

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Том VIII

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

2

МОСКВА · 1970

УДК 550.385.37

М. З. Холлов

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ВРЕМЕННЫЕ
ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ МЯГКИХ ЭЛЕКТРОНОВ
В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ЛОВУШКИ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА «ЭЛЕКТРОНЕ-2» И ИХ СВЯЗЬ
С ОРИЕНТАЦИЕЙ МАГНИТНОГО ДИПОЛЯ ЗЕМЛИ**

Рассматривается пространственное распределение и временные вариации потоков мягких электронов ($\sim 0,1-10$ кэв) по данным ловушки заряженных частиц, установленной на спутнике «Электрон-2». Измерения (30.I-2.VI 1964 г.) охватывают интервал 10-0-16 час местного геомагнитного времени. Потоки наблюдались в интервале инвариантных широт $\sim 60 \div 80^\circ$. Интенсивность достигала примерно $5 \cdot 10^6$ см⁻²·сек⁻¹, а иногда и больших значений.

Обнаруживается заметная асимметрия в распределении потоков по направлению утро — вечер (потоки более интенсивны в утренней магнитосфере) и связь временных вариаций с ориентацией магнитного диполя Земли относительно направления на Солнце. Наблюдается положительная корреляция интенсивности потоков с A_p -индексом геомагнитной активности.

Вопрос о пространственном распределении потоков мягких электронов с энергиями примерно 0,1-10 кэв в магнитосфере Земли и их временных вариациях по данным установленной на спутнике «Электрон-2» ловушки заряженных частиц обсуждался в [1-4]. В настоящей работе проводится дальнейший, более детальный анализ данных, полученных на спутнике «Электрон-2» с 30.I по 2.VI 1964 г.

Потоки электронов, о которых идет речь, наблюдались в периферийных областях внешнего радиационного пояса ($L > 4 \div 5$) и в самой внешней зоне заряженных частиц [5], появление которой было истолковано как результат взаимодействия солнечного ветра с внешними областями магнитного поля Земли [6]. В ряде работ эта зона, терминология относительно которой окончательно не установилась, называется зоной авроральной радиации [7, 8], а в [9] область магнитосферы между внешним радиационным поясом и границей магнитосферы предложено называть зоной неустойчивой радиации.

Большинство измерений в рассматриваемой зоне выполнено на низких широтах. В этой связи особенно интересны данные, полученные на спутниках серии «Электрон», так как они относятся к высоким широтам, включая и широты нейтральных точек магнитного поля Земли [10], которые часто рассматриваются как места преимущественного проникновения солнечной плазмы в магнитосферу Земли [11-16].

1. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Спутник «Электрон-2» был запущен 30.I 1964 г. на орбиту с апогеем около 70 000 км и перигеем 450 км. Наклон плоскости орбиты к экватору составлял 61° , период обращения $\sim 22,5$ часа, местное время апогея первого витка около 9 час.

В дальнейшем используется так называемая солнечно-магнитная система координат, ось Z которой направлена в сторону северного магнитного полюса Земли, а ось X так, что направление на Солнце лежит в плоскости XZ и задается поэтому одним углом — геомагнитной широтой Солнца φ_s . На рис. 1 приведены траектории двух характерных витков спутника в этой системе координат (sm) и для сравнения в солнечно-эклиптической (se). Участки траекторий, показанные утолщенными линиями, соответствуют областям регистрации потоков мягких электронов.

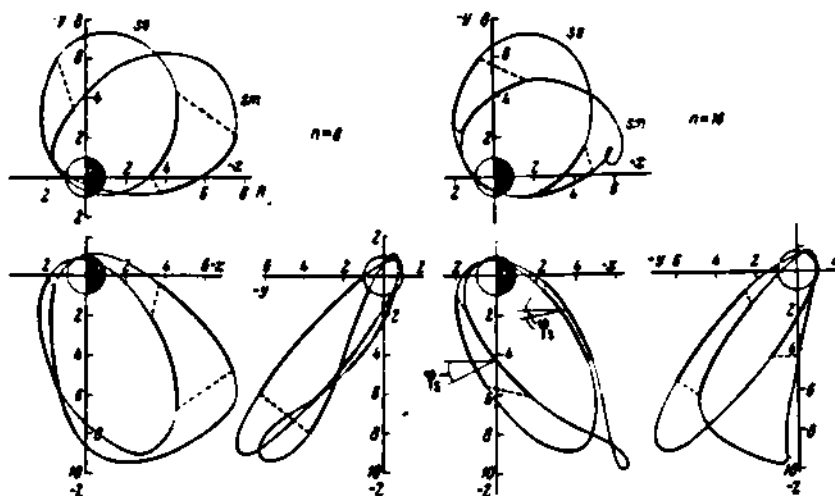


Рис. 1. Траектории спутника в солнечно-магнитной и солнечно-эклиптической системах координат (n — номер витка)

Конструкция ловушки заряженных частиц [2, 17] аналогична применявшимся на советских лунных ракетах. Внешняя сетка полусферической формы соединена с корпусом. Потенциалы коллектора и внутренней сетки составляли соответственно -55 и -110 в относительно корпуса спутника. Таким образом, коллектора могли достигать электроны с энергиями $E_e > 110$ эв + $|eV_0|$ и протоны с энергиями $E_p > 0$ при $V_0 < 0$ и соответственно с энергиями $E_e > 110$ эв и $E_p > eV_0$ при $V_0 > 0$ (V_0 — потенциал спутника относительно плазмы, величина которого, скорее всего, составляла $\sim +0,5 \div 1$ в [18, 19]). Зависимость геометрического фактора G ловушки от энергии регистрируемых электронов показана на рис. 2. Могли регистрироваться положительные и отрицательные токи, большие $\sim 5 \cdot 10^{-11}$ а, что соответствует потокам $\sim 2 \cdot 10^9$ см $^{-2}$ ·сек $^{-1}$.

