

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им. О.Ю.ШВИДТА

На правах рукописи

БЕЗРУКИХ Владимир Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

(01.04.12 - Геофизика)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

г. Москва, 1973

Работа выполнена в Институте космических исследований
АН СССР.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор К.И.Грингауз.

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук

Б.А.Тверской

Кандидат физико-математических наук

И.Н.Одинцова

Ведущее учреждение: Институт прикладной геофизики ИГИМС.

Автореферат разослан "18" октября 1973 г.

Защита состоится "20" ноября 1973 г. в 14 часов
на заседании Специализированного Ученого Совета по геомагнетизму
Ордена Ленина Института ^{физики} Земли им.О.Ю.Шмидта АН СССР
в конференц-зале Института по адресу: г.Москва, Д-242,
Большая Грузинская 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Института.

Ученый секретарь
Совета

Г.М.СОЛОДОВНИКОВ

Одним из важных научных результатов, полученных в 1959 г. при помощи космических аппаратов Луна-1, Луна-2 и Луна-3, явилось экспериментальное обнаружение на высотах от ~ 2000 км до $\sim 15000-20000$ км сравнительно холодной плазмы (с температурой порядка нескольких десятков тысяч градусов), а также ускоренного спада ионной концентрации на высотах ~ 15000 км [1-4]. Впоследствии область, расположенная на высотах $\sim 1000-20000$ км (вблизи плоскости геомагнитного экватора) и содержащая холодную плазму, получила название "плазменная оболочка Земли" или "плазмосфера", а область ускоренного спада концентрации холодной плазмы - естественная граница плазмосферы - получила название "плазмопауза".

В настоящее время накоплены экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что плазмопауза, помимо значительных отрицательных градиентов концентрации маловысокой плазмы, характеризуется также ростом температур заряженных частиц и изменением характеристик ОНЧ (VLF) шумов.

Согласно современным представлениям плазмосфера является периферийной частью ионосферы, содержащей ионы земного происхождения: главным образом ионы водорода с небольшой добавкой ионов гелия (концентрация последнего в плазмосфере не превышает нескольких процентов от концентрации протонов).

Ионы водорода, заполняющие плазмосферу, образуются в результате диссоциации молекул воды в верхней атмосфере и последующей ионизации в реакции перезарядки $H + O^+ = H^+ + O$, которая эффективно осуществляется в области ионосферы, где частота соударений достаточно высока. В зависимости от фазы солнечной активности верхняя граница этой области лежит на высотах от ~ 500 км до ~ 1000 км. Образовавшиеся в реакции перезарядки ионы водорода транспортируются в плазмосферу в результате диф-

фузки вдоль силовых трубок геомагнитного поля. Если днем потоки заряженных частиц направлены снизу вверх, в результате чего плазма ионосферного происхождения заполняет плазмосферу, то ночью потоки заряженных частиц направлены из плазмосферы в ионосферу. Потоки заряженных частиц сверху вниз ответственны за поддержание ночной ионосферы.

Эти представления сформировались в период с 1960 по 1970 гг. в результате прямых экспериментов на космических аппаратах Луна-1, Луна-2, Луна-3 Грингауза и др. [1-4], Электрон-2 и Электрон-4 Безруких и Грингауза [5], Безруких [6], Марс-1 Грингауза и др. [7], ОГО-1 и ОГО-3 Тейлора и др. [8,9], ИМП-2 Бинсака [10], ОГО-5 Чепела и др. [11,12], Сербу и Майера [13], а также в результате наблюдений за распространением свистящих атмосфериков Карпентера [14,15].

В главе I диссертации излагаются вопросы, связанные с лабораторными исследованиями характеристик и с интерпретацией показаний ловушек, использовавшихся для исследования плазмосферы на советских космических аппаратах.

Ток, измеряемый ловушкой, может быть записан в форме

$$J = An \int_{\bar{v}} F(v, \theta) v f(v, v, T_i) d\bar{v} \quad (1)$$

где A - постоянный коэффициент, n - ионная концентрация, f - функция распределения ионов по скоростям (предполагается, что в системе координат, связанной с плазмой, распределение ионов по скоростям - максвелловское), $F(v, \theta)$ аппаратная функция ловушки, зависящая от угла прихода частицы в ловушку и от скорости частицы.

