

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

КОСМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

Том XI

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

2

МОСКВА · 1973

УДК 550.385.41

**ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ, ПРОВЕДЕННЫЕ
ПРИ ПОМОЩИ СПУТНИКА «ИНТЕРКОСМОС-2»**

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

**II. 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.XII 1969 г. по 20.I 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.

Характерной формой широтного распределения дневных и вечерних значений электронной концентрации области F является распределение с двумя максимумами на геомагнитных широтах $\sim 15 \div 30^\circ N$ и $15 \div 30^\circ S$ и минимумом 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 Эшплтон 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 глобального распределения электронной и ионной концентраций 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 , расположенной выше максимума электронной концентрации. В частности, по разным исследованиям экваториальное понижение электронной и ионной концентраций не наблюдается выше 500 км (например, [17]), а в других работах утверждается, что аномалия должна наблюдаться до 700 км [19]. Отдельные результаты указывают на существование экваториальной аномалии и на высотах до 900 км. Изменение глобального распределения положений широтных максимумов и минимумов электронной концентрации также требует дальнейшего изучения. Довольно неясны и даже противоречи-

вы сведения о передвижении максимумов после восхода Солнца (ср., 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.

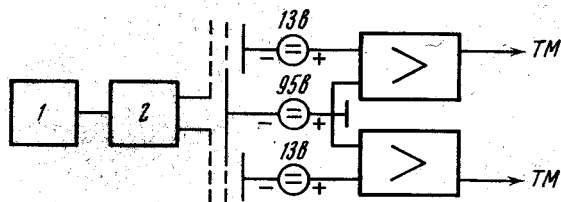


Рис. 1. Блок-схема включения ионных ловушек:
1 — генератор пилообразного напряжения, 2 — коммутатор

Поэтому была поставлена следующая задача: пользуясь данными ионных ловушек, установленных на спутнике с рационально выбранной орбитой, получить новые сведения об экваториальной аномалии и выснить возможность ее исследования зондовыми методами. Для этой цели был использован спутник «Интеркосмос-2» (выведен на орбиту 25.XII 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 искусственном спутнике Земли [23], выведенном на орбиту 15.V 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.IV 1962 г. На англо-американском спутнике «Ариэль-1», выведенном на орбиту 26.IV 1962 г., также была использована сферическая ионная ловушка [27, 28], которая работала в качестве масс-спектрометра. Такая же ловушка была использована на спутнике «Эксплорер-31» [29], запущенном 29.XI 1965 г. Теория сферических ионных ловушек приведена также в работах [30—32].

Сферические ионные ловушки, примененные на спутнике «Интеркосмос-2» (внешний вид которых показан в [22]), были трехэлектродными, причем каждая из них состояла из внешней сетки, внутренней (антифотоэлектронной) сетки и коллектора. Внутренние сетки имели потенциал -95 в относительно корпуса (-82 в относительно коллекторов), обеспечивающий подавление фотоэмиссии с коллекторов. Коллекторы через источники напряжения 13 в соединены с входами усилителей постоянного тока. При этом на коллекторах создавался отрицательный потенциал -13 в относительно корпуса. Блок-схема включения ловушек и усилителей представлен на рис. 1.

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 двучкальные выходы и позволяли регистрировать коллекторные токи ионных ловушек в диапазоне $(0,005 \div 2,5)$ 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 тока коллекторного I_K ловушек 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

$$\frac{dI_K}{dU} = - \frac{2\alpha S e^2}{m_i V_s} n_i,$$

где α — результирующий коэффициент прозрачности сеток ловушки, S — площадь центрального сечения ловушки, e — заряд электрона, m_i — масса ионов, V_s — поступательная скорость спутника, n_i — концентрация положительных ионов (подсчитываемых однократно). Отсюда получаем

$$n_i = \frac{m_i V_s}{2\alpha S e^2} \left| \frac{dI_K}{dU} \right|. \quad (1)$$

Согласно [23] проекция линейного участка вольт-амперной характеристики на ось U должна иметь длину ΔU , превышающую значение потенциала полного торможения ионов

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

Однако анализ вида вольт-амперных характеристик, полученных на данном спутнике, показал, что реальные характеристики имели укороченные 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 повиженном абсолютном значении потенциала коллектора и энергиях, превышающих 2,4 эв, линейный участок вольт-амперной характеристики укорачивается. Однако те же лабораторные исследования подтвердили, что при этом угловой коэффициент линейного участка характеристики не изменяется. Это позволяет достоверно определять отношение концентрации к массе в однокомпонентной среде, а при наличии двух линейных участков вольт-амперной 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 глобальном распределении ионной концентрации в области F были использованы частично обработанные материалы, полученные в период с 30.XII 1969 г. по 20.I 1970 г.