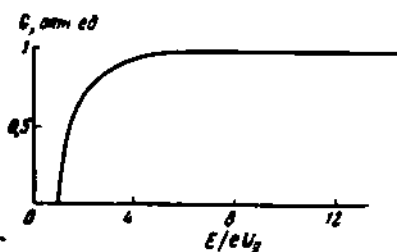


Рис. 2. Геометрический фактор ловушки (U_e — потенциал внутренней сетки)

Ток фотоэлектронов в цепи коллектора, как показали лабораторные измерения, складывается из отрицательного тока, переносимого фотоэлектронами с внутренней сетки, и положительного тока, вызываемого потоком фотоэлектронов с краев коллектора на корпус ловушки. В эксперименте на «Электроне-2» эти две компоненты тока заметно компенсировали друг друга и результирующий фототок был мал. При вращении спутника ловушка освещалась Солнцем примерно только половину периода, что позволяет оценить величину результирующего фототока. Для апогейных участков орбиты, где вклад других составляющих коллекторного тока наименьший, токи оказа-

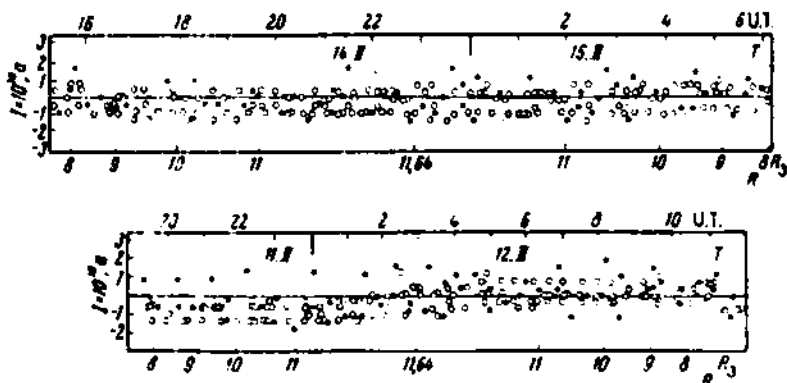


Рис. 3. Примеры записей токов, зарегистрированных на апогейном участке орбиты.

Приведены точки, в отношении которых известно, что ловушка освещалась Солнцем (темные кружки) или находилась в темноте (светлые кружки)

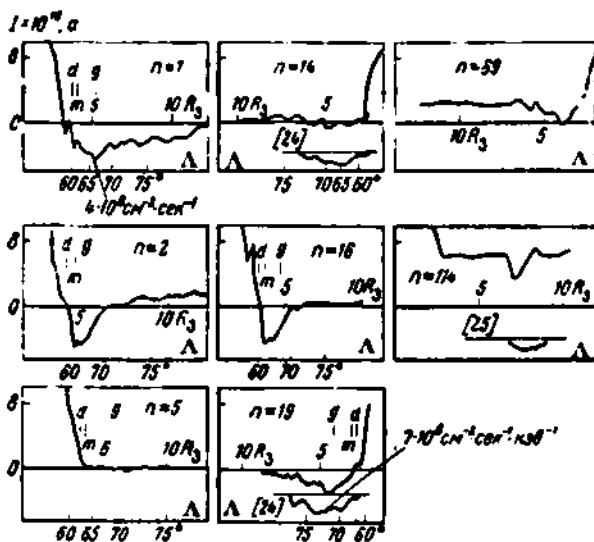


Рис. 4. Примеры записей коллекторных токов на различных витках спутника.

Первичные данные сглажены по методу скользящего среднего по трем соседним точкам (n — номер витка)

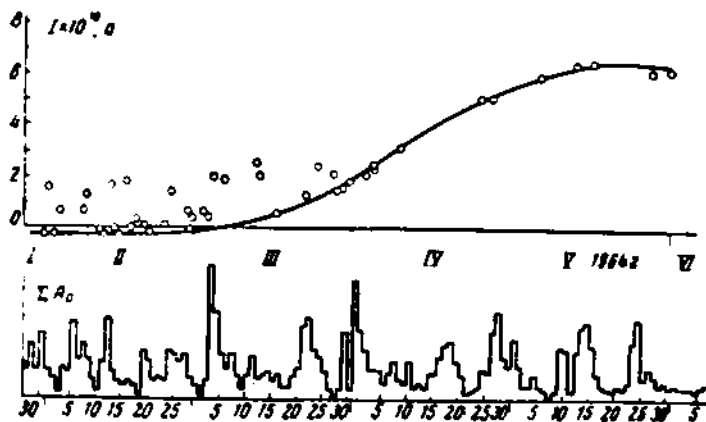


Рис. 5. Изменения среднего значения токов на апогейных участках орбит

лись в среднем несколько более положительными (примерно на $(4 \div 5) \cdot 10^{-11}$ а), если ловушка освещалась Солнцем. Лишь небольшая часть отсчетов, полученных при освещении ловушки Солнцем, соответствует заметно большим положительным токам (рис. 3). Все такие отсчеты получены в условиях, когда угол между направлением на Солнце и нормалью к коллектору был сравнительно большим (близким к 60°), что хорошо согласуется с рассмотренной особенностью образования результирующего фотоэлектрического тока в цепи коллектора ловушки.