Определение аппаратной функции было выполнено экспериментальным путем. Ловушка, установленная в вакуумную камеру, об-

лучалась широким пучком ионов с фиксированными энергиями 5 эв - 10 эв, при этом измерялся ток ловушки при углах между ее осью и направлением потока от 0 до 180°. Трудность, связанная с необходимостью исследования ловушки в пучках весьма низких энергий ($E \leq 1$ эв) была преодолена соответствующим увеличением потенциалов на электродах ловушки по сравнению с номинальными, благодаря чему была измерена угловая зависимость ловушки для ионов с $E \sim 1$ эв.

Исследование экспериментально измеренных аппаратурных функций интегральных ловушек несколько отличающихся конструкций показало, что их аппаратурные функции могут быть представлены в виде $F(v, \theta) = F_1(\theta) \cdot F_2(v)$. Функции $F_1(\theta)$ и $F_2(v)$ были аппроксимированы полиномами вида $F(x) = \sum_K a_K x^K$. Наконец, окончательное уравнение для тока ловушки после подстановки в (1) аппаратурной функции и выражения для максвелловского распределения по скоростям с учетом скорости спутника можно записать в виде

$$J = n_i e \left(\frac{m_i}{2\pi K T_i} \right)^{3/2} A \int_0^{v_0} dv \int_0^\alpha d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \cdot v^3 \sin\theta \cdot \sum_r a_r \theta^r \sum_s b_s v^s \exp \left\{ -\frac{m_i}{2K T_i} [v^2 + v_0^2 - 2v v_0 \cdot (\sin\alpha \cdot \sin\theta \cos\varphi + \cos\alpha \cdot \cos\theta)] \right\} \quad (2)$$

где

- n_i - концентрация ионов
- e - заряд электрона
- m_i - масса иона
- K - постоянная Больцмана
- T_i - температура ионов
- A - площадь входного отверстия ловушки
- v_0 - скорость спутника
- α - угол атаки

v - скорость иона
 θ, φ - координатные углы.

Верхний предел интегрирования по скорости был выбран
 $v_1 = 4 v_{T_{max}} = 4(2kT_{i,max}/m_i)^{1/2}$; при $T_{i,max} = 5 \cdot 10^4 \text{K}$
 $v_1 = 10^7 \text{cm/сек.}$

Верхний предел интегрирования по полярному углу θ_1 зависит от диаграммы ловушки, места установки ее на космическом аппарате, геометрии космического аппарата и должен оцениваться отдельно для каждого эксперимента. Учет указанных факторов показал, что ширина угловой диаграммы полусферической ловушки на спутниках Электрон $\theta_1 = 120^\circ$.

Интегрирование (2) позволило записать ток, регистрируемый ловушкой в виде

$$J = n_i G(v_0, T_i, d) \quad (3)$$

функция G в (3) - значения интеграла в (2), рассчитанные при различных значениях скорости спутника v_0 , температуры ионов T_i , и угла атаки d - угла между осью ловушки и вектором скорости космического аппарата. Из (3), располагая предварительно рассчитанными значениями $G(v_0, T_i, d)$, можно легко определять n_i по величине тока ловушки. Если мы располагаем двумя значениями тока, измеренными ловушкой на некоторой высоте при различных ориентациях ловушки относительно вектора скорости (различных углах d), то помимо концентрации ионов n_i может быть определено значение ионной температуры из системы уравнений

$$J_1 = n_i G(v_0, T_i, d_1)$$

$$J_2 = n_i G(v_0, T_i, d_2)$$

Глава II диссертации содержит подробные описания методики экспериментов по исследованию плазмосферы и результатов измерений, проведенных на советских космических аппаратах.

