

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
КОМИССИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

(Отдельный оттиск)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1965

Е. И. Грингауз, М. З. Хохлов

САМЫЙ ВНЕШНИЙ ПОЯС ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

В докладе рассмотрены результаты изучения зоны заряженных частиц со сравнительно малыми энергиями (от ~ 100 эв до 10—40 кэв), расположенной за внешним радиационным поясом (включая новые данные, полученные на спутнике «Электрон-2» и космической ракете «Зонд-2»).

Как известно, радиационные пояса Земли были открыты в 1958 г. при проведении опытов по изучению космических лучей. В этих опытах, естественно, использовались приборы, которые могли регистрировать лишь частицы сравнительно высоких энергий, начиная с десятков кэв и поэтому первоначально создалось впечатление, что за границей зон захваченной радиации имеют место условия, характерные для межпланетного пространства.

Опыты с ловушками заряженных частиц [1] на советских лунных ракетах обнаружили, что вблизи геомагнитного экватора за внешним радиационным поясом существует зона скопления электронов, в которой концентрация и потоки значительно превышают концентрацию и потоки электронов во внешнем радиационном поясе. Протяженность этой зоны по данным ракеты «Луна-2» оказалась порядка 40 000 км. В [2] появление интенсивных ($\sim 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$) потоков частиц малых энергий за внешним радиационным поясом было истолковано как результат взаимодействия потоков солнечной плазмы с периферийными областями магнитного поля Земли. В качестве одного из возможных процессов термализации солнечной плазмы был рассмотрен механизм указанный в [3]. В дальнейшем рассматривались другие различные механизмы ускорения электронов солнечной плазмы [4, 5], однако основная идея возникновения самого внешнего пояса в результате некоторых граничных эффектов взаимодействия потоков солнечной плазмы с магнитным полем Земли полностью сохранила свое значение.

Хотя со времени обнаружения этой зоны на советских лунных ракетах прошло более пяти лет, значительная часть посвященных ей работ появилась лишь после 1962 г., и относящаяся к ней терминология еще не установилась. Вначале она была названа «третьим радиационным поясом» [6, 7]. Затем в 1961 г., чтобы подчеркнуть различие физических свойств этой зоны и радиационных поясов, было предложено [8] называть эту промежуточную зону существования малоэнергичных заряженных частиц, расположенную между зоной захваченной радиации и невозмущенным солнечным ветром, самым внешним поясом заряженных частиц (см. также [9, 10]), или позднее самой внешней зоной заряженных частиц [11]. Другие названия, в частности предложенное в [12] для потоков мягких заряженных частиц за внешней границей захваченной радиации название «авроральное излучение», представляются нам менее удачными.

1. Экспериментальные данные

В таблице перечислены в хронологическом порядке (по датам запуска) космические аппараты, на которых были получены данные о потоках мягких электронов и протонов за радиационными поясами, указана методика их наблюдений, а также значения угла $\lambda_{3С}$ (см. далее рис. 7), соответствующие моментам наблюдений.

Орбиты большинства космических аппаратов, перечисленных в таблице, проходили вблизи от плоскости эклиптики. К числу аппаратов, на которых наблюдались потоки электронов с $E_e > 100 \text{ эв}$ за границами захваченной радиации на высоких широтах (и больших удалениях от Земли), пока относятся только «Марс-1» и «Электрон-2».

2. Наблюдения на низких широтах

За недостатком места мы ограничимся кратким рассмотрением лишь нескольких характерных примеров регистрации потоков мягких электронов.

На рис. 1 приведены записи коллекторных токов ловушек заряженных частиц интегрального типа, установленных на космической ракете

Аппарат	Дата запуска	Ссылка	$\lambda_{\text{ЗС}}$	Метод измерений
«Луна-1»	1. I 1959	[6]	285°	Интегральная ловушка (электроны с $E_e > 200 \text{ эв}$)
«Луна-2» [*]	12. IX 1959	[1]	135	То же
«Эксплорер-12»	16. IX 1961	[13] [44]	285—360 и 225	Интегральный детектор CdS ($E_e > 200—500 \text{ эв}$)
«Марс-1»	1. XI 1962	[45]	200	Интегральная ловушка ($E_e > 100 \text{ эв}$)
«Эксплорер-18»	27. XI 1963	[16] [47]	270—360	То же Модуляционная ловушка (ионы $E_i \sim \text{кэв}$, электроны 65—210 эв)
«Электрон-2»	30. I 1964	[18] — [49]	290 и 210	Электростатический анализатор (ионы $E_i \sim \text{кэв}$) Интегральная ловушка (электроны с $E_e > 100 \text{ эв}$) Электростатический анализатор (ионы и электроны с $E \sim 100 \text{ эв}—10 \text{ мэв}$)
«Зонд-2»	30. XI 1964	[41]	230	Интегральная ловушка (электроны с $E_e > 70 \text{ эв}$)

«Луна-2», запущенной на ночную сторону. На этом же рисунке приведены данные показаний счетчиков более энергичных частиц, установленных на ракете [20]. Как видно из рисунка, в рассматриваемом случае зона