Типичные примеры поведения сглаженных значений коллекторных токов вдоль орбиты спутника приведены на рис. 4 (интервал усреднения 6—8 мин.). Достаточно четко выделяются три области:

а) область больших положительных токов ($R > \sim 3,5R_2$), охватывающая ионосферу и плазменную оболочку Земли [20];

б) область регистрации заметных электронных потоков (примерно от 3,5 до $(7 \div 10) R_3$), часто достигающих $5 \cdot 10^9$ см⁻²·сек⁻¹. Положение границы внешнего радиационного пояса и его максимума по данным [21] ($E_0 > 70$ кэв) показано на рисунке индексами g (граница) и m (максимум). Внешняя граница пояса протонов с энергиями $E_p > 100$ кэв (потоки больше 10^7 см⁻²·сек⁻¹) показана индексом d (по данным [22], относящимся к низким широтам и спроектированным вдоль магнитной L -оболочки);

в) за этой областью, вблизи апогея, наблюдаются небольшие, в среднем мало меняющиеся за виток положительные токи, величина которых в течение первого месяца наблюдений положительно коррелировала с геомагнитной активностью [17].

Положительные токи в области в), природа которых еще не вполне ясна, рассматриваются далее как некоторый фон, на котором выявляются потоки электронов в области б). Начиная с 25—30 витка величина этих «фоновых» токов в среднем монотонно возрастала и к 114 витку достигла $\sim 6 \cdot 10^{-10}$ а (рис. 5). Медленно меняющаяся составляющая этих токов (сплошная линия) связана, по-видимому, с аппаратурным уходом нуля прибора, в то время как наложенные на нее изменения тока могут указывать на заметные потоки протонов в периферийных областях магнитосферы Земли. Обычно эти токи сравнительно мало изменялись за время прохождения апогейного участка орбиты ($R > 8R_3$).

Оценим возможный вклад положительных ионов различных энергий и электронов больших энергий в коллекторный ток ловушки. Данные о протонах с энергией $E_p > 100$ кэв [22] хорошо согласуются с более поздними измерениями [23—26]. Потоки протонов этих энергий в рассматриваемой области $L > 4 \div 5$ вблизи от экваториальной плоскости не превосходят $\sim 10^7$ см⁻²·сек⁻¹. Потоки протонов в интервале 0,1—10 кэв измерялись с помощью установленного на спутнике электростатического анализатора [27, 28] и, по полученным данным, за единичными исключениями, не превосходили $\sim 5 \cdot 10^7$ см⁻²·сек⁻¹. По измерениям на низких широтах [26] потоки протонов в интервале энергий 1,8—48 кэв достигали $2 \cdot 10^9$ см⁻²·сек⁻¹, что уже сравнимо с чувствительностью ловушки.

При наличии эффекта «колена» [20, 29, 30] за плазмосферой расположена область, в которой концентрация тепловых частиц не превосходит $1-10$ см⁻³. В этом случае вкладом тепловых ионов в коллекторный ток можно пренебречь. Такое предположение использовано в [4]. Возможно, однако, что в отдельных случаях концентрация тепловой плазмы была выше (см., например, [31]). На рис. 6 приведено несколько примеров, показывающих, что иногда за областью б) электронных потоков наблюдаются небольшие положительные токи, убывающие с удалением от Земли. Возможна экстраполяция этих токов в область б), например, согласно показанным на рисунке штриховыми линиями. Тогда область б) расположена целиком в области плазменной оболочки Земли, как это ранее наблюдалось на еще более высоких широтах при полете космической ракеты «Марс-1» [32]. Не исключено, что на спутнике «Электрон-2» мы иногда сталкиваем-

ся с такой же ситуацией, так что необходимо считаться с обеими рассмотренными выше возможностями.

Величины потоков электронов ($E_e > 70$ кэВ) по измерениям на спутнике «Электрон-2» приведены в [24]. Там же эти данные сравниваются с

данными для электронов с $E_e > 40$ кэВ по измерениям на спутнике «Эксплорер-12» в тот же период времени. Потоки электронов не превосходили $5 \cdot 10^7$ см⁻²·сек⁻¹. Так как с помощью ловушки заряженных частиц регистрировались потоки до $\sim 5 \cdot 10^9$ см⁻²·сек⁻¹, а иногда и большие, очевидно, что максимум энергетического спектра расположен при существенно меньших энергиях. Это непосред-

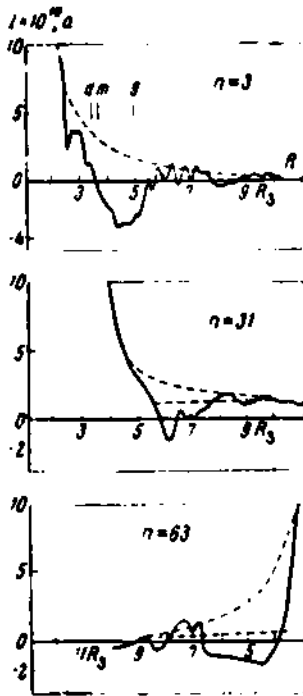


Рис. 6

Рис. 6. Примеры записей коллекторных токов, когда за областью электронных потоков наблюдаются небольшие положительные токи (см. текст) (n — номер витка)

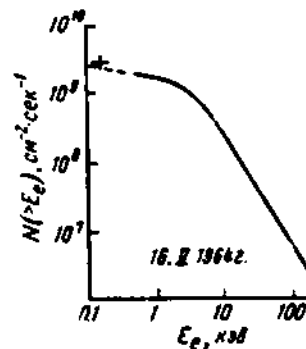


Рис. 7

Рис. 7. Интегральный спектр электронов [21].

