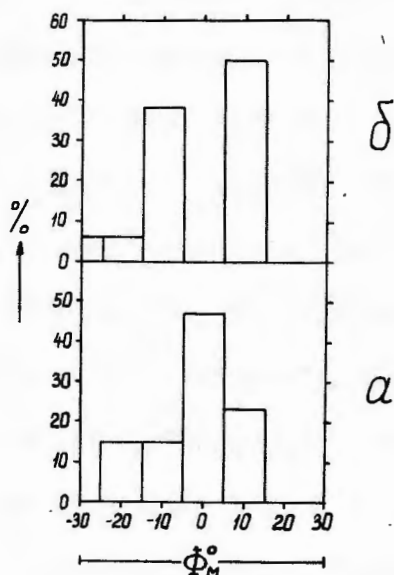


Рис.3. Гистограмма широтно-го распределения минимумов (а) и максимумов (б) на освещенных участках орбиты в процентах к общему числу минимумов (максимумов)

дает с геомагнитным экватором. В северном геомагнитном направлении отклонения минимумов относительно геомагнитного экватора не превышают 15° , а в южном — доходят до 25° . Минимумы в южном полушарии имеют большие разбросы отклонений относительно геомагнитного экватора, чем в северном. Интересен факт, что все дневные минимумы появляются на высотах ниже 400 км. Соответствующее высотное расположение минимумов показано на рис.4а. Внизу на гистограмме показан высотный участок, который спутник проходил в проанализированных случаях в геомагнитном широтном районе $\pm 30^\circ$. Проценты по ординате, показанные пунктиром, относятся к общему числу минимумов,

а сплошной линией — числу проанализированных пролетов по каждому из интервалов.

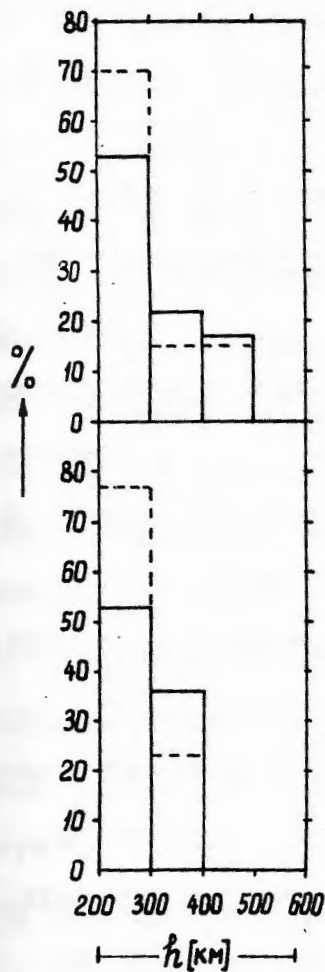


Рис.4. Гистограмма высотного распределения минимумов (а) и максимумов (б) n_i на освещенных участках орбиты в процентах:

----- к общему числу минимумов (максимумов) ;
———— к числу проанализированных пролетов по каждому из интервалов

Расположение максимумов относительно геомагнитного экватора показано на рис.36. Из гистограммы видно, что преобладает вероятность появления максимумов в диапазоне от 5° до 15° к югу и северу от геомагнитного экватора. В южном направлении положения максимумов несколько расплываются и доходят до 30° геомагнитной широты. Все северные максимумы располагаются на широтах от $+5$ до

+15°, и обычно для них n_i больше чем для южных. Все максимумы располагаются ниже 500 км (см. гистограмму высотного расположения максимумов в геомагнитном распределении ионной концентрации днем на рис.4б). При этом преобладающее число максимумов приходится на высотный участок 200+300 км (около перигея спутника и в районе непосредственно ниже максимума электронной концентрации области F).

Чтобы получить возможность окончательно интерпретировать высотный ход появлений максимумов n_i , связанных с влиянием геомагнитного поля, на рис.4б сплошной линией показана гистограмма случаев появления этих максимумов n_i по отношению к числу проанализированных прохождений спутником каждого высотного участка.

На том же рисунке пунктирной линией показано распределение положения максимумов относительно их общего числа. На основании этой гистограммы можно утверждать, что хотя спутник проходит высотные участки 500+580 км (относящиеся к интервалу -30 + +30° геомагнитной широты), в них не наблюдаются максимумы ионной концентрации. Из этого вывода и результатов анализа рис.4а следует, что экваториальная аномалия при рассматриваемых сезонных и циклических условиях ограничивается днем областью высот от 200 до 500 км.