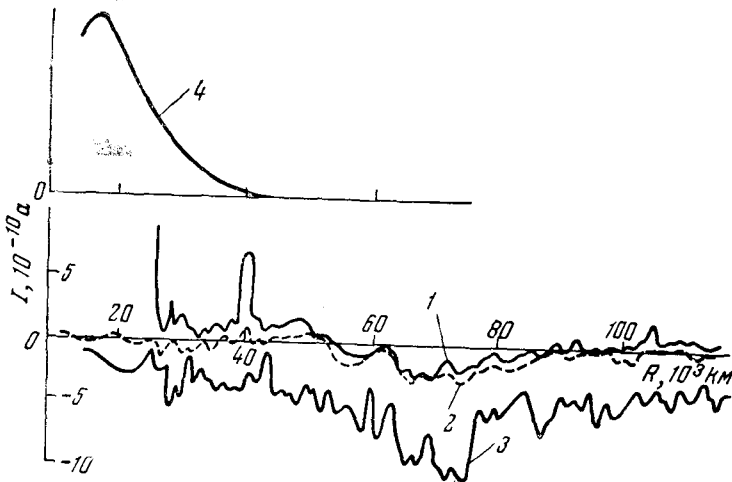


Рис. 1. Коллекторные токи интегральных ловушек заряженных частиц [1] и скорость счета жесткой радиации [20]

1 — верхняя граница коллекторных токов в ловушках с потенциалом тормозящей сетки $\phi = -10, -5$ и 0 e ; 2 — нижняя граница тех же токов; 3 — верхняя граница токов в ловушке с $\phi = 15 \text{ e}$; 4 — скорость счета в относительных единицах

интенсивных потоков мягких электронов почти вся лежит вне зоны регистрации энергичных частиц. Во время опытов на ракете «Луна-1», запущенной на дневную сторону, эти зоны заметно перекрывались.

Следует отметить, что траектория «Луны-2» проходила вблизи геомагнитного экватора и на расстоянии $\sim 8,5 R_z$ пересекла его.

Рис. 2. Потоки электронов с $E_e > 100$ эв по данным интегральной ловушки, установленной на «Эксплорере-18» [16]

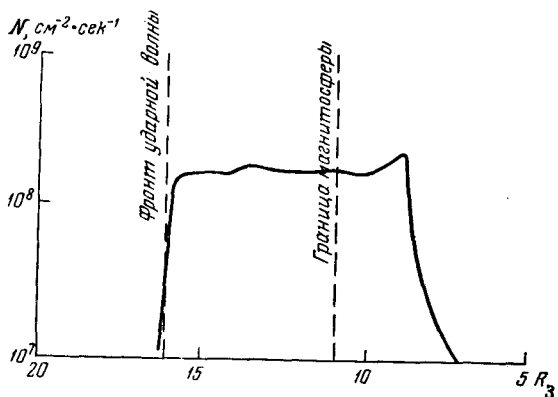


Рис. 3. Показания приборов на спутнике «Эксплорер-12» при пересечении границы магнитосферы 13. XI 1961 г. [13]

а — счетчик жесткой радиации: 1 — $40 \leq E_e \leq 50$ кэв, 2 — $E_e \geq 16$ Мэв, $E_p > 20$ Мэв, 3 — $80 \leq E_e \leq 100$ кэв; б — показания магнитометра; α — угол между H и направлением оси вращения спутника, ψ — угол между плоскостями, одна из которых содержит H и ось вращения спутника, а вторая содержит ось вращения и линию Солнце — спутник; в — показания детектора полной энергии CdS — 1; фон — 2

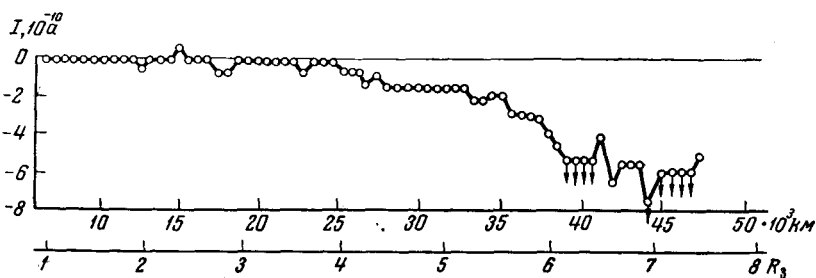
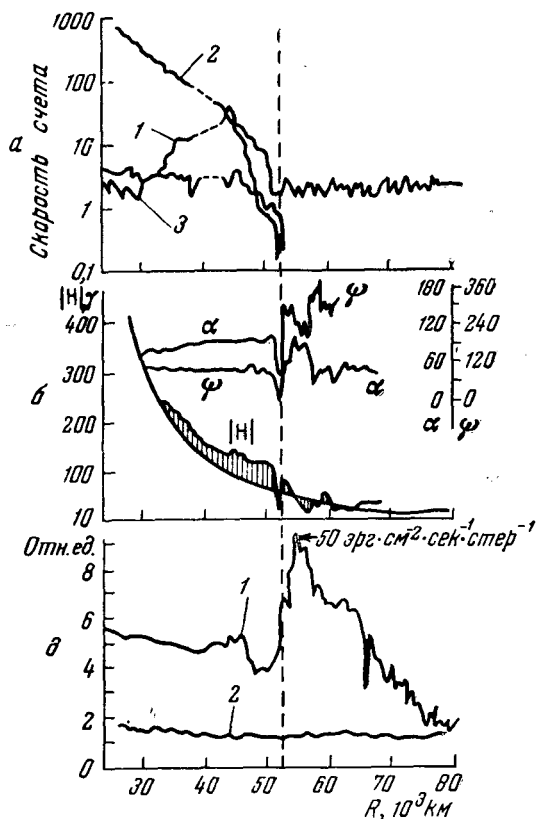


Рис. 4. Постоянная составляющая коллекторного тока модуляционной ловушки на межпланетной станции «Зонд-2»

