

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ имени Д.В.СКОБЕЛЬЦЫНА**

Эльмар Николаевич Сосновец

**Сборник статей, посвящённый памяти
Эльмара Николаевича Сосновца**

Редакторы-составители:

М.И.Панасюк, В.И.Тулупов, Н.А.Власова, Н.Н.Павлов

Москва
«Университетская книга»
2010

УДК 53(47+57)(082.1)(093.3)(092)Сосновец Э.Н.
ББК 22.3д(2)Сосновец Э.Н.+22.63я434Сосновец Э.Н.
Э53

Авторы:

Е.Е.Антонова, Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, Ю.И.Логачёв, Л.С.Новиков,
И.А.Рубинштейн, М.О.Рязанцева, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская

Редакторы-составители:

М.И.Панасюк, В.И.Тулупов, Н.А.Власова, Н.Н.Павлов

Э53 **Эльмар Николаевич Сосновец:** сб. ст., посвящ. памяти Эльмара Николаевича Сосновца / [ред.-сост. М.И. Панасюк и др.]. – М.: Университет. кн., 2010. – 182 с. – ISBN 978-5-91304-119-7

Сборник посвящён памяти Эльмара Николаевича Сосновца – одного из пионеров экспериментальной космофизики, руководителя (1997-2004 гг.) отдела теоретической и прикладной космофизики НИИЯФ МГУ. В сборник вошли оригинальные статьи Э.Н. Сосновца и ряд воспоминаний его коллег и друзей, как обзорные работы по научным направлениям и проектам, с которыми был связан Э.Н. Сосновец, так и личные впечатления авторов от общения с этим удивительно увлечённым, умным и щедрым душою человеком.

© МГУ, 2010

© НИИЯФ МГУ, 2010

© Антонова Е.Е., 2010

© Власова Н.А., 2010

© Ковтюх А.С., 2010

© Логачёв Ю.И., 2010

© Новиков Л.С., 2010

© Рубинштейн И.А., 2010

© Рязанцева М.О., 2010

© Сосновец Э.Н., 2010

© Тверская Л.В., 2010

ISBN 978-5-91304-119-7

© Издательство КДУ, обложка, 2010

Содержание

Факты биографии Э.Н. Сосновца	4
От составителей	6
Часть 1. Избранные публикации Э.Н. Сосновца	9
Экспериментальные основания теории формирования радиационных поясов Земли <i>Э.Н. Сосновец</i>	10
Космический патруль <i>Э.Н. Сосновец</i>	36
Регистрация протонов малых энергий на спутниках серии «Электрон» <i>Э.Н. Сосновец</i>	42
Часть 2. О Э.Н. Сосновце, его времени и окружении, о некоторых направлениях его научных исследований	47
Э.Н. Сосновец на первых этапах изучения РПЗ <i>Ю.И. Логачев</i>	54
Сосновец – Рубинштейн <i>И.А. Рубинштейн</i>	76
Памяти Э.Н. Сосновца <i>А.С. Ковтюх</i>	81
У истоков глобального мониторинга радиации в околоземном космическом пространстве <i>Л.В. Тверская</i>	88
Роль Э.Н. Сосновца в изучении электризации космических аппаратов <i>Л.С. Новиков</i>	106
Вклад Эльмара Николаевича Сосновца в исследования распределения давления в магнитосфере Земли <i>Е.Е. Антонова и М.О. Рязанцева</i>	128
Татьяна Андреевна <i>Н.А. Власова</i>	143
Приложение. Список научных трудов Э.Н. Сосновца	149



Сосновец

Эльмар Николаевич Сосновец
1935 – 2004

Факты биографии Э.Н. Сосновца

Родился 7 июня 1935 г. в Москве.

1953-1959 – учеба на физическом факультете МГУ.

1959-1960 – старший лаборант ФИАН.

1960-1968 – старший, а затем ведущий, инженер Опытно-конструкторской лаборатории (ОКЛ) НИИЯФ МГУ.

1968-1970 – старший научный сотрудник ОКЛ НИИЯФ МГУ.

1970-1994 – начальник (затем заведующий) сектора (затем лаборатории) физики магнитосферы лаборатории (затем отдела) теоретической и прикладной космофизики (ЛТПКФ/ОТПКФ) НИИЯФ МГУ.

1995-1997 – ведущий научный сотрудник (одновременно и.о. заведующего лабораторией физики магнитосферы) ОТПКФ НИИЯФ МГУ.

1997-2004 – и.о. заведующего ОТПКФ НИИЯФ МГУ.

1967 – защитил кандидатскую диссертацию: «Структура радиационных поясов Земли по данным спутников “Электрон”»

1987 – защитил докторскую диссертацию: «Радиационный протонный пояс Земли и его основные источники».

1974 – присвоено звание старшего научного сотрудника.

1990 – удостоен звания Лауреата премии Минвуза СССР.

1999 – удостоен (с соавторами) Ломоносовской премии МГУ II степени.

2001 – присвоено почетное звание «Заслуженный научный сотрудник МГУ».

2002 – избран действительным членом академии Космонавтики России.

- Награждён медалями «За доблестный труд», «Ветеран труда», «850-летие Москвы», медалями «Ветеран космонавтики России», им. С.П. Королёва, им. Ю.А. Гагарина федерации Космонавтики России, двумя серебряными и бронзовой медалями ВДНХ.
- Член Учёного совета НИИЯФ и ОЯФ физического факультета МГУ и совета по присуждению учёных степеней кандидата и доктора физико-математических наук.
- Опубликовал 300 научных работ.
- Подготовил 2 кандидатов наук и 7 дипломников.

Эльмар Николаевич Сосновец скончался 13 февраля 2004 года.

От составителей

Эльмар Николаевич Сосновец (1935-2004 гг.) был нашим коллегой, учителем, другом. Начало его работы в НИИ ядерной физики МГУ им. М.В. Ломоносова пришлось на период первых экспериментов по исследованию околоземного космического пространства. Он участвовал в создании приборов для регистрации радиации (потоков энергичных заряженных частиц) на первых советских искусственных спутниках Земли; ставил приборы на научные спутники “Электрон” и “Овал”; внёс вклад в понимание устройства и динамики радиационных поясов Земли, состава и поведения ионной компоненты кольцевого тока, возможностей проникновения солнечной радиации в геомагнитосферу. Он стал одним из организаторов межведомственной программы мониторинга радиационных факторов космического пространства на серийных отечественных спутниках навигации и связи. В течение многих лет Эльмар Николаевич руководил лабораторией физики магнитосферы отдела теоретической и прикладной космофизики, а с 1997 года возглавил отдел. За эти годы были созданы приборы для регистрации протонной и электронной компонент космического излучения с энергией от сотни эВ на частицу до релятивистских величин на основе методик электростатических анализаторов различных типов, полупроводниковых детекторов, газоразрядных счётчиков, сцинтилляционных и черенковских датчиков. Вот названия серий космических аппаратов, на которых стояли эти приборы: “Молния”, “Горизонт”, “Экспресс”, “Галс”, ГЛОНАСС, “Электро”, “Метеор”. Последним проектом, для которого Эльмар Николаевич разрабатывал комплекс научной аппаратуры, стал первый спутник Московского университета “Университетский-Татьяна”.

Эльмар Николаевич умел удивительно общаться с людьми. В основе умения – внутреннее стремление порадовать человека,

найти в обсуждении что-то хорошее и приятное для собеседника, причём Эльмар Николаевич получал ощутимое удовольствие от того, что это приятное произносил. По-видимому, такое свойство возникло из сочетания черт характера и потребности бесконфликтно руководить коллективом лаборатории, партбюро института, отделом. В какие-то моменты стремление к бесконфликтности могло оказаться мешающим делом, однако, оно же создавало в коллективе атмосферу доброжелательности и уважительного отношения друг к другу, люди видели для себя пример поведения и следовали ему.

Среди замечательных свойств Эльмара Николаевича можно отметить увлечённость и бескорыстие: он с блеском в глазах и искренним интересом мог говорить о новых эффектах в космической среде, о нашем недостаточном их понимании, о новых идеях, новых экспериментах; он легко делился данными со своих приборов, соавторством в публикациях, финансированием как внутри коллектива, так и во взаимоотношениях с внешними организациями. Эти качества, в сочетании с профессиональными познаниями в физике и технике космофизического эксперимента, вызывали уважение и располагали к сотрудничеству; во многом благодаря авторитету Эльмара Николаевича и его участию в руководстве программой космического мониторинга удалось осуществить ряд проектов с участием НПО прикладной механики (ныне ОАО “Информационные спутниковые системы”) и других организаций. И в масштабах отдела, и в масштабах широкой кооперации Эльмар Николаевич умел создать условия, в которых и работа и взаимоотношения доставляли людям радость.

Таким он остался в нашей памяти – эрудит, интеллигент, профессионал своего дела, умный и щедрый человек, носитель лучших традиций Московского университета.

Сборник состоит из двух частей и приложения. В первой части – работы Э.Н. Сосновца. Их только три, но все они с его единоличным авторством, и по ним, мы полагаем, можно судить о ясности мысли, лёгкости изложения, широте взглядов, масштабе проектов и детальности исследований автора. Это, в представленном порядке, обзорная, популярная и оригинальная статья. Выбор обусловлен тем, что основные научные результаты были получены в экспериментальных работах и опубликованы в сериях оригинальных статей с коллективным авторством, причём трудно найти основания для выделения какой-либо отдельной публикации внутри каждой серии.

Во второй части – воспоминания коллег и краткие обзоры научных направлений, в которых авторы сотрудничали с Э.Н. Сосновцом.

В приложении – список публикаций Э.Н. Сосновца.

Часть 1. Избранные публикации Э.Н. Сосновца

Аннотированное оглавление

Стр.	Кто; о чём
10	<p>Э.Н.Сосновец, Экспериментальные основания теории формирования радиационных поясов Земли. Сб. статей «У истоков космофизики. Памяти Бориса Аркадьевича Тверского», Изд-во МГУ, 1999, с. 45-63.</p> <p>В этой обзорной статье, написанной для сборника памяти Б.А. Тверского, приводятся базовые положения теории радиационных поясов Земли, развитой Б.А. Тверским, в сочетании с ключевыми экспериментальными результатами, полученными в этой области, с акцентом на отечественные эксперименты, выполненные в НИИЯФ МГУ.</p>
36	<p>Э.Н.Сосновец, Космический патруль, Наука в России, 1994, N1, с. 8-11.</p> <p>В этой научно-популярной работе читателю даются представления о космической среде, окружающей Землю, и приводятся основания, задачи и ход реализации программы мониторинга радиационных условий в космическом пространстве на орбитах космических аппаратов навигации и связи.</p>
42	<p>Э.Н.Сосновец, Регистрация протонов малых энергий на спутниках серии "Электрон". Известия АН СССР, серия физическая, 1966, т. 30, N 11, с. 1820-1823.</p> <p>В этой оригинальной публикации 1966 года доложены результаты серии экспериментов, с техническими деталями и локальными обобщениями, что даёт пример духа и стиля исследований тех лет, начальной стадии экспериментального изучения околоземного космического пространства.</p>

Экспериментальные основания теории формирования радиационных поясов Земли

Э. Н. Сосновец

Обнаружение радиационных поясов Земли явилось одним из интереснейших открытий XX века. Последующие исследования показали, что образование радиационных поясов Земли не есть локальное, чисто земное явление, а достаточно распространенный феномен в космическом пространстве. Наиболее мощный радиационный пояс был обнаружен у Юпитера. Многие процессы, протекающие в магнитосфере Земли, присущи также и другим космическим объектам. Например, процессы ускорения типа солнечных вспышек, происходят, по-видимому, в плазменном слое хвоста магнитосферы и на её дневной магнитопаузе.

В основе теории формирования радиационных поясов Земли, разработанной Б.А.Тверским [Тверской, 1968], лежат три фундаментальных процесса, управляющих динамикой основной массы частиц: инжекция в область захваченной радиации, диффузия, сопровождающаяся адиабатическим ускорением, и утечки из геомагнитной ловушки.

Результаты, полученные на спутниках серии ЭЛЕКТРОН (1964 г.), послужили не только основой для создания строгой количественной теории радиационных поясов, но и явились первой экспериментальной проверкой этой теории. Это было обусловлено тем, что в этом эксперименте впервые была исследована практически вся область захваченной радиации в диапазоне энергий частиц, типичном для радиационных поясов в спокойном, невозмущенном состоянии (благодаря минимуму солнечной активности), что значительно облегчило сравнение данных с теорией.

Теория Б.А.Тверского позволила объяснить основные про-

Э.Н.Сосновец, Экспериментальные основания теории формирования радиационных поясов Земли. Сб. статей «У истоков космофизики. Памяти Бориса Аркадьевича Тверского», Изд-во МГУ, 1999, с. 45-63

странственно-энергетические характеристики захваченных частиц в рамках единого механизма радиальной диффузии частиц под действием флюктуации геомагнитного поля типа внезапных импульсов. Были постулированы основные источники захваченных частиц и механизмы их потерь из ловушки. В то же время радиационный пояс в этой теории рассматривался как одно из важнейших структурных образований в магнитосфере Земли, формирование которого обусловлено сложным комплексом взаимосвязанных плазменных процессов, протекающих под воздействием изменяющихся параметров солнечной активности и межпланетной среды.

Многие явления в магнитосфере и ионосфере к моменту создания теории были уже изучены, другие требовали проверки с учетом выводов теории. Так, не был ещё обнаружен кольцевой ток, который, как оказалось впоследствии, играет первостепенную роль в процессах магнитосферно-ионосферного взаимодействия и является важным переходным звеном между магнитосферной плазмой и захваченными частицами. Исследования, проведенные в период 1968-1975 гг. на ИСЗ серии МОЛНИЯ, значительно расширили и углубили существующие представления о динамике энергичных частиц не только в области радиационных поясов, но и за его пределами на высоких геомагнитных широтах. По результатам этих исследований была подтверждена одна из важнейших концепций теории – концепция конвективного переноса частиц суббуревыми электрическими полями – и, как следствие такого переноса, формирование асимметричного по долготе кольцевого тока.

К моменту создания теории не существовало единой точки зрения относительно структуры магнитопаузы, и, соответственно, механизмов проникновения низкоэнергичных частиц, в том числе СКЛ, в магнитосферу Земли и далее в область захваченной радиации. Одна из точек зрения состояла в том, что магнитопауза не является абсолютной границей. Важнейшим следствием такой концепции была возможность относительно свободного доступа частиц в магнитосферу. Экспериментальное подтверждение та-

кой возможности по данным наблюдений СКЛ было получено с помощью полярных ИСЗ серии КОСМОС в 1972-1979 гг. научным руководителем одного из которых (КОСМОС-900) был Б.А. Тверской.

Цель настоящей работы – дать краткий обзор экспериментальных результатов, полученных автором и его ближайшими коллегами, которые позволили подтвердить и проверить основные положения теории формирования радиационных поясов Земли. Выводы и следствия этой теории явились фактически программой более чем 30-летних исследований, а личное участие Б.А. Тверского в обсуждении планируемых экспериментов и полученных результатов делало весь этот процесс исключительно плодотворным.

Инжекция

Согласно теории радиационных поясов Земли, инжекция является начальной стадией формирования потоков захваченных геомагнитным полем частиц [Tverskoy, 1969].

Два механизма обеспечивают, по-видимому, перенос и ускорение частиц из удаленных областей магнитосферы в её внутренние области, где имеются условия для существования замкнутых дрейфовых траекторий [Тверской, 1969; Tverskoy, 1969, 1970; Ташикина и Тверской, 1974, 1975]. Стационарная конвекция, обусловленная присутствием в магнитосфере потенциального электрического поля "утро-вечер", обеспечивает перенос к границе области захвата частиц с энергией до ~ 10 кэВ в спокойных и слабо возмущенных геомагнитных условиях с сохранением полной энергии частиц. "Суббуревая" инжекция, обусловленная индукционными электрическими полями, обеспечивает во время магнитосферных суббурь заброс частиц с энергией в десятки-сотни кэВ в область захвата с сохранением магнитного момента частиц (бетатронное ускорение). В основе обоих механизмов лежит дрейф частиц в скрещенных магнитном и электрическом полях [Альвен и Фельтхаммар, 1967]. Инжекция частиц во время суббурь может быть связана с втягиванием части силовых линий

магнитного поля, соответствующих ночному плазменному слою, в зону захваченной радиации [Tverskoy, 1969]. Важным шагом в разработке этой концепции явилось самосогласованное решение задачи по вычислению магнитосферно-ионосферной токовой системы и геоэлектрического поля с учетом ионосферно-магнитосферных взаимодействий. В работе [Ташкинова и Тверской, 1975] эта задача решалась для случая стационарной конвекции, а в работах [Тверской, 1969; Tverskoy, 1970; Тверской и Ташкинова, 1974] – для случая нестационарной конвекции во время суббурь. Расчеты показали, что разность потенциалов ΔU между Землёй и оболочками с $L \approx 4-5$ (L – параметр Мак-Илвайна) в плоскости экватора примерно равна разности потенциалов поперек полярных электроструй в ионосфере и составляет для умеренной бухты (≈ 500 нТ) порядка десятков кВ. При более интенсивных бурях разность потенциалов может достигать значений $\Delta U = 100-200$ кВ.

Таким образом, из теории следовали две важных экспериментальных задачи:

- по измерениям энергичных частиц, инжектируемых во время суббурь, дать оценку величины электрических полей, поскольку прямые измерения этих полей являются крайне сложной экспериментальной задачей;
- установление факта асимметричной по долготе инжекции частиц во время суббурь, как одного из принципиальных следствий теории конвекции.

Первая задача решалась по наблюдению потоков электронов с энергией в сотни кэВ, вторая – по наблюдению протонов кольцевого тока с энергией в десятки-сотни кэВ.

Уже в ходе проведения эксперимента на ИСЗ серии ЭЛЕКТРОН было установлено, что во время умеренных магнитных бурь происходит инжекция электронов с энергией в сотни кэВ во внешний радиационный пояс на $L \sim 4-5$ [Vernov et al., 1969]. В дальнейшем на ИСЗ МОЛНИЯ-1 были зарегистрированы случаи инжекции электронов во время более мощных магнитных бурь на более глубокие L -оболочки ($L \sim 3 - 4$) [Вернов и др., 1970]. На

рис. 1 представлено распределение интенсивности электронов с энергией >250 кэВ для нескольких пролетов через пояс во время бури 29.10-04.11.1968 г. Появление больших потоков электронов с энергиями в сотни кэВ на $L \sim 3$ означает либо их локальное ускорение, либо быстрый перенос с более удаленных L -оболочек. Согласно работе [Альвен и Фельтхаммар, 1967], под действием магнитного дрейфа частица проходит в электрическом поле некоторую разность потенциалов и либо увеличивает, либо уменьшает свою энергию. Те частицы, которые ускоряются, приближаются к Земле. Наибольшая разность потенциалов достигается вдоль петли, разделяющей замкнутые и разомкнутые траектории дрейфа, где отношение начального (L_i) и конечного (L_f) значений L -оболочки составляет ~ 1.8 [Альвен и Фельтхаммар, 1967]. При этом энергия (в нерелятивистском случае) за счет сохранения магнитного момента возрастает в $(1.8)^3 \approx 6$ раз. С другой стороны, увеличение энергии составляет $\Delta E = e \cdot \Delta U$, где $\Delta U = \epsilon \cdot R(L_i + L_f)$ разность потенциалов на петле, а ϵ - напряженность электрического поля. Оценки показывают, что при конечной энергии частиц $E_f = 250$ кэВ и $L_f = 2.5$ величина разности потенциалов между $L = 5$ и

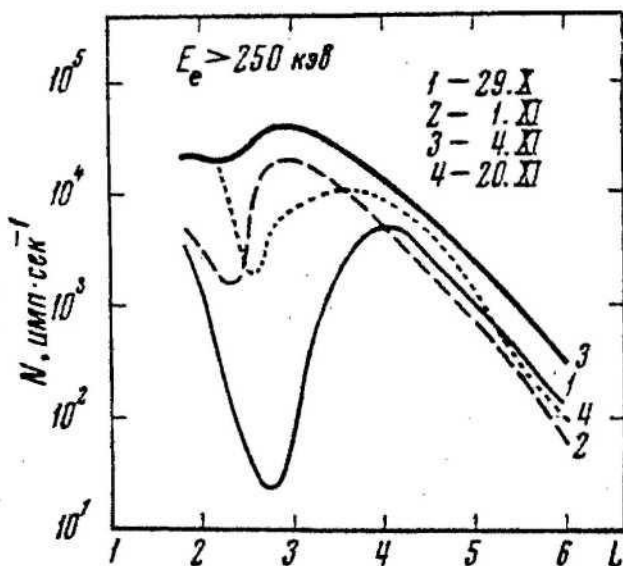


Рис. 1. Распределение интенсивности электронов с энергией >250 кэВ в зависимости от расстояния от центра Земли для нескольких пролетов через внешний радиационный пояс во время магнитной бури 29.10-04.11.1968 г. по данным ИСЗ МОЛНИЯ-1

Землѣй составляет $\cong 200$ кВ, что не противоречит теоретическим оценкам [Тверской, 1969]. Расчеты, выполненные для нестационарной модели электрического поля при длительности возмущения ~ 1.5 часа, дали для амплитуды электрического поля значение $\cong 4 \cdot 10^{-5}$ В/см, что также в пределах фактора 2 согласуется с оценками максимальной амплитуды электрического поля, достигаемой во время наиболее мощных суббурь [Тверская, 1971].

Важная роль суббуревых электрических полей в формировании начальных спектров потоков захваченных частиц была подтверждена также в результате экспериментов по изучению структуры и динамики протонов кольцевого тока [Kovtyukh et al., 1976; Ковтюх и др., 1976; Ковтюх и др., 1978; Морозова и др., 1981].

Вывод о долготной асимметрии развивающегося кольцевого тока впервые был сделан на основании данных наземных [Akasofu and Chapman, 1964] и спутниковых [Cahill, 1966] магнитных измерений. Это было связано с тем, что прямые наблюдения асимметричного распределения частиц кольцевого тока в космическом пространстве затруднены из-за быстротечности процессов инжекции ($\sim 1-2$ часа) и недостаточного временного разрешения при использовании одного спутника. Так, на ИСЗ ОГО-3 соответствующие измерения в вечернем и утреннем секторах магнитосферы попали на разные фазы разных суббурь [Frank, 1970], а на ИСЗ МОЛНИЯ-1 измерения проводились на фазах восстановления двух последовательных суббурь [Лазарев и др., 1977]. Несколько случаев асимметричной инжекции протонов кольцевого тока были зарегистрированы на ИСЗ МОЛНИЯ-1 с временным разрешением $\sim 1-2$ часа [Kovtyukh et al., 1976] и на ИСЗ КОСМОС-900 [Морозова и др., 1981] с временным разрешением ~ 15 мин.

На рис. 2 приведен пример формирования асимметричного кольцевого тока во время бури 24-25.01.1974 г. по данным ИСЗ МОЛНИЯ-1. Тонкой и толстой кривыми обозначены распределения протонов с энергией 31-92 кВ до и во время главной фазы бури, соответственно. В верхней части рисунка показана D_{st} -вариация и моменты пролета через кольцевой ток. Видно, что во

время главной фазы бури произошло значительное увеличение интенсивности протонов по сравнению со спокойным уровнем с преобладающим ростом в вечерние часы LT (21-22 часа). В данном случае из-за недостаточного временного разрешения измерения в вечернем и дневном секторах на пролете 25.01.1974 г. пришлось на разные фазы разных суббурь, что могло сказаться на степени наблюдаемой асимметрии. С лучшим временным разрешением динамика развития вечерне-утренней асимметрии кольцевого тока была исследована с помощью ИСЗ КОСМОС-900 во время бури 1-2 декабря 1977 г. Соответствующие результаты для энергий протонов 50-80 кэВ показаны на рис.3. В рассматриваемом интервале времени наблюдались две суббури, вдвое отличавшиеся по интенсивности ($AL \cong -500$ нТ и $AL \cong -1000$ нТ). Значительное увеличение D_{st} -вариации началось лишь во время второй более сильной суббури и максимум D_{st} -вариации (~ -130 нТ) был достигнут в ~ 07.00 UT 02.12.1977 г. Вечерне-утренняя асимметрия кольцевого тока с момента начала второй суббури свелась практически к асимметрии в положении тока: с 03.00 UT 02.12.1977 г.

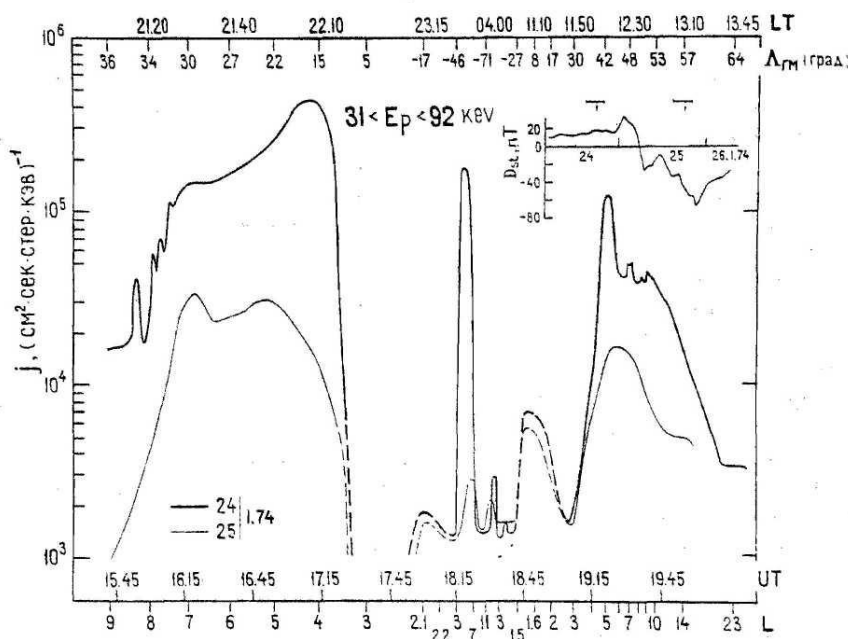


Рис. 2. Пример формирования асимметричного кольцевого тока во время бури 24-25.01.1974 г. по данным ИСЗ МОЛНИЯ-1

стала заметна асимметрия в положении максимумов интенсивности протонов с энергией 50-80 кэВ и произошло резкое смещение внутренней границы к более низким широтам.

Анализ данных показывает, что механизмы, приводящие к долготной асимметрии кольцевого тока в период главной фазы магнитной бури, принципиально различны во внешней и внутренней его частях: на внешней границе асимметрия кольцевого тока обусловлена интенсификацией процессов конвекции во время суббурь [Тверской, 1969], а в максимуме пояса и на внутренней границе – высыпанием протонов в конус потерь при дрейфе их из предполуночного в дневной и утренний секторы магнитосферы благодаря развитию сильной пич-угловой диффузии [Ковтюх и др., 1978].

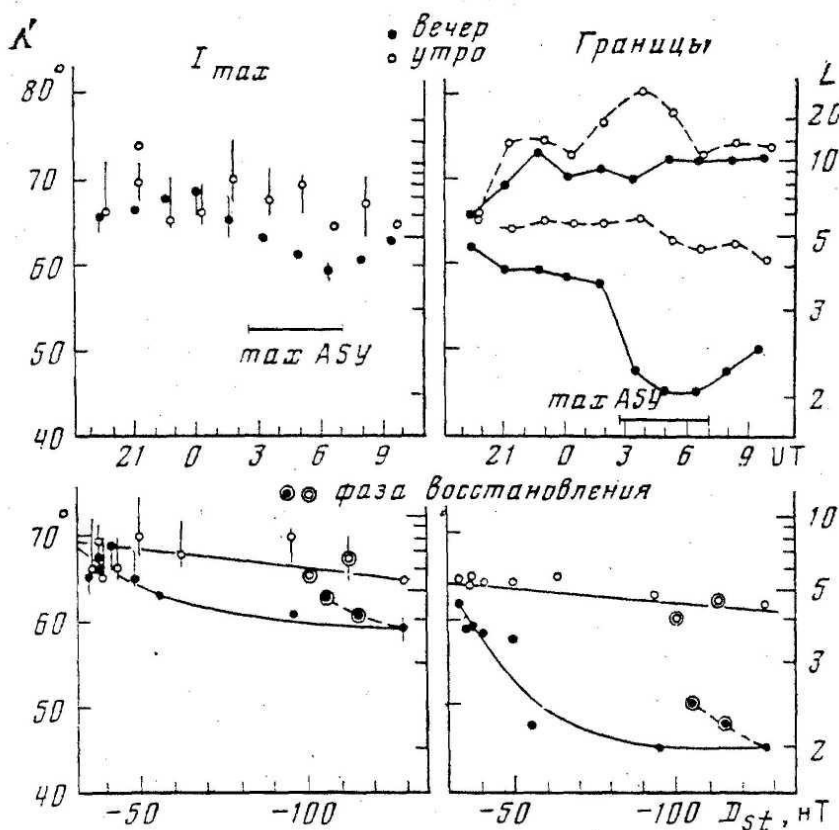


Рис. 3. Динамика положения максимумов и границ кольцевого тока в вечерние и утренние часы LT для бури 1-2.12.1977 г. (верхняя часть рисунка). Широтные перемещения максимумов и границ кольцевого тока в зависимости от величины D_{st} -вариации (нижняя часть).

При усилении суббурового электрического поля возрастает скорость конвекции из хвоста магнитосферы в область захваченной радиации и в течение времени ~ 0.1 часа, малого по сравнению с периодом долготного дрейфа частиц (~ 1 ч. для энергии ~ 100 кэВ), на ночной стороне при данном L возникает избыток плазмы по сравнению с дневной стороной. Такое асимметричное плазменное облако генерирует токи вдоль силовых линий и за счет электрического взаимодействия с ионосферой возбуждает дополнительное электрическое поле [Тверской, 1970]. В случае ослабления внешнего поля это дополнительное поле в течение ~ 1 часа перебрасывает избыток плазмы с ночной стороны на дневную, что приводит к симметризации внешней части кольцевого тока.

Значительная вечерне-утренняя асимметрия внутренней границы кольцевого тока находит естественное объяснение в предположении магнитного дрейфа частиц после инжекции в условиях сильной питч-угловой диффузии. О магнитном дрейфе частиц в области $L < 5$ свидетельствует, в частности, зависимость средней энергии протонов $E_0 \sim L^{-3}$, что характерно для дипольной конфигурации [Крымов и Тверской, 1964; Ковтюх и др., 1976]. В процессе дрейфа вокруг Земли изотропный поток протонов на фиксированной L -оболочке быстро уменьшается, формируя резкую внутреннюю границу из-за расширения конуса потерь ($\sim L^{-3}$) и уменьшения скорости дрейфа ($\sim L^{-2}$). Наиболее вероятной причиной сильной питч-угловой диффузии протонов кольцевого тока является развитие ионно-циклотронной неустойчивости при достижении потоком протонов критического уровня в результате импульсной инжекции [Тверской, 1968].

Структура протонного радиационного пояса

Протонный радиационный пояс Земли, в отличие от электронного, представляет собой единое структурное образование, в пределах которого отчетливо просматриваются пространственно-энергетические закономерности, нашедшие полное количественное объяснение в рамках теории [Тверской, 1968]. При этом

существенный вклад в разработку основ теории внесли экспериментальные результаты спутников ЭЛЕКТРОН [Верное и др., 1965], а в обоснование и проверку выводов теории – данные измерений на спутниках серии МОЛНИЯ [Ковтюх и др., 1976].

Представление о пространственном распределении захваченных протонов в диапазоне энергий 0.1-110 МэВ дает рис. 4, на котором показаны радиальные профили интенсивности протонов различных энергий в плоскости геомагнитного экватора по данным спутников серий ЭЛЕКТРОН и МОЛНИЯ. Из рисунка видны основные особенности протонного пояса:

- постепенное увеличение интенсивности протонов с уменьшением их энергии;
- наличие максимумов в интенсивностях и их смещение к большим L-оболочкам по мере уменьшения энергии протонов;
- постепенное смягчение спектра протонов с ростом расстояния.

Теория [Тверской, 1968] позволила объяснить все эти и целый ряд других особенностей, полученных в результате проведения экспериментов.