Ночью на относительно низких высотах (до 800 км) не

наблюдаются какие-либо закономерности в геомагнитном распределении ионной концентрации. На этих высотах ночные распределения не имеют достаточно выраженных максимумов и минимумов в диапазоне геомагнитных широт $\pm 30^\circ$. Однако выше 800 км наблюдаются четкие геомагнитные вариации N_i ночью, которые характеризуются наличием экстремумов около геомагнитного экватора. Появление минимумов и максимумов в указанном интервале геомагнитных широт ночью в этом высотном диапазоне выявляется при анализе вольт-амперных характеристик с двумя линейными участками. Этот факт можно интерпретировать с точки зрения существования двух соизмеримых по концентрации ионных компонент. Анализ масс и закономерностей этого явления будет объектом другой работы. На рис.5 а показана гистограмма распределения случаев появления минимумов N_i для более легкой ионной компоненты относительно общего числа минимумов ночью в зависимости от геомагнитной широты. Из гистограммы видно, что примерно 50% наблюдаемых минимумов располагаются в широтном участке $\pm 5^\circ$ возле геомагнитного экватора. Также, как и в других характеристиках, получается известное повышение отклонения от геомагнитного экватора в южном направлении (около 30% случаев появления минимумов наблюдаются в широтном интервале от -5 до -15° и только 20% этих случаев приходится на участок от

+5 до $\pm 5^\circ$). Эту асимметрию можно заметить также на рис.3 для дневных характеристик экваториальной аномалии.

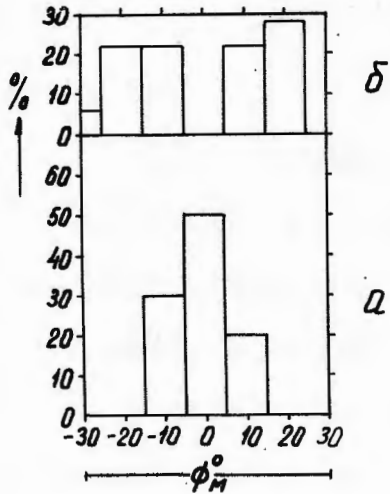


Рис.5. Гистограмма широтного распределения минимумов (а) и максимумов (б) n_i на неосвещенных участках орбиты в процентах к общему числу минимумов (максимумов)

независимо от ограниченного апогея (≤ 1200 км) можно утверждать, что ночные проявления геомагнитной аномалии локализируются главным образом возле высоты 1100 км.

Расположение случаев относительно появления ночных максимумов концентрации легкого иона в зависимости от геомагнитной широты показано на рис.5б. Из этого рисунка следует, что максимальная частота появления "гребней" в

Высотное расположение случаев появления ночных минимумов ионной концентрации относительно общего числа проанализированных пролетов по каждому из интервалов показано сплошной линией на рис.6а. Из этого рисунка видно, что геомагнитные влияния в двухкомпонентной ионной среде проявляются сильнее всего на участке 1000+1100 км. Максимум этих экваториальных магнитных эффектов обнаруживается в диапазоне от 1050 до 1150 км (см. пунктирную линию на рис.6а).

Этот максимум показывает, что

ио
на
на
ио
го
(а
не
в
зи
му
от
г

ионной концентрации легкого иона получается в северном направлении в широтном диапазоне $+15 + 25^\circ$, а в южном направлении - в диапазоне $-5 + 25^\circ$. Высотное распределение случаев появления

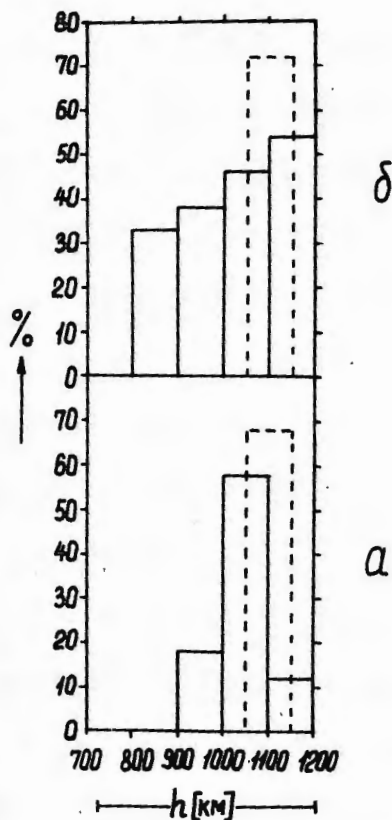


Рис.6. Гистограмма высотного распределения минимумов (а) и максимумов (б) n_i на неосвещенных участках орбиты в процентах к числу проанализированных пролетов по каждому из интервалов охватывает небольшое число случаев вследствие постепенного понижения апогея спутника.