На рис. 2 показан ход интенсивности потоков электронов, зарегистрированных на дневной стороне с помощью интегральной ловушки, установленной на спутнике «Эксплорер-18» [16]. Потоки электронов, как и в случае «Луны-1», наблюдались по обе стороны от границы захваченной радиации (на дневной стороне вблизи геомагнитного экватора граница захваченной радиации совпадает с границей магнитосферы). Благодаря тому, что апогей орбиты «Эксплорера-18» лежал на больших удалениях от Земли, на нем была зарегистрирована также и внешняя граница зоны термализованной солнечной плазмы, отождествляемая с фронтом ударной волны. Во всей переходной области за границей магнитосферы с помощью модуляционной ловушки были зарегистрированы потоки протонов [17] (они же регистрировались с помощью электростатического анализатора [18]) с энергиями до ~ 5 кэв и всенаправленные потоки электронов в диапазоне 65—210 эв [17]. Для протонов в переходной зоне интенсивность потоков, идущих со стороны Солнца, примерно вдвое превышала интенсивность потоков противоположного направления.

На рис. 3 приведены данные, полученные на «Эксплорере-12» при пересечении спутником границы магнитосферы с подсолнечной стороны 13.XI 1961 г. [13]. Вблизи от границы внутри магнитосферы наблюдались небольшой максимум показаний детектора полной энергии CdS, а также максимум интенсивности потоков электронов с энергией 40—50 кэв. Сразу же за границей магнитосферы (определяемой по скачку магнитного поля и началу за ним области турбулентного поля) наблюдалось резкое увеличение потока энергии, регистрируемого кристаллом CdS до ~ 50 эрг \cdot см⁻² \cdot сек⁻¹. Косвенная оценка величины потока электронов и их энергии дала соответственно 10^{10} см⁻² \cdot сек⁻¹ и 2,5 кэв. Измерения были выполнены во время магнитной бури и для невозмущенных условий в среднем не типичны. В [14] проанализированы все другие случаи наблюдения потоков электронов за границей магнитосферы. После каждого удачного (кристалл CdS не был засвечен солнечным излучением, отраженным Землей) пересечения границы магнитосферы наблюдались электроны, поток которых превосходил пороговое значение ~ 1 эрг \cdot см⁻² \cdot сек⁻¹ (область, в которой были зарегистрированы потоки электронов, показана на рис. 8).

С помощью того же детектора полной энергии на ночной стороне снова были зарегистрированы потоки электронов с энергией $\sim 0,5$ —40 кэв [14]. Более точная оценка энергии не могла быть сделана. В отношении оценки потока электронов имеются расхождения. В [10] величина потока оценена как $\sim 10^8$ — 10^9 см⁻² \cdot сек⁻¹, тогда как в [14] приводится значение $\sim 10^{12}$ см⁻² \cdot сек⁻¹. Непосредственного смыкания ночной и дневной областей потоков электронов по данным, полученным на «Эксплорере-12», не обнаружено [13, 14].

Траектория космической ракеты «Зонд-2» проходила над ночной стороной Земли примерно там же, где наблюдалась ночная область потоков электронов на «Эксплорере-12». На рис. 4 показан ход постоянной составляющей коллекторного тока, установленной на спутнике модуляционной ловушки от геоцентрического расстояния $\sim 7,3 R_z$, на котором был прерван первый сеанс измерений [11]. На этом участке траектории потоки протонов с помощью модуляционной части схемы не были зарегистрированы. К моменту окончания сеанса измерений поток электронов достиг значительной величины $\sim 3 \cdot 10^8$ см⁻² \cdot сек⁻¹.

3. Наблюдения на высоких геомагнитных широтах

Как уже упоминалось, к числу космических аппаратов, на которых на **высоких широтах** (и на больших удалениях от Земли) наблюдались **интенсивные потоки электронов** небольших энергий ($E_e \gtrsim 100$ эв), пока **отсутствуют** только «Марс-1» и «Электрон-2».

Траектория межпланетной станции «Марс-1» проходила над ночной стороной Земли вблизи от меридиональной плоскости, проходящей через линию Земля — Солнце. На рис. 5 приведены записи коллекторных токов двух интегральных ловушек этой станции согласно [15]. Кривая 3 рис. 5 описывает изменение скорости счета более энергичных частиц [21]. Сопоставление кривых 1 и 2 показывает, что в этом случае наблюдалось пересечение периферийной области ионосферы с самой внешней зоной заряженных частиц. Следует отметить, что зона потоков мягких электронов

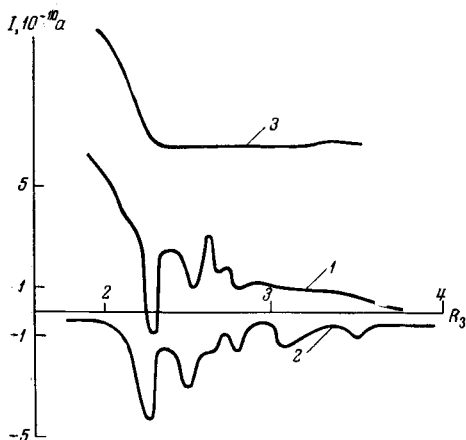


Рис. 5. Коллекторные токи интегральных ловушек заряженных частиц [15] и скорость счета жесткой радиации [21] на межпланетной станции «Марс-1»

1 — потенциал тормозящей сетки $\phi = 0$; 2 — $\phi = 50$ в; 3 — скорость счета в относительных единицах

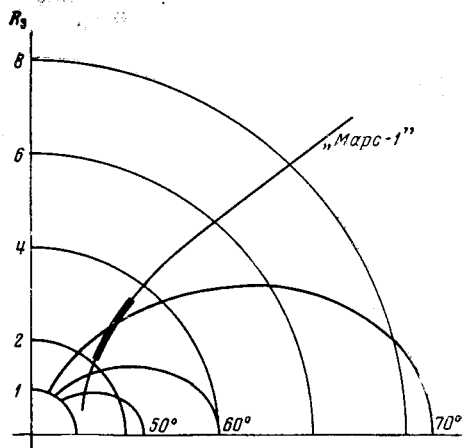


Рис. 6. Расположение траектории «Марса-1» относительно силовых линий идеального геомагнитного диполя

Жирным участком кривой отмечена область регистрации потоков мягких электронов [15]

лежит между силовыми линиями геомагнитного диполя, соответствующими интервалу геомагнитных широт $\sim 63-73^\circ$ (рис. 6), в котором расположена зона максимальной повторяемости полярных сияний.