В настоящее время является общепризнанным, что основным механизмом, обеспечивающим перераспределение частиц в пределах геомагнитной ловушки, является радиальная диффузия поперек L-оболочек. Диффузия частиц, независимо от их природы, возникает как следствие флюктуации магнитного поля, а при энергиях <100 кэВ – и электрического поля в магнитосфере Земли [Ланасюк, 1984]. Причиной переноса в любом случае является электрический дрейф заряженных частиц в индукционном поле возмущения. С точки зрения переноса наиболее эффективными оказываются возмущения магнитного поля типа положительных внезапных импульсов с фронтом нарастания ~1 мин. и длительностью спада – десятки минут. Источником таких импульсов является межпланетная среда. При таких возмущениях, характерные времена которых порядка или меньше периодов долгого дрейфа частиц вокруг Земли, вероятность прямого и обратного

процессов, т.е. вероятность перемещения частицы внутрь и наружу поперек L-оболочек, оказывается различной, в результате, помимо диффузионного потока, возникает направленный внутрь геомагнитной ловушки регулярный поток. Для описания такого

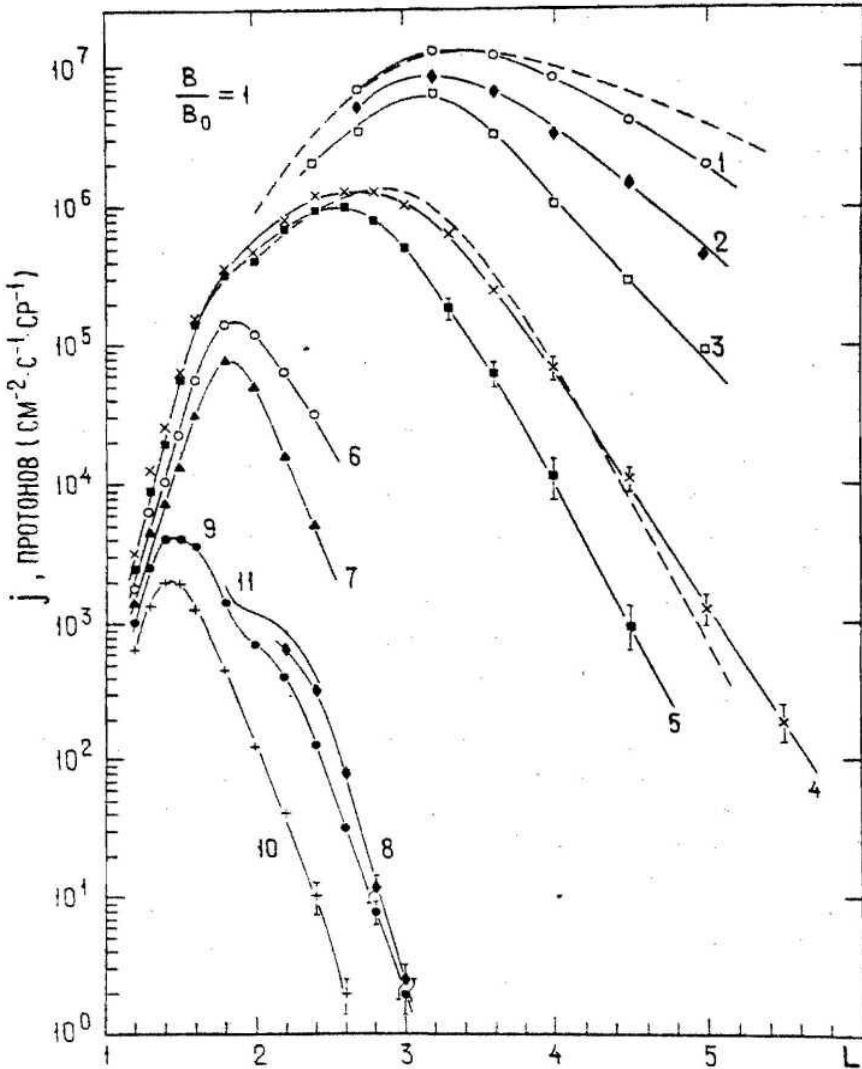


Рис. 4. Радиальные профили интенсивности протонов различных энергий в плоскости геомагнитного экватора по данным спутников серий ЭЛЕКТРОН и МОЛНИЯ:

1	$E_p \geq 130$ кэВ	5	$E_p \geq 1.5$ МэВ
2	≥ 250 кэВ	6	≥ 5.0 МэВ
3	≥ 420 кэВ	7	≥ 9.0 МэВ
4	1.0 МэВ	8, 9, 11	≥ 30 МэВ
		10	≥ 110 МэВ

процесса и получения равновесной функции распределения частиц f используется уравнение Фоккера-Планка, в которое входят 3 важнейших параметра: D_{LL} – коэффициент радиальной диффузии, τ – время жизни протонов и S – функция источника. Согласно теории коэффициент диффузии для флюктуаций магнитного поля типа внезапных импульсов имеет вид: $D_{LL}=D_0 \cdot L^{10}$ и не зависит от сорта и энергии частиц, но зависит от мощности флюктуации магнитного поля [Тверской, 1968]. Коэффициент D_{LL} может быть найден либо из данных о частотном спектре колебаний магнитного поля, либо из сопоставления экспериментальной функции распределения с расчетной функцией f , найденной на основе решения уравнения Фоккера-Планка при определенных предположениях об источниках и механизмах потерь частиц. В широкой области пространства ($2 < L < 7$) функция источника S принимается равной нулю, так как предполагается, что эта область, как видно из рис. 4, заполненная наиболее интенсивными потоками протонов с энергией 0.1-30 МэВ, формируется в результате переноса частиц с границы захвата в глубь радиационного пояса. В области $L < 2.5$ учитывается внутренний источник протонов, связанный с распадом нейтронов альbedo космических лучей [Верное и др., 1959].

Основным видом потерь энергии протонов в диапазоне энергий 0.1-100 МэВ являются кулоновские потери при взаимодействии с электронами холодной плазмы и нейтральными атомами остаточной атмосферы. Эффекты перезарядки в теории не учитывались, так как они преобладают при энергиях протонов < 100 кэВ [Nakada and Mead, 1965]. Значения для функции распределения f были получены для случая стационарных условий, когда поток частиц через оболочку равен нулю, т.е. $df/dt=0$, так и для нестационарного случая ($df/dt \neq 0$). Равенство нулю производной функции распределения означает, что убыль частиц в единицу времени в результате потерь и диффузии компенсируется поступлением новых частиц за счет регулярного потока, направленного к Земле. Для нестационарного случая решения уравнения переноса были получены для областей пространства, где можно

пренебречь потерями частиц. В частности, при скачкообразном изменении условий на границе захвата функция распределения частиц имеет вид единичной диффузионной волны, распространяющейся к центру Земли.

Несмотря на указанные ограничения, стационарное распределение протонов с энергиями 0.1-30 МэВ, полученное Б.А. Тверским, оказалось в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными, представленными на рис. 4. Степень точности совпадения экспериментальных и теоретических распределений зависит от используемых в расчетах значений D_{LL} и коэффициентов, учитывающих потери энергии протонов. При расчетах Б.А. Тверской использовал значение $D_0=2 \cdot 10^{-14} \text{ с}^{-1}$, найденное на основе данных о внезапных импульсах. Этот коэффициент может быть найден также из экспериментальных данных о расположении максимумов интенсивности протонов различных энергий, поскольку формирование максимумов в радиальных профилях интенсивности происходит на расстоянии, где время жизни частиц τ_p сравнивается со временем переноса τ_d на данную L-оболочку (при стационарном источнике на границе). Теоретическое выражение для положения максимумов интенсивности протонов в предположении чисто кулоновских потерь энергии имеет вид: $L_{\max} \sim N^{1/8}(L)/D_0^{1/8} \cdot E^{3/16}$, где $N(L)$ – плотность холодной плазмы, E – энергия частиц.

На рис. 5 приведена совокупность данных по распределению максимумов интенсивности радиальных профилей протонов в диапазоне энергий 0.13-110 МэВ, полученных в период с 1964 по 1975 гг. на ИСЗ ЭЛЕКТРОН и МОЛНИЯ [Вернов и др., 1965; Ковтюх и др., 1976].

Если предположить, как это было сделано Б.А. Тверским, что $N(L) \cong \text{const} = 10^3 \text{ см}^{-3}$, то коэффициент диффузии в интервале $1.5 < L < 4.5$ оказывается равным $D_0 = 4 \cdot 10^{-14} \text{ с}^{-1}$, что близко к значению D_0 , полученному Б.А. Тверским на основе данных о внезапных импульсах. Расхождение величин D_0 в 2–3 раза не имеет принципиального значения, поскольку, с одной стороны, точность вычислений D_0 ограничена точностью имеющихся экспе-

риментальных данных о потоках протонов и распределении холодной плазмы, а с другой – вполне допустимы вариации D_0 в пределах порядка величины и более в зависимости от числа сильных магнитных возмущений и распределении внезапных импульсов в тот или иной период времени.

Результаты, представленные на рис. 5, получены в различные периоды цикла солнечной активности, которые, очевидно, характеризуются различным уровнем и частотой следования геомагнитных возмущений и внезапных импульсов, генерируемых в межпланетной среде. Полученное значение $D_0 = 4 \cdot 10^{-14} \text{ с}^{-1}$ с учетом возможности вариаций этой величины оказалось в хорошем согласии с результатами большого числа последующих работ, в которых D_0 определялось непосредственно из данных о флюктуациях геомагнитного поля, либо с использованием экспериментальных данных о распределении протонов и электронов в радиационном поясе [Lanzerotty et al., 1978]. Близость константы D_0 , определяемой из распределения максимумов интенсивности протонов, к среднему значению D_0 , вычисленному другими методами, является, по-видимому, не случайной. Поскольку сильные возмущения наблюдаются редко (например, магнитные бу-

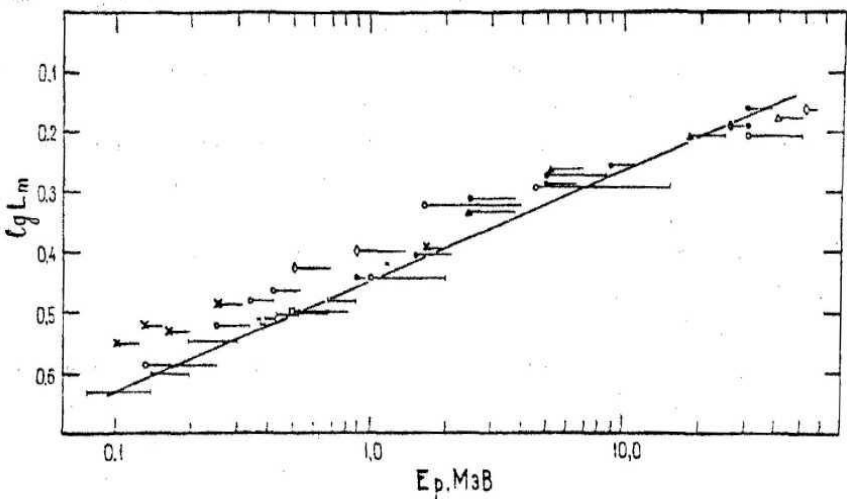


Рис. 5. Распределение максимумов интенсивности радиальных профилей протонов в диапазоне энергий 0.13-110 МэВ.

Прямой линией обозначена теоретическая зависимость $L_{\max} \sim E^{-3/16}$

[Тверской, 1968]

ри с $|D_{st}| > 100$ нТ регистрируются в среднем один раз в 100 дней), то за время между такими возмущениями протоны сносятся на достаточно глубокие L-оболочки ($L \cong 3$) и влияние флюктуаций D_0 на эти частицы оказывается незначительным из-за большого времени усреднения. Флюктуации D_0 существенным образом сказываются на распределении захваченных частиц только в периферийных областях ($L > 4$).

Естественным следствием теории явился вывод о характере энергетического спектра протонов, формируемого в процессе радиальной диффузии при сохранении магнитного момента частиц (бетатронное ускорение). При таком механизме ускорения энергия частиц растет пропорционально B - напряженности магнитного поля. Тогда в дипольном поле для частиц с питч-углом $\alpha = 90^\circ$ их энергия должна расти при переносе в глубь радиационного пояса по закону $E \sim L^{-3}$. Из рис.4 видно, что действительно на $L > 2.5$ наблюдается отчетливая пространственная зависимость жесткости спектра протонов при энергии < 30 МэВ. С учетом сделанных Б.А.Тверским предположений о кулоновском характере потерь энергии и независимости скорости переноса от энергии частиц можно было ожидать формирование максимумов в энергетических спектрах протонов. Действительно, максимумы в дифференциальных спектрах протонов при энергиях < 1 МэВ в приэкваториальных областях были впервые обнаружены на ИСЗ МОЛНИЯ-1 [Вернов и др., 1972]. Последующие измерения, выполненные на ИСЗ МОЛНИЯ-1,2, показали, что максимум в энергетическом спектре протонов является стабильным образованием, характерным для спокойных геомагнитных условий [Ковтюх и др., 1976], при этом в пределах экспериментальных ошибок было получено, что $E_{max} = a \cdot L^{-3}$, где константа $a = (1.7 \pm 0.3) \cdot 10^{-4}$ кэВ. Такой характер зависимости говорит в пользу бетатронного механизма ускорения протонов при их переносе с границы захвата на более глубокие L-оболочки в поле дипольной конфигурации. Экспериментально измеренные значения E_{max} в области $L > 2.5$ оказались в хорошем согласии со значениями, вычисленными на

основе теории с учетом кулоновских потерь и перезарядки [Тверской, 1968].

Форма энергетического спектра в области $L \sim L_{\max}$ при $E > E_{\max}$, т.е. там, где потери являются несущественными, дает информацию об энергетическом распределении частиц исходной функции инжекции на границе захвата, а характер изменения средней энергии спектра в зависимости от L – о механизме ускорения частиц. В дипольном поле при степенном спектре ($j \sim E^{-\gamma}$) показатель $\gamma = \text{const}$, а при экспоненциальном ($j \sim \exp(E/E_0)$) – средняя энергия $E_0 \sim L^{-3}$.

На рис. 6 показано изменение средней энергии спектра E_0 в зависимости от L при экспоненциальной форме спектра по данным ИСЗ МОЛНИЯ-1 в результате усреднения значений E_0 по многим пролетам в периоды относительно спокойной магнитной обстановки [Ковтюх и др., 1976]. Здесь же приведены значения E_0 , найденные по измерениям на ряде зарубежных ИСЗ [Davis and Williamson, 1965]. Пунктиром показана зависимость $E_0 \sim L^{-3}$. Таким образом, видно, что в широком интервале L вплоть до $L=5$ перенос частиц происходит с сохранением магнитного момента,

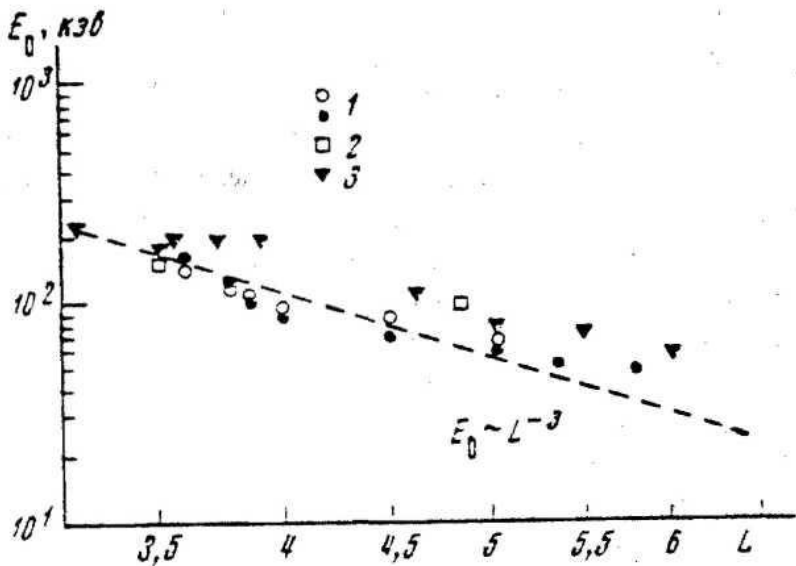


Рис. 6. Изменение средней энергии спектра E_0 в зависимости от L . Пунктирная линия - зависимость $E_0 \sim L^{-3}$ [Тверской, 1968]

как и предполагается в теории [Тверской, 1968]. Отклонение от этой зависимости на $L > 5$ может быть следствием нарушения дипольного характера поля на этих расстояниях, либо более сложной формой исходного спектра, что впоследствии было подтверждено измерениями на геостационарной орбите ($L \sim 6.6$) [Ivanova et al., 1996].

Преобладающая роль радиальной диффузии в формировании радиационных поясов была подтверждена наблюдениями потоков захваченных α -частиц. Б.А.Тверским в работе [Тверской, 1968] был предсказан и рассчитан пояс захваченных α -частиц. Поскольку диффузия в результате флюктуации магнитного поля не зависит от сорта и энергии частиц, то положение максимума интенсивности пояса α -частиц одинаковой с протонами энергии должно определяться только скоростью потерь энергии. В случае чисто кулоновских потерь $L_{\max}^{\alpha} \cong 1.3 \cdot L_{\max}^p$ при $E = \text{const}$ [Тверской, 1968]. В пределах точности эксперимента это соотношение подтвердилось данными ИСЗ МОЛНИЯ-2 [Панасюк и др., 1977].

Простые оценки эффективности ускорения бетатронным механизмом показывают, что при разумных предположениях о спектре инжекции на границе захвата формирование интенсивных потоков протонов с энергией > 100 МэВ (см. рис. 4) за счет механизма переноса объяснить не удастся. В диффузионное уравнение Фоккера-Планка для функции распределения f необходимо включить дополнительный источник частиц. Таким источником могут быть нейтроны альbedo космических лучей [Вернов и др., 1959]. Попытки найти функцию распределения высокоэнергичных протонов в предположении простого равновесия между мощностью нейтронного источника и скоростью потерь не дали удовлетворительного результата. Учет диффузии высокоэнергичных протонов, возникающих при распаде нейтронов альbedo, позволил в основных чертах объяснить структуру внутреннего пояса, и, в частности, результаты измерений потоков протонов с энергией > 30 МэВ на ИСЗ ЭЛЕКТРОН [Тверской, 1968]. Сравнение экспериментальных и теоретических данных приводится на рис. 7. Основные неопределенности этого расчета, также как и

других, были связаны с недостаточной информацией о характере распределения на больших высотах плотности остаточной атмосферы (и ионосферной плазмы), а также формы спектра и мощности источника. Тем не менее, было видно, что в области максимума внутреннего пояса на $L=5$ измеренный поток протонов с энергией ≥ 30 МэВ близок к теоретическому, найденному в предположении одновременного действия двух источников: распада нейтронов альbedo с их последующей диффузией и переноса с границы области захвата (штрих-пунктирная кривая). Видно также, что механизм переноса с границы может объяснить величину потоков протонов с энергией ≥ 30 МэВ на $L < 1.5$, однако эффективности этого механизма явно недостаточно для объяснения пространственного распределения протонов с энергией в десятки МэВ на $L > 1.5$ (пунктирная кривая).

Хорошее количественное описание протонного радиационного пояса теорией радиальной диффузии под действием флуктуации магнитного поля не снимает, тем не менее, вопроса о роли диффузии под действием флуктуации электростатических полей. Однако эта проблема выходит за рамки данной работы и

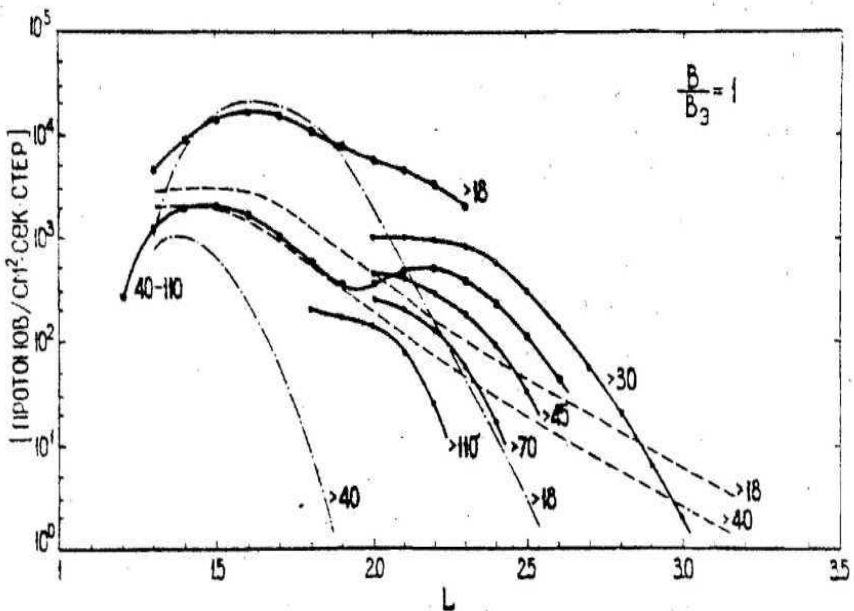


Рис. 7. Экспериментальные и теоретические данные по распределению протонов высоких энергий в плоскости геомагнитного экватора.

здесь не рассматривается.

Эксперименты, выполненные на ИСЗ серий ЭЛЕКТРОН и МОЛНИЯ, показали, что структура протонного радиационного пояса Земли при энергиях >100 кэВ находит полное объяснение в рамках теории [Тверской, 1968]. В структуре протонного пояса можно выделить три области, различающиеся особенностями пространственно-энергетического распределения протонов. Внешняя область на $L > 2.5$, заполненная интенсивными потоками протонов с энергией >10 МэВ, формируется в результате переноса частиц горячей магнитосферной плазмы с соответствующим бетатронным ускорением.

Пространственное распределение на этих L-оболочках определяется соотношением между скоростью переноса и потерь частиц, а энергетический спектр – формой энергетического спектра инжекции на границе захвата. Самая внутренняя область на $L < 1.5$ формируется в результате захвата протонов от нейтронов альbedo. Перенос частиц в этой области оказывается несущественным (из-за слишком малой скорости), в результате энергетический спектр протонов определяется здесь только формой спектра инжекции, т.е. спектром нейтронов альbedo. Промежуточная область на $1.5 < L < 2.5$ оказывается наиболее сложной, поскольку здесь с достаточной эффективностью проявляется действие нескольких источников, следствием чего является более сложный характер пространственно-энергетического распределения протонов в этой области пространства.

Диффузионные волны

Согласно теории [Тверской, 1968] в случае скачкообразного изменения условий на границе захвата, либо импульсной инжекции частиц в ограниченной области ΔL , должны формироваться диффузионные волны.

Экспериментальное наблюдение таких волн позволяет определить механизм диффузии и основной параметр переноса – коэффициент диффузии D_0 . Следует, однако, отметить, что наблюдение диффузионных волн возможно только в случае, когда

промежутки времени между возмущениями много больше характерных времен переноса на те или иные L-оболочки. Так, для электронов внешнего пояса ($L=4-5$) это время должно быть порядка двух-трех недель. При таких условиях экспериментально можно определить либо скорость перемещения максимума интенсивности волны, либо скорость её переднего фронта. При этом скорость движения фронта, согласно теории, должна быть примерно в 2 раза выше, чем скорость перемещения максимума. Это связано с тем, что при импульсной инжекции происходит размытие заднего фронта волны, что приводит к дополнительному смещению максимума и переднего фронта в область малых L .

На рис. 4 отчетливо виден на $L=2.2$ дополнительный максимум интенсивности протонов с энергией ≥ 30 МэВ. Измерения, выполненные на ИСЗ ЭЛЕКТРОН в 1964 г. (кривые 8 и 11) и на ИСЗ МОЛНИЯ-1 в 1968 г (кривая 9), показали, что этот максимум нестационарен. За период между наблюдениями в области $L>2$ произошло уменьшение потока протонов с энергией >30 МэВ и смещение максимума на $L=2.0$. Эти изменения показали, что протоны с энергией ≥ 30 МэВ на $L=2.0-2.6$ имеют иную природу по сравнению с высокоэнергичными протонами внутреннего пояса. Б.А.Тверским была выдвинута гипотеза, что этот нестационарный максимум интенсивности протонов на $L=2.2$ мог возникнуть в результате инжекции в область радиационных поясов протонов солнечных вспышек, количество и мощность которых были уникально большими в период максимума 19-го цикла солнечной активности (1958-1960 гг.) [Тверской, 1965; 1965а].

Импульсная инжекция и последующий перенос могли сформировать диффузионную волну, движение которой в области $2 \leq L \leq 2.5$ вызывает изменение интенсивности протонов с энергией ≥ 30 МэВ. Соответствующие подстановки в выражение для скорости перемещения максимума волны $V_m = 15 \cdot D_0 \cdot L^9$ дают значение $D_0 = 5 \cdot 10^{-14} \text{ с}^{-1}$, что совпадает со значением D_0 , найденным выше для стационарных условий по положению максимума интенсивности протонов различных энергий.

Событие 24 марта 1991 г. показало, что практически мгновенное формирование пояса протонов и электронов с энергией в десятки МэВ возможно также в результате прихода к Земле мощного биполярного импульса [Blake et al., 1992]. Это событие получило полное объяснение в рамках теории переноса [Павлов и др., 1993], поэтому не исключено, что наблюдаемый на $L \cong 2.0-2.7$ в 1964-1968 гг. нестационарный максимум протонов мог быть следствием аналогичного явления в 50-е годы (до запуска первых спутников).

Наблюдение диффузионных волн энергичных электронов во внешнем радиационном поясе является исключительно редким событием, так как даже сравнительно небольшие магнитные возмущения приводят к инжекции частиц, которые накладываются на диффузионную волну. Кроме того, ход диффузионной волны искажается высыпаниями электронов из пояса благодаря рассеянию на волнах, усиливающимся во время магнитных бурь. Нужны длительные магнито-спокойные периоды, которым предшествует инжекция частиц с формированием одиночного максимума интенсивности. Такие интервалы наиболее вероятны в периоды минимума солнечной активности. Поэтому диффузионные волны электронов удалось зарегистрировать в минимумах 19-го цикла на ИСЗ серии ЭЛЕКТРОН (1964 г.), 21-го цикла на ИСЗ серии КОСМОС (1986 г.) и вблизи минимума 22-го цикла на ИСЗ серии ГЛОНАСС (1994 г.) [Vernov et al., 1969; Графодатский и др., 1991; Иванова и др., 1999]. При этом на ИСЗ КОСМОС-1554 впервые была зарегистрирована на больших высотах диффузионная волна по измерениям дифференциальных потоков электронов с энергией от 0.5 до 1.0 МэВ, что является существенным для выяснения природы диффузионных волн, и, в частности, для определения возможной зависимости скорости диффузии от энергии электронов [Графодатский и др., 1991].

Один из наиболее ярких случаев наблюдения диффузионной волны при энергии электронов ~ 1 МэВ показан на рис. 8. Здесь отчетливо видны все основные характеристики волны: её

зарождение и перемещения переднего фронта, максимума интенсивности и заднего фронта.

Сравнение параметров всех наблюдаемых волн электронов с теорией диффузии под действием внезапных импульсов показывает хорошее совпадение при среднем коэффициенте диффузии $D_0=5 \cdot 10^{-14} \text{ с}^{-1}$. На магнитный характер диффузии указывает независимость D_0 от энергии электронов в диапазоне 0.04 – 2.0 МэВ. При этом, однако, как было отмечено в работе [Тверской, 1968], возможны флуктуации D_0 в пределах порядка величины вследствие квадратичной зависимости D_0 от амплитуды импульса (средне-статистическая величина внезапных импульсов за длительный промежуток времени составляет ~ 10 нТ, что соответствует $D_0 \sim 4 \cdot 10^{-14} \text{ с}^{-1}$). Например, при амплитуде импульса ~ 40 нТ фронт диффузионной волны может сместиться за сутки на $L \sim 4$. Еще более быстрое смещение пояса энергичных электронов на

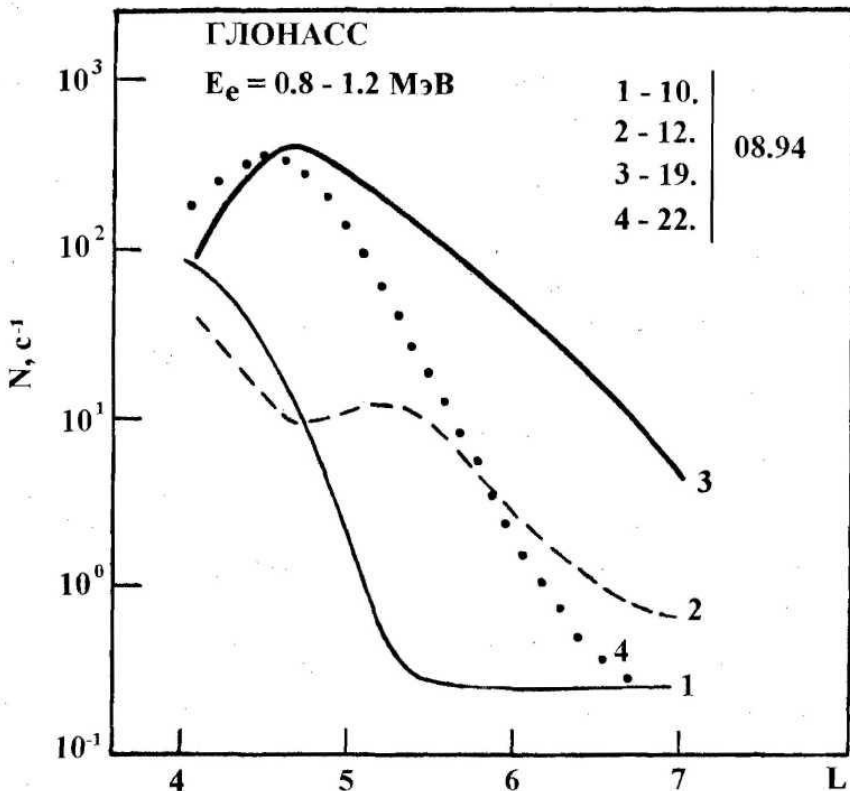


Рис. 8. Диффузионная волна электронов с энергией $E_e \sim 1$ МэВ
05-06.12.1994 г. по данным ИСЗ ГЛОНАСС

L~4 (за ~6 часов) было зарегистрировано на ИСЗ ЭЛЕКТРОН [Verhov et al, 1969]. Анализ наземных данных в этом случае показал наличие трех последовательных внезапных импульсов с амплитудой ~30 нТ в течение этих 6 часов, а оценки смещения частиц согласно теории Б.А. Тверского показали полное согласие с экспериментом.

Заключение

Экспериментальные исследования, выполненные на борту ИСЗ серий ЭЛЕКТРОН, МОЛНИЯ, КОСМОС и ГЛОНАСС, наряду с огромным числом других экспериментов, позволили подтвердить и проверить основные выводы теории формирования радиационных поясов Земли, разработанной Б.А.Тверским. Было показано, что практически во всей области существования захваченной радиации пространственно-энергетическое распределение частиц в широком диапазоне энергий (>100 кэВ) находится в хорошем количественном согласии с выводами теории в предположении радиальной диффузии частиц под действием флуктуации магнитного поля типа внезапных импульсов.

Литература

Альвен Г., Фельтхаммар К.Т. *Космическая электродинамика*. М.: Мир, 1967, с.68.

Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Иваненко И.П., Лебединский А.И., Мурзин В.С., Чудаков А.Е. Возможный механизм создания земного корпускулярного излучения под действием космических лучей. *ДАН СССР*, 124, 1022, 1959.

Вернов С.Н., Вакулов П.В., Горчаков Е.В., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И., Николаев А.Г., Рубинштейн И.А., Сосновец Э.Н., Столповский В.Г., Чудаков А.Е., Эльтеков В.А. Результаты исследования геометрического расположения и состава частиц радиационных поясов Земли по данным спутников "Электрон-1" и "Электрон-2". *Исследования космического пространства*. М.: Наука, 1965, 394.

- Вернов С.Н., Иванова Т.А., Сосновец Э.Н., Тверская Л.В., Хорошева О.В., Федорова Г.И. Инжекция энергичных электронов во внутренние области магнитосферы во время магнитной бури 29.X-4.XI. 1968. *Изв. АИ СССР, сер. физ.*, 34, 2270, 1970.
- Вернов С.Н., Бородулин В.П., Панасюк М.И., Рубинштейн И.А., Савенко И.А., Сосновец Э.Н. Наблюдение малоэнергичных протонов в июле-августе 1970 г. на спутнике "Молния-1". *Космич. исслед.*, 10, 376, 1972.
- Графодатский О.С., Дарчиева Л.А., Иванова Т.А., Рубинштейн И.А., Сосновец Э.Н., Тверская Л.В. Наблюдение диффузионной волны энергичных электронов внешнего радиационного пояса в июне 1986 г. *Геомагн. и аэрон.*, 31, 1096, 1991.
- Иванова Т.А., Павлов Н.Н., Рейзман С.Я., Рубинштейн И.А., Сосновец Э.Н., Тверская Л.В. Динамика внешнего радиационного пояса релятивистских электронов в минимуме солнечной активности. *Геомагн. и аэрон.*, 1999 (в печати).
- Ковтюх А.С., Панасюк М.И., Сосновец Э.Н. Протонная компонента радиационных поясов по измерениям на ИСЗ "Молния". *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 40, 496, 1976.
- Ковтюх А.С., Панасюк М.И., Сосновец Э.Н. Динамика протонов кольцевого тока во время бури 25 января 1974 г. *Космич. исслед.*, 16, 226, 1978.
- Крымов Ю.С., Тверской Б.А. Об изменении энергии частиц в поле диполя при переходах между различными дрейфовыми поверхностями. *Геомагн. и аэрон.*, 4, 397, 1964.
- Лазарев В.И., Тверская Л.В., Тельцов М.В., Хорошева О.В. Асимметричная инжекция протонов кольцевого тока во время бури 6 июля 1974 г. *Геомагн. и аэрон.*, 17, 159, 1977.
- Морозова Т.И., Панасюк М.И., Сосновец Э.Н., Тверская Л.В., Хорошева О.В. Динамика вечерне-утренней асимметрии кольцевого тока во время магнитной бури 1-2 декабря 1977 г. по данным ИСЗ "Космос-900". *Геомагн. и аэрон.*, 22, 609, 1982.
- Павлов Н.Н., Тверская Л.В., Тверской Б.А., Чучков Е.А. Вариации энергичных частиц радиационных поясов во время

- сильной магнитной бури 24-26 марта 1991 г. *Геомагн. и аэрон.*, 33, 41-46, 1993.
- Панасюк М.И., Рейзман С.Я., Сосновец Э.Н., Филатов В.Н. Экспериментальные результаты измерений протонов и альфа-частиц с энергиями >1 МэВ/нуклон в радиационных поясах. *Космич. исслед.*, 15, 887, 1977.
- Панасюк М.И. Экспериментальная проверка механизмов переноса ионов в радиационных поясах Земли под действием нестационарных электрических полей. *Космич. исслед.*, 22, 572, 1984.
- Ташкинова Л.Г. Тверской Б.А., Об электрических полях в магнитосфере Земли. *Геомагн. и аэрон.*, 15, 171, 1975.
- Тверская Л.В. Об ускорении заряженных частиц нестационарными полями в магнитосфере Земли. *Геомагн. и аэрон.*, 11, 3, 1971.
- Тверской Б.А. Перенос и ускорение заряженных частиц в магнитосфере Земли. *Геомагн. и аэрон.*, 5, 793, 1965.
- Тверской Б.А. Аномальная диффузия заряженных частиц в радиационных поясах Земли. *Исследования космического пространства*, М: Наука, 1965, 314.
- Тверской Б.А. *Динамика радиационных поясов Земли*. М.: Наука, 1968.
- Тверской Б.А. Об электрических полях в магнитосфере Земли. *ДАН СССР*, 188, 575, 1969.
- Тверской Б.А., Ташкинова Л.Г. Влияние внешнего электрического поля на токовые системы DP1 и DP2. *Геомагн. и аэрон.*, 14, 1084, 1974.
- Ivanova T.A., Kutuzov Yu.V., Marjin B.V., Pavlov N.N., Rubinstein I.A., Sosnovets E.N., Teltsov M.V., Tverskaya L.V. and Vlasova N.A. Some characteristics of hot magnetospheric plasma at geostationary orbit. *Geophysical Monograph 97 "Radiation Belts: Models and Standards"*, UAG-97, ed. L.F. Lemaire, D. Heynderickx, D.N. Baker, 269, 1996.