максимумов концентрации легкого иона ночью относительно числа проанализированных пролетов по каждому из интервалов показано сплошной линией на рис. 6б. Эта гистограмма позволяет в первом приближении утверждать, что наибольшее проявление геомагнитного контроля ночью в возникновении максимумов и минимумов распределения концентрации легкого иона (см. пунктирные линии на рис.6) находится в области высот 1050+1150 км; однако надо иметь в виду, что статистика для высот выше 1150км

Отношение минимума к максимуму в экваториальной аномалии довольно изменчиво - от величины, близкой к единице, до порядка. Очень интересным является тот факт, что, в противоречии с литературными данными (см., например, [17, 18, 19, 21]), ночью минимумы около геомагнитного экватора на высотах выше 900 км более резко выражены, чем средние значения глубины минимумов, полученных днем. Расстояние между "гребнями" экваториальной аномалии выше 900 км ночью немного нарастает с удалением от местного захода Солнца.

Попытки найти долготный эффект распределения минимумов и максимумов в районе $\pm 30^\circ$ геомагнитной широты не показали сколь-нибудь очерченную долготную закономерность. На этом, может быть, сказалось ограниченное количество анализируемого материала, а также сравнительно неширокий долготный диапазон, в котором для рассматриваемого в статье периода орбита спутника пересекалась с геомагнитным экватором (от 100° E долготы до 180° E днем и от 250 до 320° E ночью). Геомагнитные координаты вычислялись на основании таблиц из [33, 34].

Обсуждение результатов и выводы

Особенности траектории спутника в рассматриваемый период таковы, что в освещенной части суток пролеты в

районе геомагнитных широт $\pm 30^\circ$ были в высотном диапазоне от 200 до 580 км, а ночные пролеты в этом районе ограничивались высотами выше 700 км. Поэтому в настоящей статье анализируются особенности экваториальной аномалии на относительно низких высотах днем и в области апогея ночью.

Приведенные в настоящей статье результаты показывают, что днем эффекты экваториальной аномалии проявляются лишь на высотах до 500 км. Это находится в согласии с основными результатами [17] и показывает, что предположение о существовании дневной аномалии на высотах порядка 700 км (см. [19]) не обосновано.

Факт расплывания положений максимумов ионной концентрации в южном направлении относительно геомагнитного экватора и преобладающее меньшее значение концентрации южного максимума относительно северного (который получен здесь) находится в противоречии с утверждениями ряда исследователей [15, 35, 36]. В [36] получено, что более выраженный максимум электронной (а следовательно и ионной) концентрации обычно бывает на летней стороне от магнитного экватора, т.е. в нашем случае в южном направлении. В [35] утверждается, что более высокий "гребень" концентрации находится между магнитным экватором и подсолнечной стороной, а последняя в этом анализе располагается на южных геомагнитных широтах.

тах. Полученное здесь расплывание положения южных максимумов n_i и преобладание максимальных концентраций северных максимумов находится в противоречии с рядом теорий экваториальной аномалии (см. [19]), а также с обоснованием асимметрии максимумов в работе [15], авторы которой предполагают, что эти эффекты обусловлены горизонтальными ветрами нейтральной атмосферы, дующими из летней полушеры в зимнюю через магнитный экватор. Данные измерений со спутника "Алуэтт-1" показывают [18], что высота уровней постоянной электронной концентрации ниже на зимней стороне от магнитного экватора, что соответствует меньшему северному максимуму аномалии в нашем случае. Но эти противоречия в основном кажущиеся, так как спутник "Интеркосмос-2" в исследованном периоде и широтном диапазоне проходил систематически области максимума n_i севернее магнитного экватора на высотах 215 ± 320 км при среднем значении 250 км. Анализ высот северных максимумов n_i показывает, что они находятся ближе к области расположения главного максимума $n_i(h)$ и поэтому они систематически больше, чем южные максимумы.

На повышенное расплывание максимумов в южном направлении оказывает влияние также фактор солнечного излучения, накладывающийся на геомагнитный контроль распределения значений n_i , так как южнее магнитного экватора

при рассматриваемых декабрьско-январских условиях находятся области с большей высотой Солнца. Полученный здесь повышенный северный максимум находится в согласии с результатами [8] , где показано, что в полдень в декабре 1957 г. из двух максимумов экваториальной аномалии наблюдался только северный (для индийского сектора). Возможно, что на полученных в данной работе результатах сказывается более высокий уровень солнечной активности по сравнению с периодом измерений на спутниках "Алуэтт-1" и "Алуэтт-2".

Другие параметры дневной экваториальной аномалии (расположение и глубина минимумов, дневное развитие аномалии и др.) практически подтверждают результаты других исследований [17, 18, 19, 21 и др.] .

Что касается ночной экваториальной аномалии, то эти эффекты проявляются в основном лишь на высотах более 900 км, хотя спутник пролетал в области геомагнитных широт $\pm 30^\circ$ высоты от ~ 700 до ~ 1200 км. При этом в области геомагнитного экватора наблюдались довольно глубокие ночные минимумы.

Анализ полученных данных будет продолжен с учетом изменения массового состава ионов на рассматриваемых высотах.