«Электрон-2» был первым спутником, на котором исследования заряженных частиц небольших энергий на больших удалениях от Земли в высоких широтах проводились систематически в течение длительного времени. Потоки электронов регистрировались при помощи установленных на этом спутнике электростатического анализатора [19] и интегральной ловушки заряженных частиц [22]. При сравнении полученных данных следует иметь в виду, что для ловушки приведены первичные данные (коллекторный ток), в то время как для анализатора величины регистрируемых потоков, т. е. величина фототока в цепи коллектора, уже учтена. Обращает на себя внимание вполне удовлетворительное качественное согласие между данными, полученными с помощью двух различных приборов. По данным электростатического анализатора вне области захваченной радиации ($L > \sim 7,5$) систематически наблюдались интенсивные потоки электронов с энергиями до 10 кэв [19]. Следует отметить, что потоки электронов по данным интегральной ловушки наблюдались не всегда. Напомним, что коллекторный ток ловушки на «Электроне-2» определялся разностью попадающих на коллектор потоков с энергией, превышающей величину, определяемую потенциалом спутника, и электронов с энергией $E_e > 100$ эв. Минимальное значение коллекторного тока, которое могло регистрироваться, соответствовало потоку $3 \cdot 10^7$ см⁻²·сек⁻¹ (подробнее об этом см. [22]). Результаты измерений свидетельствуют о заметной нестабильности

самого внешнего пояса заряженных частиц, что согласуется с нестабильностью мягкой электронной компоненты внешнего радиационного пояса [22]. Так же как и в опытах на других космических аппаратах, зоны потоков мягких электронов частично перекрываются с зонами захваченной радиации.

4. Пространственное распределение потоков мягких электронов

На рис. 7а и б показано пространственное распределение наблюдавшихся на различных космических аппаратах на больших расстояниях от Земли потоков мягких электронов и протонов (соответственно в проекции на плоскость эклиптики и на перпендикулярную ей меридиональную плоскость; ось $X_{сз}$ направлена на Солнце; применяется так называемая солнечно-эклиптическая система координат).

Вблизи от плоскости эклиптики (рис. 7, а) участки траекторий, на которых регистрировались потоки мягких заряженных частиц, образуют две области — дневную и ночную.

1. Дневная область расположена вдоль границы магнитосферы со стороны Солнца. Внешняя граница этой области совпадает с фронтом ударной волны, за которым расположены невозмущенные потоки солнечной плазмы («Луна-1», «Эксплорер-12», «Эксплорер-18»). По данным ловушек заряженных частиц интегрального типа потоки электронов регистрируются по обе стороны границы магнитосферы. Однако спектр энергий мягких электронов, наблюдавшихся по разные стороны границы, по-видимому, различен: электроны внутри магнитосферы энергичнее, чем вне ее.

2. Ночная область потоков («Луна-2», «Эксплорер-12», «Зонд-2»), если судить по данным наблюдений вблизи от плоскости эклиптики, не смыкается с дневной. По данным «Эксплорера-12» в разрыве между дневной и ночной областями на утренней стороне расположена зона потоков захваченных электронов $E_c \sim 40$ кэв, видимо, представляющая собой продолжение внешнего радиационного пояса [26]. Имеется ли такой же разрыв на вечерней стороне, не вполне ясно. Граница области захваченной радиации на рис. 8, а проведена симметрично относительно оси OX .

Результаты высокоширотных измерений на «Марсе-1» и «Электроне-2» (рис. 7, б) дают основание предполагать, что ночная и дневная области соединяются между собой через высокоширотные области и таким образом самый внешний пояс заряженных частиц представляет собой единое образование весьма сложной конфигурации. Разделение зарегистрированных на «Электроне-2» потоков мягких электронов на две области — ночную и утреннюю — является, по-видимому, кажущимся и связано с сезонными изменениями интенсивности электронных потоков (см. п. 6).

В самом деле, до настоящего времени неизвестны случаи, когда какой-либо из космических аппаратов, на котором имелись индикаторы электронов с энергиями порядка сотен эв и единиц кэв, залущенный в каком-либо направлении, пересек границу внешнего радиационного пояса и не обнаружил за ней мягких электронов. Так как внешняя граница зоны захваченной радиации замкнута, то следует предположить, что и зона существования потоков мягких электронов, расположенная за ней, также составляет единое целое. Это, однако, не означает, что потоки плазмы в дневной и ночной областях имеют одинаковые физические свойства и одинаковое происхождение.