- Akasofu S.J. and Chapman S. On the asymmetric development of magnetic storm fields in low and middle latitudes. *Planet. Space. Sci.*, 12, 607, 1964.
- Blake J.B., Kolasinski W.A., Fillius R.W., Muller E.G. Injection of electrons and protons with energies of tens MeV into $L < 3$ on March 24, 1991. *Geophys. Res. Letters*, 19, 821, 1992.
- Cahill J. Inflation of the inner magnetosphere during a magnetic storm. *J. Geophys. Res.*, 71, 4505, 1966.
- Davis L.R., Williamson F.M. Outer zone protons. *Radiation trapped in the Earth's magnetic field.*, ed. B.M. McCormac, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Netherlands, 215, 1966.
- Frank L. A. Direct detection of asymmetric increases of extraterrestrial ring current proton intensities in the outer radiation zone. *J. Geophys. Res.* 75, 1266, 1970.
- Kovtyukh A.S., Panasyuk M.I., Sosnovets E.N., Tverskaya L.V., Khorosheva O.V. Enhancement of Proton Ring Current during Magnetic storms and the Development of Asymmetry in Low-Latitude magnetic disturbances. *Space Res.*, 16, 519, 1976.
- Lanzerotty L.I., Webb D.C., Arthur C.W. Geomagnetic field fluctuations orbit. 2. Radial diffusion. *J. Geophys. Res.*, 83, 3866, 1978.
- Nakada N.P., Mead G.D. Diffusion of protons in the outer radiation belt. *J. Geophys. Res.*, 70, 4777, 1965.
- Tverskoy B.A. Main mechanisms in formation of the Earth's radiation belts. *Rev. of Geophysics*, 7, 219, 1969.
- Tverskoy B.A. Electric fields in the magnetosphere and origin of trapped radiation. *Solar Terrestrial Physics*, ed E.R. Dyer, Reidel Publ. Co., 297, 1970.
- Vernov S.N., Gortchakov E.V., Kuznetsov S.N., Logatchev Yu.I., Sosnovets E.N., Stolpovsky V.G. Particles fluxes in the outer geomagnetic field. *Rev. of Geophysics*, 7, 274, 1969.

КОСМИЧЕСКИЙ ПАТРУЛЬ

Доктор физико-
математических наук,
Э.Н. СОСНОВЕЦ,
НИИЯФ МГУ



Эмблема новосибирской
конференции.

Наша планета постоянно окружена магнитным полем, или магнитосферой. Она и охватывающие Землю плазменные оболочки регулируют передачу энергии корпускулярного и электромагнитного излучений Солнца в атмосферу Земли вплоть до ее поверхности. Магнитное поле – своего рода "буфер", преграждающий солнечному "ветру" доступ в верхнюю часть атмосферы, своеобразный экран на пути составляющих его высокоэнергичных частиц космических лучей, в том числе и исходящих от солнечных вспышек. Не будь у Земли, как, скажем, у Венеры, этой невидимой защиты, солнечный "ветер" сдувал бы плазму, окружающую планету, в межпланетное пространство, оказывая тем самым заметное влияние на состав земной атмосферы, а это, в свою очередь, непредсказуемо отразилось бы на биосфере.

Кроме того, в магнитосфере накапливается энергия солнечного "ветра" и межпланетного магнитного поля, высвобождение которой порождает целый ряд геофизических явлений (например, полярные сияния, магнитные бури).

Особо важная роль в сложной цепи разнообразных процессов, обусловленных солнечно-земными связями, принадлежит внутренним областям магнитосферы, непосредственно соприкасающимся с ионосферой и верхней атмосферой. Так, состоянием ионосферы, в частности концентрацией в ней ионов озона, определяется доля ультрафиолетового излучения Солнца, проникающего глубоко в нижние слои атмосферы, что влияет на изменение климата. Как показали наблюдения последних лет, от вели-

чины колебаний магнитного поля, которые происходят во время магнитных бурь, зависят проявления кризисных состояний у людей, страдающих гипертонией и другими заболеваниями.

С другой стороны, внутренняя магнитосфера до высот около 40 тыс. км в настоящее время является "средой обитания" абсолютного большинства космических аппаратов. Именно в этой области с наибольшей плотностью энергии магнитного поля и плазмы летает больше всего спутников связи, телевидения и навигации. Причем они не только подвергаются здесь воздействию окружающей среды, но и сами влияют на нее. В результате происходят сбои в работе электронных микросхем, возникают нарушения во внутренней структуре конструкционных материалов, из которых построен спутник, электризуются его внешние поверхности, а вокруг них образуется собственная атмосфера, состоящая из выделяющихся в космос паров и газов. Особенно заметно отражаются на работе аппаратуры в космосе солнечные вспышки и магнитные бури.

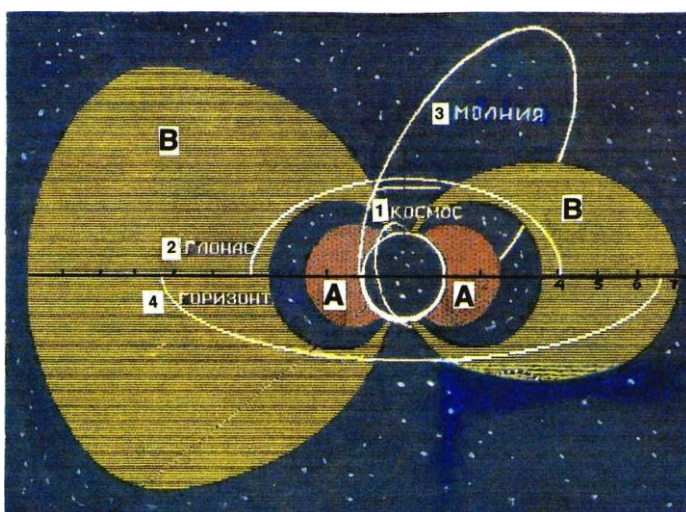
Все это приводит к сокращению сроков активного существования космических аппаратов на орбитах. Вот почему важно понимать и учитывать все стороны взаимодействия их с внешней средой. Тем более, что ныне многие государственные организации и частные фирмы приступают к освоению орбит, пролегающих в наиболее нестабильных областях магнитосферы; собираются намного повысить чувствительность бортовой аппаратуры и приборов; предлагают использовать в космосе плазменные двигатели, реактивные и солнечные паруса, новые материалы и методы исследований.

Однако уровень современных знаний о свойствах космической среды и физико-химических процессах, происходящих под ее влиянием в материалах и электронных элементах, пока недостаточен: ученым предстоит разобраться во многих фундаментальных вопросах теории солнечно-земных связей и магнитосферно-ионосферного взаимодействия. Этим проблемам посвящен проект STEP (1990 – 1997 гг.), который выполняется под эгидой Международного научного комитета по солнечно-земной

физике. Существенное внимание уделено аналогичной тематике и в долговременной Международной геосферно-биосферной программе, рассчитанной на период с 1990 по 2000 г.

В Российской Федерации, начиная с 1992 г., в рамках программы "Университеты России" начато изучение широкого круга вопросов, связанных с воздействием окружающей среды на космические аппараты. Составной частью этих исследований является создание системы спутникового контроля за состоянием околоземного пространства. Прежде всего будет организовано слежение за корпускулярным, в том числе и ионизирующим, излучением, интенсивными потоками которого заполнено все окружающее планету пространство.

Заряженные частицы – электроны, протоны, ядра более тяжелых элементов (в составе галактических космических лучей присутствуют, например, тяжелые ядра вплоть до железа) – распределены в магнитосфере Земли крайне неравномерно. Они образуют здесь ионосферу, плазмосферу, радиационные пояса, кольцевой ток и авроральную зону. Каждая из этих структурных областей заполнена частицами определенной энергии и, кроме того, отличается от других своей формой и положением в околоземном космическом пространстве.



Орбиты космических аппаратов НПО "Прикладная механика":

1 – "Космос", 2 – "Глонасс", 3 – "Молния", 4 – "Горизонт";

а) – внутренний радиационный пояс, б) – внешний радиационный пояс.

До последнего времени для их исследования, как правило, создавали отдельные специализированные спутники. Например, в Советском Союзе запускали автоматические зонды "Электрон" (1972 г.), "Прогноз" (1972 – 1975 гг.), "Интеркосмос" (1969 – 1981 гг.); в США – "Эксплорер" (1958 – 1972 гг.), ISEE (1977 – 1978 гг.), EMPTЕ (1984 г.). Помимо большой стоимости таких аппаратов, время их работы на орбитах было ограничено, что не позволяло проводить длительные, и главное, одновременные измерения одних и тех же характеристик в различных точках пространства, особенно во время таких событий, как солнечные вспышки и геомагнитные бури.

В настоящее время в России существует система регулярно запускаемых и длительно существующих спутников, созданных в Красноярском НПО "Прикладная механика" (НПО ПМ). Их орбиты пролегают на высотах 1 – 40 тыс. км. На рисунке схематически представлены четыре наиболее освоенных типа орбит. Различной штриховкой обозначены внутренние и внешние радиационные пояса с дневной и ночной сторон, представляющие наибольшую опасность для космических аппаратов.

Орбита 1 – полярная круговая – с наклоном 83 – 98° на высотах 500 – 1500 км, на которую запускают аппараты серий "Муссон", "Гонец"* и проектируемые "ГЕО-ИК".

Орбита 2 – круговая – высотой 20 тыс. км и с наклоном 65° (спутник "Глонасс").

Орбита 3 – вытянутая эллиптическая – с апогеем 39,6 тыс. км (спутники "Молния").

Орбита 4 – геостационарная – высотой 36,6 тыс. км в плоскости экватора (спутники "Горизонт", "Экран", "Радуга", а также разрабатываемые аппараты "Галс" и "Экспресс"),

Эти четыре орбиты охватывают практически все области внутренней магнитосферы. Если же добавить, что на каждой из них функционируют несколько космических аппаратов, то становится ясно: можно создать глобальную систему всеобъемлющих

* См.: А.А. Киселев. "Гонец" спешит на помощь. — Наука в России, 1992, № 5/6 (прим. ред.).

наблюдений за состоянием околоземного пространства, аналогичную сложившейся спутниковой системе метеорологических наблюдений.

Действительно, за воздействием на ионосферу заряженных частиц радиационных поясов, плазменного слоя, солнечных космических лучей позволяют наблюдать полярные спутники (орбита 1), двигающиеся непосредственно над верхней ионосферой в интервале широт от экватора до Северного и Южного полюсов. Внутренний радиационный пояс контролируется космическими аппаратами на орбитах 1 и 3.

Оценка состояния внешнего радиационного пояса строится на основе измерений на всех четырех орбитах, включая экваториальные области (орбиты 2, 4), область средних широт (орбиты 2, 3) и область малых высот (орбита 1). Комбинация орбит 2, 3, 4 уникальна и с точки зрения проведения наблюдений за динамикой плазмосферы Земли.

Значительную часть времени спутники на орбитах 1, 2, 3 находятся в областях северной и южной полярных "шапок", куда частицы солнечных космических лучей проходят беспрепятственно. Тем самым имеется возможность контроля за потоками частиц, рожденных во время вспышек на нашей звезде. Наконец, галактические космические лучи свободно проникают во все области внутренней магнитосферы и могут регистрироваться на всех четырех орбитах.

На основе опыта многолетней совместной работы НПО ПМ и НИИ ядерной физики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ) разработана программа образования патрульной службы и контроля за состоянием околоземного космического пространства. В ней предусмотрены исследования холодной плазмы (ионы и электроны с энергией порядка 1 эВ и более), горячей плазмы (ионы и электроны 0,1 – 12,5 кэВ), электронов и протонов радиационных поясов, ионов кольцевого тока (водород, гелий, кислород), а также солнечных и галактических космических лучей. Для реализации намеченного в НИИЯФ МГУ создано два унифицированных комплекса аппарату-

ры АД ИПЭ и ДИЭРА. Первый позволяет выполнять детальные спектрометрические измерения каждого вида излучений. Начиная с 1991 г., такие измерения проводят на спутниках "Горизонт". Комплекс ДИЭРА с 1992 г. функционирует на одном из аппаратов "Глонасс". Правда, данный прибор менее информативен, чем АД ИПЭ.

Перспективным планом реализации патрульной службы на аппаратах НПО ПМ предусмотрены запуски новых спутников "Галс", "Экспресс", "Муссон" и "ГЕО-ИК" в 1994 – 1995 гг.

В июне 1992 г. в новосибирском Академгородке по инициативе Сибирского отделения РАН и НПО ПМ состоялась первая международная конференция "Проблемы взаимодействия искусственных спутников Земли с космической средой". В ней приняли участие ученые из США и Европейского космического агентства (Англия, Нидерланды, Италия). На конференции практически все ведущие космические фирмы России раскрыли свои секреты, связанные с проектированием и изготовлением космических аппаратов и обеспечением их стойкости к воздействию факторов космической среды. А доклад о программе создания мониторинговой службы во внутренних областях магнитосферы вызвал всеобщую заинтересованность. Зарубежные специалисты с сожалением отметили, что ни в одной из западных стран ничего подобного осуществить пока не представляется возможным.

Мы же можем приступить к реализации данной программы благодаря концентрации в одном конструкторском бюро НПО ПМ практически всех работ по созданию космических аппаратов для навигации, связи и передачи программ телевидения. Это позволяет выработать единый подход к оценке степени воздействия факторов космического пространства на электронную "начинку" спутников и определить оптимальный перечень контролируемых параметров. Немаловажным условием, способствующим осуществлению в нашей стране мониторинга из космоса, является финансовая поддержка этого проекта со стороны основных заказчиков – Министерств обороны и связи Российской Федерации.

Э. Н. СОСНОВЕЦ

**РЕГИСТРАЦИЯ ПРОТОНОВ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ НА
СПУТНИКАХ СЕРИИ «ЭЛЕКТРОН»**

Запуск спутников серии «Электрон» (30.I и 11.VII 1964 г.) позволил исследовать протоны малых энергий ($E_p=1.0\div 30$ Мэв) в обширной области пространства в период, близкий к периоду минимума солнечной активности. Характеристики орбит спутников и аппаратуры приводятся в [1]. На каждом из четырех спутников был установлен идентичный комплект датчиков, что давало возможность сопоставлять результаты, полученные в различных участках пространства в разное время.

Детекторы протонов. В настоящем сообщении представлена часть результатов, относящихся к протонам с $1 < E_p < 9$ Мэв. В качестве детекторов использовались сцинтилляционные и полупроводниковые счетчики, установленные на наружной оболочке спутников. В сцинтилляционных счетчиках использовались кристаллы GJ(Tl) толщиной ~ 0.15 и ~ 3 мм. Счетчиком с тонким кристаллом регистрировались протоны в интервале энергий $(1.5 \pm 0.2) < E_p < (10 \pm 2)$ Мэв, а счетчиком с толстым кристаллом – в интервалах $(5 \pm 0.5) < E_p < (80 \pm 20)$ Мэв и $(9 \pm 1) < E_p < (30 \pm 5)$ Мэв. В обоих счетчиках кристалл был закрыт фольгой ~ 2 мг·см⁻² Al в пределах угла $\sim 40^\circ$. По всем другим направлениям кристаллы были экранированы $\sim 1.5\text{--}2$ см Pb. Схемы сцинтилляционных счетчиков описаны в [2, 3].

С помощью полупроводниковых счетчиков регистрировались протоны в интервале $(1.0 \pm 0.2) < E_p < (5 \pm 1)$ Мэв. Для защиты от прямого солнечного света счетчики были закрыты фольгой ~ 2 мг·см⁻² Al.

Э.Н.Сосновец, Регистрация протонов малых энергий на спутниках серии "Электрон". *Известия АН СССР*, серия физическая, 1966, т. 30, N 11, с. 1820-1823

После калибровки порогов на ускорителе в процессе предполетных испытаний величина порога контролировалась с помощью α -источников.

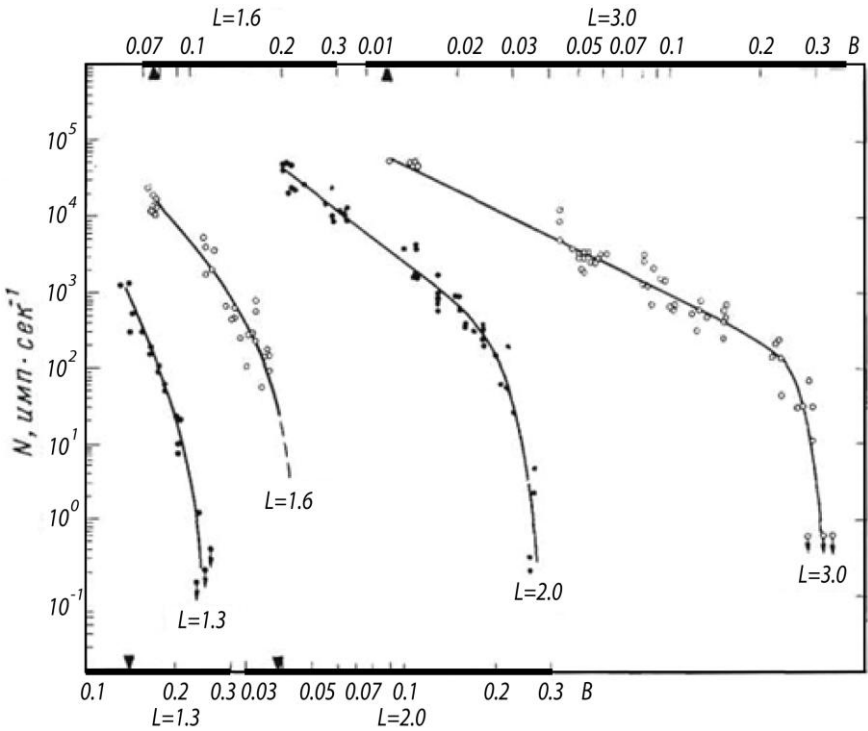


Рис. 1. Высотный ход протонов с энергией $1.5 < E_p < 15$ Мэв на $L=1.3$; 1.6; 2.0 и 3.0. Для каждого L дается своя шкала B . Черными треугольниками отмечено положение геомагнитного экватора для каждого L .

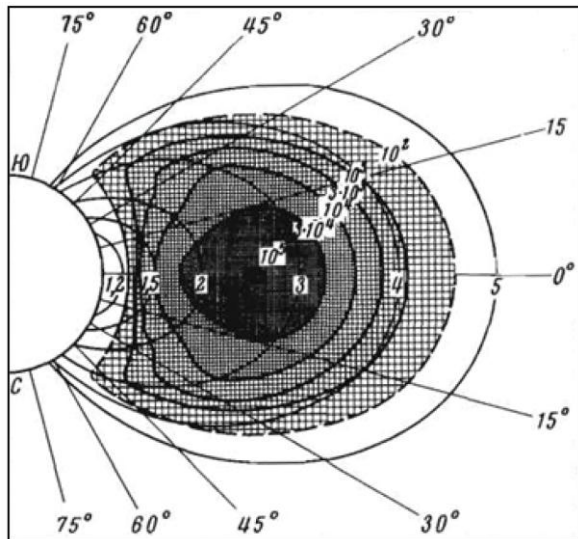


Рис. 2. Распределение протонов с $1.5 < E_p < 15$ Мэв в плоскости магнитного меридиана. Сплошные линии – линии равной интенсивности в $\text{ИМП} \cdot \text{СЕК}^{-1}$.

Результаты. Информация с детекторов поступала на запоминающее устройство. Устройство могло работать в трех временных режимах, при которых время накопления информации между циклами запоминания составляло 15, 105 и 465 сек. Эти времена оказались соизмеримыми с периодом вращения спутников, которые составляли ~ 40 и ~ 120 сек соответственно для низких и высоких спутников. При втором и третьем режимах практически не было заметно никакой модуляции интенсивности, при первом режиме коэффициент модуляции протонных каналов не превосходил фактора 2. Таким образом, полученные результаты дают величину средней направленной интенсивности протонов с точностью до фактора ~ 2 .

На основе первичных данных можно построить распределение протонов в геомагнитных координатах. В качестве таких координат были выбраны параметр L и напряженность магнитного поля B . На рис. 1 показаны высотные ходы, т. е. зависимость интенсивности от широты для нескольких фиксированных L , а также представлены экспериментальные точки, относящиеся к детекторам протонов, установленным на различных спутниках. Точки на $L=1.3, 1.6$ и 2 получены на Электроне-3 в июле 1964 г.; точки на $L=3$ получены на Электроне-1 и Электроне-2 в феврале 1984 г. Точки, лежащие на $L=3$ вблизи экватора, относятся к Электрону-2. Показания всех приборов нормированы на геометрический фактор детектора

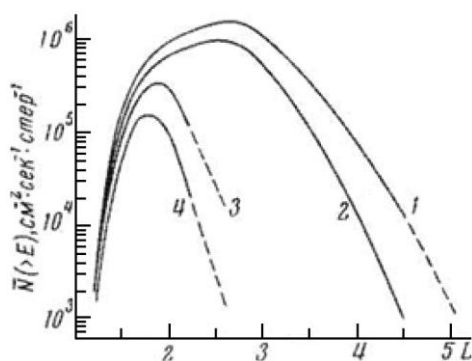


Рис. 3. Распределение протонов различных энергий в плоскости магнитного экватора. 1 – $E_p > 1$; 2 – $E_p > 1.5$; 3 – $E_p > 5$; 4 – $E_p > 9$ Мэв.

Электрон-1, который составлял $\sim 1.1 \cdot 10^{-1} \text{ см}^2 \cdot \text{стер}$.

Из рисунка видно, что с увеличением L высотная зависимость становится более слабой, т. е. угловое распределение протонов относительно силовой линии магнитного поля становится более изотропным. Имеется также тен-

денция к разбросу точек с увеличением B и L . Частично широтную зависимость разброса точек можно объяснить эффектом вращения детекторов, так как с увеличением широты угловое распределение становится более узким. Однако увеличение разброса точек с ростом L аналогичным эффектом объяснить нельзя, поскольку угловое распределение при этом становится более широким. Аналогичная зависимость разброса точек наблюдалась в работах [4, 5]. Этот разброс точек можно объяснить временными вариациями протонов. Особенно четко эффект временных вариаций наблюдался в [5], где практически не сказывалась неточность в определении координат.

На основе графиков, аналогичных представленным на рис. 1, можно построить полную картину распределения захваченных протонов вокруг Земли (рис. 2 и 3). На рис. 2 представлено распределение протонов с $E_p > 1.5$ Мэв в плоскости магнитного меридиана. На рис. 3 дается картина распределения протонов различных энергий в плоскости геомагнитного экватора в зависимости от L . Из рис. 3 видны следующие характерные особенности в распределении протонов; 1) положение максимума зависит от энергии протонов и смещается в сторону больших L с уменьшением энергии; 2) величина интенсивности растет с уменьшением энергии; 3) зависимость интенсивности от L за максимумом становится более слабой с уменьшением энергии; 4) интегральный энергетический спектр протонов становится более мягким с увеличением L ; 5) на $L < 1.5$ практически нет протонов в интервале $1 < E_p < 5$ Мэв.

Таким образом, полученные результаты не противоречат экспериментальным данным предыдущих исследований [4, 6] и хорошо согласуются с теорией [7, 8]. Пока неясно, имеют ли место систематические изменения в геометрическом распределении, интенсивности и спектре протонов, связанные с изменением фазы цикла солнечной активности, поскольку исследования протонов этой области энергий начались после максимума активности.

Автор выражает благодарность Ю. И. Логачеву за обсуждение результатов и товарищам, принимавшим участие в обработке информации.

Литература

1. Вернов С. Н., Чудаков- А. Е. и др., Тр. Всесоюзной конференции по физике космического пространства, стр. 394. Изд. «Наука», М., 1965.
2. Вакулов П. В., Горюнов Н. Н., Логачев Ю. И., Сосновец Э. Н., Геомагнетизм и аэрномия, 1, 6, 880 (1981).
3. Вакулов П. В., Горчаков Е. В., Логачев Ю. И., Радиационные пояса Земли, результаты МГГ, Космические лучи, № 6 (1965).
4. McIlwain C., Fillius R., The anomalous energy spectrum of protons in the earth's radiation belt. Preprint, 1963.
5. Вернов С. Н., Савенко И. А., Тельцов М. В., Шаврин П. И., Тр. Всесоюзной конференции по физике космического пространства, стр. 460. Изд. «Наука», М, 1965.
6. Davis L., Williamson J., Space Res., 3, 365 (1963).
7. Тверской В. А., Тр. Всесоюзной конференции по физике космического пространства, стр. 314. Изд. «Наука», М., 1965.
8. Антонова А. Е., Ершкович, А. И., Шабанский В. П., Тр. Всесоюзной конференции по физике космического пространства, стр. 326. Изд. «Наука», М., 1965.

Часть 2. О Э.Н. Сосновце, его времени и окружении, о некоторых направлениях его научных исследований

Аннотированное оглавление

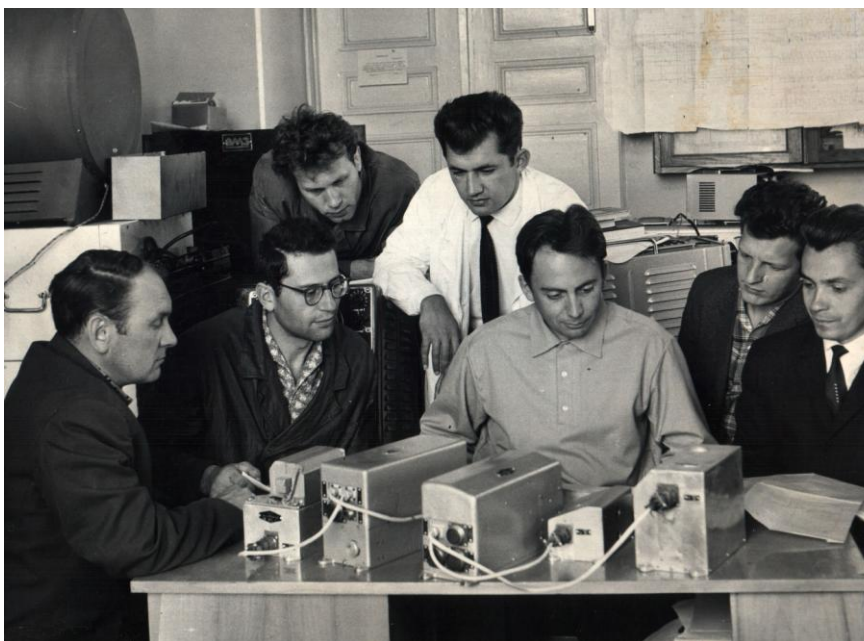
Стр.	Кто; о чём
48	Блок фотоматериалов
54	Ю.И. Логачев, профессор, д.ф.-м.н., вспоминает о первых шагах по освоению и изучению космического пространства, о первых открытиях, о формировании и становлении космофизического направления в НИИЯФ МГУ, о людях и событиях того времени.
76	И.А. Рубинштейн, с.н.с., к.т.н., приводит свои наблюдения и воспоминания о Э.Н. Сосновце и Т.И. Ивановой как их ближайший коллега в части созданий измерительной аппаратуры.
81	А.С. Ковтюх, доцент, к.ф.-м.н., рассказывает о своих научных и человеческих контактах с Э.Н. Сосновцом, о плазменной мантии Земли, изучением которой они занимались.
88	Л.В. Тверская, в.н.с., к.ф.-м.н., приводит историю исследований и наиболее существенные научные результаты, полученные в лаборатории физики магнитосферы, руководителем которой был Э.Н. Сосновец.
106	Л.С. Новиков, профессор, д.ф.-м.н., освещает ход и состояние российских исследований проблемы электризации космических аппаратов, и вклад в эти работы сотрудников НИИЯФ МГУ.
128	Е.Е. Антонова, профессор, д.ф.-м.н. и М.О. Рязанцева, ассистент, к.ф.-м.н., дают краткий обзор работ по оценке давления магнитосферной плазмы в связи со спутниковыми экспериментами по измерению потоков ионов около-кэВных энергий с помощью электростатического анализатора.
143	Н.А. Власова, с.н.с., к.ф.-м.н., приводит иллюстрированные воспоминания и тёплые слова о жене и соратнице Э.Н. Сосновца – Т.А. Ивановой.



Татьяна Андреевна Иванова (1939-2008 гг.),
жена и соратник Э.Н. Сосновца, кандидат физ.-мат. наук.



Начало 70-х Слева направо: Ю.В. Минеев, Э.Н. Сосновец,
П.В. Вакулов, Г. Зенчев, М.И. Панасюк.



Середина 70-х, ОТПКФ. Слева направо: О.С. Матяев,
И.А. Рубинштейн, Ю. Заволокин, В.Г. Овсянников,
Э.Н. Сосновец, А.А. Гомонов, А.Д. Царьков



1980 г., кабинет директора НИИЯФ МГУ, юбилей С.Н. Вернова.
Картина "Космический разум" (оборотная сторона),
П.П. Игнатьев, Н.В. Переслегина (автор картины),
Э.Н. Сосновец, С.Н. Вернов.



Начало 80-х, ОТПКФ. М.И. Панасюк, Л.В. Тверская,
С.Я. Рейзман, Э.Н. Сосновец, Л.А. Дарчиева, Н. Сенаторова,
О.В. Хорошева, Л.М. Коврыгина.



1996 г., ОТПКФ, юбилей Б.А. Тверского. В.Ф. Поляков, Н.Н. Контор, В.В. Константинова, Л.В. Тверская, Г.П. Любимов, И.В. Гецелев, Б.А. Тверской, Е.В. Горчаков, Э.Н. Сосновец.



1998 г., ОТПКФ. Б.А. Дравов, Э.Н. Сосновец, В.Ф. Поляков, Т.А. Иванова, И.А. Рубинштейн, В.Н. Носов.



1996 г., 50-летие НИИЯФ МГУ.

Космофизические ветераны института:

И.А. Рубинштейн, Э.Н. Сосновец, В.Г. Столповский,
П.В. Вакулов, С.Н. Кузнецов, М.В. Тельцов, Е.А. Чудаков,
Ю.И. Логачёв, В.Я. Ширяева, Н.Л. Григоров, Е.В. Горчаков,
О.Ю. Нечаев, И.Д. Раппопорт, П.И. Шаврин



ДИПЛОМ

ЛАУРЕАТА ЛОМОНОСОВСКОЙ ПРЕМИИ

Ученый Совет
МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени М. В. Ломоносова

решением от 27 декабря 1999 года
присудил премию имени М. В. Ломоносова

второй степени

ПАНАСЮКУ Михаилу Игоревичу,
профессору, директору НИИЯФ,
СОСНОВЦУ Эльмару Николаевичу,
и. о. зав. отделом НИИЯФ,
КОВТЮХУ Александру Семеновичу,
доценту физического факультета

за цикл работ
«Ионный радиационный пояс и кольцевой ток
в магнитосфере Земли:
структура, динамика и источники»

Данный диплом выдан

СОСНОВЦУ
Эльмару Николаевичу

Ректор Московского университета

В. А. Садовничий



Э.Н. Сосновец на первых этапах изучения РПЗ

Ю.И. Логачев

Эльмар Николаевич Сосновец учился на физическом факультете МГУ, который окончил в январе 1959 г., больше 50 лет тому назад. В НИИЯФ МГУ он стал работать в конце 1960 года, перейдя из ФИАН'а, куда был распределен после окончания Физфака. Это официально, а фактически, числясь в ФИАН'е (он работал в группе Чудакова), он сразу стал работать в опытно-конструкторской лаборатории (ОКЛ) НИИЯФ, думаю, по договоренности Сергея Николаевича Вернова с Чудаковым. ОКЛ была создана незадолго до этого (в 1958 г.) и занималась разработкой и созданием приборов, устанавливаемых на спутниках и межпланетных космических аппаратах для изучения космических лучей и недавно открытых РПЗ, и очень нуждалось в квалифицированных сотрудниках. Чтобы представлять себе обстановку в ОКЛ нужно немного коснуться истории её возникновения, задач и коллектива сотрудников, работающих в лаборатории.