Авторы очень признательны за полезные обсуждения профессору К.И. Грингаузу.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. E.V. Appleton, Nature, 157, 691, 1946. 17.
2. E.V. Appleton, Journ. Atm. Terr. Phys., 2, 348, 1954. 18.
3. O. Burkard, 1950 Proc. Mixed Commission on Ionosphere, 145, 1951. 19.
4. H.L. Lung, Journ. Geoph. Res., 54, 177, 1949. 20.
5. R.G. Rastogi, Journ. Geoph. Res., 64, 727, 1959. 21.
6. Т.С.Керблей. В сб.: "Исследования ионосферы", № 5, изд. АН СССР, 74, 1960. 22.
7. Н.П.Бенькова, К.Н.Васильев. Геомагнетизм и аэрномия, 4, 842, 1964. 23.
8. М.Н.Фаткуллин. Геомагнетизм и аэрномия, 8, 274, 1968. 24.
9. S.K. Mitra, Nature, 158, 668, 1946. 25.
10. D.F. Martyn, The Physics of the Ionosphere, Phys. Soc., London, 1955, 254. 26.
11. K. Maeda, The Physics of the Ionosphere, Phys. Soc., London, 1955, 245.
12. M. Hirono, H. Maeda, Journ. Geophys. Res., 60, 241, 1955. 27.
13. O.A. Awojooi, Journ. Atm. Terr. Phys., 27, 1309, 1965.
14. R.G. Baxter, Journ. Atm. Terr. Phys., 26, 711, 1964.
15. E.N. Bramley, M. Young, Journ. Atm. Terr. Phys., 30, 99, 1968. 28.
16. R.A. Goldberg, R. Schmelring, Journ. Geophys. Res., 68, 1927, 1963. 29.
- 30.

17. K.L. Chan, L. Colin, *PIEEE*, 57, 990, 1969.
18. D. Eccles, J.W. King, *PIEEE*, 57, 1012, 1969.
19. R.A. Goldberg, *PIEEE*, 57, 1119, 1969.
20. В.М.Поляков, Л.А.Щепкин, Э.С.Казимировский, В.Д.Кокоуров, Ионосферные процессы, изд. "Наука", Новосибирск, 1968.
21. H. Rishbeth, *Reviews of Geophys.*, 6, 33, 1968.
22. К.И.Грингауз, К.Б.Серафимов, К.Х.Шмеловски, Я.Шмилауэр. Космические исследования, 11, N1, 95 (1973) (см. также наст. сборник).
23. К.И.Грингауз, В.В.Безруких, В.Д.Озеров. В сб.: "Искусственные спутники Земли", вып. 6, изд. АН СССР, 63, 1961.
24. К.И.Грингауз, М.Х.Зеликман. Успехи физических наук, 63, 239, 1957.
25. К.И.Грингауз, Б.Н.Горожанкин, Н.М.Шютте, Г.Л.Гдалевич. Доклады АН СССР, 151, 560, 1963.
26. В.В.Афонин, Т.К.Бреус, Г.Л.Гдалевич, Б.Н.Горожанкин, К.И.Грингауз, Р.Е.Рыбчинский, Н.М.Шютте. Исследования космического пространства. Изд. "Наука", 151, 1965.
27. A.P. Willmore, R.L.F. Boyd and P.J. Bowen. Proc. of the Int. Conf. on the Ionosphere, London, 1962. Publ. by the Physical Society, London, p. 517, 1963.
28. P.J. Bowen, R.L.F. Boyd, W.J. Raitt and A.P. Willmore. Proc. Roy. Soc., 281, 504, 1964.
29. G.L. Wrenn. Proc. of the IEEE, 57, 1072, 1969.
30. G. Medicus. *J. Appl. Phys.*, 33, 3094, 1962.

31. L.W.Parker. Theory of electrostatic planar and spherical probes. Prepared under Contract NAS5-9088 by MT AUBURN Research Associates, Cambridge, Mass., 1967.
32. M.Kanal. Theory of current collection of moving spherical probes. University of Michigan Space Research Laboratory. Report N.JS-5, April, 1962.
33. Geomagnetismus und Aeronomie, Akademie-Verlag, Berlin, 1953.
34. Y.Hakura. Rep.Ionosph.and Space Res. in Japan, 19, 121, 1965.
35. Г.Л.Нелмс. Сезонные и суточные вариации распределения электронной концентрации во внешней ионосфере. В сб.: "Распределение электронов в верхней атмосфере", пер. с англ.под ред. К.И.Грингауза, изд."Мир", 1969, стр.354.
36. J.W.King, P.A.Smith, D.Eccles, G.F.Fooks, H.Helm. Proc.Roy.Soc. (London), ser.A, 281, 464, 1964.

На
перат
ложе