Область потоков мягких электронов на ночной стороне расположена ближе к Земле чем дневная, что хорошо согласуется с расположением границ захваченной радиации [24, 25, 29]. Области потоков на ночной стороне, обнаруженные на «Луне-2» и «Эксплорере-12», расположены симметрично по отношению к линии Земля — Солнце. Между данными, получен-

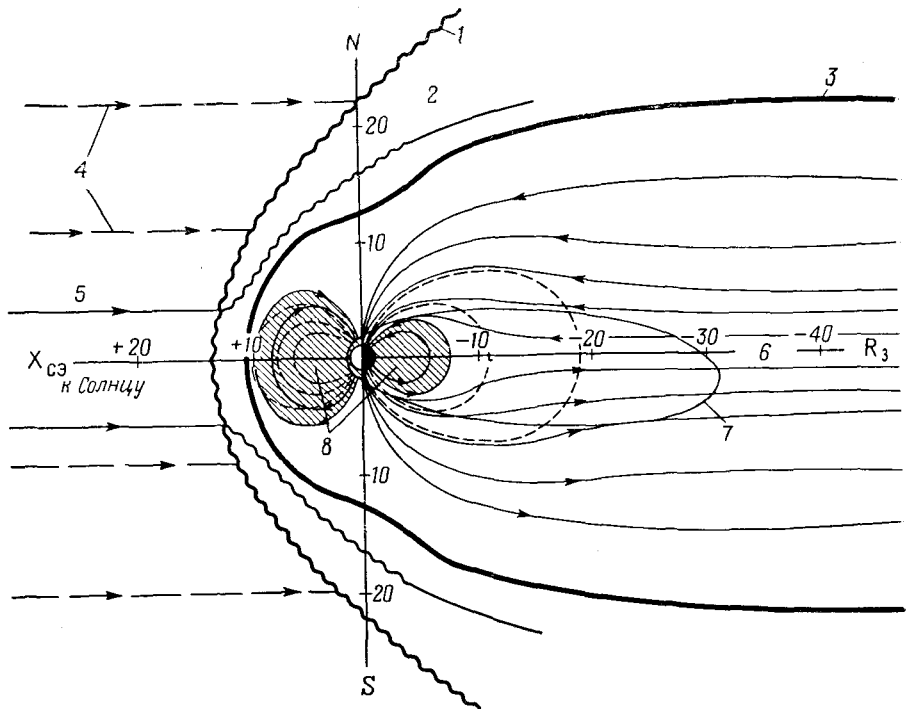


Рис. 8. Структура магнитного поля в хвостовой части магнитосферы, согласно измерениям на «Эксплорере-18» [40]

1 — фронт ударной волны; 2 — турбулентная область; 3 — граница магнитосферы; 4 — солнечный ветер; 5 — межпланетное магнитное поле; 6 — нейтральный слой; 7 — 41-я орбита «Эксплорера-18»; 8 — силовые линии магнитного поля по данным теоретических расчетов (пунктир) и по экспериментальным данным (сплошные кривые). Штриховкой показана область, занятая радиационными поясами Земли

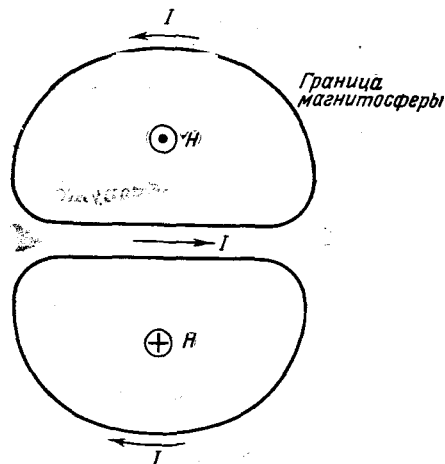


Рис. 9. Система токов в хвостовой части магнитосферы, согласно [32]

6. Временные вариации (по данным «Электрона-2»)

Наблюдения потоков мягких электронов при помощи трехэлектродной интегральной ловушки заряженных частиц на спутнике «Электрон-2» позволяют сделать предварительный вывод о наличии связи между интенсивностью наблюдаемых потоков мягких электронов, ориентацией оси магнитного диполя Земли относительно направления на Солнце и геомагнитной активностью.

На рис. 10 приведены изменения во времени K_p -индексов на начальном этапе полета спутника (которые, согласно [49] и [41], коррелируют со скоростью и интенсивностью потоков солнечной плазмы), указаны геоцентрические расстояния, на которых регистрировались потоки мягких электронов на ночных (b) и утренних (e) участках орбит «Электрона-2», и угол φ , близкий к значению геомагнитной широты подсолнечной точки магнитосферы¹. При рассмотрении этого рисунка следует иметь в виду, что мы не располагаем непрерывными данными о величинах коллекторных токов ловушки; интервалы времени, соответствующие наличию информации, показаны (рис. 10, d) в виде жирных участков прямой. Напомним снова, что, кроме потоков электронов, в ловушку могли проникать и положительные ионы, вследствие чего зарегистрированные отрицательные коллекторные токи позволяют оценивать лишь нижние границы величин электронных потоков.

Из приведенных данных видно, что потоки мягких электронов регистрировались на утренних участках орбит спутника преимущественно в то время, когда южный магнитный полюс был максимально наклонен в сторону Солнца, т. е. тогда, когда условия для проникновения термализованной солнечной плазмы через южную нейтральную точку (если, конечно, такое проникновение имеет место) наиболее благоприятны.

Та же периодичность в появлении потоков наблюдается и на ночной стороне, но со сдвигом во времени, причем периодичность в регистрации потоков на ночной стороне выражена даже более четко, чем на утренней, где число регистраций и интенсивность потоков меньше, чем на ночной. Отдельные исключения соответствуют дням с повышенной геомагнитной возмущенностью.

Следует подчеркнуть, что приведенные данные являются предварительными, в частности и по той причине, что они основаны на наблюдениях, статистика которых невелика; в дальнейшем необходим совместный анализ всех результатов наблюдений потоков мягких электронов (включая наблюдения, проводившиеся одновременно при помощи электростатического анализатора [19]).