Крестик — данные ловушки заряженных частиц

ственно следует из данных электростатического анализатора [27, 28]. Сравнение этих данных и показаний ловушки приведено на рис. 4 ($n = 14, 19, 114$). Во всех трех рассмотренных случаях имеет место удовлетворительное согласие размеров и пространственного расположения областей регистрации электронов. Интегральные потоки электронов, регистрируемые ловушкой, всего только в 1,5—2 раза превосходят величины потоков в интервале энергий 1 кэВ, зарегистрированные анализатором в узких энергетических интервалах, центрированных соответственно на 0,2, 0,5 и 1 кэВ. Это показывает, что спектр энергий электронов, потоки которых достаточно велики, сравнительно узок и расположен в области небольших энергий ~ 1 кэВ. На рис. 7 показан интегральный спектр электронов по данным, полученным на «Электроне-2» с помощью электростатического анализатора и счетчиков жесткой радиации и приведенным в [21] (сплошная кривая), и найденное одновременно с помощью ловушки заряженных частиц значение $N_e(E_e > 0,2 \text{ кэВ}) = 3 \cdot 10^9$ см⁻²·сек⁻¹ (данные относятся к восходящему участку 19-го витка). Согласно [21] для приведенного спектра $N_e(E_e > 0,5 \text{ кэВ}) = 2 \cdot 10^9$ см⁻²·сек⁻¹. Удовлетворительное согласие данных показывает, что (если не предполагать излома спектра в интервале 0,2—0,5 кэВ или заметной неанізотропности потоков) вклад тока положительных ионов в показания ловушки был не слишком велик. Характер спектра удовлетворительно согласуется со спектрами, полученными на

спутнике ОГО-3 [26], согласно которым максимум расположен около 0,7 кэв.

Быстрые вариации электронных потоков, возможно, связанные с их некоторой неаизотропностью, выявляющейся при вращении спутника, в основном исключены из рассмотрения после усреднения первичных данных. В дальнейшем ограничимся изучением изменений потоков мягких электронов только за длительные промежутки времени, введя в рассмотрение величину интеграла от потока электронов по области их регист-

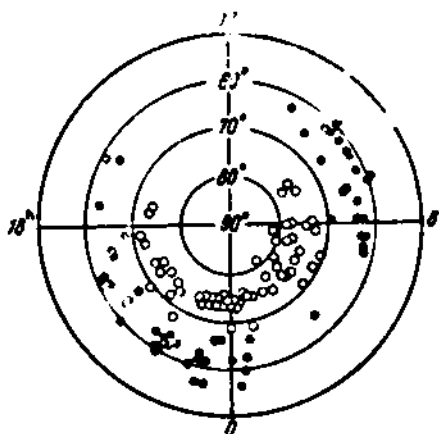


Рис. 8. Границы областей регистрации потоков мягких электронов.

Темные кружки — низкоширотная граница, светлые — высокоширотная

областей регистрации определялись по уровню потоков $2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. В тех случаях, когда при наличии «фоновых» токов возникала неопределенность, всегда выбиралось наименьшее из возможных значений R_2 для внешней границы и соответственно наибольшее значение R_1 так, чтобы найденное значение $R_2 \div R_1$ определяло нижнюю границу этой величины и соответственно величины N_i .

На рис. 8 показаны границы областей регистрации потоков мягких электронов по данным ловушки заряженных частиц на спутнике «Электрон-2» в координатах инвариантная геомагнитная широта λ и местное геомагнитное время, рассчитанных в дипольном приближении. На высоких широтах, где проходила траектория спутника, отклонения значений λ от дипольных из-за воздействия солнечного ветра, по-видимому, не превосходят $1-2^\circ$ [10, 33].

Как видно, потоки мягких электронов образуют единую область, расположенную в среднем в области инвариантных широт $60-80^\circ$. Область несколько асимметрична как в направлении утро — вечер, так и в направлении день — ночь. Потоки электронов в западной части магнитосферы заметно интенсивнее, чем в восточной (вечерней) части. На рис. 8 это выявляется в довольно закономерном уменьшении протяженности области регистрации электронов по мере перехода утренней магнитосферы в ее ночную и вечернюю области. Согласно [34—36], потоки электронов значительно больших энергий ($E_e > 40 \text{ кэв}$) также наиболее интенсивны в утренней магнитосфере. Аналогичная закономерность отмечалась и для аврорального поглощения [37, 38].

На малых высотах $\sim 1000 \text{ км}$ потоки электронов ($E_e < 10 \text{ кэв}$), больше $5 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$, в дневной магнитосфере не наблюдались [39]. Вблизи от экваториальной плоскости потоки электронов малых энергий также сосредоточены в ночной части магнитосферы [40, 41]. Сопоставление этих данных с данными, полученными на спутнике «Электрон-2», приво-

рации $N_i = \int_{R_1}^{R_2} N(R) dR$. Даже в

рассмотренных выше весьма неблагоприятных случаях больших «фоновых» токов (рис. 6) значения N_i определяются, по-видимому, с точностью до коэффициента 2—3. Данные трех витков спутника, где указанная неопределенность особенно велика, не были использованы.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Несколько примеров распределения потоков мягких электронов вдоль орбиты спутника было приведено на рис. 1, 4, 6. Границы

дит к представлению о концентрации потоков мягких электронов в дневной магнитосфере на промежуточных широтах [27] (что может быть связано с двумя дополнительными магнитными ловушками на промежуточных широтах в этой части магнитосферы) и о преобладании этих потоков в западной части магнитосферы [4]. Не исключена также зависящая от времени года асимметрия в распределении потоков в направлении север — юг.