К моменту появления в НИИЯФ Э.Н. Сосновца отдел уже провел эксперименты на двух спутниках (2-ой и 3-ий ИСЗ – 3 ноября 1957 г. и 15 мая 1958 г.) и первых трех лунных станциях (2 января 1959 г., 12 сентября 1959 г. и 3 ноября 1959 г.), т.е. к концу 1960 года ОКЛ уже имел некоторый опыт исследований в космосе и даже возникли определенные традиции.

Нужно также отметить, что к приходу Э.Н. Сосновца в ОКЛ в НИИЯФ МГУ уже существовала еще одна лаборатория, занимавшаяся исследованием космической радиации на спутниках Зем-

ли. Это была лаборатория космо-физических исследований (ЛКФИ), основная задача которой состояла в измерении доз радиации на орбитах предполагаемых полетов космонавтов. Эта лаборатория была создана позже ОКЛ и использовала, в основном, методику экспериментов, опробованную в ОКЛ. Эта ситуация сохранялась еще долгие годы, особенно в отношении электронных схем, в разработке которых Э.Н. Сосновец принимал, как будет видно ниже, активное участие.

На этих первых космических аппаратах приборы ставились не под какие-то конкретные задачи, а исходя из самых общих соображений о космических лучах и только что полученных результатов. Так прибор на 2-ом спутнике, являвшемся первым нашим прибором в космосе, продумывался и просчитывался для регистрации первичного космического излучения вблизи Земли, о котором уже многое было известно из стратосферных измерений. Был известен поток частиц, широтный эффект, частично состав и энергетический спектр первичных космических лучей. Было также известно о солнечных космических лучах, хотя в то время они еще так не назывались. Задача первого полета состояла в проверке этих разрозненных сведений и измерений на разных широтах и долготах и на высотах, ранее недостижимых. Ограничения по весу, объему и энергопотреблению прибора заставили ограничиться простым счетчиком Гейгера и использовать полупроводниковую электронику.

На 3-ем советском спутнике был установлен уже сцинтилляционный счетчик. Необходимость этого выяснилась по результатам полета 2-ого спутника, который в одном из пролетов полярных районов зарегистрировал повышенное, по сравнению с данными других пролетов, число отсчетов счетчиков. Так как счетчики находились внутри ракеты и экранировались 2-3 г·см⁻² вещества, заряженные частицы, чтобы проникнуть в счетчики,

должны были бы иметь достаточно большую энергию, что, учитывая сильные вариации скоростей счета прибора, было трудно-объяснимо. Возникало ощущение, что счетчики регистрировали тормозное излучение электронов сравнительно небольшой энергии (~100 кэВ). А эффективность регистрации рентгеновских лучей наших счетчиков очень мала и, чтобы в следующих полетах изучить этот эффект более подробно, было решено на 3-ем спутнике поставить сцинтилляционный счетчик, эффективность которого к рентгеновскому и гамма-излучению на порядок-два выше.

Именно в это время разыгралась эпопея открытия радиационных поясов Земли, и наличие на 3-ем спутнике сцинтилляционного счетчика позволило существенно продвинуться в понимании картины поясов радиации. При полете третьего отечественного ИСЗ регистрировались уже систематические возрастания интенсивности при каждом пролете, как в полярных районах, так и при попадании ИСЗ в экваториальные области. Это говорило о постоянном существовании интенсивной радиации вблизи Земли, дополнительно к космическим лучам галактического и солнечного происхождения. Однако историческое значение полета 3-го ИСЗ сводилось не только к этому. Дело в том, что установленный на его борту сцинтилляционный детектор позволял судить о природе регистрируемых частиц. Анализ показал, что в полярных районах потоки радиации состоят из электронов с энергиями 100 кэВ и выше, а в экваториальных районах – из протонов с энергиями порядка 100 МэВ, т.е. эти две зоны радиации, или как их стали называть впоследствии внешний и внутренний радиационные пояса Земли (РПЗ), имеют принципиально различный состав частиц и, следовательно, различное происхождение. Кроме того, орбита этого спутника имела форму эллипса (от 230 км в перигее до 2000 км в апогее), что позволило производить измерения радиации на разных высотах. Оказалось, что как

в полярных, так и в экваториальных районах интенсивность радиации сильно возрастает с ростом высоты. Это означает, что потоки заряженных частиц захвачены магнитным полем, которое представляет для них магнитную ловушку. Время жизни частиц в этой ловушке может быть очень велико, в некоторых случаях годы и даже десятки лет.

Надо отметить, что открытие и изучение захваченной в геомагнитном поле радиации шло в условиях очень жесткой конкуренции с американскими исследователями, как с экспериментальных позиций (Эксплорер-I и Эксплорер-III – дата запуска 1 февраля и 26 марта 1958 г.), так и с точки зрения интерпретации. Пожалуй, вопросы приоритета в некоторых частных областях интерпретации остаются спорными до настоящего времени. Бесспорно лишь следующее:

Американские ИСЗ Эксплорер-I и Эксплорер-III раньше наших ИСЗ обнаружили область повышенной радиации в экваториальных районах, а внешний радиационный пояс был открыт при полете 3-его отечественного ИСЗ, т.к. первые американские спутники имели такие траектории полета, что не попадали в полярные районы.

Природа частиц во внешнем и внутреннем радиационных поясах была впервые идентифицирована также нашими учеными, т.к. аппаратура американских ИСЗ не позволяла этого сделать.

Таков вклад первых ИСЗ в изучение захваченной радиации на малых высотах (примерно до 2000-3000 км). Очень ценная информация о свойствах захваченной радиации на больших высотах была получена при полетах американских аппаратов Pioneer и наших лунных ракет в 1958-1959 году. Эти полеты подтвердили наличие вблизи Земли потоков заряженных частиц и дополнили эту информацию сведениями, полученными на боль-

ших удалениях. Собственно говоря, этими полетами и завершается история открытия и первых исследований РПЗ и начинается период, связанный с изучением спектральных и пространственных характеристик РПЗ и их временных вариаций.

В первую очередь возникал вопрос: насколько устойчивыми образованиями являются РПЗ и как сильно изменяются их характеристики в зависимости от уровня солнечной активности? Дело в том, что РПЗ были открыты в период максимума солнечной активности и было совершенно не ясно, что с ними произойдет в период минимальной солнечной активности. Ближайший минимум солнечной активности ожидался в 1964 г., и так совпало, что к этому времени удалось запустить спутники «Электрон» для подробного исследования РПЗ. Об этом подробнее будет сказано ниже, здесь же отметим, что именно спутники «Электрон» были главной проблемой, которой занимался Эльмар Николаевич, который в то время для всех нас был просто Эльмар.

Главная задача, которой занимался Эльмар в это время, состояла в подготовке новых экспериментов, разработке новой электроники, поисков способов увеличения передачи информации по существующим каналам радиотелеметрии. Насколько быстро он вошел в круг решаемых проблем и внес в них заметный вклад говорит тот факт, что уже в конце 1961 г., т.е. спустя всего один год после поступления в НИИЯФ, Эльмар, вместе с «корифеями» космических экспериментов, публикует статью по электронике приборов, устанавливаемых ОКЛ на космических аппаратах [Вакулов и др., 1961].

В промежутке между первыми полетами в космос и спутниками «Электрон» наши сотрудники занимались изучением искусственных РПЗ. Сразу, как только поняли природу радиационных поясов и догадались, что регистрируемые частицы захвачены магнитным полем, возникла мысль создать искусственный пояс.

С этой целью в США осуществили ряд ядерных взрывов вне атмосферы Земли. Два первых взрыва, проведенных на небольших высотах, поясов практически не создали. А от первого взрыва на высоте 480 км осколки от деления ядерного вещества и электроны оказались действительно захвачены магнитным полем, протронулись по долготе, и возник искусственный пояс электронов (тяжелые частицы быстро потеряли свою энергию), существовавший несколько месяцев. Этот взрыв был осуществлен 17 августа 1958 г., он получил название операция «Аргус» (мощность взрыва всего 1-2 кт). Отметим, что первые три взрыва были проведены американцами в августе 1958 года, т.е. буквально через пару месяцев после открытия поясов радиации и осознания значимости этого открытия. Советские взрывы были проведены только в 1962 году и были гораздо большей мощности (подробнее об этом можно прочитать в МК-83, т.1, глава 13).

В результате этих взрывов в магнитное поле Земли было инжектировано большое число электронов с энергиями порядка 1 МэВ, которые образовали ИРПЗ. Оказалось, что при высотных взрывах большой мощности потоки искусственно инжектированных электронов могут значительно превышать потоки естественных электронов, вызывать отказы и повреждения спутниковой аппаратуры, в первую очередь солнечных батарей.

Серьезные исследования этих эффектов НИИЯФ МГУ провел на спутнике «Космос-17». Этот спутник был запущен в 1963 г. и был оснащен широким набором детекторов и запоминающим устройством, позволяющим иметь непрерывные данные о радиации, т.е. во всех областях траектории спутника, которая пролегла в основном на малых высотах (перигей - 260 км, апогей - 790 км, наклонение - 49 градусов). Эльмар Сосновец был активным участником этого эксперимента.

Отметим, что одной из самых острых проблем наших исследований радиации являлась малая информативность использовавшихся в то время систем передачи информации, т.е. радиотелеметрических систем космических аппаратов. Наибольшим дефицитом всегда являлся не вес и объем аппаратуры, и даже не ее энергопотребление, а число телеметрических каналов, выделенных для нашей аппаратуры. Эта проблема решалась двумя путями: 1) выпрашиванием у телеметристов дополнительных каналов, с этой целью использовалась даже «тяжелая артиллерия» - организовывался визит С.Н. Вернова к С.П. Королеву или его заместителям, но это - трудный путь, чтобы дать нам дополнительные каналы их надо было у кого-то отобрать, резерва, как правило, не было; 2) так «уплотнить» нашу информацию, чтобы по каждому каналу передавать максимум возможного.

Такая же ситуация возникла и на спутнике «Космос-17». Главная задача в то время состояла в измерении скоростей счета импульсов на выходе наших детекторов, т.е. числа частиц различной природы и энергии, попавших в прибор в разных участках траектории полета спутников. Частицы данного вида и энергии для простоты именовались «параметрами», скорости счета по которым требовалось измерить. В начале число таких измеряемых параметров было невелико (на 2-ом спутнике – 2, на 3-ем – 5, на станции Луна-1 уже 8 и т.д.), а на спутнике «Космос-17» удалось установить, как уже упоминалось, большой состав приборов и стало необходимым резко уплотнить информацию, поступающую на ограниченное число каналов радиотелеметрии. Задача формулировалась так: для каждого измеряемого параметра, например, скорости счета электронов с энергией 100-200 кэВ, использовать не более одного канала телеметрии, несмотря на то, что скорость счета может изменяться в диапазоне до 10^4 – 10^5 , обеспечив при этом точность измерения во всем диапазоне не

хуже 10%. Как решать эту проблему? Если телеметрический канал подключен к началу пересчетной линейки, то при больших скоростях счета будет очень трудно разобраться в числе сосчитанных импульсов, т.е. будет наблюдаться так называемый телеметрический «зашкал». Если телеметрический канал подключен к концу пересчетной линейки, то при малой скорости счета он будет в основном «молчать», т.е. в этом случае малые скорости счета не будут регистрироваться. И вот, попробовав различные способы, мы придумали схему, в которой телеметрический канал по мере увеличения скорости счета перемещался к все более далеким триггерам пересчетной линейки, обеспечивая приблизительно постоянную картину на входе телеметрического канала. Но возникла задача определения того триггера, к которому была подключена телеметрия в момент опроса параметра. На спутнике «Космос-17» для определения номера триггера производилось «окрашивание» сигнала, изменялась амплитуда выходного напряжения триггера. Отметим, что информация с этого спутника поступала к нам на фотопленке, качество записи на ней было не всегда хорошим. И вот, эксперимент проведен, информация получена, а чтобы ее «выудить» из фотопленок потребовалась масса времени и усилий.

Этот не очень удачный эксперимент с телеметрией потребовал искать другие пути логарифмического счета импульсов, и Эльмар здесь сказал новое веское слово. Он построил электронную схему, сложную диодную матрицу, которая по мере увеличения скорости счета детектора подключала дополнительные триггера к счетной линейке и фиксировала их число. Система прекрасно работала, хотя и была несколько громоздка. Тем не менее, эта схема подтолкнула творческую мысль, и сразу несколько наших сотрудников: Вакулов П.В., Рубинштейн И.А. и Розенталь Ю.А. предложили более простые логарифмические счет-

чики, наиболее надежный из которых прочно вошел в нашу практику. Таким образом, несмотря на то, что схема Эльмара не была использована в аппаратуре, она показала свои возможности и послужила импульсом для создания компактной работоспособной схемы, использовавшейся уже в следующем большом эксперименте – спутниках «Электрон».

Экспериментом на спутнике «Космос-17» больше всего занимался П.В. Вакулов и по его результатам в 1965 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование радиационных поясов Земли и космических лучей на спутнике «Космос-17». А в печати была опубликована статья с авторством всех сотрудников, в том числе и Э.Н. Сосновца, участвовавших в создании приборов и обработке результатов на спутнике «Космос-17» [Вернов и др., 1964].

Следующая большая работа, в которой Эльмар Николаевич принимал самое активное участие, были исследования РПЗ на спутниках «Электрон». Необходимость проведения этих исследований стала ясна почти сразу после их открытия. Первые спутники летали на небольших высотах, а эпизодические пролеты поясов на аппаратах, запускаемых на Луну, не могли обрисовать полную пространственную картину поясов. В этой ситуации С.Н. Вернов и А.Е. Чудаков предложили исследовать пояса сразу двумя спутниками: на сравнительно низкой и на достаточно высокой орбитах, что обеспечивало одновременные измерения в разных областях пространства и позволяло исключать временные вариации. Конструкторское решение проблемы было еще красивее – оба спутника (высокий и низкий) выводились в космос одной ракетой-носителем. Наклонение орбит к экватору было стандартным, около 60° , перигей также был на своем месте (высота ≈ 400 - 500 км над территорией СССР), а высоту в апогее можно было варьировать, задавая скорость отстыковки спутника от ракеты.

Для нижнего спутника высота в апогее была выбрана чуть более 1 радиуса Земли (≈ 7100 км), а для высокого спутника более 10 радиусов Земли. Апогей обоих спутников располагался в южном полушарии. Эти орбиты очень хорошо соответствовали задаче детального изучения радиационных поясов, они пересекают наиболее интересные области пространства, как на высоких, так и на экваториальных широтах.

Начальные значения параметров орбит спутников «Электрон»

Спутник	Дата запуска	Высота в апогее, (тыс. км)	Высота в перигее, (км)	Период обращения
Электрон-1	30.01.1964	7.14	400	02 ^h 48 ^m
Электрон-2	30.01.1964	68.0	460	22 ^h 30 ^m
Электрон-3	11.06.1964	7.04	405	02 ^h 48 ^m
Электрон-4	11.06.1964	66.2	459	21 ^h 54 ^m

Было произведено два запуска, т.е. запущено 4 спутника: «Электрон-1», «Электрон-2», «Электрон-3» и «Электрон-4». В таблице даны сведения о датах запуска и более точные данные об орбитах спутников «Электрон».

Спутники «Электрон-1,-3» имели меньшую высоту в апогее и исследовали, в основном, внутренний пояс, а спутники «Электрон-2,-4» с более вытянутой орбитой (более 10 радиусов Земли) – внешний пояс и радиацию за поясами. Как уже говорилось, запуск каждой пары спутников осуществлялся одной трехступенчатой ракетой-носителем.

Для исследования радиационных поясов на каждом из спутников «Электрон» для регистрации заряженных частиц, в основном, электронов и протонов, использовались сцинтилляционные, полупроводниковые и газоразрядные счетчики, позволявшие отдельно регистрировать потоки частиц в широком диапазоне энергий: электроны регистрировались в интервале 30 кэВ - 15 МэВ, протоны - в интервале 0.5-200 МэВ. Работа с этими

приборами, их конструирование, создание электронных схем и наладка после монтажа, одна из забот, лежащих на Эльмаре Сосновце. Вот что вспоминает об этом периоде Илья Александрович Рубинштейн: *«Я поступил в ОКЛ НИИЯФ в сентябре 1960-го. Из технических сотрудников, к коим относился и я сам, в то время работали: Матяев, Долбышев, Надеждин, Сохранова. Руководил ОКЛ Николаев. Моим непосредственным работодателем назначили Сосновца, который поручил мне пять сумматоры.*

Основным конструктивом тогда были «ячейки», прессованные из карболита, с двумя большими отверстиями для триодов МП16Б и мелкими отверстиями для объемных резисторов и конденсаторов. Основным видом ячеек были триггерные, образывавшие счетный тракт. В тракте бывало от 14 до 22-х ячеек. Они собирались воедино на дюралевых пластинах и составляли основное содержание информационного блока». Как видно из этого отрывка, Эльмар, даже еще формально не работая в НИИЯФ (он зачислен к нам 21 ноября 1960 г.), был «работодателем» для ряда технических сотрудников, занимавшихся разработкой, монтажом и наладкой электронных элементов нашей аппаратуры.

Все четыре спутника «Электрон» были укомплектованы практически идентичной аппаратурой, что существенно облегчало интерпретацию данных, позволяло сопоставлять результаты, полученные в различных точках пространства, а в точках пересечения орбит исследовать временные вариации поясов.

Работа с аппаратурой спутников «Электрон» началась в конце 1961 г. и интенсивно продолжалась до самого запуска. Если учесть, что для каждого аппарата нужно было изготовить 3 комплекта аппаратуры, т.е. $3 \times 4 \times 7 = 84$ прибора (7 – это число приборов на каждом спутнике), затем настроить их, провести

процедуру сдачи-приемки, провести проверку работы приборов в полной сборке на борту спутника, можно себе представить ту напряженную атмосферу, в которой осуществлялась подготовка данного эксперимента. Главной движущей силой всех этих работ (не считая заведующего ОКЛ А.Г. Николаева и «научников старшего поколения» П.В. Вакулова и Ю.И. Логачева) являлись Э.Н. Соколов и В.Г. Столповский. Они не только руководили всеми этими работами, но и сами непосредственно паяли-настраивали. А потом ездили на испытания на завод и на запуск спутника на полигон.

Оба запуска спутников «Электрон» прошли успешно, передали огромное (по тем временам) количество информации, которое обрабатывалось практически вручную (ЭВМ тогда только-только входили в силу) большим коллективом девочек-обработчиц (до 30 человек), которыми руководил Эльмар. Обработка проводилась в две руки.

С помощью этих спутников был получен грандиозный по объему и значению материал, но основной, главный результат состоял в том, что РПЗ являются устойчивым образованием и характеристики РПЗ не меняются, во всяком случае фундаментально, при изменении солнечной активности. Пояса были открыты в максимуме солнечной активности, а полет спутников «Электрон» проходил в минимуме. Эти исследования РПЗ позволили получить их основные пространственные характеристики, обнаружить и частично исследовать временные вариации поясов и понять закономерности, определяющие поведение геомагнитно-захваченной радиации.

Пространственное расположение радиационных поясов очень сильно зависит от энергии и вида частиц. Пояс протонов располагается ближе к Земле, чем пояс электронов. Чем больше энергия частиц, тем ближе к Земле находится основная масса

этих частиц и тем выше их интенсивность. По данным спутников «Электрон» были определены профили поясов протонов и электронов в плоскости экватора в зависимости от энергии протонов и электронов. Такое распределение частиц объясняется их постепенным переносом с периферических областей к центральным. Теория такого переноса, разработанная Б.А. Тверским, позволяет определить положение в пространстве магнитной оболочки, на которой достигается максимальная интенсивность протонов данной энергии, полностью подтвердившаяся результатами спутников «Электрон» для протонов вплоть до 30 МэВ. Это говорит об общности происхождения протонов радиационных поясов от малых энергий до 30–50 МэВ за счет бетатронного ускорения при диффузии их с границы магнитосферы. Протоны больших энергий возникают за счет распада нейтронов альbedo, образованных в атмосфере Земли космическими лучами высокой энергии. Как уже отмечалось выше, одним из первых высказал эту гипотезу и провел предварительные расчеты потоков протонов от нейтронов распада С.Н. Вернов с сотрудниками [Вернов и др., 1959].

Особенно много дали спутники "Электрон" для изучения внешнего радиационного пояса. Время полетов спутников "Электрон", совпавшее с минимумом солнечной активности, позволило определить квазистационарный уровень радиации, в основном электронов, во внешнем поясе. Оказалось, что пространственное распределение электронной компоненты гораздо сложнее распределения протонов. Электроны с энергией $E_e \geq 40$ кэВ разделены на две устойчивые области высокой интенсивности с минимумом между ними. Одна из областей расположена во внутренней части магнитосферы в пределах магнитных оболочек с $L < 3-3.5$, другая – во внешней части между магнитными оболочками с $L > 3-3.5$. Исторически эти области получили название внутреннего и внешнего радиационных поясов, хотя, как теперь

ясно, это разделение имеет смысл только для электронов с энергией, равной примерно 100–1000 кэВ, ибо пространственное расположение протонов (см. рис. 1) и электронов совсем малых энергий перекрывает границы внешнего пояса с той или другой стороны. Так, на больших расстояниях спутники "Электрон" позволили выделить зону неустойчивой радиации [Вернов и др., 1967], самую внешнюю область радиационных поясов Земли.

Наиболее четко внешний радиационный пояс определяется по электронам средних энергий (100–500 кэВ). Потоки электронов таких энергий при регистрации их на различных магнитных оболочках обнаруживают глубокий минимум на $L=3.0\div 3.2$, разделяющий внутренний и внешний пояса. При увеличении L потоки электронов достигают максимума на L от 4 до 5, затем убывают и к магнитным оболочкам с $L\approx 6\div 7$ (на ночной стороне) совершенно исчезают.

Пространственное расположение внешнего пояса и другие его характеристики изменяются с течением времени. Внешний пояс как бы включен в динамическую систему солнечный ветер – магнитосфера Земли, являясь ярким примером существования солнечно–земных связей.

В то же время исследования спутников "Электрон" установили существование преобладающего состояния, в котором пояс находится большую часть времени. С февраля по июль 1964 г. наблюдалось много различных возмущений внешнего пояса. Хорошее совпадение февральских и июльских значений потоков электронов в разных районах внешнего пояса, зарегистрированное спутниками «Электрон», говорит о возвращении пояса к исходному состоянию после различных возмущений, т.е. о существовании некоторого устойчивого состояния, к которому внешний пояс стремится возвратиться после каждого возмущения. Такое устойчивое состояние внешнего пояса возможно, если возмуще-

ния, которые в нем наблюдаются, полностью обратимы, либо если стабильное состояние пояса определяется динамическим равновесием между источником частиц и их гибелью. Это один из главных выводов, сделанный Э.Н.Сосновцом, по результатам полетов спутников «Электрон».

Другой важный результат, полученный Э.Н. Сосновцом на спутниках «Электрон» и представленный в его диссертации **“Структура радиационных поясов Земли по данным спутников «Электрон»”**, состоит в установлении пространственной структу-

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ

Э.Н. СОСНОВЕЦ

СТРУКТУРА РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ
ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ «ЭЛЕКТРОН»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель – кандидат физико-
математических наук Ю.И. Логачев

Москва 1967 год

ры поясов для протонов и электронов в широком интервале энергий. Выше представлен титульный лист диссертации Э.Н. Со-сновца, защищенной им в 1967 г.

Но кроме науки и защиты диссертации была и другая жизнь, например, на полигоне. При запуске спутников «Электрон-3, -4» летом мы около месяца работали на «Байконуре». Жара стояла невообразимая, только в МИК'е и можно было дышать. МИК – это монтажно-измерительный корпус, огромный зал, где собиралась ракета и проводились все проверки (электрические, вакуумные, температурные) спутника в разобранном и собранном состоянии. Проводилась пробная и окончательная запись работы приборов на телеметрию, проверялось наличие взаимовлияния различных приборов друг на друга, электрических «наводок» и т.п. проверки. В этой кропотливой работе всё нужно было делать ответственно и быстро, все мы очень уставали и были безмерно рады, когда из-за какой-нибудь «нестыковки» возникало «окно» в испытаниях... Можно было отдохнуть, отвлечься. Иногда эти «окна» были продолжительными, и можно было уйти из МИК'а, пойти отдохнуть. Эти перерывы все использовали по-разному, а наша научная команда, несмотря на жару, предпочитала поиграть в футбол. И Эльмар здесь был одним из инициаторов и заводил. Помню, один раз он организовал соревнование – НИИЯФ против всей остальной науки. Играли не полной командой, кажется 5 на 5. Я был вратарем, а Эльмар – нападающим... Он в нашей команде был главным, центральным игроком, всех подбадривал, и сам был очень активен. Здорово набегались, было забито много голов, точный результат не помню – победила дружба.

А вечерами, когда жара несколько спадала, те кто не играл в преферанс, выходили на прогулку. Шли обычно по шоссе, машин не было, навстречу легкий прохладный ветерок, неспешная

беседа... Это были одни из самых приятных и запоминающихся моментов полигонной жизни.

В 1968 г. наши с Эльмаром пути несколько разошлись. Тогда, из-за создания ИКИ (институт космических исследований АН СССР) и ухода в этот институт нескольких сотрудников ЛКФИ (лаборатории космофизических исследований – заведующий И.А.Савенко), Сергей Николаевич Вернов организовал в ЛКФИ два новых сектора (это сейчас отделы и лаборатории, а тогда были лаборатории и сектора соответственно), одним из которых стал руководить я, а другим – П.В.Вакулов, и часть сотрудников из ОКЛ (Кузнецов С.Н., Столповский В.Г. и др.) перешли в ЛКФИ, а Сосновец остался в ОКЛ. Несмотря на это, наше сотрудничество с Эльмаром активно продолжалось, хотя эксперименты мы стали проводить на разных космических аппаратах. Несколько изменилась и тематика наших исследований: Эльмар продолжал заниматься радиационными поясами, а наша лаборатория сосредоточилась на исследовании солнечных космических лучей.

На этом отрезке времени мы совместно опубликовали несколько работ и по поясам, и по СКЛ [например, Вернов и др., 1969; Вернов и др., 1972; Иванова и др., 1976]. Потом заведующим ОКЛ стал Б.А. Тверской, поменялось название отдела (ОТПКФ).

Спутники «Электрон» завершили первый этап исследований радиационных поясов Земли, а для дальнейшего изучения нужны были другие спутники, которых было очень мало или не было вообще. Из этой ситуации был найден оригинальный выход. Дело в том, что в это время в стране началось использование космоса для связи, для транслирования телепередач на восточные районы страны с помощью спутников связи «Молния» и спутников на геостационарной орбите. Конструкторам этих космических аппаратов крайне необходимы были сведения о характеристиках

космической среды, об ионизирующих излучениях, в частности, которые, как к тому времени было установлено, весьма агрессивно воздействуют на космические аппараты. Впервые такое воздействие частиц радиационных поясов на солнечные батареи было обнаружено на спутниках «Электрон». НИИЯФ МГУ также был заинтересован в исследовании этих самых излучений с чисто научной точки зрения. Таким образом, возникла обоюдная необходимость постоянной регистрации потоков всех частиц при любых полетах космических аппаратов. Было решено проводить натурные эксперименты на борту космических аппаратов, целью которых являлось изучение характеристик различных элементов космической техники непосредственно в полете с одновременной регистрацией частиц радиационных поясов и солнечных космических лучей, воздействующих на эти элементы. В первую очередь это касалось солнечных батарей, оптики и терморегулирующих покрытий. Особенно эффективно такое взаимодействие осуществлялось НИИЯФ МГУ с НПО «Прикладная механика» в г. Красноярске. Эльмар Николаевич был основной движущей силой этих исследований.

Со второй половины 60-х годов в НПО ПМ регулярно запускались спутники на два класса орбит: на полярные круговые орбиты спутники серии «Космос» (высота около 1000 км и наклонение $i \sim 74-83^\circ$) и на эллиптическую орбиту спутники «Молния» (высота в апогее около 40 тыс. км, наклонение орбиты $\approx 65^\circ$). На этих спутниках и проводились эксперименты НИИЯФ МГУ. Орбита спутников «Молния» оказалась особенно удобной, поскольку она пересекала всю область радиационных поясов и позволяла исследовать как внешний электронный, так и внутренний протонный пояса. На этих спутниках было проведено большое число экспериментов, позволивших получить уникальные данные о магнитосферных процессах и тем самым восполнить пробел в

изучении ближнего космоса из-за отсутствия специальных научных программ исследований по физике магнитосферы. Напомним, что специализированный спутник «Космос-900» для изучения процессов магнитосферно-ионосферного взаимодействия был запущен только в 1977 году.

Новый импульс сотрудничеству НИИЯФ МГУ с НПО ПМ дала проблема электризации космических аппаратов. Эта проблема возникла в середине 70-х годов в связи с освоением геостационарной орбиты (высота 36.6 тыс. км, наклонение $<1^\circ$), т.е. орбиты, расположенной в плоскости геофизического экватора на такой высоте, чтобы период обращения спутника совпадал с длительностью суток, т.е. ≈ 24 часа. Оказалось, что спутники на такой орбите в ночные часы местного времени пересекают плазменный шлейф магнитосферы, в котором присутствуют значительные (до $10^9 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$) потоки плазмы с энергиями частиц до десятков кэВ. Поскольку на борту космического аппарата много диэлектриков, то в облаках такой плазмы происходит накопление заряда на различных элементах космических аппаратов с последующими пробоями, вызывающими сбои и отказы в работе систем спутника.

Для решения этой проблемы были привлечены многие научные организации, в основном сибирские, а головным исполнителем был НИИЯФ МГУ. В этой ситуации для нашего института снова открылись благоприятные возможности для продолжения исследований, теперь уже и на борту геостационарных космических аппаратов («Радуга» и «Горизонт») и на спутниках с круговой орбитой на высоте ≈ 20.0 тыс. км (спутники системы ГЛОНАСС). Хотя основные задачи темы «Электризация» были выполнены к середине 80-х годов, сотрудничество НИИЯФ МГУ с НПО ПМ продолжается до настоящего времени. Многолетний опыт работы показал, что космос – это крайне динамичная среда и никакими

моделями невозможно предсказать ее точные параметры. Поэтому для оценки реального воздействия частиц радиационных поясов, плазмы и солнечных космических лучей на космические аппараты необходим постоянный мониторинг среды непосредственно на борту космических аппаратов. Основными задачами службы мониторинга являлись: оценка реального уровня воздействия радиации на космические аппараты; апробация и уточнение существующих и разработка новых, динамических, моделей радиационных полей; получение экспериментальных данных для исследования магнитосферы Земли [Panasyuk et al., 1996]. Руководителем этой программы, концепция которой была разработана в 70-х годах в НИИЯФ МГУ, был Э.Н. Сосновец. Для ее осуществления была разработана и создана специальная унифицированная патрульная аппаратура КДК-М, а затем ДИЭРА [Власова и др., 1999], которая с 1992 года и по настоящее время устанавливается на космические аппараты НПО ПМ, чтобы иметь информацию о реальной радиационной обстановке в магнитосфере Земли. Обо всем этом очень хорошо написал сам Эльмар в статье в сборнике, посвященном памяти С.Н. Вернова [Сосновец, 2004]. О своем вкладе в эти исследования он там умолчал, но мы знаем, что без него таких успехов достигнуто, скорее всего, не было бы.

Отметим, что по результатам своих исследований Э.Н. в 1987 году защитил докторскую диссертацию на тему: «Радиационный протонный пояс Земли и его основные источники».

Интерес Эльмара к проводимым исследованиям – одна из причин его успехов. Я помню то воодушевление, с которым Эльмар во время одной из последних наших встреч рассказывал о недавно обнаруженном эффекте. Речь шла о ситуации, когда в магнитосферу Земли прекращался доступ частиц солнечного ветра и магнитосфера сразу съеживалась, нейтральный плазменный слой уходил далеко в хвост магнитосферы и похоже, что магнито-

сфера из открытой становилась закрытой, т.е. большинство силовых линий становились замкнутыми. Потоки заряженных частиц при этом сильно уменьшались. Такая ситуация наблюдалась при больших положительных значениях Vz-компоненты межпланетного магнитного поля. Во время рассказа об этом явлении глаза Эльмара просто светились, чувствовался огромный энтузиазм и желание немедленно разобраться в ситуации, предпринять что-то невероятное...