Отметим, что приведенные данные, показывающие наличие связи между случаями регистрации потоков мягких электронов на спутнике «Электрон-2» и ориентацией оси геомагнитного диполя, могут иметь большое значение, в частности, для выяснения характера проникновения солнечной плазмы в магнитосферу Земли и заполнения геомагнитной ловушки. Заметим в связи с этим, что, например, в [50] уже отмечалась возможная связь некоторых суточных и сезонных вариаций геомагнитной активности с изменением ориентации оси геомагнитного диполя относительно направления на Солнце.

¹ Значения φ рассчитаны для моментов времени, когда спутник находился на геоцентрических расстояниях, соответствующих горизонтальной линии на рис. 10, e ($R \sim 5,7 R_s$ — примерно средняя часть утренней области регистрации потоков мягких электронов на начальном участке полета спутника).

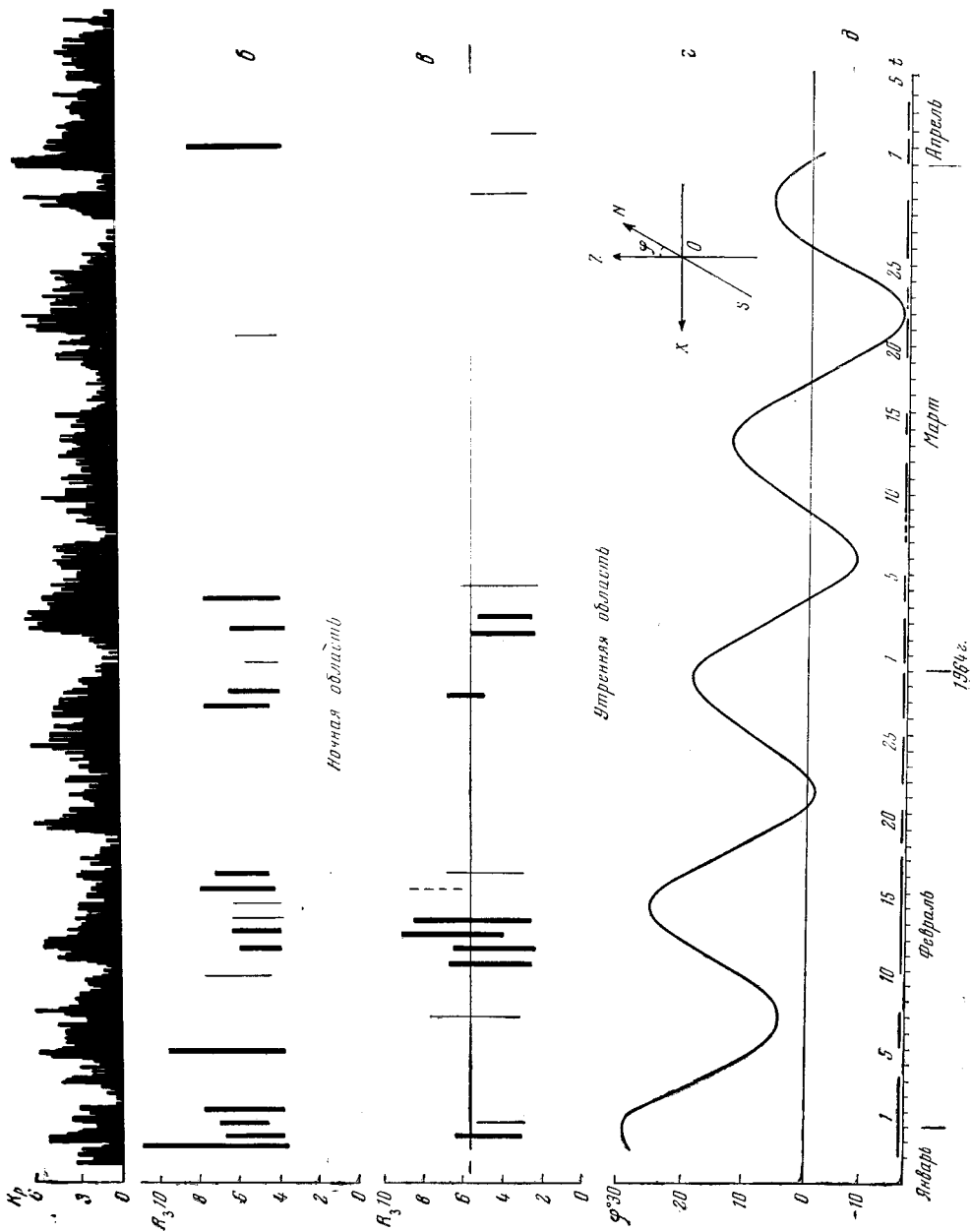


Рис. 10. Сопоставление случаев регистрации потоков мягких электронов по данным «Электрона-2» (интегральная ловушка) с K_p -индексами и ориентацией оси геомагнитного диполя (φ)

a — K_p -индексы; $б$ — геоцентрические расстояния, на которых регистрировались потоки на ночных участках орбит; $в$ — то же, что и $б$, но на утренних участках орбит; $г$ — ориентация оси диполя (φ); XZ — меридиональная плоскость солнечно-эклиптической системы координат; S/N — проекция оси геомагнитного диполя на эту плоскость; θ — интервалы времени, соответствующие наличию информации

7. Краткие замечания о происхождении мягких электронов за границами радиационных поясов

От невозмущенного солнечного ветра дневная область зоны заряженных частиц отделена фронтом ударной волны, образованной при пабеда- ния сверхзвукового потока солнечной плазмы (солнечного ветра) на геомагнитное поле. Электроны в этой зоне имеют энергии порядка сотен эв и кэв (до 10—40 кэв), тогда как электроны солнечного ветра имеют энергии порядка 10 эв. По-видимому, вблизи границы магнитосферы происходит перекачка энергии от протонов солнечного ветра, имеющих энергии порядка сотен эв и кэв, к электронам. Это предположение применительно к самому внешнему поясу было высказано еще в 1960 г. [2]. В качестве одного из возможных механизмов такого ускорения электронов солнечного ветра был указан механизм ускорения электронов при движении сгустков плазмы в неоднородном магнитном поле [3].