На запущенных к Луне первых советских космических ракетах (Луна-1, Луна-2, Луна-3) были установлены ловушки заряженных частиц для исследования малоэнергичной плазмы в околоземном и межпланетном пространстве. В экспериментах регистрировались токи четырех ловушек, на внешние сетки которых были поданы неизменные потенциалы от -10 в до $+15$ в. Совокупность токов, измеренных ловушками с различными потенциалами, дала возможность оценить энергии зарегистрированных частиц и отделить токи, образованные ионами с тепловыми энергиями (~ 1 эв) от токов, создаваемых ионами солнечного ветра, имеющих энергии $\sim 10^2-10^3$ эв.

Космические аппараты Луна-1, Луна-2, Луна-3, Электрон-2 и Электрон-4 не имели принудительной ориентации и, перемещаясь по траектории, вращались вокруг своего центра масс. Поэтому характерной особенностью первичных данных, регистрируемых детекторами малоэнергичной плазмы, установленных на вращающихся космических аппаратах, является "модуляция" их показаний, вследствие изменения угла атаки d , величина которого в ряде случаев неизвестна. Естественно полагать, что наибольшие значения токов измерены при близких друг к другу и сравнительно малых значениях угла d . Поэтому изменения тока ловушки вдоль траектории, которые зависят главным образом от окружающей среды, могут быть описаны при помощи кривых, отгибающих наибольшие значения тока; при этом влияние вращения космического аппарата на результаты измерений будет в значительной степени исключено.

На расстояниях до 15000-20000 км ловушки с потенциалами наружных сеток $U_c = 0$ относительно корпуса аппарата зарегистри-

ровали значительные положительные токи, в то время, как в ловушке с $U_c = +15$ в наблюдались только отрицательные токи, вызванные фотоэмиссией электронов с внутренней сетки. Характер зарегистрированных токов ловушек позволил сделать следующие выводы:

1. На расстояниях от Земли до 4 земных радиусов обнаружена плазма с температурой не более десятков тысяч градусов. Это следует из существенного влияния небольших (равных 5 в) отличий одного от другого потенциалов внешних сеток ловушек на величины коллекторных токов и из отсутствия (на расстояниях от Земли $R > 3000$ км) тока в ловушке с положительным потенциалом внешней сетки.

2. Область, содержащая малоэнергичную плазму - плазмосфера, имеет четкую границу - плазмопаузу, характеризующуюся повышенными отрицательными градиентами концентрации ионов.

По поводу экспериментов с ловушками на первых советских космических ракетах Аксфорд в 1968 г. в журнале "Space Science Review" [16] писал, что эти эксперименты "были замечательны тем, что, помимо первых наблюдений солнечного ветра они дали профили верхней ионосферы, впервые указали на существование плазмопаузы ... и открыли области, содержащие потоки мягких электронов, которые теперь известны как "касп" и "переходная область".

На спутниках Электрон-2 и Электрон-4, запущенных 30.1.1964 г. и 11.7.1964 г., соответственно, на орбите с апогеем ~ 68000 км и наклоном орбит к плоскости экватора $\sim 61^\circ$ было установлено по одной ловушке интегрального типа с полусферической сеткой. При помощи этих спутников было получено более пятидесяти распределений n_i в утреннем, ночном и вечернем секторах магнитосферы на низких и средних геомагнитных широтах.

Большинство распределений $n_i(h)$, зарегистрированных на спутниках, имеет отчетливо выраженное колено.

Изучение полученных распределений показало, что размеры и форма плазмосферы весьма изменчивы и существенно зависят от уровня магнитной активности. При повышении активности размеры плазмосферы сокращаются, при понижении активности — увеличиваются. Однако в первом приближении можно считать, что в условиях умеренной магнитной активности плазмопауза в утреннем и дневном секторах располагается на $3 R_3 < R < 5 R_3$, а в вечернем секторе — на $5,5 R_3 < R < 6,5 R_3$. Также в первом приближении можно полагать, что проекция плазмопаузы на меридиональную плоскость, по крайней мере на низких и средних геомагнитных широтах ($\lambda < 45^\circ$) в периоды умеренной геомагнитной активности совпадает с силовой линией $L = 4$.