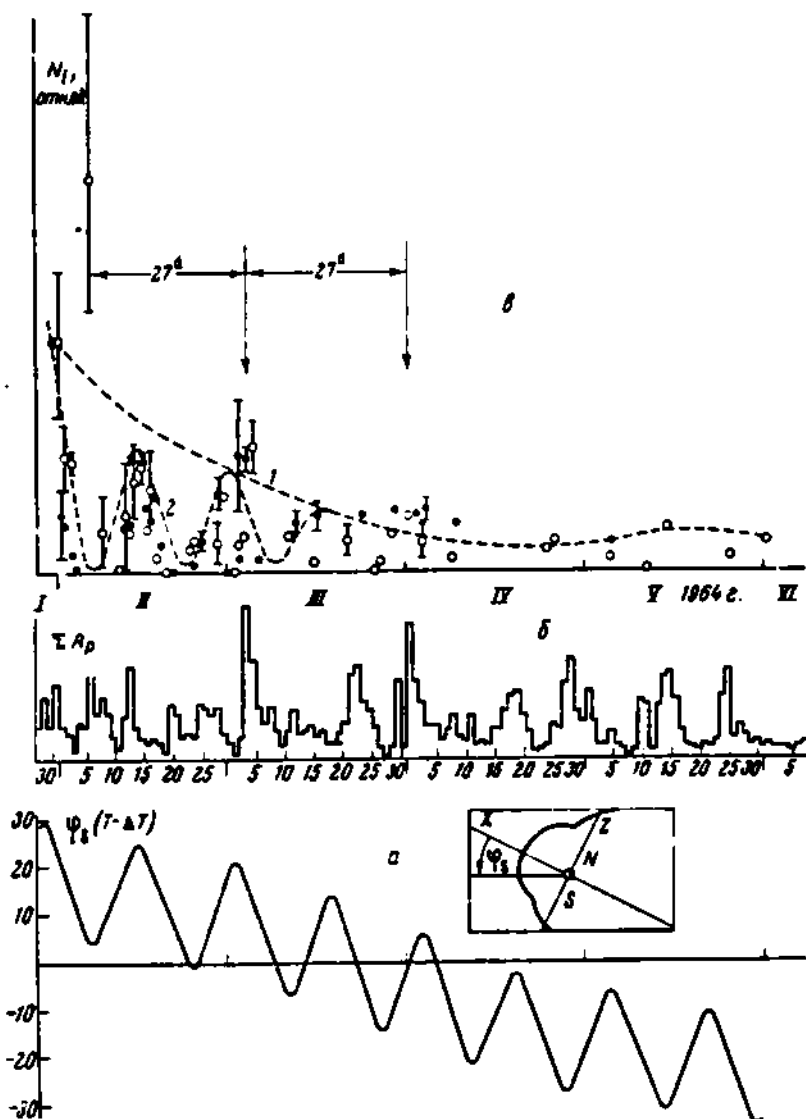


Рис. 9. Потоки мягких электронов по данным ловушки заряженных частиц.

а — геомагнитные широты Солнца (см. текст), б — суточные суммы A_p -индексов.
 • — N_i (светлые кружки — восходящие участки орбит, темные — нисходящие)

2. Известно, что разделение пространственных и временных вариаций по спутниковым данным является трудной задачей. В данном случае некоторые возможности были связаны с тем, что период обращения спутника был близок к суткам и области регистрации мягких электронов проходились дважды за виток при существенно различных значениях как

местного, так и мирового времени. Для местного геомагнитного времени сдвиг составлял примерно 9 час.

Данные об интенсивности потоков мягких электронов как для восходящих, так и нисходящих участков орбит приведены на рис. 9. Вертикальными черточками показана неопределенность в определении величины N_i , связанная с различными возможностями оценки «фоновых» токов (см. выше). Приведены также среднесуточные значения A_p -индексов и значения геомагнитной широты Солнца φ_s для моментов мирового времени $T - \Delta T$, где T — момент прохождения середины областей регистрации электронов (соответствует примерно $\Lambda = 68^\circ$). Введение величины ΔT пояснено ниже.

В показанном на рисунке ходе величины N_i выделяются три составляющие:

а). Медленное систематическое уменьшение потоков, показанное приближенно линией 1. Это уменьшение связано, по-видимому, как с сезонным ходом интенсивности потоков (максимальных в зимний период), так и с тем обстоятельством, что орбита спутника постепенно перемещалась в вечернюю часть магнитосферы. В марте восходящие и нисходящие части орбит располагались примерно симметрично относительно линии день — ночь соответственно в вечерней и утренней частях магнитосферы. Видно, что потоки электронов в утренней части заметно интенсивнее, чем в вечерней.

б). В январе — феврале наблюдалось закономерное изменение интенсивности потоков с периодом примерно 16 суток (линия 2).

в). Наблюдались также значительно более быстрые нерегулярные вариации величины N_i , коррелирующие с изменениями индекса геомагнитной активности.