Один из других возможных механизмов ускорения электронов связан с тем, что протоны солнечного ветра, имеющие энергию на три порядка ббльшую, чем электроны, могут соответственно глубже проникнуть в геомагнитное поле. При этом должно происходить пространственное разделение зарядов, вызывающее электрическое поле, которое в свою очередь «подтягивает» электроны к протонам с соответствующим их ускорением [4].

Следует иметь в виду, что «Эксплорер-18» зарегистрировал в узком слое, по-видимому, на самом фронте ударной волны электроны с энергией ~ 30 кэв (пороговое значение примененных счетчиков) [18]. Их интенсивность была оценена $\sim 10^5$ см⁻² · сек⁻¹. По-видимому, на самом фронте ударной волны действует достаточно эффективный механизм ускорения электронов. Интересно, что по мере удаления орбиты спутника от подсолнечной точки область генерации энергичных электронов, сосредоточенная при малых углах $\lambda_{\text{ЗС}}$ в узком слое вблизи внешней границы переходной зоны, заметно расширяется. Вполне уместно предположить, что в процессе ускорения могли образоваться и электроны меньших энергий.

Некоторые возможные механизмы ускорения электронов в переходной зоне рассмотрены в [5, 51].

Вопрос о происхождении потоков на ночной стороне более сложен. Это связано, в частности, с тем, что, как показывают измерения, внешняя граница зоны захваченной радиации в этом случае находится в глубине магнитосферы и непосредственно с потоками солнечной плазмы не граничит. Возможно, что появление этих потоков на ночной стороне связано, как это уже упоминалось, с проникновением плазмы через нейтральные точки магнитного поля [46]. При открытой или сильно вытянутой магнитосфере существенное значение может также иметь ускорение частиц в магнитно-нейтральном слое из-за неустойчивостей в этом слое, заключенном между плоскими антипараллельными магнитными полями [52—54].

В заключение отметим, что приведенные данные указывают на большое геофизическое значение самой внешней зоны заряженных частиц. Тесная связь этой зоны со структурой периферийных областей геомагнитного поля и его ориентацией относительно направления потоков солнечной плазмы и межпланетного магнитного поля, связь с зонами максимальной повторяемости полярных сияний (по крайней мере пространственная) с солнечной и геомагнитной активностью заставляет предполагать, что изучение самой внешней зоны заряженных частиц может явиться ключом к пониманию многих важных, пока еще не решенных вопросов, таких, например, как характер проникновения солнечной плазмы в магнитосферу Земли и заполнения геомагнитной ловушки.

Необходимо, однако, иметь в виду, что число измерений потоков мягких электронов и протонов еще совершенно недостаточно, их энергетиче-

ский спектр не вполне ясен. Поэтому одной из важных задач будущих космических исследований является дальнейшее тщательное изучение потоков мягких заряженных частиц самой внешней зоны, особенно на высоких широтах, где, по-видимому, соединяются дневная и ночная части этой зоны, вблизи нейтральных точек геомагнитного поля на дневной стороне, и в магнитно-нейтральном слое ночной части зоны. Эти измерения необходимо проводить одновременно с измерениями на тех же космических аппаратах величины и направления магнитного поля Земли, потоков энергичных частиц и сопоставлять их с данными о солнечной и геомагнитной активности.