Значительное число распределений $n_i(L)$, зарегистрированных в периоды с различной геомагнитной активностью, позволили получить зависимость размеров экваториальной проекции плазмосферы от величины Kp индекса. Линейная аппроксимация указанной зависимости показала, что размеры плазмосферы $L = 5,5 (1 - 0,1 \cdot K_{pm})$, где K_{pm} — максимальное значение Kp-индекса за сутки, предшествующие измерениям. Полученный результат хорошо согласуется с данными Бинзака [10] и Карпентера [17], согласно которым $L = 6(1 - 0,1 Kp)$ и $L = 7(1 - 0,1 Kp)$, соответственно.

Распределения $n_i(L)$, полученные на спутнике Электрон-4, не дали свидетельств о существовании плазмопаузы на широтах $\lambda > 45^\circ$.

В пределах плазмосферы закон изменения концентрации на низких широтах в ночном секторе соответствует $n_i \sim R^{-3}$, в вечернем — $n_i \sim R^{-4}$, на более высоких широтах (т.е. ближе к основаниям силовых трубок) — $n_i \sim R^{-5}$.

Отношение концентраций ионов по обе стороны плазмопаузы обычно достигает 10. В возмущенный период значение n_i с внутренней стороны плазмопаузы обычно значительно выше, чем в спокойный период ($\sim 10^3$ ион/см³ и $\sim 10^2$ ион/см³, соответственно).

Подобно первым космическим ракетам, спутник Электрон-2 не имел принудительной ориентации и поэтому показания ловушки, установленной на Электроне-2, оказались "модулированными" вращением спутника. Зависимость токов, регистрируемых ловушкой, от угла атаки была использована для оценки ионных температур в плазмосфере. При этом предполагалось, что влиянием электрического поля, создаваемого отличием потенциала космического аппарата от потенциала плазмы, можно пренебречь. Близость потенциала Электрона-2 к нулю следует из соотношения максимальных токов, зарегистрированных при помощи ионной ловушки на высотах ~ 10000 км в плазмосфере во время нахождения спутника в земной тени и вне ее [5]. В ночных условиях потенциал спутника должен быть отрицательным, тогда как при солнечном освещении он может стать более положительным и, возможно, изменить знак. Это обстоятельство должно было бы отразиться на величине токов. Близость значений токов, зарегистрированных в обоих случаях, указывает на малость потенциала спутника относительно окружающей среды в этой области высот. Вывод о малости потенциала спутника OIG-I в плазмосфере может быть сделан из работы Бринтона и др. [18].

Как и во многих других работах (см., например, Паркер и Уинча [19] и Уинча [20]) при определении температуры ионов в качестве распределения ионов по скоростям принималось максвелловское распределение. В связи с тем, что значения угла атаки в моменты измерения токов на Электроне-2 в большинстве случаев были неизвестны, предполагалось, что наибольшее значение тока было измерено при $\alpha = 0$, наименьшее - при $\alpha = 180^\circ$. И, наконец, для

упрощения расчетов использовалась формула для тока плоской ловушки. Два последних допущения привели к тому, что были оценены не температуры ионов, а их верхние пределы. Согласно сделанным оценкам верхний предел температуры ионов изменяется от 0,65 эв на $2R_3$ до 1,1 эв на $(4-5)R_3$.

Эксперименты по исследованию плазмосферы при помощи ловушек были продолжены на космических аппаратах Венера-2, Венера-3, запущенных, соответственно, 19.07.1965 г., 12.11.1965 г. и 16.11.1965 г. Эти аппараты, в отличие от рассмотренных выше, были ориентированы на Солнце и медленно вращались относительно направления на Солнце. Наличие ориентации у аппаратов Зонд-3, Венера-2 позволило оценить пределы возможных изменений угла атаки для каждой из ловушек. Согласно оценкам угол атаки $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. Связанная с неопределенностью угла атаки неопределенность измерения n_i оказалась в пределах фактора 1,6.

На Венере-3, где коллекторы ловушек были соединены между собой, указанная неопределенность не превышала фактора 1,3.

При помощи Венеры-2 и Венеры-3 были получены данные, характеризующие распределения n_i в дневном секторе плазмосферы на низких геомагнитных широтах.