Именно таким мне и запомнился Эльмар Николаевич Сосновец, и пусть таким он останется в памяти на долгие годы.

Литература

Вакулов П.В., Горюнов Н.Н., Логачев Ю.И., Сосновец Э.Н. Регистрация излучений при полетах советских искусственных спутников и космических ракет. *Геомагнетизм и аэронавигация*, 1961, т. 1, № 6, с.880-887.

Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В., Горчаков Е.В., Игнатьев П.П., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И., Любимов Г.П., Николаев А.Г., Охлопков В.П., Сосновец Э.Н., Терновская М.А. Исследование радиации на искусственном спутнике Земли «Космос-17». *Изв. АН СССР, сер. физич.*, 1964, т.28, № 12, с.2058-2074.

Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Иваненко И.П., Лебединский А.И., Мурзин В.С., Чудаков А.Е. Возможный механизм создания «земного корпускулярного излучения» под действием космических лучей. *Доклады АН СССР*, 1959, т. 124, № 5, с. 1022-1025.

Вернов С.Н., Вакулов П.В., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И., Сосновец Э.Н., Столповский В.Г. Граница внешнего радиационного пояса и зона неустойчивой радиации. *Геомагнетизм и аэронавигация*, 1967, т.7, № 3, с.417–422.

- Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И., Сосновец Э.Н., Столповский В.Г. Потоки частиц во внешнем геомагнитном поле. *Rev. of Geophys.*, 1969, v.7, № 1-2, p. 257-281
- Вернов С.Н., Иванова Т.А., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И., Лопатина Г.Б. Сосновец Э.Н. Изучение солнечных космических лучей одновременно вблизи Венеры и в магнитосфере Земли. *Геомагнетизм и аэронавигация*, 1972, т.13, № 1, с.164-166
- Иванова Т.А., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И., Сосновец Э.Н. Северо-южная асимметрия и анизотропия СКЛ во время вспышки 18 апреля 1972 г. *Космич. исслед.*, 1976, т.14, вып. 2, с.235-238.
- Panasyuk M.I., Sosnovets E.N., Grafodatsky O.S. First results and perspectives monitoring radiation belts. *Geophys. Monograph*, 1996, v. 97, p. 211-216.
- Власова Н.А., Горчаков Е.В., Иванова Т.А. и др. Система мониторинга радиационных условий в магнитосфере Земли на российских космических аппаратах связи, навигации, телевидения. *Космические исследования*, 1999, т. 37, № 3, с. 245 – 255.
- Сосновец Э.Н. С.Н.Вернов и развитие исследований по физике магнитосферы в НИИЯФ МГУ. В сб. «Академик С.Н.Вернов – ученый московского университета», Москва, УНЦ ДО, 2004, с. 46-64.



СОСНОВЕЦ – РУБИНШТЕЙН

И.А. Рубинштейн

С Эльмаром я познакомился 13 сентября 1960 года – в мой первый рабочий день в ОКЛ (так тогда называлась наша лаборатория). Он подошел ко мне и, в качестве руководителя, дал мне задание – изготовление сумматоров. Были такие устройства, позволявшие определять состояние 22-разрядных двоичных счетчиков. Первое впечатление возникло, что это юноша интеллигентного воспитания. Но вскоре выяснилось, что Эльмар совершенно не понимал иносказаний, был полностью лишен чувства юмора, терпеть не мог шутки и смех. Он был во всем страшно серьезен, совершенно не боялся любого труда, и эти два качества мобилизовали сотрудников на упорную многодневную работу. Наша тогдашняя жизнь состояла из перманентных авралов. Выпуск аппаратуры тогда основывался на непрерывном ручном труде. И Эльмар был неизменным участником всех авралов и никогда не уходил раньше других.

В 1968 году – году десятилетия ОКЛ, когда в лаборатории готовили самодеятельность для юбилейного вечера, Эльмар сменил гнев на милость и подготовил юмористический репортаж с рабочих мест всех сотрудников лаборатории.

Эльмар, получивший физическое образование, всегда с уважением относился к труду инженеров, поддерживал их во внедрении в аппаратуру новых разработок, старался, елико возможно, обеспечить их современными измерительными приборами. И если приборы, изготовлявшиеся в ОКЛ, совершенствовались от раза к разу, то в этом заслуга и Эльмара, который неизменно поддерживал разработчиков на советах лаборатории.

В предпусковых командировках на Байконуре Эльмар вел себя весьма компанейски: играл в футбол за «науку» против «КБ-эшников» (он был хорошим форвардом); по ночам резался в «преф», под который исчезали графины командировочного спирта, запиваемые томатным соком из трехлитровых банок, в изобилии продававшихся в те поры на полигоне. Но поутру всегда был бодр и свеж и готов к работе.

Эльмар собственноручно калибровал те блоки аппаратуры, которые делались по его замыслам. Огромную работу выполнил по обработке и осмыслению информации, полученной с четырех «Электронов», успешно защитил кандидатскую.

В 1968 году лаборатория разделилась: часть сотрудников (Логачев, Столповский) ушли на 3-ий этаж в ЛКФИ, а группы во главе с Любимовым, Горчаковым и Сосновцом остались в ОКЛ. Эльмар, в качестве руководителя группы, по-хозяйски относился к делам, занимался распределением работ, организовывал приобретение деталей и оборудования, направляя на эти цели имевшиеся средства; распределял редкие тогда премиальные, набирался организаторского опыта. В ту пору он уже начал более мягко относиться к сотрудникам, вникая в их особенности и бытовые сложности.

Примерно в это же время в нем проявились склонность и способность к строительству. С помощью одного подсобника он привел в жилой вид заброшенную дачу Таниных родителей в Абрамцево, а впоследствии возвел дом с печью на новом участке во Владимирской области. Его хобби стала покупка стройматериалов. Как позднее признавалась Татьяна, вся зарплата Эльмара уходила на кубометры досок, а жили они на Татьянину, которая была значительно меньше. Эльмар был крайне неприхотлив, одевался очень просто и дешево, довольствовался весьма скромной едой, особенно во время своих строительных дел.

В 1970 году лаборатория была преобразована в отдел, во главу которого был назначен Тверской Борис Аркадьевич, который, будучи большим ученым, с трудом разбирался в многочисленных производственно-хозяйственных сложностях отдела численностью около ста человек, выпускавшего довольно много аппаратуры. Его незаменимым помощником в этих делах стал Эльмар, который де-факто, а гораздо позднее и де-юре, осуществлял оперативное руководство отделом. Будучи вовлеченным во все отделские перипетии, которых было великое множество, Эльмар учился более снисходительно относиться к сотрудникам и старался поступать так, чтобы ни тот, ни другой не остались в обиде. Надо сказать, что в те поры среди сотрудников отдела было много «балласта», оставшегося от старых времен, когда НИИЯФ по уровню оплаты находился на уровне институтов первой категории. Толк от этих людей был не велик, а их претензии, зачастую, – большие. И Эльмару приходилось разбираться во всех конфликтных ситуациях, что стоило ему немало нервов и здоровья, так как в эти годы он уже принимал чужие заботы близко к сердцу.

Примерно в это же время углубились и упрочились мои личные взаимоотношения с Эльмаром. Мы стали подробно обсуждать будущие приборы, находя оптимальные сочетания того, что он хотел бы, и того, что я мог реализовать. У нас появились также общие темы для разговоров о том, где и что из строительных материалов можно купить. Они с Татьяной заезжали к нам на 43-ий км., и Эльмар привез в подарок прекрасную рассаду клубники. Я был у них в Абрамцево и помог ему в работе, так как он был после инфаркта.

Не всегда наша аппаратура работала успешно. Случались и неудачи. Да и телеметрическая информация не всегда была членораздельной. В этих ситуациях Эльмар всегда вел себя достой-

но, не бранился, не ругал разработчиков. Он старался и из той, часто труднообъяснимой информации извлечь что-то правдоподобное. Создавалось впечатление, что некая картина мироздания у него в голове есть. Это впечатление подкреплялось тем, что он всегда четко представлял, на какой орбите что и с какой подробностью надо мерить (т.е., что уже хорошо известно и может подтвердить работоспособность аппаратуры, а что нуждается в объяснении).

С Татьяной я познакомился и оценил ее гораздо позднее. В шестидесятые годы примой ОКЛ была Зоя Сохранова, а Татьяна, хотя работала уже довольно давно, была скромной и незаметной. Я даже не знаю, какую работу она тогда выполняла. И даже тогда, когда Эльмар начал посылать ее в качестве моей помощницы в командировки на испытания аппаратуры и в Омск и на Байконур, я Татьяной еще не проникся. Наше тесное сотрудничество началось тогда, когда Эльмар сделал ее ответственной за физические характеристики изготавливаемых приборов. Татьяна, у которой и без того было множество нагрузок, весьма ответственно и вездельно подошла к этой работе. По вечерам, когда она слегка освобождалась от других работ, мы садились за проверку детекторов: мерили спектры, определяя пороги, проверяли логику. Татьяна, будучи человеком сомневающимся, заставляла меня все перемерять по три раза. Все результаты она тщательно записывала (правда, потоком эти записи куда-то пропадали). Роль Татьяны кардинально возросла с уходом Эльмара. Не стало никого, с кем можно было бы посоветоваться. И Татьяне пришлось стать «поваром первой руки» в определении физических характеристик приборов. Она, по обыкновению, во всем сомневалась, и мне пришлось играть роль лица, всеми возможностями придающего ей уверенность. Так были разработаны приборы на «ГЛОНАСС», на «Метеор» и «Электро».

Тут я полностью оценил Танину ответственность, работоспособность и настойчивость. Жаль, что наше сотрудничество и возникшая прочная дружба оборвались так нелепо и безжалостно.

Вернемся к Эльмару. Его серьезное отношение к работе контрастировало с довольно легкомысленным отношением к своему здоровью. Привыкший в юности к абсолютному здоровью и трудоспособности, он и в зрелые годы эксплуатировал организм, как будто ему тридцать, а не за пятьдесят. Как-то он показал мне погреб, вырытый им самим в Абрамцево. Я был буквально потрясен: больше 15-ти кубометров тяжелой глины. Я спросил: «А Андрей помогал тебе?». «Да, иногда поднимал наверх полные ведра» – ответил Эльмар. Эльмар не умел и не любил лечиться. Ходить по врачам ему было тягостно. А врачи, в свою очередь, платили ему безразличием. Что и привело к трагической развязке.



Памяти Э. Н. Сосновца

А.С. Ковтюх

Э.Н. Сосновец был одним из первопроходцев в исследованиях радиационных поясов Земли на космических аппаратах, проводившихся в НИИЯФ МГУ в 1960-х годах под руководством С.Н. Вернова и А.Е. Чудакова, – вместе с П.В. Вакуловым, Е.В. Горчаковым, С.Н. Кузнецовым, Ю.И. Логачевым и В.Г. Столповским. В рамках этой обширной программы Э.Н. Сосновец исследовал структуру и динамику пояса протонов с энергиями от 0.1 до 110 МэВ и впервые построил практически полную (по энергии и L-оболочкам) картину высотного хода потоков протонного пояса по данным ИСЗ серии «Электрон». К важнейшим результатам, полученным Э.Н. Сосновцом в ходе этих работ, относится также представление протонного пояса как единой квазистационарной структуры (в отличие от электронных поясов) и экспериментальные подтверждения основных положений теории формирования поясов под действием внезапных импульсов.

В дальнейшем под руководством и при непосредственном участии Э.Н. Сосновца были созданы оригинальные и очень надежные приборы для измерений дифференциальных потоков электронов и ионов радиационных поясов и кольцевого тока на космических аппаратах. Впервые в отечественной практике для регистрации протонов на борту ИСЗ были использованы полупроводниковые детекторы, на основе которых в дальнейшем были созданы более совершенные ионные спектрометры для регистрации ионов кольцевого тока с массовыми числами от 1 до 16 и зарядовыми состояниями от +1 до +6 (ионов от водорода до кислорода) в диапазоне энергий ~40–130 кэВ/заряд.

Полученные по данным этих приборов результаты в значительной своей части были уникальны, а некоторые из них имели приоритетное для мировых исследований значение.

По данным измерений, проведенных этими приборами в экспериментах на ИСЗ серии «Молния» в 1970-1975 гг., Э.Н. Соновец и М.И. Панасюк установили, что дифференциальные спектры протонного пояса немонотонны – имеют максимум, который смещается к более высоким энергиям (от десятков к сотням кэВ) по мере перемещения ИСЗ от периферийных областей пояса к его сердцевине. Обнаружен эффект резонансного взаимодействия протонов с энергией от нескольких сотен кэВ до нескольких МэВ на внутренней кромке их пояса с волнами на дрейфовых частотах (совместно с М.И. Панасюком, Л.В. Тверской и О.В. Хорошевой). Установлены корреляционные зависимости в вариациях интенсивности, анизотропии потоков протонов и амплитуды периодических электромагнитных пульсаций типа Рс 1 («жемчужины»), подтвердившие гипотезу циклотронного резонансного механизма генерации таких пульсаций; определены минимальный уровень потоков протонов, при котором наблюдаются такие пульсации, энергетический диапазон протонов, отвечающих за генерацию «жемчужин», и локализация области их генерации в магнитосфере (совместно с А.С. Ковтюхом, М.И. Панасюком и Ф.З. Фейгиным).

В 1974-1975 гг. с помощью спектрометров протонов, установленных на ИСЗ серии «Молния», впервые в нашей стране были проведены измерения потоков захваченных протонов для наименее изученной в то время области энергий, от 30 кэВ до нескольких сотен кэВ, которая относится к важнейшей части кольцевого тока. На основании этих измерений была построена оригинальная физическая модель динамики КТ; пересмотрена широко дискутировавшаяся в 1970-х годах роль циклотронной

неустойчивости кольцевого тока на его внутренней кромке (совпадающей с плазмопаузой) и выделена значительно более важная в динамике кольцевого тока роль неустойчивости его внешней кромки; подтверждена важная роль магнитосферных электрических полей в конвективном переносе и ускорении ионов с $E < 250$ кэВ (совместно с А.С. Ковтюхом и М.И. Панасюком).

В 1977-1978 гг. с помощью протонного и электронного спектрометров, созданных под руководством Э.Н. Сосновца, проводились измерения в комплексном эксперименте "Овал" на ИСЗ «Космос-900». Изучались пространственно-энергетическая структура и временные вариации потоков протонов и электронов с энергиями в десятки-сотни кэВ на высоте 500 км над полярными сияниями и в субавроральной области магнитосферы. В этих работах были обнаружены и подробно изучены многие новые явления (совместно с Б.А. Тверским, М.И. Панасюком, А.В. Дроновым, Л.В. Тверской, О.В. Хорошевой, А.С. Ковтюхом и С.Я. Рейзман).

По данным ИСЗ «Молния» (1968-1975 гг.) и «Космос-900» (1977-1979 гг.) под руководство и при непосредственном активном участии Э.Н. Сосновца было изучено пространственное распределение потоков протонов с энергией 1–30 МэВ солнечных космических лучей и динамика низкоширотной границы области их проникновения в магнитосферу Земли во время магнитных бурь; показано, что эти частицы могут проникать в полярные шапки по геомагнитным линиям, перезаменяющимся с межпланетным магнитным полем (совместно с Т.А. Ивановой, Л.В. Тверской, С.Н. Кузнецовым, Ю.И. Логачевым и М.И. Панасюком).

С помощью уникальных спектрометров, установленных на геостационарных ИСЗ «Горизонт-21» (1985-1986 гг.) и «Горизонт-35» (1992 г.), под руководством М.И. Панасюка и Э.Н. Сосновца впервые в нашей стране были проведены подробные измерения

ионного состава кольцевого тока в диапазоне от 40 до 130 кэВ/заряд. По данным этих экспериментов детально изучена эволюция внешней части кольцевого тока в ряде геомагнитных бурь; установлено, что внешняя часть кольцевого тока более динамична по сравнению с его сердцевиной и пополняется частицами практически непрерывно; обнаружен ряд новых динамических эффектов, по-разному проявляющихся для ионов ионосферного и солнечного происхождения, и показано, что во время бурь различных типов и мощности в кольцевом токе могут доминировать как протоны, так и однозарядные ионы кислорода; установлено, что на геостационарной орбите спектры различных ионных компонент кольцевого тока имеют примерно одинаковую форму в представлении «энергия/заряд» с максимумом при 55 ± 5 кэВ/заряд (совместно с М.И. Панасюком, А.С. Ковтюхом, Н.А. Власовой и Г.Б. Мартыненко).

Под руководством Э.Н. Сосновца созданы эмпирические модели и Госстандарт для оценки радиационных условий в космическом пространстве; построены эмпирические модели ионов с энергией от 1 кэВ до 10 МэВ в районе геостационарной орбиты, которые имеют большое практическое значение, поскольку геостационарные спутники являются основным средством космической связи; разработаны методики и создана специальная аппаратура для мониторинга радиационных условий в магнитосфере Земли на борту российских спутников связи, навигации и телевидения «ГЛОНАСС», «Горизонт», «Экспресс» и «Галс» (совместно с Е.В. Горчаковым, И.В. Гецелевым и А.С. Ковтюхом).

Э.Н. Сосновец был важнейшим связующим звеном между разработчиками аппаратуры для ИСЗ и научными сотрудниками, занимающимися обработкой и анализом экспериментальных данных. Эта аппаратура создавалась большой группой инженеров, техников и механиков под непосредственным руководством

И.А. Рубинштейна и Ю.В. Кутузова. Основными разработчиками и создателями ионного спектрометра для ИСЗ «Горизонт-35» были Б.И. Савин и М.Ф. Горяинов. В последнее десятилетие большой вклад в разработку, настройку и испытание научной аппаратуры внесла Т.А. Иванова. Благодаря высокопрофессиональному труду этих людей, не жалевших для дела ни сил, ни самой жизни, и объединяющим усилиям Э.Н. Сосновца в кратчайшие сроки были созданы прекрасные приборы и проведены очень важные эксперименты в космосе.

Автор этой заметки хранит очень теплые и яркие воспоминания об Э.Н. Сосновце, которые, к сожалению, с трудом поддаются словесному выражению. Представленный Э.Н. Сосновцу в 1971 г., студентом 4-го курса физфака МГУ, я сразу, с первых минут нашего собеседования, – по увлеченности, любви к своему делу и очень доброжелательному отношению, – почувствовал к нему уважение и симпатию как к ученому и человеку. Со временем это первое впечатление только усиливалось и переросло в прочную привязанность и дружбу. На протяжении всех лет, до самой его кончины, я был в тесном, непрерывном контакте с Э.Н., как творческом, так и дружеском – он был в курсе всех моих научных и жизненных проблем и всегда, словом и делом, старался помочь. После меня у Э.Н. были и другие ученики, да и все сотрудники лаборатории и многие сотрудники отдела в той или иной мере могут считаться его учениками, и ко всем он относился так же душевно и с полной отдачей. За это его очень любили.

Вскоре после нашей первой беседы Э.Н. закрепил меня за М.И. Панасюком, но долгие годы, пока я сам не оперился, Э.Н. был для меня мудрым наставником. Работы, в которых я принимал участие или делал самостоятельно, обязательно обсуждались с Э.Н. И эти обсуждения, а иногда и бурные дискуссии, всегда были очень полезны и плодотворны. Когда мы стоим у гра-

ниц познания и впереди только туманная дымка, такие коллективные обсуждения ничем не заменимы, они как бы высекают искру понимания, прозрения, и дают огромный импульс к работе.

Особенно сильно вдохновляло то, что к моей мальчишеской работе, незрелым ещё идеям и методикам, Э.Н. относился с большим вниманием и деликатностью, поднимая меня в собственных глазах (так же относились к молодым коллегам Б.А. Тверской и М.И. Панасюк – конечно, они влияли в этом, как и во многом другом, друг на друга). Что может быть важнее такого отношения, повседневной заботы для становления молодого ученого? И как это оценить и измерить? Остается только низко поклониться.

В дальнейшем я видел разное, обычно более строгое, более отстраненное отношение научных руководителей к своим подопечным, убеждаясь в уникальности даже для физфака и НИИЯФ, славных своими демократическими традициями и замечательными творческими коллективами, той доброжелательной творческой атмосферы, которая сложилась вокруг Э.Н. В огромной степени это повлияло и на мои отношения с учениками, но приблизиться к этому идеалу я не смог, как ни старался. Э.Н. мечтал читать лекции студентам, говорил – когда состарюсь, хочу поработать на кафедре – тянуло его к этому. Не получилось – ушел от нас молодым.

Э.Н. был всегда огромным энтузиастом космической науки – это начало, видимо, шло от С.Н. Вернова. Был всегда патриотом Отдела, Института и Отечества. Горел и жил этим. Был в нём какой-то очень благородный и очень сильный спортивный азарт, как у капитана сплочённой сборной команды, воля к большим достижениям, победам, и не личным, а именно коллективным.

Он был открытым, веселым человеком, любил работать и радоваться от души.

Всегда рядом с Э.Н. была Т.А. Иванова – его верная подруга, жена, помощница во всех делах. И первой в отделе Э.Н. представил меня ей – милой, бесконечно скромной и душевной женщине, неутомимой труженице. Они очень хорошо дополняли друг друга и были неразлучны. Так они и ушли почти одновременно друг за другом. Вечная им благодарная память.



У истоков глобального мониторинга радиации в околоземном космическом пространстве

Л.В. Тверская

С Эльмаром Николаевичем Сосновцом и его женой Татьяной Андреевной Ивановой я познакомилась вскоре после прихода на работу в НИИЯФ в 1962 году. Они работали в ОКЛ (опытно-конструкторская лаборатория), где была создана первая аппаратура для регистрации заряженных частиц, с помощью которой и был открыт внешний радиационный пояс Земли. Сосновец окончил физфак МГУ в 1959 году. При создании аппаратуры спутников *Электрон* (запущен в 1964 г.) он был уже одним из основных экспериментаторов. В 1966 году вышла его персональная статья по анализу распределения протонов в радиационных поясах Земли [Сосновец, 1966]. Со слов моего мужа, Тверского Бориса Аркадьевича, я знаю как часто и подолгу он работал с Эльмаром, обсуждая данные *Электронов*. Они были одного возраста (Сосновец всего лишь на 1 год старше Тверского) и быстро стали друзьями—единомышленниками. В 1963–65 годах Тверской разработал теорию формирования радиационных поясов Земли при диффузии под действием внезапных импульсов. [Тверской, 2004, с. 1]*. Спутники *Электрон* работали в период минимума солнечной активности, когда не было сильных магнитных бурь и возрасаний солнечных протонов, поэтому данные по стационарному распределению протонов в магнитосфере Земли очень подходили для сравнения с теорией. Именно данные *Электронов* уже в

* В дальнейшем для краткости при ссылках на работы Тверского буду давать одну ссылку на сборник его избранных трудов «Основы теоретической космофизики» с указанием страницы начала статьи.

те годы подтвердили правильность теории Тверского, которая стала классической. На основе теории Тверским было предсказано распределение альфа-частиц и других ионов в поясе. Это предсказание подтвердилось в 70-е годы, когда распределение ионов было измерено вблизи экваториальной плоскости на ИСЗ *Explorer-45* и *Молния-1*. Американские исследователи Фритц и Спелдвик показали, что более поздние теоретические расчеты других авторов расходятся с экспериментом. При сравнении своих расчетов с данными *Электрона* Тверской сделал еще одно предсказание, которое подтвердилось через ~ 30 лет. Максимумы интенсивности протонов, измеренных на ИСЗ *Электрон*, совпали с расчетными, если предположить такое распределение плотности холодной плазмы в плоскости экватора: она составляет $\sim 10^3 \text{ см}^{-3}$ и постоянна в пределах фактора 2 на L -оболочках от ~ 1.5 до ~ 3.5 . Интересно отметить, что все последующие расчеты разных авторов проводились в предположении, что плотность холодной плазмы в плазмосфере падает как четвертая степень L (L -параметр Мак-Илвайна). Такое распределение наблюдается в ионосфере. И только недавно анализ более чем годового массива экваториальных данных ИСЗ *CRRES* показал, что "best fit" к эксперименту дает именно распределение плотности холодной плазмы, предсказанное Тверским. Таким образом, эксперимент на ИСЗ *Электрон* внес весомый вклад в обоснование теории протонного пояса. Как видно из рис. 1 [Кузнецов и Тверская] максимумы интенсивности протонов по данным ИСЗ *Электрон* практически совпадают с данными последнего варианта американской модели AP-8.

До 1969 года я работала в лаборатории И.А. Савенко, занимаясь анализом данных низковысотных ИСЗ. В 1964 году был запущен ИСЗ *Космос 41*, который имел орбиту будущей *Молнии*. М.В. Тельцов, основной экспериментатор аппаратуры, привлек

меня к анализу данных. Я, конечно, очень обрадовалась возможности поработать с данными измерений на больших высотах. И мы опубликовали статью. Однако следующий эксперимент на этой орбите был передан в ОКЛ Сосновцу. Передо мной был выбор: продолжать работу с ИСЗ *Космос* или перейти к Сосновцу. Колебаний не было, и я стала руководить обработкой данных измерений в группе Сосновца. В 1970 году, когда из-за перехода части ведущих сотрудников ОКЛ в отдел И.А. Савенко возникла угроза распада ОКЛ, Вернов предложил Тверскому объединить его теоретическую лабораторию, оставшуюся часть ОКЛ и дозиметрическую группу М.В. Тельцова. Так был создан отдел теоретической и прикладной космофизики ОТПКФ. В структуре отдела была сформирована лаборатория физики магнитосферы во главе с Э.Н. Сосновцом.

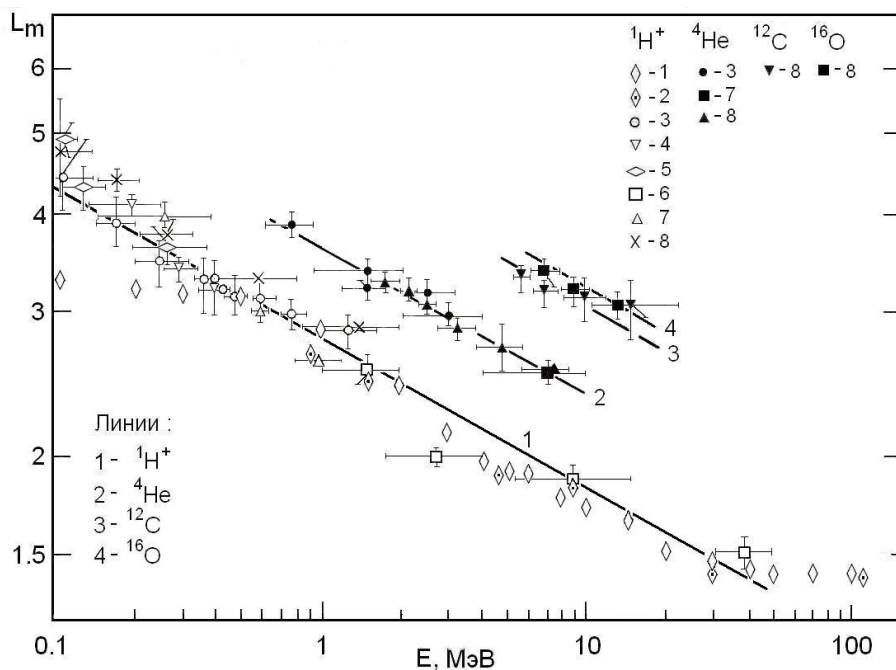


Рис. 1. Зависимость положения максимума радиационных поясов протонов, ионов *He*, *C* и *O* от энергии. 1 – модель AP-8; 2 – «Электрон-1 – 4»; 3 – «Explorer-45»; 4 – «Молния-1» (1970); 5 – «Молния-1» (1974); 6 – «Молния-2» (1974); 7 – «Молния-2» (1975); 8 – ISEE-1; прямые линии – расчет по теории Тверского.

Визит С.Н. Вернова в Красноярск к Главному конструктору НПО ПМ М.Ф. Решетневу (1967 г.) дал старт сотрудничеству НИИ-ЯФ МГУ и НПО ПМ. Конструкторам космических аппаратов необходимы были сведения об ионизирующих излучениях на орбитах, которые, как уже было установлено к тому времени, весьма агрессивно воздействуют на элементы космических аппаратов. А НИИЯФ был заинтересован в исследовании этих излучений с научной точки зрения. Специализированных научных ИСЗ для исследования магнитосферы у нас не было, первый и единственный был запущен в 1977 году (*Космос-900*). В ведении Сосновца оказались ИСЗ серии *Космос* и *Молния*, и несколько позже – ИСЗ *ГЛОНАСС*, а также геостационарные ИСЗ *ГАЛС*, *Горизонт*, *Экспресс*.

На рис. 2 представлена схема траекторий системы КА, созданных в НПО ПМ (ныне ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Р. Решетнева), на которых устанавливалась наша аппаратура.

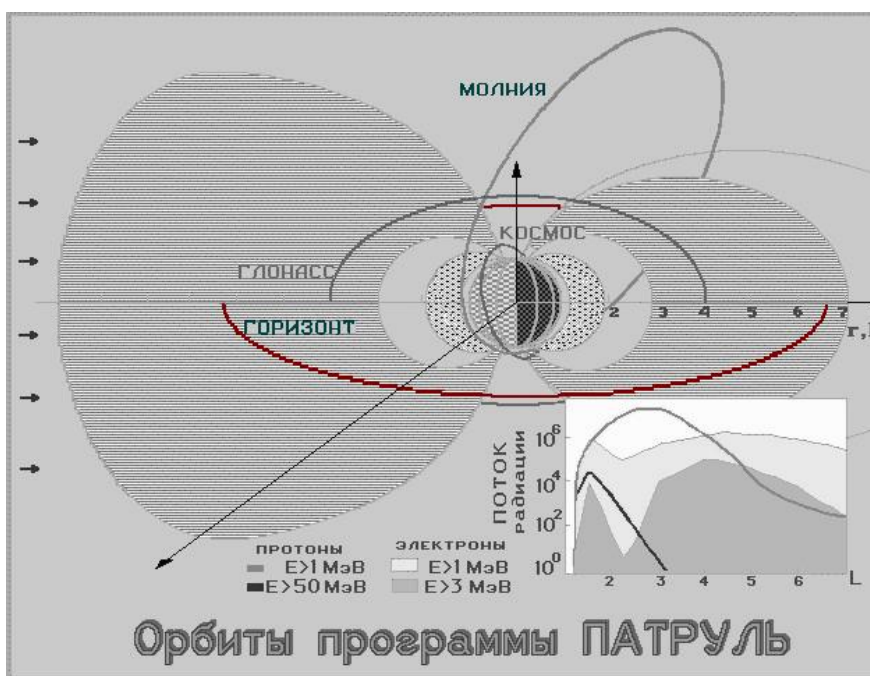


Рис. 2. Схема траекторий космических аппаратов серий «Космос», «Горизонт», «ГЛОНАСС» и «Молния», созданных в НПО ПМ.

Все эти спутники не предназначались для научных целей, требования заказчиков по габаритам, энергопотреблению и телеметрии были довольно жесткими. В лаборатории были разработаны унифицированные экономичные комплекты аппаратуры для спутников с разными орбитами. В то же время при малейшей возможности разрабатывались и устанавливались на борт и прецизионные приборы, в частности, для измерения ионного состава кольцевого тока, авроральных электронов и протонов, ультра-релятивистских электронов.

Измерения на больших высотах

Первый комплект аппаратуры, разработанный под руководством Сосновца для ИСЗ *Молния-1*, был запущен в 1968 году. Орбита *Молнии* (апогей ~ 40 тыс. км., перигей ~ 500 км., наклонение $\sim 65^\circ$) крайне благоприятна для исследований динамики радиационных поясов, т.к. пересекает на больших высотах как внешний, так и внутренний пояса. Измерения заряженных частиц на ИСЗ *Молния* и других аппаратах НПО ПМ позволили получить много интересных результатов. Я напишу о наиболее заметных, полученных в лаборатории Э.Н. Сосновца с моим участием.

Во время первой же сильной бури в ноябре 1968 года ($Dst \sim 220$ нТл) электроны с энергиями в сотни кэВ инжектировались в зазор между внешним и внутренним поясами ($L \sim 3$) [Вернов и др., 1970]

На рис. 3 приведены радиальные профили интенсивности электронов с $E_e > 250$ кэВ в спокойных условиях (кривая 1), в процессе развития бури (кривые 2 и 3) и через две недели после бури (кривая 4).

Этот эффект ранее был обнаружен Пфитцером и Винклером. Однако не получил объяснения. Наше преимущество было в том, что в 1969 году Б.А. Тверской уже открыл теоретически эффект магнитно-ионосферного взаимодействия и оценил величи-

ны электрических полей, возникающих в магнитосфере во время суббури [Тверской, 2004, с. 173,178]. Мы провели сначала оценки [Вернов и др., 1970], а потом и расчет дрейфа частиц по простейшей модели электрического поля суббури [Бондарева и Тверская, 1973]. Так была определена природа ускоряемых во время суббури частиц с энергиями в десятки-первые сотни кэВ. Позднее такие электроны были названы «seed» - популяцией. Для объяснения возрастных высокоэнергичных электронов мы использовали разработанный Тверским механизм захвата и ускорения частиц в процессе втягивания силовых линий геомагнитного хвоста в область захваченной радиации с дополнительным ускорением на фазе восстановления бури при распаде кольцевого тока [Тверской, 2004, с. 11, 154, 244].