3. Одно из возможных объяснений наблюдавшихся особенностей пространственного распределения и временных вариаций потоков мягких электронов, связанное с гипотезой преимущественного проникновения солнечной плазмы через нейтральные точки магнитосферы, рассматривалось в [4, 42]. С таким представлением, в частности, хорошо согласуется сезонный ход интенсивности потоков, наибольших местным летом, когда магнитного диполя Земли максимально наклонена в сторону Солнца (большие значения φ_s). Величина φ_s имеет также суточный ход. Поэтому, если появление потоков мягких электронов связано с проникновением солнечной плазмы через нейтральные точки, следует ожидать суточного хода их интенсивности, поскольку время жизни рассматриваемых электронов заведомо меньше суток [8, 43—45]. Благодаря тому, что период обращения спутника на 1,5 часа меньше суток, каждый последующий виток области регистрации электронов проходит с опережением на 1,5 часа и, таким образом, суточный ход их интенсивности должен выявляться в виде изменений с характерным периодом примерно 16 суток. Интересно, что вариации интенсивности потоков электронов именно с таким периодом наблюдались на «Электроне-2» в январе — первой половине марта. Это может указывать на заметный суточный ход интенсивности потоков электронов, контролируемый мировым временем. Наблюдаемая зависимость может быть также следствием периодических изменений геомагнитных и географических координат областей регистрации этих потоков. Такая возможность, как показано ниже, по-видимому, маловероятна.

Зависимость интенсивности потоков от мирового времени для периода 30. I — 12. III 1964 г. показана в явном виде на рис. 10 для восходящих и нисходящих участков орбит, проходивших в этот период соответственно примерно в ночной и утренней магнитосфере. Как видно, в утренней магнитосфере потоки максимальны примерно в 8—9 час, а в ночной соответственно в 13—14 час мирового времени, в то время как максимальный наклон оси магнитного диполя Земли в сторону Солнца в южном полушарии достигается около 5 час мирового времени. Если это запаздывание

(обозначенное выше ΔT) приписать времени дрейфа электронов от полуночного меридиана до места их регистрации, то для скорости долготного дрейфа найдем примерно $20^\circ/\text{час}$. Поскольку его направление обратно направлению магнитного дрейфа электронов в магнитосфере, для его поддержания необходимы электрические поля, для напряженности которых грубая оценка дает величину $\sim 2 \cdot 10^{-3}$ в/см. Направление дрейфа на запад совпадает с направлением движения плазмы во внешней части большого

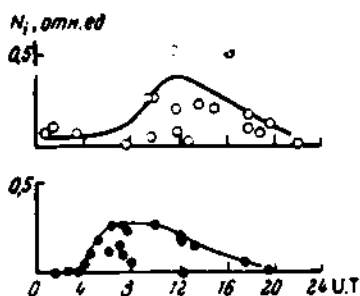


Рис. 10

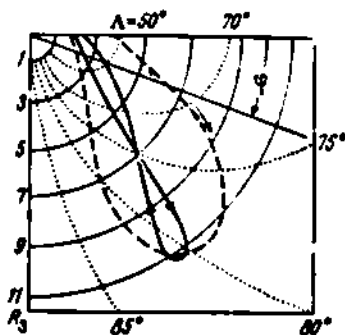


Рис. 12

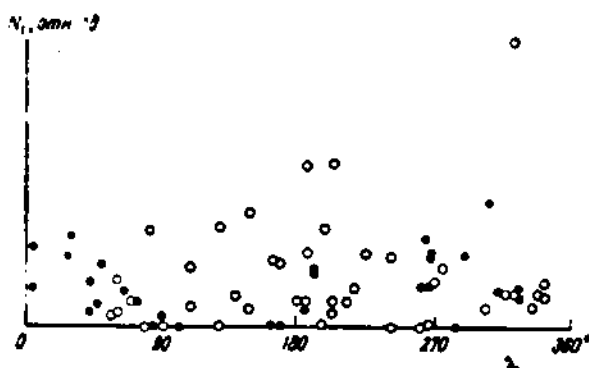


Рис. 11

Рис. 10. Зависимость величины N_e от мирового времени. Нисходящие участки орбит — темные кружки, восходящие — светлые

Рис. 11. Долготная зависимость величин N_e .

Нисходящие участки орбит — темные кружки, восходящие — светлые

Рис. 12. Траектории витков, соответствующих наблюдениям максимальных (сплошная линия) и минимальных (штриховая линия) потоков электронов в координатах R, φ (см. текст)

конвективного вихря в утренней и ночной магнитосфере, существование которого допускается в ряде работ (см., например, [46, 47]).

Приведенные данные (рис. 9) показывают, что при учете запаздывания ΔT согласно между ходом величины $\varphi_B(T - \Delta T)$ и изменением интенсивности потоков в рассматриваемый период достаточно удовлетворительно. Отметим, кроме того, что корреляция между величинами потоков мягких электронов и K_p -индексами также несколько улучшается, если использовать значения K_p -индексов для моментов времени $T - \Delta T$. В ходе интенсивности потоков можно также отметить проявление 27-дневной повторяемости геомагнитных возмущений. Так, максимум интенсивности 6. II повторяется 3—5. III и в начале апреля.

4. Выше указывалось, что особенности временных вариаций потоков мягких электронов могли быть связаны с недостаточно тщательным учетом долготного либо широтного хода их интенсивности, а также их углового распределения. Долготная зависимость могла бы проявиться для частиц с малыми питч-углами, проникающими близко к Земле. На рис. 11 приведена зависимость интенсивности потоков от средней долготы областей их регистрации. Хотя в отдельности для восходящих и нисходящих участков орбит долготная зависимость, конечно, имеет место как простое следствие зависимости величины потоков от мирового времени, наблюдается сдвиг максимумов для этих групп данных примерно на 180° , так что в целом долготная зависимость интенсивности потоков практически не наблюдается.