На участке траектории Венеры-2 от $h = 1000$ км до $h = 9000$ км n_i менялась как $R^{-3,8}$ до величины $n_i = 10^2$ ион/см³, а затем упала до или ниже предела чувствительности аппаратуры, равного ~ 20 ион/см³.

По данным Венеры-3 изменения концентрации ионов в плазмосфере вдоль траектории космического аппарата соответствовали $R^{-2,8}$. На высоте $h = 6100$ км $n_i = 400$ ион/см³, но уже на $h = 10000$ км $n_i \leq 20$ ион/см³. Измерениями n_i предшествовал довольно продолжительный период умеренной геомагнитной активности, траектории обоих космических аппаратов были весьма близки

друг к другу, поэтому представляется естественным, что плазменная пауза, положение которой отчетливо может быть определено из распределений, оказалась в обоих случаях на $L = 4$.

Траектория космического аппарата Марс-1, запущенного 30 ноября 1962 г., проходила в высокоширотной части магнитосферы, поэтому показания ловушек, установленных на Марсе-1, представляют особый интерес.

На высотах по крайней мере до 18000 км ($\varphi = 70^\circ$) ловушки зарегистрировали тепловую плазму.

Экспериментальные данные, полученные на Марсе-1, свидетельствуют о том, что область существования тепловой плазмы на высоких широтах не ограничивается геомагнитной оболочкой $L = 4$, как на низких и средних широтах, а распространяется далеко за ее пределы. По-видимому, образование высокоширотной ионосферы и высотное распределение концентрации заряженных частиц в ней определяются иными факторами, чем на низких и средних широтах (в частности, корпускулярными вторжениями в верхнюю атмосферу и "полярным ветром").

Исследования плазмосферы Земли при помощи интегральных ловушек, начатые в 1959 г., продолжены в 1972 г. на спутниках Прогноз-1 и Прогноз-2, выведенных на орбиту с апогеем 200000 км 14.04.1972 г. и 29.07.1972 г., соответственно. На обоих спутниках было установлено по две ловушки с полусферической внешней сеткой. На каждом из спутников одна из ловушек была ориентирована в направлении на Солнце, другая - в противоположном направлении. Рассмотрение траекторных данных показало, что ориентация относительно вектора скорости ловушки, установленной на затененной стороне спутника, в плазмосфере была существенно более благоприятна для измерения тепловой плазмы, чем ориентация ловушки,

установленной на освещенной Солнцем стороне спутника. В первом случае угол атаки $20^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$, во втором - $\alpha > 110^\circ$. Кроме того, следует иметь в виду, что показания ловушки, установленной на теневой стороне спутника, свободны от влияния фототоков. Поэтому для определения n_i использовались показания "теновой" ловушки.

За время жизни спутников Прогноз-1 и Прогноз-2 выполнены измерения n_i во время около 100 пролетов спутников с через плазму. В настоящее время обработана лишь незначительная часть результатов, полученных на этих спутниках. В диссертации приводятся лишь данные, полученные на нисходящем участке 1-го витка и восходящем участке 2-го витка спутника Прогноз-1 18.04.1972 г.

Уровень геомагнитной активности в течение двух суток, предшествующих измерениям на восходящем участке 1-го витка 18.04.1972 г. был весьма низким. В $1^h 02^m$ плазмопауза была зарегистрирована на $L = 6,5$, в 14^h по местному времени. В интервале $0^h - 3^h UT$ величина Kp-индекса внезапно возросла до 4_+ , а в интервале $3^h - 6^h UT$ - до 5_- . Плазмопауза в утреннем секторе плазмы ($\sim 4^h UT$), резко очерченная, была зарегистрирована в $3^h 50^m UT$ на $L = 3,5$.

Глава III содержит сведения о методике, аппаратуре и результатах всех зарубежных экспериментов, в которых исследовалась плазма. Особенно подробно рассмотрены эксперименты Сербу и Майера на спутнике ИМП-2 [21,22] и Сагалин и Смиди на спутниках ОГО-1 [23] и ОГО-3 [24], результаты которых находятся в резком противоречии с результатами как большинства зарубежных исследователей, так и с результатами, которые получены автором диссертации.