Литература

1. В. В. Безруких, К. И. Грингауз, В. Д. Озеров, Р. Е. Рыбчинский. Докл. АН СССР, 131, 1301, 1960.
2. И. С. Шкловский, В. И. Мороз, В. Г. Курт. Астр. ж., 37, 931, 1960.
3. В. И. Векслер. Докл. АН СССР, 3, 84, 1958.
4. W. Bernstein, R. W. Fredriks, F. L. Scarf. J. Geophys. Res., 69, 1201, 1964.
5. R. Kaufman. J. Geophys. Res., 68, 371, 1963.
6. К. И. Грингауз, В. Г. Курт, В. И. Мороз, И. С. Шкловский. Астр. ж., 37, 716, 1960.
7. К. И. Грингауз, С. Н. Рытов. Докл. АН СССР, 135, 48, 1960.
8. K. I. Gringauz. Space Res., 2, 539, 1961.
9. K. I. Gringauz. J. Geophys. Res., 69, 1007, 1964.
10. J. A. Van Allen. J. Geophys. Res., 69, 1011, 1964.
11. В. В. Безруких, К. И. Грингауз, М. З. Хохлов, Л. С. Мусатов, Р. Е. Рыбчинский. Докл. АН СССР, 163, № 4, 1965.
12. A. J. Dessler, R. D. Juday. Planet. Space Sci., 13, 63, 1965.
13. I. W. Freeman, J. A. Van Allen, L. I. Cahill. J. Geophys. Res., 68, 2121, 1963.
14. I. W. Freeman. J. Geophys. Res., 69, 1691, 1964.
15. K. I. Gringauz, V. V. Bezrukich, L. S. Musatov, R. E. Rybchinsky, S. M. Sheronova. Space Res., 4, 621, 1964.
16. G. R. Serbu. Space Res., 5, 1964.
17. H. Bridge, A. Egidi, A. Lazarus, E. Lyon. Space Res., 5, 1964.
18. IG Bulletin, N 84, 1964.
19. С. Н. Вернов, В. С. Мельников, И. А. Савенко, Б. И. Савин. Доклад на 6-м симпозиуме COSPAR, Буэнос-Айрес, май 1965.
20. С. Н. Вернов, А. Е. Чудаков, П. В. Вакулов, Ю. И. Логачев, А. Г. Николаев. В сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 5. Изд-во АН СССР, 1960.
21. P. V. Vakulov, S. N. Vernov, E. V. Gorchakov, Yu. I. Logachev, A. N. Charakhchun, T. N. Charakhchun, A. E. Chudakov. Space Res., 4, 26, 1964.
22. В. В. Безруких, К. И. Грингауз, Л. С. Мусатов, Э. К. Соломатина. Наст. сборник, стр. 418.
23. I. V. McDiarmid, I. R. Burrows. Canad. J. Phys., 42, 616, 1964.
24. B. J. O'Brien, C. D. Laughlin, J. A. Van Allen, L. A. Frank. J. Geophys. Res., 67, 1209, 1962.
25. L. A. Frank, J. A. Van Allen, I. D. Graven. J. Geophys. Res., 69, 3155, 1964.
26. L. A. Frank, J. A. Van Allen, E. Nacagno. J. Geophys. Res., 68, 3543, 1963.
27. G. D. Mead, P. V. Beard. J. Geophys. Res., 69, 1169, 1964.
28. G. D. Mead. J. Geophys. Res., 69, 1181, 1964.
29. С. Н. Вернов, А. Е. Чудаков, П. В. Вакулов, Е. В. Горчаков, С. Н. Кузнецов, Ю. И. Логачев, А. Г. Николаев, И. А. Рубинштейн, Э. Н. Сосновец, В. Г. Столповский, Э. Н. Эльтеков. Наст. сборник, стр. 394.
30. I. H. Piddington. J. Geophys. Res., 65, 93, 1960. Planet. Space Sci., 11, 1277, 1963.
31. S.-I. Akasofu, S. Chapman. Philos. Trans. Roy. Soc. London, A253, 359, 1961.
32. W. I. Axford, C. O. Hines. Canad. J. Phys., 39, 1433, 1961.
33. E. W. Hones. J. Geophys. Res., 68, 1209, 1963.
34. H. A. Alfven. Space Sci. Rev., 2, 862, 1963.
35. A. J. Dessler. J. Geophys. Res., 69, 3913, 1964.
36. W. I. Axford, H. E. Petschek, G. L. Siscoe. J. Geophys. Res., 70, 1231, 1965.
37. В. П. Шабанский. Космические исследования, 3, 221, 1965.
38. N. F. Ness. The Earth's magnetic tail, the Second Benedum Conf. on Earth Magnetism. Pittsburg, Nov. 1964.
39. L. I. Cahill. Trans. Amer. Geophys. Union, 45, 231, 1964.
40. N. F. Ness, C. S. Scarce, I. B. Seck. J. Geophys. Res., 69, 3531, 1964.

41. J. P. Heppner, N. F. Ness, C. S. Scearce, T. L. Skillman. *J. Geophys. Res.*, **68**, 1, 1963.
42. I. S. Shklovsky. *Planet. Space Sci.*, **1**, 63, 1959.
43. I. C. Brandt. *Astrophys. J.*, **134**, 1961.
44. М. С. Бобров. *Астр. ж.*, **37**, 410, 1960.
45. N. Kawashima, N. Fukushima. *Planet. Space Sci.*, **12**, 1187, 1964.
46. В. Д. Плетнев, Г. А. Скуридин, В. П. Шалимов, И. Н. Швачунов. *Космические исследования*, **3**, 336, 1965.
47. В. И. Красовский. Доклад на Ассамблее МГГ. М., 1958.
48. С. Н. Вернов. *Наст. сборник*, стр. 277.
49. C. W. Snyder, H. Neugebauer, U. R. Rao. *J. Geophys. Res.*, **68**, 6361, 1963.
50. В. М. Мишин, М. Л. Платонов. *Геомагнетизм и аэрономия*, **4**, 717, 1964.
51. M. A. Gintzburg. *Phys. Rev. Letters*, **14**, 625, 1965.
52. P. A. Sweet. *Proc. IAU Symposium Electrodynamic Phenomena in Cosmos N 6*, Stockholm, 1956.
53. H. P. Furth, I. Killen, M. N. Rosenbluth. *Phys. Fluids*, **6**, 459, 1963.
54. H. P. Furth. *Phys. Fluids*, **6**, 48, 1963.

Примечание при корректуре. Уже после окончания конференции авторы доклада узнали о новой публикации, относящейся к наблюдениям потоков электронов с энергиями 10 кэв за границей зоны захваченной радиации на малых высотах (до 2700 км), проведенным при помощи американского спутника «Инджун-3» (I. A. Fritz, D. A. Gurnett. *J. Geophys. Res.*, **70**, 2485, June 1, 1965). Эти результаты, как указывают их авторы, хорошо согласуются с результатами наблюдений, выполненных на больших высотах на советских космических аппаратах «Луна-2» [1, 6] и «Марс-1» [15], и с результатами, полученными на «Эксплорере-12» [14]. Как и предполагалось, указанные мягкие электроны проникают в зоны полярных сияний.