Для выявления роли широтной зависимости рассмотрим два характерных витка спутника, сдвинутых на половину рассмотренного выше 16-дневного периода изменения интенсивности потоков. Их траектории в координатах — геоцентрическое расстояние, геомагнитная широта — показаны на рис. 12. Виток, обозначенный сплошной линией, характерен для периодов регистрации максимальных потоков, штриховой — минимальных. Все другие витки занимают промежуточное положение. Интенсивность потоков уменьшается как при увеличении широты (нисходящие участки орбит; внутренняя магнитосфера), так и при ее уменьшении (восходящие участки; ночная магнитосфера). Наиболее интенсивные потоки соответствуют, таким образом, промежуточным широтам $\sim 45^\circ$. Концентрация электронов к промежуточным широтам вполне возможна в дневной магнитосфере, где они могут накапливаться в ловушках вблизи нейтральных точек магнитного поля [27, 33]. В настоящее время нет данных, что подобная концентрация существует и в ночной магнитосфере.

5. Максимальные изменения ориентации силовых линий магнитного поля в течение суток не превышают в дипольном приближении $\sim 23^\circ$. Ориентация оси вращения спутника изменялась медленно, а ширина угловой диаграммы ловушки заряженных частиц достигала $\sim 120^\circ$, причем ось диаграммы в областях регистрации электронов была примерно перпендикулярна оси вращения. Ловушка просматривала, таким образом, примерно половину всего пространства. Маловероятно, что в таких условиях изменение ориентации на $\sim 25^\circ$ приводило к изменениям регистрируемых потоков на порядок величины. Кроме того, как отмечено выше, быстрые вариации интенсивности потоков, возможно, связанные с их изотропностью, были в значительной степени исключены при усреднении первичных данных. О сравнительной изотропности рассматриваемых потоков говорит также сравнение показаний ловушки и электростатического анализатора заряженных частиц [27, 28]. Данные, полученные с помощью этих приборов, достаточно удовлетворительно согласуются, хотя угол между осями угловых диаграмм этих приборов составлял $\sim 75^\circ$.

6. Обнаруженные особенности пространственного распределения и временных вариаций потоков мягких электронов (их преимущественная концентрация в утренней и ночной магнитосфере, сильная зависимость интенсивности потоков от мирового времени) достаточно хорошо согласуются с представлением о проникновении солнечной плазмы в магнитосферу через нейтральные точки магнитного поля (или по крайней мере с локализацией источника электронов вблизи от полуденного меридиана), если допустить, что в дальнейшем электроны этой плазмы дрейфуют на запад. Объяснением такого движения может служить наличие в этой части магнитосферы конвективного вихря, во внешней части которого движение также происходит в западном направлении. Трудность состоит в том, что точная пространственная локализация этого конвективного вихря пока еще неясна.

Альтернативным объяснением наблюдавшихся закономерностей может служить представление о локализации источника электронов в хвосте

товой части магнитосферы. При таком предположении трудность с введением западного долготного дрейфа электронов отпадает. Однако в этом случае необходимо допустить концентрацию электронов малых энергий к промежуточным широтам не только в дневной, но также и в ночной магнитосфере.

Автор признателен К. И. Грингаузу за предоставленную возможность использовать первичные данные эксперимента. К. И. Грингаузу, А. С. Дворяшину, Е. Г. Ерошенко, В. М. Мишину, В. Д. Плетневу, Г. А. Скуридину, Я. Н. Фельдштейну за обсуждение затронутых в статье вопросов.