В главе III отмечен ряд слабых сторон в методике экспериментов Сербу и Майера, Сагалин и Смедди, которые могут объяснить результаты, полученные в этих экспериментах, противоречащие большинству имеющихся в настоящее время данных.

Данные об электронной концентрации в плазмосфере, вариации положения плазмоспаузы в зависимости от времени суток и уровня магнитной активности, опубликованные Карпентером и полученные им по данным вистлеров, несмотря на присущие этому методу ограничения (как известно, вистлеры, регистрируемые наземными станциями, дают сведения только об электронной концентрации вблизи плоскости экватора, кроме того вистлеры не могут быть использованы для определения температуры плазмы), сыграли весьма существенную роль в формировании представлений о плазмосфере. Сведения о динамике плазмоспаузы, полученные тем же методом, группа Карпентера с успехом использовала для диагностики поперечных электрических полей в магнитосфере. В связи с этим в главе III приводятся также основные результаты исследований плазмосферы по данным вистлеров в период 1963-1971 гг.

В настоящее время является общепринятой точка зрения, согласно которой плазмосфера является одним из важнейших образований в магнитосфере; формирование плазмоспаузы тесно связано с конвекцией холодной плазмы в магнитосфере. По-видимому, определенный вклад в формирование плазмоспаузы на высоких широтах вносит так называемый "полярный ветер". Эти вопросы рассматриваются в главе IV.

Основные результаты, содержащиеся в диссертации, состоят в следующем:

I. Обнаружено существование плазмосферы - периферийной области ионосферы Земли, заполненной малознергичной плазмой, и ее резкая граница - плазмоспауза.

2. Впервые оценена температура ионов в плазмосфере.

3. Получены данные о размерах плазмосферы, форме ее экваториальной и меридиональной пререкций. Исследована динамика плазмосферы, связанная с вариациями геомагнитной активности. Выполнены измерения N_i вдоль траекторий ряда космических аппаратов.

4. Измерения, выполненные в высокоширотной области плазмосферы, свидетельствуют в ряде случаев в пользу отсутствия плазмоспаузы в этой части плазмосферы.

5. В процессе указанных исследований разработана методика лабораторного исследования характеристик ловушек и получены соотношения, позволяющие использовать показания ловушек для расчета ионной концентрации и температуры с учетом ориентации ловушки относительно вектора скорости в предположении равенства нуля потенциала космического аппарата относительно плазмы.

6. Сделан обзор результатов изучения плазмосферы методом свистящих атмосфериков и отмечены ограничения, свойственные этому методу. Сделан также обзор работ, посвященных проблеме формирования плазмоспаузы.

Диссертация содержит 132 страницы машинописного текста, 88 рисунков. Библиография включает 185 названий.

Основные результаты изложены в работах:

1. К.И.Грингауз, В.В.Безруких, В.Д.Озеров, Р.Е.Рибчинский. Открытие, зарегистрированное в Государственном реестре открытий СССР 21 марта 1964 г. под № 27 с приоритетом 15 октября 1959 г. (заявка № ОI-282I от 16 февраля 1963 г.). Бюллетень изобретений и товарных знаков, № 12, 1964.

2. К.И.Грингауз, В.В.Безруких, В.Д.Озеров, Р.Е.Рыбчинский. Изучение межпланетного ионизованного газа, энергичных электронов и корпускулярного излучения Солнца при помощи трехэлектродных ловушек заряженных частиц на 2-ой советской космической ракете. Доклады АН СССР, 131, 1301, 1960.

3. K.I.Gringauz, V.V.Bezrukih, L.S.Musatov, R.Ye.Rybchinsky and S.M.Sheronova. Measurements made in the earth's magnetosphere by means of charge particle traps aboard the Mars 1 probe. Space Res., IV, 621, 1964.

4. K.I.Gringauz, V.V.Bezrukih, L.S.Musatov, R.Ye.Rybchinsky, E.K.Solomatina. Some results of measurements carried out by means of charged particle trap on the Electron-2 satellite. Space Res.VI, 850, 1965.