На рис. 2 в качестве примера показаны изменения ионной концентрации, измеренной днем на 72 витке 30.XII 1969 г. На оси абсцисс отложены геомагнитная широта Φ_m (ограниченная интервалом обычно наблюдаемой экваториальной аномалии) и соответствующие высоты пролета спутника. Из рисунка четко виден «геомагнитный контроль» распределения ионной

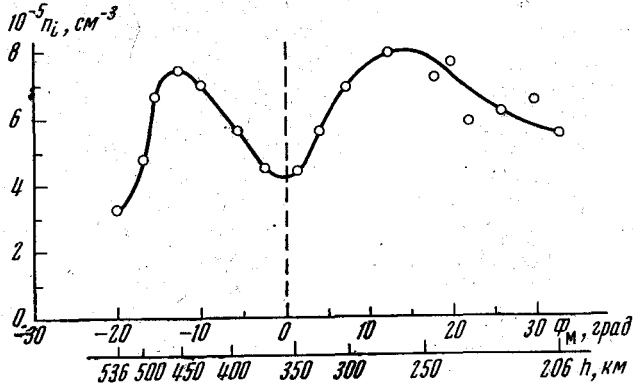


Рис. 2. Пример экваториальной аномалии в распределении ионной концентрации (n_i), 30.XII 1969 г. (день)

концентрации, который ведет к образованию минимума около геомагнитного экватора и появлению двух максимумов (один в южном полушарии около 13° геомагнитной широты и другой в северном — около 14°). Северный максимум расположен вблизи максимума области F , который, по нашему анализу $n(h)$ -профилей ряда восточноевропейских станций в декабре 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—21, 23, 24 и др.].

Многочисленные результаты измерений во время различных прохождений спутника, проанализированные нами, подтверждают пример на рис. 2, конечно, с минимумами и максимумами в геомагнитном широтном распределении на разных, только приблизительно совпадающих широтах. Для анализа последних на гистограмме рис. 3, а показаны случаи расположения минимума на освещенных участках орбиты 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 n_i точно совпадает с геомагнитным экватором. В северном направлении отклонения минимумов относительно геомагнитного экватора не превышают 15° , а в юж-

ном — доходят до 25° . Минимумы в южном полушарии имеют больше 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. 4, а. Внизу на гистограмме показан высотный участок, который спутник проходил в проанализированных случаях в геомагнитном широтном районе $\pm 30^\circ$.

Расположение максимумов относительно геомагнитного экватора показано на рис. 3, б. Из гистограммы видно, что преоб-

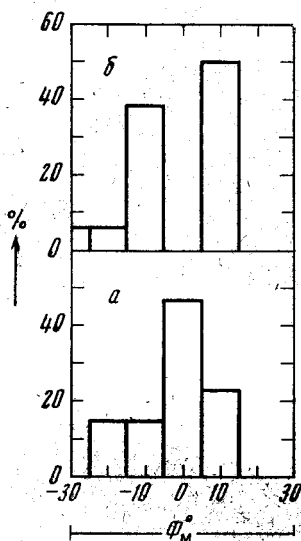


Рис. 3

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

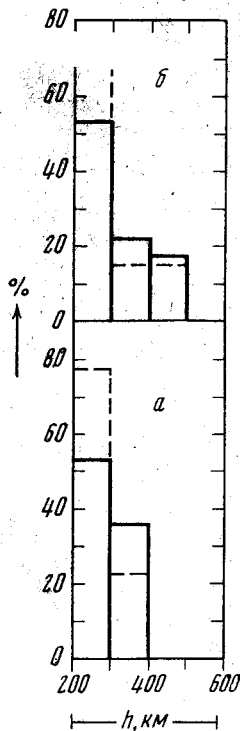


Рис. 4

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

штриховая линия — к общему числу минимумов (максимумов); сплошная — к числу проанализированных пролетов по каждому из интервалов

ладает 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 $+15^\circ$ 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. 4, б). При этом преобладающее число максимумов приходится на высотный участок $200 \div 300$ км (около перигея спутника и в районе непосредственно ниже максимума электронной концентрации области F).