По данным ИСЗ *Молния-1* впервые были обнаружены одновременные возрастания электронов и протонов в десятки кэВ – 1 МэВ на «хвостовых» силовых линиях, коррелирующие с приходом центра западной электроструи на соответствующую L – оболочку [Кузнецов и др., 1972]. Из других приоритетных резуль-

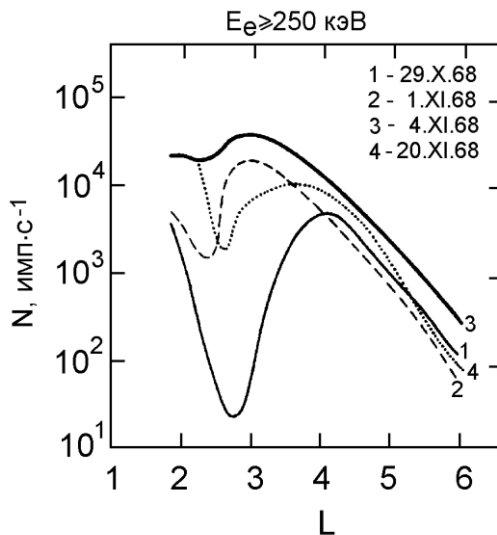


Рис. 3. Инжекция в область внешнего радиационного пояса электронов с энергией ≥ 250 кэВ в результате магнитной бури по данным ИСЗ «МОЛНИЯ-1».

татов следует отметить обнаружение и интерпретацию резонансного ускорения протонов радиационного пояса с энергиями в десятки – сотни кэВ [Вернов и др., 1972], а также возрастных протонов таких энергий в полярном каспе в отсутствие соответствующих потоков в межпланетной среде [Ковальская и др., 1976]. Эффект «каспового фонтана» ионов был обнаружен только в 90-х годах на ИСЗ *Polar*. Наконец, по данным ИСЗ *Молния-1* был исследован первый случай быстрой (на масштабе одной сильной суббури) инъекции релятивистских электронов в зазор между поясами [Тверская, 1998].

Эльмар Николаевич был очень открытым человеком, и эта открытость распространялась и на бескорыстное предоставление данных своего прибора другим исследователям, даже если затем выходила первая публикация по прибору. Когда В.Д. Ильиным была построена теория неадиабатических вариаций протонов в магнитной ловушке, Сергей Николаевич Кузнецов для демонстрации этого эффекта в применении к магнитосфере попросил у Сосновца данные *Молнии-1* по сильной магнитной буре в ноябре 1968 года. Так была выполнена Ильиным и Кузнецовым очень важная для динамики протонного пояса работа, в которой было показано хорошее соответствие теоретических расчетов и эксперимента [Ильин и Кузнецов, 1975].

Узнав, что Ю.В. Минеевым (сотрудник ОКФИ) разработан хороший дифференциальный спектрометр энергичных электронов, Сосновец немедленно пригласил Минеева к сотрудничеству, и спектрометр был установлен на одном из ИСЗ *Молния*. Мне довелось обрабатывать данные этих измерений. Здесь нам очень повезло. Хотя количество каналов измерений было невелико, но их удачный выбор позволил обнаружить максимум в дифференциальном спектре электронов внешнего пояса в районе нескольких сот кэВ – 1 МэВ [Вакулов и др., 1975]. Наши результаты были

опубликованы в 1975 году, а американские на ту же тему – только в 1981. На основе измерений дифференциального спектрометра на *Молнии-1* впервые была продемонстрирована быстрая диффузия электронов с энергией ~ 1 МэВ во внутренний пояс (вплоть до $L \sim 1.7$ в экваториальной плоскости) во время магнитных бурь [Vakulov et al., 1976]. Эльмар Николаевич не только не препятствовал участию своих сотрудников в анализе данных «чужого» спектрометра, но и живо интересовался результатами, поддерживая их при обсуждении, и был рад, что в НИИЯФ получен очередной приоритетный результат по радиационным поясам. Скажу честно, если бы не поддержка Тверского и Сосновца, мы бы не решились на обнародование «максимума». Уж очень много было подозрений на «аппаратурный» эффект. По-видимому, у американских авторов не было такой поддержки, и

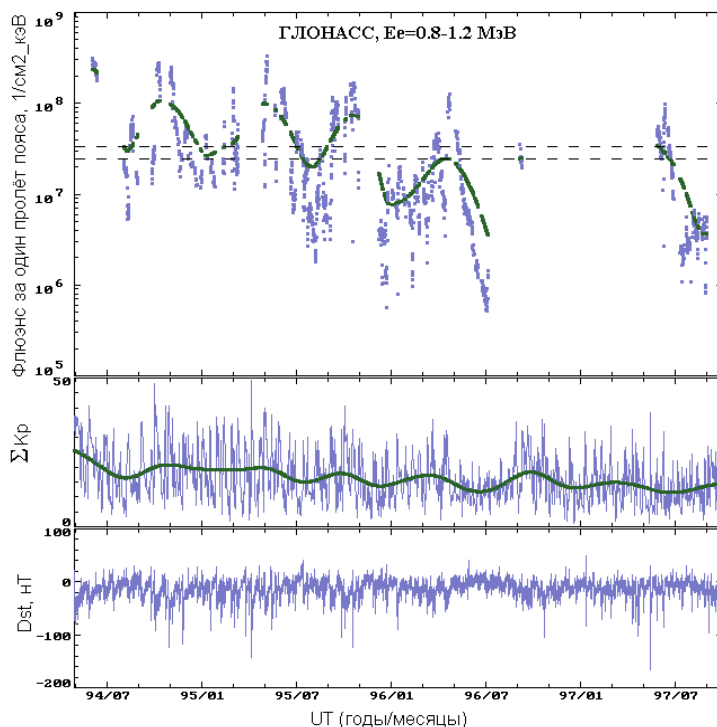


Рис. 4. Временной ход проинтегрированных за пролет спутника «ГЛОНАСС» через радиационный пояс потоков электронов с $E_e=0.8 - 1.2$ МэВ (флюенсов); суточный Kp-индекс и Dst-вариация.

они результаты анализа своих измерений 1968 года опубликовали лишь в 1981 году.

Орбита ИСЗ *ГЛОНАСС* (круговая на высоте ~ 20 тыс. км, наклонение $\sim 65^\circ$) пересекает сердцевину внешнего пояса ($L \sim 4$) вблизи экваториальной плоскости. Она очень благоприятна для исследования внешнего пояса электронов в условиях умеренной и слабой возмущенности. При сильных бурях электроны инжектируются в более глубокие области магнитосферы.

По данным измерений вблизи минимума 22 цикла солнечной активности (1994-1996 гг) нами были впервые обнаружены сезонные вариации потоков релятивистских электронов во внешнем радиационном поясе.

Это хорошо видно из рис. 4: потоки выше весной и осенью. Этот результат я докладывала в 1997 году на международном семинаре по радиационным поясам, который проходил у нас в МГУ [Иванова и др., 1997]. В 1999 году вышла работа американцев о сезонных вариациях по данным измерений электронов на *SAMPEx*, конечно без ссылки на наш результат. В «Геомagnetизм и Аэрoномия» наша статья опубликована в январе 2000 года [Иванова и др., 2000].

Орбиты геостационарных ИСЗ пересекают ограниченную периферийную часть радиационных поясов ($L \sim 6.6$), зато позволяют с хорошим временным разрешением исследовать вариации потоков частиц на коротких временных масштабах. В принципе, имевшиеся в нашем распоряжении все 3 типа орбит являются идеальной связкой для исследования вариаций радиационных поясов. Но, увы, информация была крайне нерегулярна, отрывочна, и, как правило, не всегда удавалось «стыковать» данные разных ИСЗ без больших «провалов» в информации. И все же, благодаря большому массиву данных, нам удалось получить интересные результаты по сопоставлению инъекций электронов в

глубинные и периферийные области магнитосферы, а также обосновать связь между возрастанием потоков релятивистских электронов на геостационарной орбите с суммой суббуревых возмущений на фазе восстановления бури [Tverskaya et al., 2005].

Измерения на низковысотных полярных спутниках

Единственным научным спутником для магнитосферных исследований в нашем отделе был *Космос–900*, запущенный в 1977 году. Руководителем всего проекта был Б.А. Тверской, аппаратура разрабатывалась в нашем отделе и в лаборатории К.И. Грингауза (ИКИ АН СССР). Вся электроника выполнялась в лаборатории Э.Н. Сосновца. По данным этого эксперимента было получено много интересных научных результатов по исследованию холодной плазмы, радиационных поясов, их взаимосвязи и зависимости от геомагнитных возмущений. Ниже я напишу о результатах по исследованию особенностей проникновения солнечных космических лучей в магнитосферу Земли. Прежде всего, хочу отметить уникальные исследования вариаций электронов радиационных поясов с энергией >15 МэВ во время магнитных бурь, проведенные группой исследователей во главе с уже ушедшим от нас Е.В. Горчаковым [Горчаков и др., 1985]. Я не была соавтором этих работ, однако факт инъекции электронов с $E_e > 15$ МэВ во время бурь на те же L-оболочки, что и электронов внешнего пояса с энергией ~ 1 МэВ придал мне уверенности в намерении построить эмпирическую зависимость положения максимума пояса инжектированных во время бурь релятивистских электронов от амплитуды магнитной бури: $|Dst|_{\max} = 2.75 \cdot 10^4 / L^4_{\max}$ [Тверская, 1986]. Эльмар Николаевич сразу высоко оценил этот результат, активно его пропагандировал, а в своих воспоминаниях о С.Н. Вернове отнес его к достижениям космофизической школы Вернова. Наверное, он был прав. По крайней мере, американцы включили его в программу по космической погоде «Liv-

ing with a Star». За прошедшие годы эта зависимость подтверждена многочисленными измерениями на советских, российских и американских ИСЗ.

Отмечу еще один результат эксперимента на ИСЗ *Космос-900*, который в советское время мог быть включен в государственный реестр открытий. Это – обнаружение свечения в линии 3914 А° вблизи геомагнитного экватора [Тверская и Тулупов, 1984]. В настоящее время эта тема очень популярна, собираются даже специальные симпозиумы.

Э.Н. Сосновца можно смело назвать пионером спутниковых исследований в нашей стране особенностей проникновения солнечных космических лучей в магнитосферу. Он обнаружил асимметричное проникновение солнечных протонов с энергией ~1 МэВ в полярные шапки во время солнечной вспышки 18.04.72 года по данным ИСЗ *Космос-480* [Дарчиева и др., 1973] (рис. 5).

С этого события наша группа начала заниматься динамикой границ проникновения СКЛ в магнитосферу. Через несколько лет к ней присоединился С.Н. Кузнецов с данными *Интеркосмоса-17*,

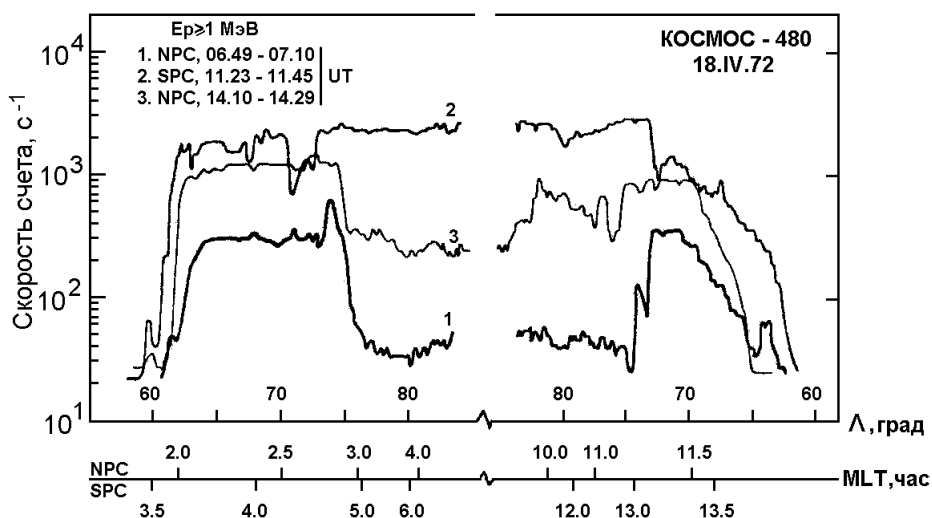


Рис. 5 Распределение интенсивности протонов СКЛ с энергией E_p=1-5 МэВ во время вспышки 18.04.1972г. над северной и южной полярными областями.

а позднее – Ю.В. Минеев с данными *Интеркосмоса-19*. Набрался большой массив данных по солнечным протонам с нескольких полярных ИСЗ. Благодаря одновременным измерениям впервые удалось построить распределение на разных местных временах за время одного возрастания СКЛ, происходящего в спокойных геомагнитных условиях [Бирюков и др., 1983]. Ранее такое распределение «набиралось» из разных событий в условиях малых Кр-индексов. С.Н. Кузнецов курировал направление по построению различных эмпирических зависимостей границ проникновения СКЛ от стандартных индексов Dst и AE, а также от параметров межпланетной среды. Были подобраны комбинации и даже выпущен государственный стандарт. Наша группа продолжила исследования взаимосвязей структур областей проникновения СКЛ с другими магнитосферными плазменными доменами и их вариациями в процессе развития мировых магнитных бурь и отдельных суббурь. Приближение к Земле границ проникновения во время магнитных бурь обусловлено изменением конфигурации магнитного поля, кольцевым током. Имея одновременные данные с различных ИСЗ, мы смогли впервые построить мгновенную картину распределения границ проникновения солнечных протонов на разных местных временах во время сильной магнитной бури. Таким образом, была отслежена эволюция искажения магнитного поля кольцевым током. До сих пор этот результат, как принято говорить, «не имеет аналогов». В большинстве работ вариации границ исследуются по данным одного спутника, которые могут представлять лишь два узких интервала местного времени.

На рис. 6 представлен наш результат для бури 3-4 апреля 1979 года [Сосновец и Тверская, 1986].

В настоящее время наши возможности по мониторингу околоземного пространства значительно сузились. Нет нашей

аппаратуры на ИСЗ серии *Молния*. Это, конечно, большая потеря. Однако функционируют наши датчики на ИСЗ *ГЛОНАСС* и уже есть интересные результаты. Нынешний минимум солнечной активности оказался очень затянутым. В таких условиях данные ИСЗ *ГЛОНАСС* наилучшим образом отражают состояние внешнего радиационного пояса. Так что мы надеемся существенно откорректировать существующие модели радиации для этой орбиты. Сотрудники нашей лаборатории создали предложенную Э.Н. Сосновцом аппаратуру для первого студенческого спутника *Университетский – Татьяна* и продолжают работу над будущими проектами.

Не скрою, мне было непросто писать сейчас воспоминания об Э.Н. Сосновце: еще слишком свежа душевная рана, нанесенная уходом из жизни Татьяны Андреевны Ивановой, жены Сосновца. Она была мне самым близким человеком на работе. На-

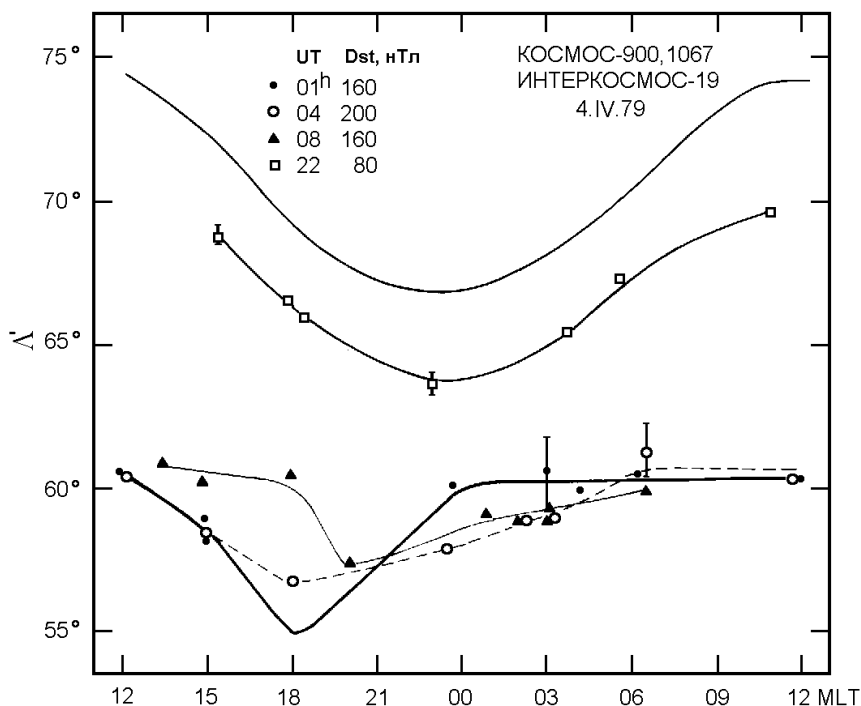


Рис. 6 Зависимость широты границы проникновения солнечных протонов с $E_p \geq 1$ МэВ от местного времени во время магнитной бури 3-4.04.1979г.

ше тесное сотрудничество началось в конце 70-х годов, когда я стала руководителем (совместно с С.Н. Кузнецовым) её диссертационной работы по проникновению солнечных космических лучей в магнитосферу. В те времена преследовалась «семейственность» на работе, и Таня числилась в другой лаборатории. Но она, как жена зам. зав. отделом, имела только одну привилегию: работать больше других, не считаясь с субботами и воскресеньями. Таня любила экспериментальную работу и, насколько я знаю со слов руководителя экспериментальной группы И.А. Рубинштейна, её вклад в разработку и изготовление аппаратуры трудно переоценить. Отличительной её особенностью было стремление и умение овладевать новыми экспериментальными методами и, конечно, компьютерными технологиями для обработки данных измерений. Участие Тани в наших совместных работах было очень весомым. Несмотря на все мои усилия, мне не удалось уговорить её выступать на семинарах (в этом отношении Таня себя очень недооценивала). Однако при конкретной работе над статьями в отстаивании своей точки зрения она проявляла завидную последовательность и упорство. Я потеряла незаменимого соавтора.

Внешне Эльмар и Татьяна были красивой парой. Их брак был очень гармоничным. Таня была верной помощницей Эльмара во всех его увлечениях: матросом на яхте, шофером автомобиля, селекционером на приусадебных грядках. К тому же она была сверхзаботливой матерью и бабушкой.

В отделе оба были, что называется, «душой общества». По инициативе Эльмара и активной поддержке Тани собирались наши знаменитые отделские «посиделки» с пением любимых народных, студенческо-туристических и лирических советских песен. Эльмар был очень музыкален, обладал приятным тенором. Мы часто с ним пели на 2 голоса как на наших отделских

вечерах, так и на банкетах международных конференций. Он прекрасно владел фортепиано и, как оказалось, и струнными. О его увлечении балалайкой я узнала случайно, когда рассказала Тане, что мой внук – первоклассник начал учиться игре на балалайке. Она немедленно предложила использовать балалайку Эльмара.

Таня была неистощимой на выдумки, если надо было кому-то выбрать подарок, всегда участвовала с нетривиальными идеями в составлении юбилейных адресов. В свое время, когда к юбилею МГУ издавались избранные труды моего мужа, она предложила опубликовать одну из неоконченных его работ в виде факсимиле. Это очень украсило издание.

Мы все, сотрудники группы обработки, неоднократно наблюдали, как Таня первой бросалась на помощь даже малознакомым людям, например, одинокой старой соседке по даче, не говоря уже о более близких людях и сотрудниках отдела.

Светлые образы Эльмара и Тани, людей огромной душевной щедрости, навсегда запечатлены в моем сердце.

Литература

Сосновец Э.Н. Регистрация протонов малых энергий на спутниках серии «Электрон». *Изв. АН СССР, сер. физич., № 11, С 1820-1824, 1966.*

Тверской Б.А. Основы теоретической космофизики. М., «Едиториал УРСС», 2004.

Кузнецов С.Н., Тверская Л.В. Радиационные пояса. Модели Космоса, М., изд-во КДУ, Т. 1, С. 528.

Вернов С.Н., Иванова Т.А., Сосновец Э.Н., Тверская Л.В., Федорова Г.В., Хорошева О.В. Инжекция энергичных электронов во внутренние области магнитосферы во время магнитной бури 29.10-04.11.1968г. *Изв. АН СССР, сер. физич., Т. 34, С. 2270-2274, 1970.*

- Бондарева Т.Б., Тверская Л.В. О дрейфе частиц радиационных поясов во время суббурь. *Геомагнетизм и Аэрномия*, т. 13, С. 723-728, 1973.
- Кузнецов С.Н., Сосновец Э.Н., Тверская Л.В., Тельцов М.В., Хорошева О.В. Ускорение электронов и протонов во внешних областях магнитосферы во время суббурь. *Геомагнетизм и Аэрномия*, Т. 12, С. 1113-1115, 1972.
- Вернов С.Н., Панасюк М.И., Сосновец Э.Н., Тверская Л.В., Хорошева О.В. Резонансное ускорение малоэнергичных протонов в радиационном поле Земли. *Геомагнетизм и Аэрномия*, Т. 12, С. 785-789, 1972.
- Ковальская И.Я., Панасюк М.И., Рюмин С.П., Сосновец Э.Н., Столбоушкин С.К., Тверская Л.В., Хорошева О.В. Динамика полярного каспа по данным об электронах с $E_e > 40$ кэВ, и протонов с $E_p > 65$ кэВ. *Геомагнетизм и Аэрномия*, Т. 16, С. 134-137, 1976.
- Тверская Л.В. Диагностика магнитосферных процессов по данным о релятивистских электронах радиационных поясов. *Геомагнетизм и Аэрномия*, Т. 38, С. 22-32, 1998.
- Ильин В.Д., Кузнецов С.Н. Неадиабатические эффекты движения частиц в статическом дипольном поле и переменных во времени полях. VII Ленинградский Международный семинар, Л., С. 269-278, 1975.
- Вакулов П.В., Коврыгина Л.М., Минеев Ю.В., Тверская Л.В. Динамика внешнего пояса энергичных электронов во время умеренной магнитной бури. *Геомагнетизм и Аэрномия*, Т. 15, С. 1028-1032, 1975.
- Vakulov P.V., Kavrygina L.M., Mineev Yu.V., Tverskaya L.V. "Variations in intensity and spectrum of energetic electrons in earth radiation belts during strong magnetic disturbances." *Space Res.* XVI, P 529-533, 1976.

- Ivanova T.A., Pavlov N.N., Sosnovets E.N., Tverskaya L.V. Dynamics of outer belt relativistic electrons in a solar activity minimum. In "Space Radiation Belt Modeling: New Phenomena and Approaches", Schedule, Program and Abstracts, P.140, 1997.
- Иванова Т.А., Павлов Н.Н., Рейзман С.Я., Рубинштейн И.А., Сосновец Э.Н., Тверская Л.В. Динамика внешнего радиационного пояса релятивистских электронов в минимуме солнечной активности. *Геомагнетизм и Аэронаука*, Т. 40, № 1, С. 15-18, 2000.
- Tverskaya L.V., Ivanova T.A., Pavlov N.N., Reizman S.Ya., Rubinstein I.A., Sosnovets E.N., Vedenkin N.N. Storm-time of a relativistic electron belt and some relevant phenomena in other magnetospheric plasma domains. *Adv. Space Res.* V. 36. № 4. P. 2392-2400. 2005.
- Горчаков Е.В., Иозенас В.А., Терновская М.В. Игнатьев П.П., Афанасьев В.Г., Афанасьев С.Г. Инжекция жестких электронов во внешний радиационный пояс во время магнитных бурь. *Геомагнетизм и Аэронаука*, Т. 25, С. 738-741, 1985.
- Тверская Л.В. О границе инжекции электронов в магнитосферу. *Геомагнетизм и Аэронаука*, Т. 26, № 5, С. 864-865, 1986.
- Тверская Л.В., Тулупов В.И. Наблюдение на высоте 500 км свечение атмосферы в полосе около 3914 А° в низкоширотных областях. *Геомагнетизм и Аэронаука*, Т. 24, С. 695-697, 1984.
- Дарчиева Л.А., Иванова Т.А., Сосновец Э.Н., Тверская Л.В. О структурных и динамических особенностях проникновения солнечных космических лучей в полярные области. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, Т. 37, № 6, С. 313, 1973.
- Бирюков А.С., Иванова Т.А., Коврыгина Л.М., Кузнецов С.Н., Сосновец Э.Н., Тверская Л.В., Кудела К. Граница проникновения СКЛ в магнитосферу Земли в магнитоспокойное время. *Космич. Исслед.* Т. 21, С. 897, 1983.

Сосновец Э.Н., Тверская Л.В. Динамика кольцевого тока по данным прямых измерений и по данным о солнечных космических лучах в магнитосфере. *Геомагнетизм и Аэрономия*, Т. 26, С. 107-113, 1986.



Роль Э.Н. Сосновца в изучении электризации космических аппаратов

Л.С. Новиков

Наше сотрудничество с Э.Н. Сосновцом началось в середине 1960-х годов. Я тогда, будучи еще совсем молодым специалистом, работал в руководимой С.С. Васильевым Лаборатории ядерных реакций в научной группе А.Ф. Тулинова и занимался, в частности, вопросами повышения энергетического разрешения полупроводниковых детекторов, которые только начинали использоваться в физических экспериментах. Для изготовления таких детекторов у нас была создана небольшая технологическая группа. В мои же функции входили исследования характеристик детекторов и используемых с ними зарядочувствительных усилителей. Очень скоро к услугам технологической группы стали прибегать и космофизики. Эльмар Николаевич был одним из пионеров применения полупроводниковых детекторов в спутниковой научной аппаратуре.

К тому же времени относится начало моего сотрудничества со специалистами Института прикладной геофизики и Центральной аэрологической обсерватории, занимавшимися подготовкой экспериментов по измерению потоков заряженных частиц в верхней атмосфере Земли и параметров самой атмосферы с помощью метеорологических ракет МР-12 и М-100, способных достигать высот 180 и 90 км соответственно. Со стороны ИПГ и ЦАО координаторами работ являлись Г.Ф. Тулинов и В.М. Фейгин, которые и сейчас продолжают активно сотрудничать с НИИЯФ МГУ. Мы с энтузиазмом начали совместные разработки аппаратуры

для ракетных измерений с применением газоразрядных счетчиков, полупроводниковых детекторов и канальных электронных умножителей. При выполнении этих работ мне неоднократно приходилось обращаться за советами к Э.Н. Сосновцу и его коллегам: М.В. Тельцову, Б.В. Марьину, И.А. Рубинштейну, Ю.В. Кутузову и другим.

Эта новая область исследований оказалась настолько увлекательной, что на достаточно длительный период стала основной для меня. Прелесть ракетных экспериментов состояла в том, что предварительно оценить результаты измерений можно было уже во время полета ракеты, сидя у экрана монитора станции приема телеметрической информации. А через несколько часов поступали проявленные рулоны фотопленки, на которую записывались данные телеметрии. Дополнительное очарование ракетным исследованиям придавало то, что значительная часть пусков ракет проводилась в Арктике, на острове Хейса (Земля Франца-Иосифа), в том числе во время интенсивных полярных сияний. Многие результаты измерений я обсуждал с Эльмаром Николаевичем и получил от него немало полезных рекомендаций.

Однако период нашего наиболее тесного сотрудничества связан с исследованиями электризации геостационарных космических аппаратов (КА) и пришелся на 1980–1990-е гг. К концу 1970-х гг. американскими специалистами, приступившими ранее других к освоению геостационарной орбиты с целью создания спутниковых систем радиосвязи и телевидения, и нашими специалистами из руководимого М.Ф. Решетневым красноярского НПО «Прикладная механика» (ныне ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева), где создавались отечественные высокоорбитальные КА, уже были получены убедительные данные о возникновении сбоев и отказов в работе бортового оборудования геостационарных КА за

счет электрических разрядов, являвшихся следствием электризации аппаратов.

Интересно, что обнаружение этих эффектов, как и открытие радиационных поясов Земли, в значительной степени явилось неожиданным, хотя применительно к обоим случаям существовали теоретические работы, позволявшие в какой-то мере предсказать наблюдавшиеся явления. Возможное влияние возникающего в условиях электризации потенциала КА относительно окружающей плазмы на результаты измерений ее параметров приборами КА рассматривалось, например, К.И. Грингаузом еще до запуска первых спутников [Грингауз и Зеликман, 1957]. Однако тогда принималась во внимание лишь холодная ионосферная плазма, в которой потенциал КА обычно не превышает 2–3 В. Характеристики горячей магнитосферной плазмы в то время еще не были известны. Тем не менее наши ученые В.Г. Курт и В.И. Мороз в 1961–1962 гг. на основании теоретических оценок указали на возможность заряжения КА в магнитосферной плазме до нескольких киловольт [Kurt and Moroz, 1962]. Результаты выполненных впоследствии прямых измерений полностью подтвердили справедливость этих оценок. Однако чтобы провести такие измерения потребовалась многолетняя работа.

Для понимания физической природы явления электризации высокоорбитальных КА и механизмов воздействия электризации на бортовое оборудование были необходимы исследования характеристик магнитосферной плазмы на больших высотах. Они были начаты в нашей стране на КА разработки НПО ПМ при тесном взаимодействии С.Н. Вернова и М.Ф. Решетнева. Э.Н. Сосновец сыграл очень большую роль в проведении этих исследований. С 1983 г. на геостационарные КА серии «Горизонт» начала устанавливаться созданная в НИИЯФ МГУ научная аппаратура для исследования параметров электризации (комплекс АД ИПЭ), по-

звоявшая проводить достаточно детальные исследования характеристик горячей магнитосферной плазмы с помощью электростатических спектрометров, в которых регистрация электронов и протонов осуществлялась канальными электронными умножителями, и ряда других приборов. Позднее был разработан универсальный патрульный комплекс ДИЭРА, впервые использованный в измерениях на геостационарных КА в 1993 г. [Панасюк, Сосновец и Тельцов, 2000].

Значительная часть этих работ проводилась в рамках комплексной программы исследований по проблеме электризации, сформированной благодаря инициативе и активной организационной деятельности С.Н. Вернова, являвшегося с 1965 г. до своей кончины в 1982 г. председателем Секции №2 Межведомственного координационного научно-технического совета (МКНТС). В компетенцию секции входили вопросы обеспечения стойкости материалов и оборудования КА к воздействию космической радиации и других внешних факторов.

Помимо проведения натурных экспериментов на борту КА, программа предусматривала разработку физико-математической модели электризации КА, которая должна была обеспечить возможность выполнения компьютерного моделирования процессов накопления электрических зарядов на реальных КА с определением потенциалов отдельных участков непроводящей поверхности и элементов конструкции, вероятных мест возникновения электрических разрядов и т.д. Роль головной организации по разработке физико-математической модели была возложена на НИИЯФ МГУ. Кроме того, ряду научных центров Москвы, Красноярска, Новосибирска, Томска, Иркутска было поручено проведение работ по лабораторному моделированию процессов электризации, созданию приборов для прямого измерения потенциалов поверхности КА и напряженности поля вблизи нее, уча-

стию в создании физико-математической модели электризации и другим направлениям.

Всесторонняя реализация программы началась, к сожалению, уже после кончины С.Н. Вернова – в 1983–1984 гг. Случилось так, что я был назначен ответственным исполнителем работ по созданию физико-математической модели электризации, а научное руководство ими было возложено на Б.А. Тверского. Я к этому времени работал в возглавлявшемся И.Б. Тепловым Отделе ядерных и космических исследований в Лаборатории космического материаловедения, руководимой А.И. Акишиным, и занимался с группой сотрудников широким кругом вопросов, связанных с воздействием факторов космического пространства на КА, включая и некоторые аспекты электризации. Однако тесно взаимодействовать с Б.А. Тверским до упомянутого назначения мне не приходилось. В этой связи Борис Аркадьевич пригласил меня для обсуждения программы работ по созданию модели электризации, которое явилось, по существу, доброжелательной, но глубокой проверкой моих знаний и представлений о путях и методах создания модели. Думаю, что я выдержал тот экзамен, поскольку в дальнейшем мне была предоставлена достаточно широкая свобода действий, хотя периодически, особенно на начальных этапах создания модели, Борис Аркадьевич проводил своеобразные совещания-семинары, на которых обсуждались итоги выполненных работ и намечались перспективы их продолжения. При этом Борис Аркадьевич быстро улавливал физические и математические нюансы обсуждавшихся вопросов и корректировал наши действия, что очень помогало продвижению вперед. В большинстве этих обсуждений участвовал и Э.Н. Сосновец, поскольку работы по созданию модели электризации и измерению параметров горячей магнитосферной плазмы были тесно связаны. В последующие годы нам с Эльмаром Николаеви-

чем неоднократно приходилось готовить материалы для отчетных выступлений Б.А. Тверского на заседаниях Секции №2 МКНТС, которую после кончины С.Н. Вернова возглавил И.Б. Теплов, и Секции прикладных проблем Президиума РАН.