5. В.В.Безруких, К.И.Грингауз. Внешняя область ионосферы Земли (2000 до 20000 км). В кн.: "Исследования космического пространства", стр.177, изд-во "Наука", Москва, 1965.

6. К.И.Грингауз, В.В.Безруких, Т.К.Бреус. Способ определения ионной температуры по изменениям тока ионной ловушки, вызванным вращением спутника и оценке верхнего предела ионной температуры на высотах 10000 км по данным Электрона-2. "Космические исследования", У, вып.2, 245, 1967.

7. В.В.Безруких, Т.К.Бреус, К.И.Грингауз. Оценка верхнего предела температуры ионов на высотах 7000-30000 км по данным измерений на спутнике Электрон-2. "Космические исследования", У, вып.5, 798, 1967.

8. В.В.Безруких. Результаты измерений концентрации заряженных частиц в плазменной оболочке Земли, выполненных на борту спутников Электрон-2 и Электрон-4. "Космические исследования", УШ, вып.2, 273, 1970.

ЛИТЕРАТУРА

1. К.И.Грингауз, В.В.Безруких, В.Д.Озеров, Р.Е.Рыбчинский. Докл. АН СССР, 131, 1301, 1960.
2. К.И.Грингауз, В.Г.Курт, В.И.Мороз, И.С.Шкловский. Докл.АН СССР, 132, 1062, 1960.
3. К.И.Грингауз, В.Г.Курт, В.И.Мороз, И.С.Шкловский. Астрон.ж. XXXVII, вып.4, 716, 1960.
4. K.I.Gringauz. Planetary Space Sci., II, 281, 1963.
5. В.В.Безруких, К.И.Грингауз. В кн.: "Исследования космического пространства", стр.177, изд-во "Наука", Москва, 1965.
6. В.В.Безруких. Космические исследования УИ, № 2, 1970.
7. K.I.Gringauz, V.V.Bezrukikh, L.S.Musatov, R.Ye.Rybohinsky and S.M.Sheronova. Space Res., 4, 621, 1964.
8. H.A.Taylor, H.C.Brinton, G.R.Smith, Jr. J.Geophys.Res., 70, 5769, 1965.
9. H.A.Taylor, H.C.Brinton, M.W.Pharo III. J.Geophys.Res., 73, 961, 1968.
10. J.H.Binzack. J.Geophys.Res., 72, 5231, 1967.
11. C.R.Chappel, K.K.Harris, G.W.Sharp. J.Geophys.Res., 75, 50, 1970.
12. C.R.Chappel, K.K.Harris, G.W.Sharp. J.Geophys.Res., 75, 3848, 1970.
13. G.P.Serbu, E.J.R.Mayer. J.Geophys.Res., 75, 6102, 1970.
14. D.L.Carpenter. J.Geophys.Res., 68, 1675, 1963.
15. D.L.Carpenter. J.Geophys.Res., 71, 693, 1966.
16. W.I.Axford. Space Sci.Rev., 9, 331, 1968.

17. D.L.Carpenter. J.Geophys.Res., 72, 2969, 1967.
18. H.C.Brinton, R.A.Pickett, H.A.Taylor,Jr., Planetary Space Sci., 16, 899, 1968.
19. E.C.Whipple, L.W.Parker. J.Geophys.Res., 74, 2962, 1969.
20. E.C.Whipple "The validity of low energy particle collection techniques in the magnetosphere", paper presented at XVII General Assembly of URSI, Warsaw, 1972.
21. G.P.Serbu, E.J.R.Maier. J.Geophys.Res., 71, 3755, 1966.
22. G.P.Serbu, E.J.R.Maier. Space Res.VII, 527, 1967.
23. R.C.Sagalin and M.Smiddy. Results of charged particle measurements in the energy range 0 to 1000 ev, OGO-A, AFCL (CRUB) L.G. Hansom Field, Bedford, Mass., Preprint.
24. Magnetosphere plasma properties during a period of rising solar activity - OGO-III AFCL, Hansom Field, Bedford, Mass., Preprint.

zakas 838
T-16336

rup 120