На основании гистограммы рис. 4, б можно утверждать, что хотя спутник проходит высотные участки $500 \div 580$ км (относящиеся к интервалу $-30^\circ \div +30^\circ$ геомагнитной широты), в них не наблюдаются максимумы ионной концентрации. Из этого вывода и результатов анализа рис. 4, а следует, что экваториальная аномалия при рассматриваемых сезонных и цик-

лических условиях ограничивается днем областью высот от 200 до 500 км.

Ночью на относительно низких высотах (до 800 км) не наблюдаются 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

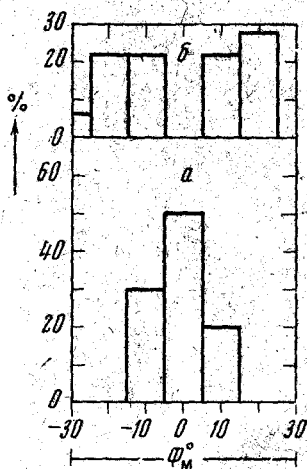


Рис. 5

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

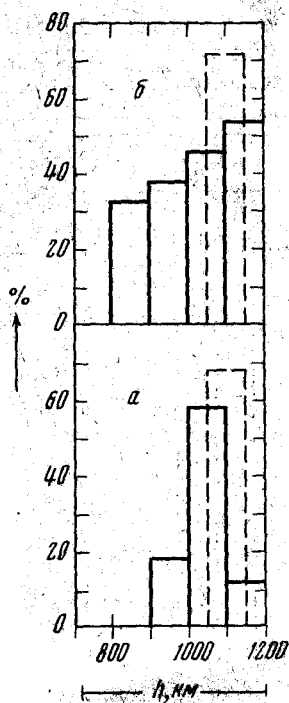


Рис. 6

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

и максимумов в указанном интервале геомагнитных широт ночью в этом высотном диапазоне выявляется при анализе вольт-амперных характеристик с двумя линейными участками. Такой 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 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 $+5^\circ$ до $+15^\circ$). Асимметрию можно заметить также на рис. 3 для дневных характеристик экваториальной аномалии.

Высотное расположение случаев появления ночных минимумов ионной концентрации относительно числа проанализированных пролетов по каждому из интервалов показано сплошной линией на рис. 6, а. Из этого рисунка видно, что геомагнитные влияния проявляются сильнее всего на участ-

ке $1000 \div 1100$ км. Максимум этих экваториальных магнитных эффектов обнаруживается в диапазоне от 1050 до 1150 км (см. штриховую линию на рис. 6, а). Этот максимум показывает, что независимо от ограниченного апогея (≤ 1200 км) можно утверждать, что ночные проявления геомагнитной аномалии локализуются главным образом возле высоты 1100 км. Расположение случаев относительного появления ночных максимумов концентрации легкого иона в зависимости от геомагнитной широты показано на рис. 5, б. Из рисунка следует, что максимальная частота появления «гребней» в ионной концентрации легкого иона наблюдается в северном направлении в широтном диапазоне $+15 \div +25^\circ$, а в южном направлении — в диапазоне $-5 \div -25^\circ$. Высотное распределение случаев появления максимумов концентрации легкого иона ночью относительно числа проанализированных пролетов по каждому из интервалов показано сплошной линией на рис. 6, б. Эта гистограмма позволяет в первом приближении утверждать, что наибольшее проявление геомагнитного контроля ночью в возникновении максимумов и минимумов распределения концентрации легкого иона (см. штриховые линии на рис. 6) находится в области высот $1050 \div 1150$ км; однако надо иметь в виду, что статистика для высот выше 1150 км охватывает небольшое число случаев вследствие постепенного понижения апогея спутника.