Исследования по проблеме электризации в рамках упомянутой выше программы развивались весьма активно. Для их общей координации была создана рабочая группа, в которую от НИИЯФ МГУ входили мы с Э.Н. Сосновцом. В заседаниях рабочей группы, проводившихся, как правило, в Красноярске и других сибирских городах, принимали активное участие сотрудники НПО ПМ, которые обеспечивали проведение измерений на геостационарных КА и практическую реализацию разрабатываемых методов защиты КА от воздействия эффектов электризации. В их числе были В.И. Верхотуров и О.С. Графодатский, много сделавшие для оптимальной организации совместных работ представителей научных центров и производственных предприятий. Впоследствии оба стали докторами наук и в настоящее время работают в Москве, продолжая заниматься созданием космической техники. Эльмар Николаевич, проводивший к тому времени уже много лет совместные работы с НПО ПМ, пользовался на этих заседаниях очень высоким авторитетом и оказывал мне большую помощь во взаимодействии с членами рабочей группы.

На заседаниях группы было обсуждено множество принципиальных вопросов с сотрудниками Новосибирского государственного университета, проводившими измерения напряженности электрического поля вблизи поверхности КА с помощью индукционных датчиков, с работавшими под руководством К.И. Грингауза сотрудниками ИКИ, которые устанавливали на КА электростатические ионные ловушки, с коллегами из Томского политехнического университета и Института лазерной физики СО РАН,

проводившими лабораторные исследования эффектов электризации, и многими другими.

Постепенно модель электризации КА, опирающаяся на результаты натуральных и лабораторных экспериментов, обрела достаточно целостный характер [Милеев и Новиков, 1989], параллельно происходило накопление экспериментальных данных для обоснования модели и проверки ее главных положений [Графодатский и др., 1989]. Проблема электризации КА, сводящаяся в элементарной постановке к задаче Ленгмюра о зарядке металлического тела в плазме, многократно осложнена многокомпонентностью космической плазмы по температуре и ионному составу, участием в формировании зарядов вторично-эмиссионных токов и тока фотоэлектронной эмиссии, обусловленной солнечным излучением, токов утечки между элементами непроводящей поверхности и металлическим корпусом КА, в некоторых случаях – анизотропией воздействующих излучений, сложностью конфигурации реальных КА, наличием на них оборудования, влияющего на процессы электризации, и рядом других факторов. Это дало в свое время повод американскому физика Г. Гаррету, внесшему значительный вклад в изучение электризации КА, написать в одной из своих работ: «В целом многие десятки миллионов долларов и тысячи человеко-лет труда пришлось затратить на то, чтобы понять в деталях проблему, общее теоретическое описание которой было дано И. Ленгмюром еще в 1924 г.». Мы тоже прошли этот путь, хотя, несомненно, со значительно более скромными финансовыми затратами.

Выполнение комплексной программы исследований по проблеме электризации позволило получить много принципиально новой информации и разработать комплекс мер по обеспечению защиты КА от эффектов электризации. Совместными усилиями сотрудников Отдела теоретической и прикладной кос-

мофизики и Отдела ядерных и космических исследований НИИ-ЯФ МГУ была выполнена обработка больших массивов экспериментальных данных о потоках электронов и протонов горячей магнитосферной плазмы в области геостационарной орбиты. Для автоматизации обработки были созданы компьютерные программы построения энергетических спектров частиц плазмы, аппроксимации спектров с помощью двухтемпературной максвелловской функции, вычисления температуры плазмы и концентрации ее частиц для обеих составляющих и т.д. Анализ полученных результатов выявил разнообразные случаи электризации КА, наглядно иллюстрирующие основные положения разработанной физико-математической модели и получившие исчерпывающую интерпретацию на ее основе.

На рис. 1 показано изменение в течение нескольких часов потоков электронов, регистрируемых в разных энергетических каналах (от 0,1 до 12,4 кэВ) спектрометра электронов, который был установлен на геостационарном КА «Горизонт-35». Эти данные получены в период весеннего равноденствия (22 марта 1993 г.), когда геостационарные КА на ночной стороне магнитосферы в течение приблизительно одного часа находятся в тени Земли. В отсутствие освещения прекращается ток фотоэлектронной эмиссии, удаляющий с поверхности КА отрицательный заряд, что приводит к росту отрицательного потенциала КА. Электрическое поле, возникающее в окрестности КА, тормозит электроны, движущиеся к его поверхности из окружающей плазмы, в результате чего в показаниях спектрометра формируется характерный «провал» в период ~18–19 UT (мировое время), соответствующий пребыванию КА в тени Земли. По снижению величин потоков электронов, регистрируемых в каналах спектрометра, можно оценить значение отрицательного потенциала КА. Более точно он

рассчитывается на основании физико-математической модели электризации.

При проведении модельных расчетов используются энергетические спектры электронов, зарегистрированные спектрометром до входа КА в тень Земли и во время прохождения тени. Примеры таких спектров представлены на рис. 2. Видно, что в тени Земли наблюдается значительное уменьшение регистрируемых потоков электронов (нижние кривые на рисунке) по

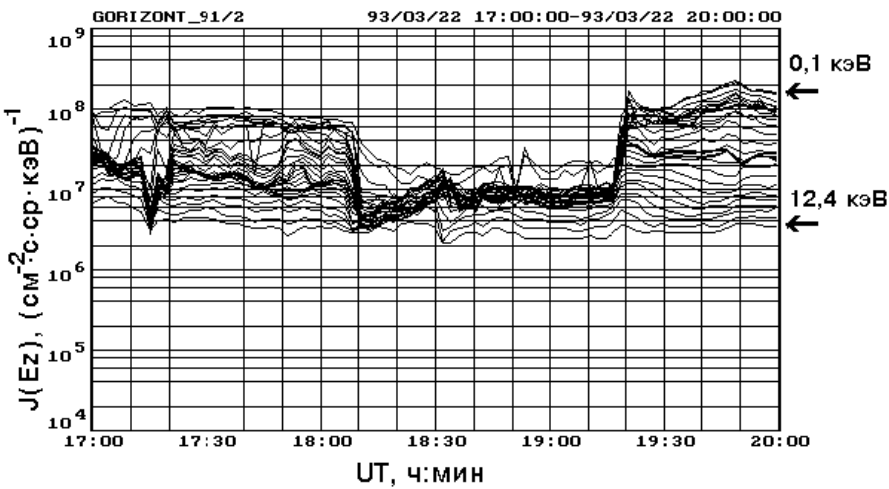


Рис. 1. Изменение показаний спектрометра электронов при прохождении геостационарного КА через тень Земли

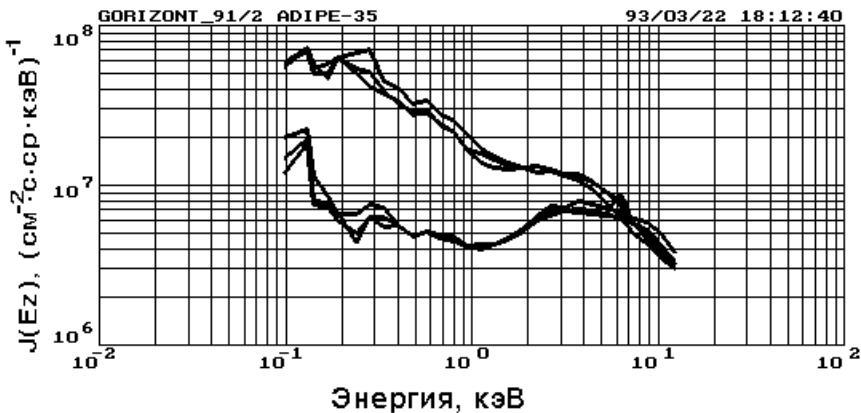


Рис. 2. Регистрируемые энергетические спектры электронов до входа КА в тень Земли (верхние кривые) и при пересечении тени (нижние кривые)

сравнению с их исходными величинами (верхние кривые). При этом для энергий электронов ~ 10 кэВ показания спектрометра практически не претерпевают изменений, т.е. на движение электронов с такими энергиями электрическое поле отрицательного заряженного КА не влияет, что сразу позволяет сделать ориентировочную оценку величины отрицательного потенциала КА, которая уточняется на основании результатов модельных расчетов. Аналогичные оценки и расчеты могут быть сделаны и на основании показаний спектрометров, регистрирующих дифференциальные энергетические спектры протонов плазмы. В этом случае характер наблюдаемых изменений спектров иной, поскольку протоны приобретают дополнительную энергию в электрическом поле отрицательного заряженного КА.

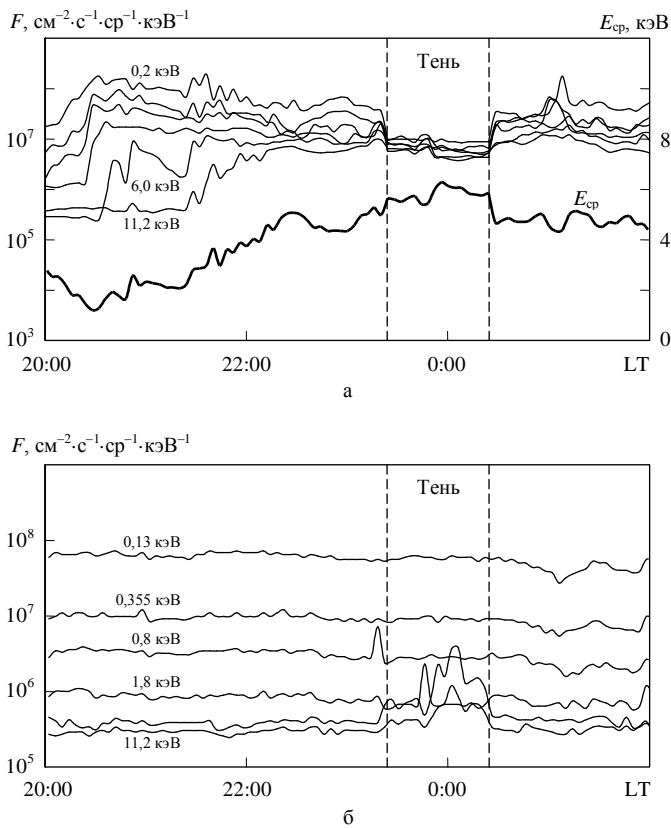


Рис. 3. Потоки электронов (а) и протонов (б), зарегистрированные с помощью спектрометров КА «Электро» 13–14 сентября 1996 г.

Множество подобных данных было получено позднее с помощью спектрометров, установленных на геостационарном КА «Электро» разработки ВНИИ «Электромеханики» [Крупников и др., 2003]. Рис. 3а демонстрирует формирование «провала» в показаниях спектрометра электронов в период пересечения аппаратом тени Земли, который выделен вертикальными пунктирными линиями (здесь на оси абсцисс указано местное время LT). Следует обратить внимание на увеличение потока электронов в энергетическом канале 11,2 кэВ, а также средней энергии электронов $E_{\text{ср}}$ в спектре в часы, предшествующие входу КА в тень Земли. Энергетический спектр электронов, таким образом, к мо-

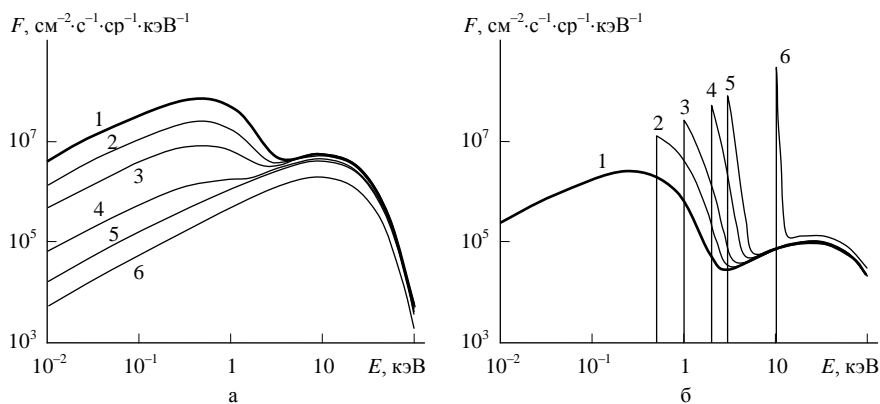


Рис. 4. Энергетические спектры регистрируемых электронов (а) и протонов (б), рассчитанные при различных значениях отрицательного потенциала КА, [кВ]: 1 – 0; 2 – 0,5; 3 – 1,0; 4 – 2,0; 5 – 3,0; 6 – 10,0

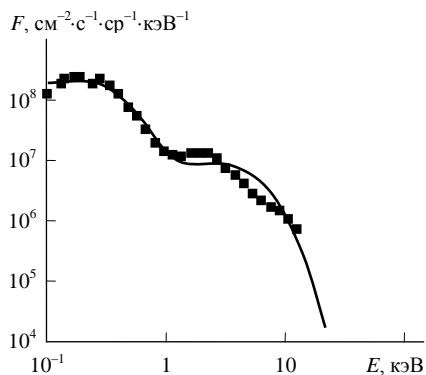


Рис. 5. Аппроксимация двухтемпературной максвелловской функцией (линия) энергетического спектра электронов, зарегистрированного спектрометром КА «Горизонт» (точки)

менту входа КА в тень стал достаточно жестким.

На рис. 3б приведены аналогичные данные для протонного спектрометра. В этом случае в области тени Земли наблюдаются возрастания потоков протонов, регистрируемых в различных энергетических каналах, за счет их ускорения отрицательным потенциалом КА. Поскольку шкала спектрометра является квазилгарифмической, в показаниях отдельных каналов формируются ярко выраженные пики. Наблюдаемые в условиях электризации искажения энергетических спектров электронов и протонов поясняются рис. 4, где приведены результаты расчета энергетических спектров электронов (а) и протонов (б), регистрируемых при различных значениях отрицательного потенциала КА. Исходные спектры аппроксимируются двухтемпературной максвелловской функцией, как это показано на рис. 5. Видно, что характер происходящих по мере увеличения потенциала изменений расчетных спектров хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Результаты измерений, представленные на рис. 6, интересны тем, что в этом случае резкий рост потока электронов в энергетическом канале 11,2 кэВ и соответственно энергии E_{cp} начался во время нахождения КА в тени Земли. На этом рисунке кратковременные уменьшения потоков электронов в низкоэнергетических каналах спектрометра (~0,2–0,5 кэВ), коррелирующие с возрастанием потока в канале 11,2 кэВ, наблюдаются и на освещенной части орбиты (слева от области тени). Однако при этом отрицательный потенциал, определяемый по глубине «провала», существенно ниже, чем в тени Земли, что также находит объяснение и количественную интерпретацию на основании разработанной физико-математической модели электризации КА.

По результатам измерений на КА «Электро» был получен большой массив данных, характеризующих искажения регистрируемых электронных спектров при зарядке аппарата в тени

Земли. На рис. 7 приведены примеры таких данных для нескольких случаев прохождения КА через тень Земли. Верхние группы кривых показывают спектры, зарегистрированные до входа в тень, а нижние – в тени Земли. Видно, что эти данные в целом подобны полученным на КА «Горизонт» (рис. 2), но степень искажений спектров может быть различной в зависимости от исходных параметров плазмы.

Бортовые спектрометры позволяют в некоторых случаях контролировать функционирование оборудования КА и получать сведения о дифференциальном зарядении поверхности аппарата. Рис. 8 демонстрирует изменение показаний спектрометра

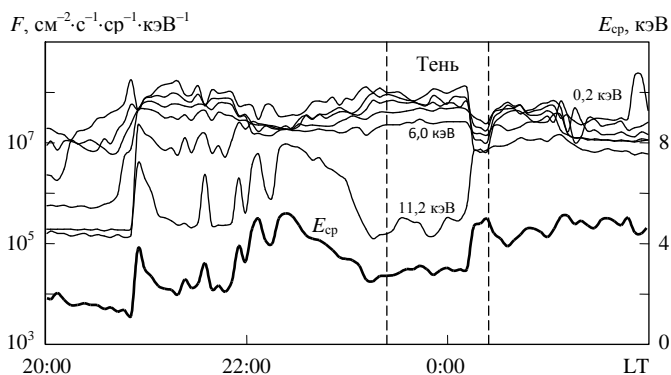


Рис. 6. Случаи зарядения КА «Электро» на освещенных участках орбиты и в тени Земли 12–13 сентября 1997 г.

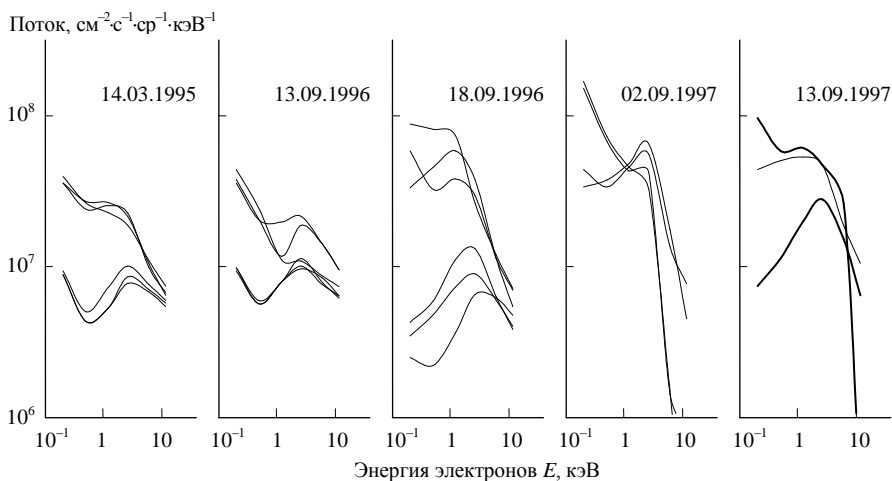


Рис. 7. Изменения регистрируемых электронных спектров при входе КА в тень Земли

электронов при прохождении вблизи его апертуры панели солнечной батареи КА. В это время (интервал между 00 и 02 УТ 4 октября 1993 г.) в показаниях спектрометра наблюдается резко выраженный провал, который обусловлен как геометрическим экранированием апертуры спектрометра панелью батареи, так и влиянием электрического поля заряженной панели на движение электронов в окрестности КА. Совместное действие двух указанных факторов приводит к сложному изменению потоков электронов, регистрируемых в разных энергетических каналах. В низкоэнергетических каналах потоки могут возрастать, что видно из верхних кривых на рис. 8, а в высокоэнергетических – снижаться, причем изменение потоков во времени также зависит от энергии электронов.

Несмотря на столь сложный характер наблюдаемых эффектов, они находят объяснение на основании моделирования траекторий движения электронов в электрическом поле дифференциально заряженного КА. Рис. 9, на котором представлены результаты расчета электрического поля в окрестности КА, показывает, что форма эквипотенциалей достаточно сложна. При этом структура поля имеет ярко выраженную асимметрию из-за час-

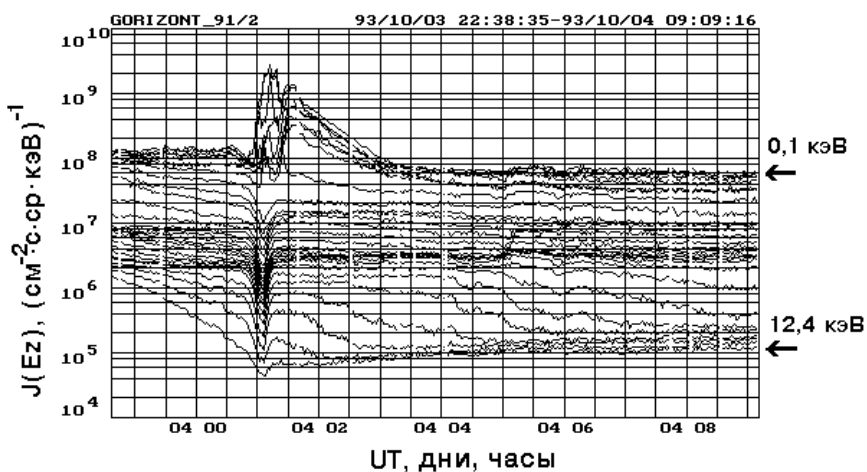


Рис. 8. Влияние заряженной панели солнечной батареи на показания спектрометра электронов

точного освещения поверхности КА Солнцем. В таких условиях в окрестности КА могут образовываться своеобразные электростатические линзы, различным образом влияющие на движение электронов с разными энергиями, что иллюстрируется расчетными данными, представленными на рис. 10.

Результаты измерений, выполненных с помощью аппаратуры НИИЯФ МГУ на геостационарных КА при различных уровнях гелиогеофизической активности [Крупников и др., 2003; Krupnikov et al., 1996; Krupnikov et al., 1998; Novikov et al., 2001], позво-

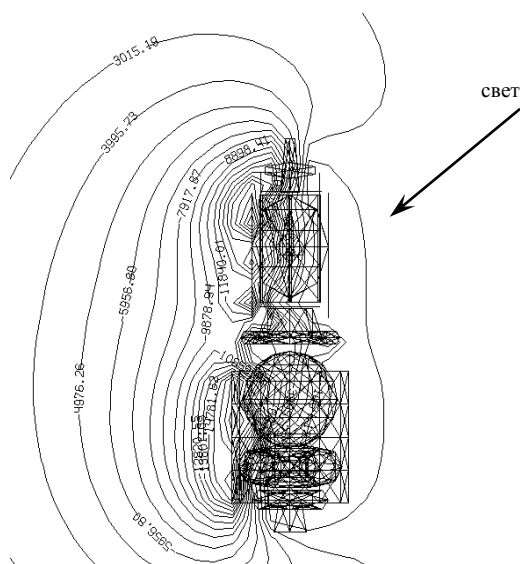


Рис. 9. Структура электрического поля дифференциально заряженного КА при частичном освещении поверхности Солнцем

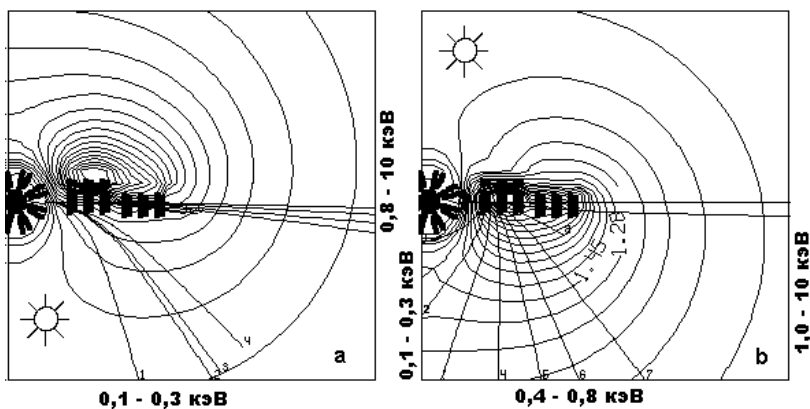


Рис. 10. Искривление траекторий электронов разных энергий в собственном электрическом поле заряженного КА

ляют описать закономерности изменений параметров магнитосферной плазмы в области геостационарной орбиты. В качестве примера на рис. 11 показан суточный ход параметров двухтемпературной аппроксимирующей максвелловской функции (концентраций n_1 , n_2 и температур T_1 , T_2), полученный по результатам измерений на КА «Электро» [Крупников и др., 2003; Novikov et al., 2001] при низкой геомагнитной активности (индекс $Kp \sim 1-2$) и при повышенной активности ($Kp \sim 3-5$).

Из сопоставления рисунков видно, что повышение уровня геомагнитной активности приводит к некоторому увеличению концентрации обеих плазменных составляющих в утренние и вечерние часы, при этом снижение концентрации в дневные часы более значительно по сравнению со случаем низкой геомагнитной активности. Характер суточного хода параметров T_1 , T_2 в целом изменился незначительно, но можно отметить некоторое

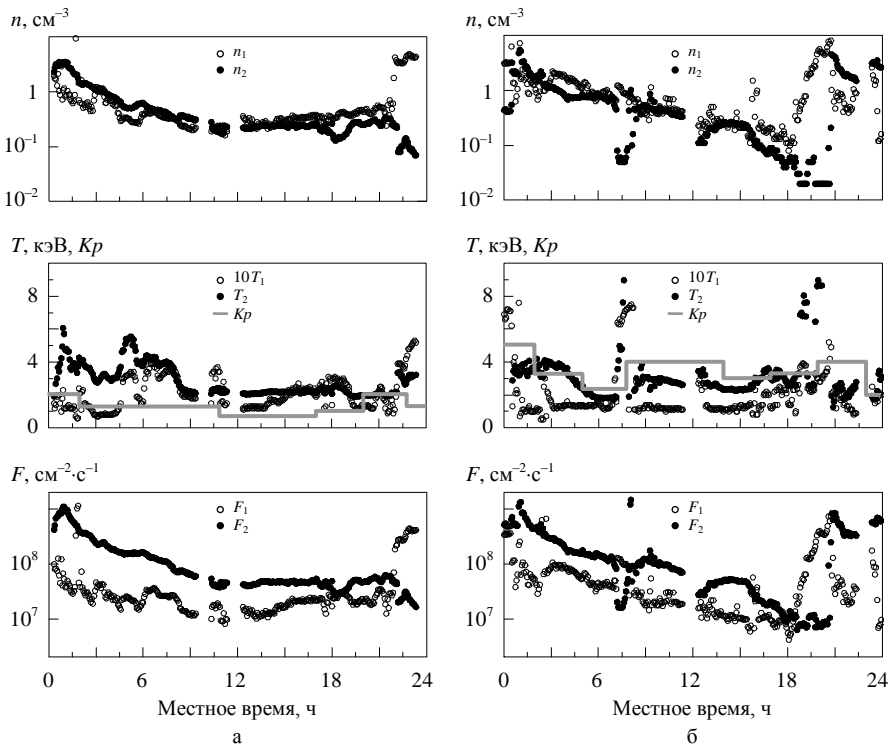


Рис. 11. Изменение параметров электронных компонент плазмы в области ГСО при низкой (а) и повышенной (б) геомагнитной активности

повышение значений температур и увеличение амплитуды их нерегулярных вариаций. Наблюдается также рост потоков электронов и увеличение перепада их значений при переходе от утренних часов к дневным.

На рис. 12а показано изменение в зависимости от геомагнитного индекса Kp электронной концентрации горячей составляющей n_2 , а на рис. 12б – ее температуры T_2 . Черные значки – усреднение за полные сутки, а светлые – за интервал времени 18–24 LT.

На основании выполненных измерений была предложена классификация регистрируемых электронных спектров плазмы по

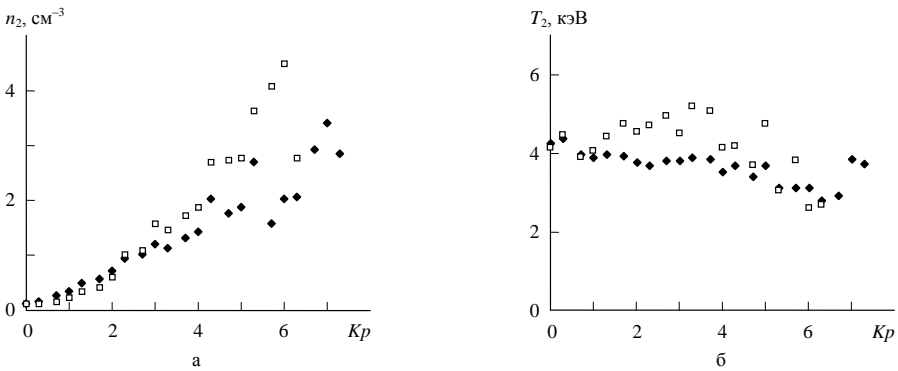


Рис. 12. Усредненные зависимости концентрации n_2 (а) и температуры T_2 (б) от геомагнитного индекса Kp

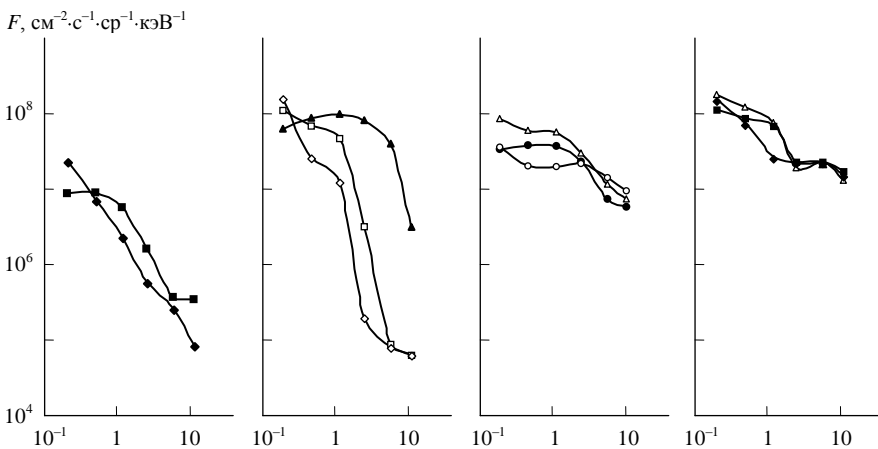


Рис. 13. Классификация энергетических спектров электронов по степени влияния на процесс заряжения КА

степени их жесткости в связи с наблюдаемыми уровнями заряжения КА. Регистрируемые спектры были разделены на четыре группы, показанные на рис. 13. Средняя энергия электронов в наиболее мягких спектрах (слева на рис. 13) составляет около 2 кэВ или ниже. Потенциал КА в такой плазме близок к нулевому значению и существенно не изменяется даже в тени Земли. Для спектров, показанных в правой части рис. 13, средняя энергия превышает 5 кэВ. Воздействие электронов с такими спектрами на КА приводит к его существенному отрицательному заряджению не только в тени Земли, но и на освещенных участках орбиты.

Приобретенный опыт измерений на геостационарных КА помог в дальнейшем получить важные данные о заряджении КА на низких полярных орбитах. Спектрометры с электростатическими анализаторами, подобные применявшимся на геостационарных КА, были установлены на КА «Метеор», орбита которого близка к круговой с высотой ~ 1000 км и наклоном $\sim 99^\circ$ [Novikov et al., 2008]. При пересечении данным КА авроральных овалов и областей полярных шапок в обоих полушариях регистрировались характерные для этих областей потоки частиц. При этом, несмотря на дискретность структуры областей высыпания пото-

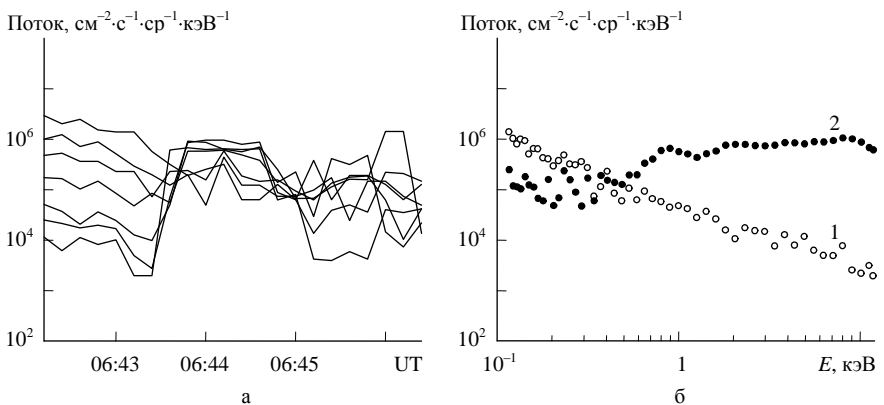


Рис. 14. Изменение показаний электронного спектрометра КА «Метеор» при пересечении аврорального овала (а) и энергетические спектры электронов (б), зарегистрированные до входа КА в авроральный овал (1) и внутри овала (2)

ков авроральных электронов, во многих случаях наблюдалось зарядание КА до отрицательных потенциалов $\sim 0,3-1,5$ кВ в течение всего времени пересечения авроральных овалов, составлявшего несколько минут.

На рис. 14а показан пример изменения потоков регистрируемых электронов в энергетических каналах спектрометра КА «Метеор» при пересечении аврорального овала в интервале времени 06:43:57–06:45:57 UT. Увеличению потоков, регистрируемых в высокоэнергетических каналах $\sim 5-11$ кэВ, соответствует уменьшение потоков в низкоэнергетических каналах $\sim 0,1-0,5$ кэВ. Таким образом, в показаниях спектрометра формируется «провал», подобный рассмотренному выше на примерах экспериментальных данных геостационарных КА. На рис. 14б показаны энергетические спектры электронов, зарегистрированные перед входом КА в авроральный овал (1) и внутри овала (2). Спектр (2) соответствует появлению потока авроральных электронов.

Выполнение комплексной программы исследований по проблеме электризации КА коллективами многих научных и производственных организаций нашей страны внесло весомый вклад в развитие фундаментальных представлений о природе процессов, происходящих в магнитосфере Земли, и создало прочную основу для совершенствования и повышения надежности космической техники. Результаты этой работы дважды выдвигались на соискание Премии Совета Министров СССР, но оба раза по причинам скорее организационным, нежели научным, премия не была присуждена.

Начиная с 1992 г., когда в Новосибирске была проведена первая в нашей стране международная научная конференция по проблеме взаимодействия КА с окружающей космической средой [ed. Drolshagen, 1993], мы получили возможность обсуждать результаты наших исследований с иностранными коллегами, ко-

которые высоко оценили уровень выполненных работ. Позднее подобные конференции состоялись в Иркутске, Томске, Красноярске, а также в Дубне и Москве. Последние были организованы НИИЯФ МГУ по инициативе М.И. Панасюка, который, будучи заместителем директора и затем директором института, оказывал большую поддержку проведению исследований по проблеме электризации, а как научный работник принимал деятельное участие в изучении потоков заряженных частиц в магнитосфере. Результаты выполненных исследований представлялись также на ряде зарубежных конференций [Krupnikov et al., 1996; Krupnikov et al., 1998; Novikov et al., 2001; Novikov et al., 2008].