Дата поступления
21 июня 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. I. Gringauz, V. V. Bezrukich, R. Ye. Ribchinsky, E. K. Solomatina. *Space Res.*, 6, 850, 1968.
2. К. И. Грингауз, В. В. Безруких, Л. С. Мусатов, Э. К. Соломатина. Сб. «Исследования космического пространства», «Наука», 1965, стр. 418.
3. К. И. Грингауз, М. З. Хохлов. Сб. «Исследования космического пространства», «Наука», 1965, стр. 467.
4. M. Z. Chochlov. *Inter. Union Symp. Solar-Terrest. Phys.*, Book of Abstracts, Belgrad, 1966.
5. В. В. Безруких, К. И. Грингауз, В. Д. Озеров, Р. Е. Рыбчинский. Докл. АН СССР, 131, № 6, 1301, 1960.
6. И. С. Шкловский, В. И. Мороз, В. Г. Курт. *Астрон. ж.*, 37, № 5, 931, 1960.
7. A. J. Dessler, R. D. Judy. *Planet. Space Sci.*, 13, No. 1, 63, 1965.
8. B. J. O'Brien. *Inter. Union Symp. Solar-Terrest. Phys.*, Book of Abstracts, Belgrad, 1966.
9. С. Н. Вернов, П. В. Вакулов, С. Н. Кузнецов, Ю. И. Логачев, Э. Н. Сосновец, В. Г. Столповский. *Геомagnetизм и аэрoнoмия*, 7, № 3, 417, 1967.
10. D. J. Williams, G. D. Mead. *J. Geophys. Res.*, 70, No. 13, 3017, 1965.
11. М. С. Бобров. *Астрон. ж.*, 37, № 3, 410, 1960.
12. Я. Н. Фельдштейн. Сб. «Геомagnetизм», № 5. Сер. «Результаты МГГ». Изд-во АН СССР, 1963.
13. В. М. Мишин, М. А. Платонов. *Геомagnetизм и аэрoнoмия*, 4, № 4, 71, 1964.
14. В. Д. Плетнев, Г. А. Скуридин, В. П. Шалимов, И. Н. Швачунов. Сб. «Исследования космического пространства», «Наука», 1965, стр. 285.
15. А. Н. Ершковиц, В. Д. Плетнев, Г. А. Скуридин. *Космич. исслед.*, 4, № 3, 378, 1966.
16. J. R. Spreiter, A. L. Summers. *Planet. Space Sci.*, 15, No. 4, 787, 1967.
17. К. И. Грингауз, Ш. Ш. Долгихов, В. В. Безруких, Е. Г. Ерошенко, Л. Н. Жузгов, Л. С. Мусатов, Э. К. Соломатина, У. Ф. Фастовский. Сб. «Исследования космического пространства», «Наука», 1965, стр. 338.
18. В. Г. Курт, В. И. Мороз. Сб. «Искусств. спутники Земли», вып. 7. Изд-во АН СССР, 1961, стр. 78.
19. G. P. Serbu, E. J. R. Maier. *J. Geophys. Res.*, 71, No. 15, 3755, 1966.
20. В. В. Безруких, К. И. Грингауз. Сб. «Исследования космического пространства», «Наука», 1965, стр. 177.
21. С. Н. Вернов, А. Е. Чудаков, П. В. Вакулов, С. Н. Кузнецов, Ю. И. Логачев, Э. Н. Сосновец, В. Г. Столповский. Сб. «Исследования космического пространства», «Наука», 1965, стр. 425.
22. L. R. Davis, J. M. Williamson. *Space Res.*, 3, 365, 1963.
23. С. Н. Вернов. Сб. «Исследования космического пространства», «Наука», 1965, стр. 277.
24. С. Н. Вернов, А. Е. Чудаков, Е. В. Горчаков, П. В. Вакулов, С. Н. Кузнецов, Ю. И. Логачев, А. Г. Николаев, Э. Н. Сосновец, И. А. Рубинштейн, В. Г. Столповский, В. А. Эльтеков. Сб. «Исследования космического пространства», «Наука», 1965, стр. 394.
25. Э. Н. Сосновец. Диссертация, НИИЯФ МГУ, М., 1967.
26. L. A. Frank. *J. Geophys. Res.*, 72, No. 7, 1905, 1967.
27. Б. И. Савин. Диссертация, НИИЯФ МГУ, М., 1967.
28. С. Н. Вернов, В. В. Мельников, И. А. Савенко, Б. И. Савин, Т. И. Первая. Сб. «Исследования космического пространства», «Наука», 1965, стр. 381.
29. Д. Л. Карпентер. Докл. на XIV Генеральной Ассамблее УРСИ, Токио, 1963.
30. T. Oba-jashu. *The Report of Ionosphere and Space Res. in Japan*, 18, No. 3, 1964, p. 228.
31. H. A. Taylor, H. C. Brinton. *J. Geophys. Res.*, 73, No. 3, 961, 1968.

32. K. I. Gringauz, V. V. Bezrukich, L. S. Musatov, R. Ye. Rybchinski, S. M. Sheronova. *Space Res.*, 4, 621, 1964.
 33. C. D. Mead. *J. Geophys. Res.*, 69, No. 7, 1181, 1964.
 34. S. Singer. *Proc. IEEE*, 53, No. 12, 1935, 1965.
 35. I. B. McDiarmid, J. B. Burrows, E. E. Budzinski, M. D. Wilson. *Canad. J. Phys.*, 41, No. 12, 2064, 1963.
 36. I. B. McDiarmid, J. B. Burrows. *Canad. J. Phys.*, 42, No. 6, 1135, 1964.
 37. T. R. Hartz, L. E. Montbrand, E. L. Vogan. *Canad. J. Phys.*, 41, No. 4, 582, 1963.
 38. В. М. Дрицкий. *Геомагнетизм и аэрономия*, 6, № 6, 1061, 1966.
 39. T. A. Fritz, D. A. Garnett. *J. Geophys. Res.*, 70, No. 11, 2485, 1965.
 40. J. W. Freeman, J. A. Van Allen, L. J. Cahill. *J. Geophys. Res.*, 68, No. 8, 2121, 1963.
 41. J. W. Freeman. *J. Geophys. Res.*, 69, No. 9, 1961, 1964.
 42. М. З. Хохлов. *Тр. Пятой Всесоюзной ежегодной зимней школы по космофизике, Апатиты, 1968*, стр. 248.
 43. Р. К. Вентворт, В. М. Мак Дональд, С. Ф. Зиггер. *Сб. «Солнечные корпускулярные потоки и их взаимодействие с магнитным полем Земли»*. Изд-во иностр. лит., 1962, стр. 124.
 44. С. Н. Вернов, В. Е. Нестеров, Н. Ф. Писаренко, И. А. Савенко, Л. А. Тверская, П. И. Шаврин. *Сб. «Исследования космического пространства»*. «Наука», 1965, стр. 434.
 45. B. J. O'Brien, C. D. Loughlin, J. A. Van Allen, L. A. Frank. *J. Geophys. Res.*, 67, No. 4, 1209, 1962.
 46. W. I. Axford, C. O. Hines. *Canad. J. Phys.*, 39, No. 10, 1433, 1961.
 47. В. П. Шабанский. *Космич. исслед.*, 3, № 2, 221, 1965.
-