Величина отношения максимума к минимуму в экваториальной аномалии довольно изменчива — от величины, близкой к единице, до порядка. Очень интересным является тот факт, что в противоречии с литературными данными (см., например, [17—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 максимумов и минимумов в районе $\pm 30^\circ$ геомагнитной широты не показали заметную 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 на освещенных участках орбиты пролеты в районе геомагнитных широт $\pm 30^\circ$ проходили 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 расщепления 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 утверждением 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. Полученное здесь расплывание положения южных максимумов h , 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 полусферы в зимнюю через магнитный экватор. Данные измерений со спутника «Алутт-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 кажутся, так как спутник «Интеркосмос-2» в исследованном периоде и широтном диапазоне проходил систематически области максимума h севернее магнитного экватора на высотах $215 \div 320$ км при среднем значении 250 км. Анализ высот северных максимумов h показывает, что они находятся ближе к области расположения главного максимума $h_1(h)$ и поэтому систематически больше, чем южные максимумы.

На повышенное расплывание максимумов в южном направлении оказывает влияние также фактор солнечного излучения, накладывающийся на геомагнитный контроль распределения значений h , 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 данными измерений, опубликованными, например, в [17, 18].

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

Что касается ночной экваториальной аномалии, то эти эффекты проявляются в основном лишь на высотах более 900 км, хотя спутник «Интеркосмос-2» 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.

Дата поступления
14 апреля 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. V. Appleton. *Nature*, 157, 691, 1946.
2. E. V. Appleton. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 5, 348, 1954.
3. O. Burkard. 1950. *Proc. Mixed Commission on Ionosphere*, 145, 1951.
4. H. L. Lung. *J. Geophys. Res.*, 54, 177, 1949.
5. R. G. Rastogi. *J. Geophys. Res.*, 64, 727, 1959.
6. Т. С. Керблай. Сб. «Исследования ионосферы», № 5, Изд-во АН СССР, 1960, стр. 74.
7. Н. П. Бенькова, К. Н. Васильев. *Геомагнетизм и аэрономия*, 4, 842, 1964.
8. М. Н. Фаткуллин. *Геомагнетизм и аэрономия*, 8, 274, 1968.
9. S. K. Mitra. *Nature*, 158, 668, 1946.
10. D. F. Martyn. *The Physics of the Ionosphere*. Phys. Soc., London, 1955, p. 251.
11. K. Maeda. *The Physics of the Ionosphere*. Phys. Soc., London, 1955, p. 245.
12. M. Hirono, H. Maeda. *J. Geophys. Res.*, 60, 241, 1955.
13. O. A. Awojooi. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 27, 1309, 1965.
14. R. G. Baxter. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 26, 711, 1964.
15. E. N. Bramley, M. Young. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 30, 99, 1968.

16. R. A. Goldberg, R. Schmelring. *J. Geophys. Res.*, 68, 1927, 1963.
17. K. L. Chan, L. Collin. *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. Щенкин, Э. С. Казмировский, В. Д. Кокоуров. *Ионосферные процессы*. Новосибирск, «Наука», 1968.
21. H. Rishbeth. *Rev. Geophys.*, 6, 33, 1968.
22. К. И. Грингауз, К. Б. Серафимов, К. Х. Шмеловски, Я. Шмизлауэр. *Космич. исслед.*, 11, 95, 1973.
23. К. И. Грингауз, В. В. Безруких, В. Д. Озеров. *Сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 6*. Изд-во АН СССР, 1961, стр. 63.
24. К. И. Грингауз, М. Х. Зеликман. *Успехи физ. н.*, 63, 239, 1957.
25. К. И. Грингауз, Б. Н. Горожанкин, Н. М. Шютте, Г. Л. Гдалевич. *Докл. 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. *Сб. «Исследования космического пространства», М., «Наука», 1965, стр. 151.*
27. A. P. Willmore, R. L. F. Boyd, P. J. Bowen. *Proc. of the Int. Conf. on the Ionosphere, London, 1962, Publ. by the Physical Society, London, 1963, p. 517.*
28. P. J. Bowen, R. L. F. Boyd, W. J. Raitt, A. P. Willmore. *Proc. Roy. Soc.*, 281, 504, 1964.
29. G. L. Wrenn. *Proc. 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. Nakura. *Rep. Ionosph. and Space Res. in Japan*, 19, 121, 1965.
35. Г. Л. Нелмс. *Сезонные и суточные вариации распределения электронной концентрации во внешней ионосфере*. Сб. «Распределение электронов в верхней атмосфере» пер. с англ. под ред. К. И. Грингауза. «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.