Э.Н. Сосновец выступал с докладами на важнейших научных форумах, связанных с изучением магнитосферной плазмы и проблемой электризации КА. Наши многочисленные совместные поездки на заседания упоминавшейся выше координационной группы и на конференции, продолжительные беседы в самолетах, когда можно было обсудить самые различные вопросы, как-то особенно сблизили нас. Этому, конечно, способствовали замечательные человеческие качества Эльмара Николаевича.

Мы строили много планов дальнейших совместных работ. Накопленные массивы экспериментальных данных о потоках горячей магнитосферной плазмы, разработанные методы их математической обработки, приобретенный опыт выполнения такой обработки, позволяющий, в частности, надежно выделять искажения регистрируемых энергетических спектров частиц плазмы за счет эффектов электризации, – все это дает возможность построить эмпирическую модель магнитосферной плазмы для области геостационарной орбиты. Некоторые приведенные в настоящей статье данные являются результатом первых шагов в этом направлении.

К сожалению, не всем нашим планам суждено было сбыться. Но эксперименты по измерению потоков заряженных частиц в магнитосфере продолжаются. Они, несомненно, позволят получить и новые интереснейшие данные о процессах электризации КА. Уверен, что молодые ученые достойно продолжат исследования, в организации и осуществлении которых Э.Н. Сосновец сыграл огромную роль.

Литература

Грингауз К.И., Зеликман М.Х. Измерение концентрации положительных ионов вдоль орбиты искусственного спутника Земли. *УФН*, 1957, т. 63, вып. 16, с. 239–252.

Kurt V.G., Moroz V.I. The equilibrium potential of a spacecraft in the ionosphere. *Planet. Space Sci.*, 1962, pp. 259–268.

Панасюк М.И., Сосновец Э.Н., Тельцов М.В. Исследование радиации в космическом пространстве. В кн.: Новые наукоемкие технологии в технике. Энциклопедия. Т. 16. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. Под ред. Л.С. Новикова, М.И. Панасюка. М.: ЭНЦИТЕХ, 2000, с. 46–97.

Милеев В.Н., Новиков Л.С. Физико-математическая модель электризации ИСЗ на геостационарной и высокоэллиптических орбитах. В кн.: Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца, 1989, т. 86, с. 64–98.

Графодатский О.С., Исляев Ш.Н., Панасюк М.И., Сосновец Э.Н., Тверской Б.А., Тельцов М.В. Регистрация потоков магнитосферной плазмы на ИСЗ «Горизонт». В кн.: Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца, 1989, т. 86, с. 99–130.

Крупников К.К., Марьин Б.В., Милеев В.Н., Новиков Л.С., Тельцов М.В., Фейгин В.М., Ходненко В.П. Анализ эффектов электризации геостационарных ИСЗ «Горизонт» и «Электро» по данным

- бортовых спектрометров горячей магнитосферной плазмы. *Космонавтика и ракетостроение*, 2003, т. 1(30), с. 156–161.
- Krupnikov K.K., Mileev V.N., Novikov L.S., Pavlov N.N., Sosnovets E.N., Teltsov M.V., Tverskoy B.A., Vlasova N.A. Measurement of hot magnetospheric plasma at geosynchronous orbit and charging effects. In Proc. ESA Symp. on Environment Modelling for Space-based Applications, ESTEC, Noordwijk, NL, 1996, SP-392, pp. 191–196.
- Krupnikov K.K., Mileev V.N., Novikov L.S., Pavlov N.N., Sosnovets E.N., Teltsov M.V. Charging of Geostationary Satellite as is from the Data of Hot Plasma Spectrometers. In Proc. 6th Spacecraft Charging Tecnology Conference, Air Force Research Laboratory, Hanscom AFB, MA, USA, 1998, pp. 37–38.
- Novikov L.S., Marjin B.V., Mileev V.N., Pavlov N.N., Sosnovets E.N., Teltsov M.V., Grafodatsky O.S., Feigin V.M., Khodnenko V.P. Research of geosynchronous spacecraft charging effects in terms of the onboard hot plasma spectrometer data. In Proc 7th Spacecraft Charging Technology Conference, 2001, ESTEC, Noordwijk, NL, SP-476, pp. 321–324.
- Novikov L.S., Mileev V.N., Krupnikov K.K., Makletsov A.A., Marjin B.V., Rjazantseva M.O., Sinolits V.V., Vlasova N.A. Simultaneous investigation of magnetospheric plasma and spacecraft charging. *Adv. Space Res.*, 2008, V. 42, No. 7, pp. 1307–1312.
- Proceedings of The International Conference on Problems of Spacecraft/Environment Interactions. June 15–19, 1992, Novosibirsk, Russia. By G. Drolshagen (ed.). ESA/ESTEC, 1993.



Вклад Эльмара Николаевича Сосновца в исследования распределения давления в магнитосфере Земли

Е.Е. Антонова и М.О. Рязанцева

Рассмотрена проблема магнитостатического равновесия в магнитосфере Земли и вклад Эльмара Николаевича Сосновца в решение данной проблемы. Приведено краткое описание результатов исследований вариаций давления на геостационарной орбите в марте 1992 г. на спутнике Горизонт-35.

Введение

Эльмар Николаевич Сосновец относился к ученым с большой буквы, вклад которых получает достойную оценку спустя много лет после их кончины. Хорошо известны работы Эльмара Николаевича в области физики радиационных поясов и кольцевого тока. В настоящем обзоре мы остановимся на менее известных, но по своему исключительно важных результатах, полученные в результате исследований вариаций давления горячей магнитосферной плазмы на геостационарной орбите. Эти работы стали возможными благодаря проведению одновременных измерений потоков частиц в широком диапазоне энергий, что сопряжено со значительными трудностями. Такие трудности были связаны с ограничениями веса установленных приборов и существовавшими ограничениями телеметрии. В данной работе будет показано, что полученные результаты имели существенное значение для создания адекватной картины распределения полей и токов в магнитосфере Земли, послужили стимулом для активизации работ по решению проблемы магнитостатического равновесия.

Проблема магнитостатического равновесия и ее решение в случае магнитосферы Земли

Давление плазмы относится к основным параметрам, определяющим распределение токов в плазменных системах и устойчивость плазмы. В гиротропной плазме тензор давления является диагональным, и вводятся давления вдоль и поперек магнитных силовых линий (p_{\parallel}, p_{\perp}). Определение давления плазмы требует измерений потоков частиц в широком диапазоне энергий и питч-углов и проводится в соответствии с соотношениями

$$p_{\perp} = \sum_{\alpha} \iiint \frac{1}{2} m_{\alpha} v^2 \sin^2 \theta f(v) v^2 \sin \theta dv d\theta d\phi, \quad (1)$$

$$p_{\parallel} = \sum_{\alpha} \iiint m_{\alpha} v^2 \cos^2 \theta f(v) v^2 \sin \theta dv d\theta d\phi, \quad (2)$$

где $f(v)$ функция распределения по скоростям, θ и ϕ - питч-угол и азимутальный угол соответственно, а суммирование проводится по всем сортам частиц α массы m_{α} . Если J - поток частиц сорта α , а давление изотропно ($p_{\parallel} = p_{\perp} = p$), то

$$p = \frac{4}{3} \pi \sum_{\alpha} \sqrt{2m_{\alpha}} \int_0^{\infty} \sqrt{\varepsilon} J_{\varepsilon}(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (3)$$

где ε - энергия частицы. Если давление плазмы изотропно, то оно постоянно вдоль магнитной силовой линии. В случае анизотропии давления необходимо проводить глобальные измерения. При $p_{\parallel} < p_{\perp}$ хорошие результаты могут быть получены при измерениях давления вблизи экваториальной плоскости (точнее – вблизи областей минимального магнитного поля).

При отсутствии баланса градиента давления и силы ампера плазма начинает быстро двигаться, и происходит разрушение плазменной конфигурации. Во многих случаях сильная питч-угловая диффузия приводит к изотропии давления. При этом, давление постоянно вдоль магнитной силовой линии, что значительно облегчает возможность его измерения.

Распределение давления определяет поперечный и продольный токи в плазме. При этом поперечный ток равен

$$\mathbf{j}_{\perp} = \frac{[\mathbf{B} \nabla p_{\perp}]}{B^2} + \frac{(p_{\parallel} - p_{\perp})}{B^2} [\mathbf{B} (\mathbf{b} \nabla) \mathbf{b}], \quad (4)$$

где \mathbf{B} – магнитное поле, $\mathbf{b} = \mathbf{B}/B$. При изотропном распределении частиц по питч-углам ток в плазме определяется соотношением

$$\mathbf{j}_{\perp} = \frac{[\mathbf{B} \nabla p]}{B^2}. \quad (5)$$

Дивергенция поперечного тока в плазме определяет равновесный продольный ток, который может существовать в магнитной ловушке при наличии проводящих торцов с конечной проводимостью. Величина продольного тока равна, в случае изотропного давления и симметрии северной и южной полусфер (см. Grad [1965], Vasyliunas [1970], Boström [1975], Тверской [1982], Heine mann and Pontius [1990]) в торце ловушки (на ионосферных высотах в случае магнитосфер планет),

$$j_{\parallel} = 0.5 \mathbf{n} [\nabla W \nabla p], \quad (6)$$

где \mathbf{n} – вектор внешней нормали к ионосфере, W - объем магнитной силовой трубки с единичным потоком на уровне ионосферы ($W = \int dl / B$, где dl – элемент длины магнитной силовой линии и интегрирование проводится между сопряженными ионосферами).

Вопрос о равновесном либо квазиравновесном (при наличии больших флуктуаций, не изменяющих усредненную плазменную конфигурацию) распределении давления плазмы в космофизических системах, включая магнитосферу Земли, относится к основным проблемам, требующим экспериментального и теоретического изучения. В магнитосфере Земли решению проблемы магнитостатического равновесия посвящено сравнительно мало работ. Такая ситуация связана с трудностями измерений

давления плазмы. Для получения тензора давления необходимо проводить измерения потоков частиц в широком (от 0.1 кэВ до сотни кэВ) диапазоне энергий и питч-углов. В хвосте магнитосферы основной вклад в давление вносится с частицами с энергиями до ~ 10 кэВ. Поэтому удается измерить все частицы одним прибором – электростатическим анализатором. Такие измерения были проведены на ряде спутников (см. Mihalov et al. [1968], Behannon et al. [1968], Slavin et al. [1985], Spence et al. [1989], Kistler et al. [1992, 1993]) и было доказано, что давление плазмы в центре плазменного слоя совпадает с магнитным давлением в долях хвоста (см. Baumjohann et al. [1990], Petrukovich et al. [1999] и ссылки в данных работах), что подтвердило определяющую роль условия магнитоэлектрического равновесия в динамике магнитосферы (см. обзор Antonova and Tverskoy [1998]). Удалось даже построить численную модель распределения давления плазмы в хвосте на геоцентрических расстояниях $>10 R_E$ (Tsyganenko and Mukai [2003]).

Во внутренних областях магнитосферы ситуация много сложнее. Требуется проводить измерения как малых, так и больших энергий. Определенные результаты были получены по измерениям вблизи экваториальной плоскости на спутнике AMPTE/CCE (Lui and Hamilton [1992]; DeMichelis et al. [1997, 1999]). Очень часто возникают проблемы со стыковкой спектров частиц, измеренных в различных энергетических диапазонах.

Задача определения давления плазмы постоянно возникала в связи с решением проблемы магнитных бурь, так как было известно, что возмущение магнитного поля вблизи Земли и, соответственно Dst-вариация, определяются энергосодержанием ловушки (соотношением Десслера-Паркера-Скопке). А данное энергосодержание – распределением давления (см. Parker

[1996]). Данная проблема подробно анализировалась в работе [Тверской, 1997].

Э.Н. Сосновец, с первых экспериментов по измерениям потоков частиц в различных энергетических диапазонах, старался получить функции распределения электронов и ионов в максимально возможных диапазонах энергии, питч-углов и масс, что позволяло надеяться определить энергосодержание магнитосферной ловушки (см. результаты исследований на спутниках Молния в работе Ковтюх и др. [1976]). Задачу удалось решить при проведении измерений на геостационарной орбите на спутниках серии Горизонт, где проводились одновременные измерения потоков плазмы с кэВными энергиями и потоков ионов и электронов с энергиями до ~сотни кэВ. Правда, оставался не перекрытым диапазон энергий от ~10 до ~40 кэВ. Однако было известно, что в этом диапазоне сравнительно редко наблюдаются особенности на функции распределения. При этом, функции распределения сравнительно хорошо (см. Christon et al. [1988, 1989] и ссылки в данных работах) аппроксимируется каппа-распределением

$$f(\varepsilon) = \frac{n}{\pi^{3/2}} \frac{1}{\varepsilon_0^{3/2} k^{3/2}} \frac{\Gamma(k+1)}{\Gamma(k-1/2)} \left[1 + \frac{\varepsilon}{k\varepsilon_0} \right]^{-k-1}, \quad (7)$$

где ε - энергия частиц, ε_0 - энергия, соответствующая тепловому ядру функции распределения, n - концентрация плазмы, k - параметр, характеризующий степенную форму спектра при энергиях, намного превышающих тепловую энергию, Γ - гамма-функция. Соотношение (7) соответствуют максвелловскому распределению при малых энергиях и непрерывно переходят в степенное распределение при больших энергиях. Из соотношения (7) следует, что по измерениям ядра функции распределения в тепловом диапазоне энергий и хвоста функции распределения можно восстановить всю функцию распределения.

Результаты наблюдений на геостационарном спутнике Горизонт-35

Вариации давления плазмы на геостационарной орбите исследовались на спутнике Горизонт-35 (Riazantseva et al. [1998, 2000a,b]) за период с 11 по 25 марта 1992 г. Анализировались спокойный период, небольшие магнитные бури, SC и период северной ориентации ММП. Измерения проводились двумя типами спектрометров, установленных на борту геостационарного спутника, работавшего на геомагнитной долготе в 80° (LT=UT+5h) и имевшего фиксированную ориентацию по трем осям. Ось X была направлена к центру Земли, а ось Z – к северному полюсу эклиптики. Измерения плазмы проводились цилиндрическими электростатическими анализаторами с канальными электронными умножителями. Определялись потоки электронов и ионов в диапазоне 0.1-12.4 кэВ (см. Графодатский и др. [1989]). Измерения потоков ионов проводились только в Z направлении. Интенсивность ионов в диапазоне энергий от 41 до 133 кэВ/заряд измерялась спектрометром на базе сферического электростатического анализатора с полупроводниковыми детекторами (см. Соновец и др. [1994]), ось апертуры которого была направлена перпендикулярна осям X и Z на запад.

Давление вычислялось в предположении близости функций распределения к изотропным. Для исключения короткопериодных вариаций давления проводилось трехчасовое усреднение. Наблюдаемая близость функций распределения к изотропным позволяла в первом приближении использовать результаты измерений потоков частиц только в одном направлении. Изотропия функций распределения электронов проверялась при сравнении данных наблюдений в двух направлениях. Такое сравнение показало близость к изотропии.

На первой панели Рис. 1 показаны вариации давления ионов традиционного кольцевого тока (нижняя кривая), традиционного плазменного слоя (средняя кривая) и интегральное давление (верхняя кривая)

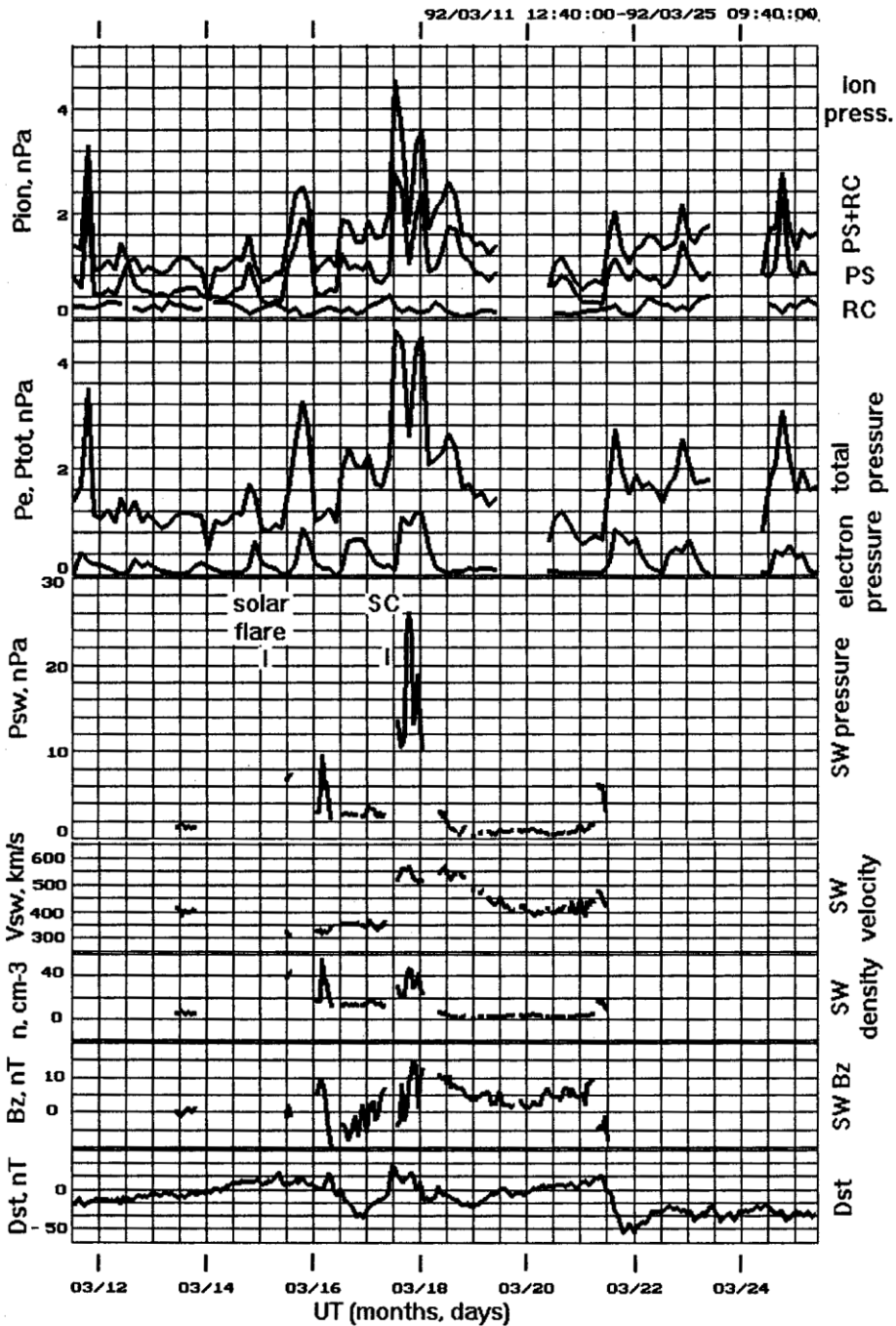


Рис. 1. Временной профиль вариаций давления на геостационарной орбите и параметры солнечного ветра в марте 1992 г. по результатам наблюдений на спутнике Горизонт-35.

ление и (верхняя кривая) в диапазоне энергий 0.1-133 кэВ. На второй панели показаны полные давления электронной (нижняя кривая) и ионной компонент. На третьей панели – динамическое давление солнечного ветра, на четвертой – скорость солнечного ветра, на пятой – плотность солнечного ветра, на шестой – V_z компонента межпланетного магнитного поля, на седьмой – Dst вариация. Результаты анализа Рис. 1 показывают, что основной вклад в полное давление вносят потоки ионов с энергиями 0.1-12.4 кэВ за весь исследуемый период. Среднее значение давления составляло ~ 1 нПа. Не было обнаружено ярко выраженной долготной зависимости распределения интегрального давления. Был зафиксирован значительный рост давления плазмы на геостационарной орбите при резком увеличении давления солнечного ветра. При этом при увеличении динамического давления солнечного ветра до 25 нПа, давление на геостационарной орбите составляло всего 4.5 нПа. В то же время среднее давление на геостационарной орбите ~ 1 нПа по порядку величины было близко к среднему динамическому давлению солнечного ветра. Из Рис. 1 следует также, что давление ионов с энергиями 0.1-12.4 кэВ вносит доминирующий вклад в полное давление. Вклад давления ионов за весь исследованный период значительно превышал вклад давления электронов. Интересно отметить, что наблюдалась суточная вариация давления электронов, но не наблюдалось суточной вариации давления ионов.

Полученные на спутнике Горизонт-35 результаты представляют интерес и в наше время. Полученные средние значения давления ~ 1 нПа указывают на важную роль, которую играет плазменная популяция на геостационарной орбите в формировании баланса давлений на магнитопаузе и возмущении магнитного поля вблизи Земли. Очень важен был вывод о доминирующем вкладе ионов с энергиями 0.1-12.4 кэВ в давление плазмы,

так как ранее сообщалось, что на геостационарной орбите такой вклад составляет порядка 50%. Измеренная плазменная популяция образовывала круговую структуру вокруг Земли.

Заключение

За прошедшее десятилетие серьезно продвинулись исследования распределения давления в магнитосфере Земли, в которые определенный вклад внесли наблюдения на Горизонте-35. По данным низколетящих спутников (Wing and Newel [2000]; Stepanova et al. [2004]) было доказано, что токи зоны 1 Ииджимы и Потемры обусловлены существованием азимутальных градиентов давления. В настоящее время такие градиенты удастся получать экспериментально в результате пятиспутниковых измерений в проект THEMIS (Xing et al. [2009]). Токи зоны 1 поддерживают поле утро-вечер в полярной шапке. Полученные экспериментально результаты говорят о том, что это поле образуется внутри магнитосферы благодаря существованию азимутальных градиентов давления, а не проникает (как долго считалось) из солнечного ветра. Данный вывод изменяет многие устоявшиеся понятия и открывает новые перспективы магнитосферных исследований.

Полученные в работе Э.Н Сосновца выводы о слабости или отсутствии азимутальной зависимости полного давления и о доминирующем вкладе в давление на геостационарной орбите частиц с энергиями 0.1-12.4 кэВ послужили толчком к введению новой токовой системы магнитосферы – высокоширотного продолжения кольцевого тока. Популяция частиц с энергиями 0.1-12.4 кэВ обычно считалась популяцией плазменного слоя магнитосферы Земли. Однако был хорошо известен замкнутый внутри магнитосферы характер траекторий большинства частиц инжектированных во время суббурь. При таких инъекциях на геостационарной орбите наблюдается дрейфовое эхо. В работе [Hori et al., 2000] показано, что дрейфовое эхо наблюдается на геоцен-

трических расстояниях до $13 R_E$. Частицы, ускоренные вблизи полуночи могут продрейфовать вокруг Земли и быть через время дрейфа зарегистрированными вблизи полуночи. При этом в дневные часы, где минимумы магнитного поля локализованы вдали от плоскости экватора, траектории дрейфа локализованы на высоких широтах (эффект Шабанского). Такая картина дрейфов не согласуется с популярной картиной поперечных токов, согласно которой токи в области квазизахвата – это токи плазменного слоя, и эти токи замыкаются токами магнитопаузы. За последнее время удалось показать (см. Antonova et al. [2009]), что обычный кольцевой ток имеет высокоширотное продолжение – разрезной кольцевой ток на геоцентрических расстояниях до $\sim 10 R_E$.

Регулярные исследования вариаций полного давления на геостационарной орбите при различных условиях в солнечном ветре так и не были проведены (так, широко используемые данные спутников серии LANL позволяют исследовать только вариации потоков энергичных частиц). Поэтому предстоит еще длительный путь к решению проблемы регулярных измерений давления в магнитосфере, так необходимых для решения проблем «Космической погоды» (см. Antonova et al. [2003]). Стоит напомнить, что предсказания обычной земной погоды стали возможными только после того, как земной шар был покрыт сетью метеостанций, измерявших давление воздуха вблизи земной поверхности.

Работы Э.Н. Сосновца по изучению вариаций давления на геостационарной орбите выполнялись в очень трудные времена, когда казалось, что наука в России погибает и уже не сможет возродиться. При этом в полной мере проявились исключительные человеческие качества Эльмара Николаевича, позволявшие ему в течение многих лет руководить Отделом теоретической и при-

кладной космофизики НИИЯФ МГУ. Эльмар Николаевич создал в Отделе психологический климат, который редко можно было встретить в научных подразделениях. Господствовала дружеская, почти семейная атмосфера, позволившая Отделу не только выжить в тяжелые девяностые годы, но и сделать работы, имеющие принципиальное значение. Внимательное и бережное отношение к студентам и молодым сотрудникам минимизировало кадровые потери отдела. Неизбежно возникавшие в процессе работ несостыковки мгновенно гасились, не создавая конфликтов, часто осложняющих жизнь научных подразделений. Дружественный климат сохраняется в Отделе и по сей день, что дает возможность не только продолжать регулярные спутниковые эксперименты, но и получать принципиально новые результаты, несмотря на трудности с финансированием и кадрами.

Память об удивительном светлом человеке Эльмаре Николаевиче Сосновце и его верной подруге, соратнице и супруге Татьяне Андреевне Ивановой хранится в сердцах старых сотрудников ОТПКФ и НИИЯФ в целом, передается новым поколениям молодых исследователей.

Литература

- Графодатский О.С., С.Н. Исляев, М.И. Панасюк, Э.Н. Сосновец, Б.А. Тверской, М.В. Тельцов, Измерения течения магнитосферной плазмы на спутниках «Горизонт», *Исследования по геомагнетизму и аэронауке, выпуск 86*, Электризация геостационарных спутников, Москва, Наука, с. 99-130, 1989.
- Ковтюх А.С., М.И. Панасюк, Э.Н. Сосновец, Протонная компонента радиационных поясов Земли по измерениям на ИСЗ «Молния», *Известия АН СССР, серия физическая*, **40(3)**, 496-501, 1976.
- Сосновец Э.Н., О.С. Графодатский, В.И. Савин, И.А. Рубинштейн, А.В. Ковтюх и др., Измерения на геостационарной орбите

- энергетических спектров ионов кольцевого тока H⁺, He⁺ и O⁺, *Космические исследования*, **32**(6), 149-154, 1996.
- Тверской Б.А., О продольных токах в магнитосфере, *Геомаг. Аэрoномия*, **22**(6), 991-995, 1982.
- Тверской Б.А., Механизм формирования структуры кольцевого тока магнитных бурь, *Геомаг. Аэрoномия*, **37**(5), 29-34, 1997 .
- Antonova E.E., and B.A. Tverskoy, On the nature of electric fields in the Earth's inner magnetosphere (a review). *Geomagnetism and Aeronomy International*, **1**(1), 9-21, 1998.
- Antonova, E.E., E.Yu. Budnik, I.P Kirpichev, V.N. Lutsenko, and N.F. Pissarenko, Magnetospheric plasma pressure and space weather, *Adv. Space Res.*, **31**(4), 1093-1098, 2003.
- Antonova E.E., I.P. Kirpichev, M.V. Stepanova, K.G. Orlova, I.L. Ovc-hinnikov, Topology of the high latitude magnetosphere during large magnetic storms and the main mechanisms of relativistic electron acceleration, *Adv. Space Res.*, **43**, 628–633, 2009.
- Baumjohann W., G. Puscmann, and H. Lühr, Pessure balance between lobe and plasma sheet, *Geophys. Res. Lett.*, **17**(1), 45-48, 1990.
- Behannon, K., Mapping the Earth's bow shock and magnetic tail by Explorer 33, *J. Geophys. Res.*, **73**(3), 907-930, 1968.
- Boström R., Mechanism for driving Birkeland currents, Physics of the hot plasma in the magnetosphere, ed. by B. Hultqvist and L. Sten-flo, 341-365, 1975.
- Grad, H., Some new variational properties of hygromagnetic equilibria, *Physics of Fluids*, **7**(8), 1283-1292, 1964.
- Christon, S.P., D. G. Mitchell, D. J. Williams et al., Energy spectra of plasma sheet ions and electrons from ~50 eV/e to ~1 MeV during plasma sheet temperature transitions, *J. Geophys. Res.*, **93**, No 4, 2562-2572, 1988.
- Christon, S.P., D. J. Williams, D. G. Mitchell et al., Spectral characteristics of plasma sheet ion and electron population during undis-

- turbed geomagnetic conditions, *J. Geophys. Res.*, **94**, No 10, 13409-13424, 1989.
- DeMichelis, P., I.A. Daglis, and G. Consolini, Average terrestrial ring current derived from AMPTE/CCE-CHEM measurements, *J. Geophys. Res.*, **102**(A7), 14103-14111, 1997.
- DeMichelis, P., I.A. Daglis, and G. Consolini, An average image of proton plasma pressure and of current systems in the equatorial plane derived from AMPTE/CCE-CHEM measurements, *J. Geophys. Res.*, **104**(A12), 28615-28624, 1999.
- Heinemann, M., and D.H. Pontius, Representations of currents and magnetic fields in isotropic magnetohydrostatic plasma, *J. Geophys. Res.*, **95**(A1), 251-257, 1990.
- Hori, T., K. Maezawa, Y. Sato, and T. Mukai, Average profile of ion flow and convection electric field in the near-Earth plasma sheet, *Geophys. Res. Lett.*, **27**(11), 1623-1626, 2000.
- Kistler, L.M., M.E. Mobius, W. Baumjohann, G. Paschmann, and D.C. Hamilton, Pressure changes in the plasma sheet during substorm injections, *J. Geophys. Res.*, **97**(A3), 2973-2983, 1992.
- Kistler, L.M., W. Baumjohann, T. Nagai, and E. Mobius, Superposed epoch analysis of pressure and magnetic field configuration changes in the plasma sheet, *J. Geophys. Res.*, **98**(A6), 9249-9258, 1993.
- Lui, A.T.Y., and D.C. Hamilton, Radial profile of quiet time magnetospheric parameters, *J. Geophys. Res.*, **97**(A12), 19325-19332, 1992.
- Michalov, J.D., D.S. Colburn, R.G. Currie, and C.P. Sonett, Configuration and reconnection of the geomagnetic tail, *J. Geophys. Res.*, **73**(3), 943-955, 1968.
- Parker, E. N., The alternative paradigm for magnetospheric physics, *J. Geophys. Res.*, **101**(A5), 10587-10625, 1996.
- Petrukovich A.A., T. Mukai, S. Kokubun, S.A. Romanov, Y. Saito, T. Yamamoto, and L.M. Zelenyi, Substorm associated pressure varia-

- tions in the magnetotail plasma sheet and lobe, *J. Geophys. Res.*, **104**(A3), 4501-4513, 1999.
- Riazantseva, M.O., E.N. Sosnovets, M.V. Teltsov, N.A. Vlasova, Hot plasma pressure variations using geostationary satellite data, Preprint SINP MSU 98-28/529, 17 p., 1998.
- Riazantseva, M.O., E.N. Sosnovets, M.V. Teltsov, and N.A. Vlasova, Hot plasma pressure variations on the geostationary orbit on the base of Gorizont satellite data, *Phys. Chem. Earth (C)*, **25**(1/2), 55-58, 2000a.
- Riazantseva, M.O., E.N. Sosnovets, M.V. Teltsov, and N.A. Vlasova, Geostationary orbit plasma pressure variations according to Gorizont satellite data, *Adv. Space. Res.*, **25**(12), 2365-2368, 2000b.
- Slavin, J.A., E.J. Smith, D.G. Sibeck, D.N. Baker, R.D. Zwickl, and S.-I. Akasofu, An ISEE 3 study of average and substorm conditions in the distant magnetotail, *J. Geophys. Res.*, **90**(A11), 10875-10895, 1985.
- Spence, H.E., M.G. Kivelson, R.J. Walker, and D.J. McComas, Magnetospheric plasma pressures in the midnight meridian: observations from 2.5 to 35 Re, *J. Geophys. Res.*, **94**(A5), 5264-5272, 1989.
- Stepanova M.V., E.E. Antonova, J.M. Bosqued, R. Kovrazhkin, Azimuthal plasma pressure reconstructed by using the Aureol-3 satellite data during quiet geomagnetic conditions, *Adv. Space Res.*, **33**, 737-741, 2004.
- Tsyganenko N.A., and T. Mukai, Tail plasma sheet models derived from Geotail data, *J. Geophys. Res.*, **108**(A3), doi:10.1029/2002JA009707, 2003.
- Vasyliunas, V. M., Mathematical models of magnetospheric convection and its coupling to the ionosphere, *Particles and Fields in the Magnetosphere*, ed. B.M. McCormac, Higham, Mass., Holland, 60-71, 1970.

Wing, S., and P.T. Newell, Quiet time plasma sheet ion pressure contribution to Birkeland currents, *J. Geophys. Res.*, **105**(A4), 7793-7802, 2000.

Xing, X., L. R. Lyons, V. Angelopoulos, D. Larson, J. McFadden, C. Carlson, A. Runov, and U. Auster, Azimuthal plasma pressure gradient in quiet time plasma sheet, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L14105, doi:10.1029/2009GL038881, 2009.



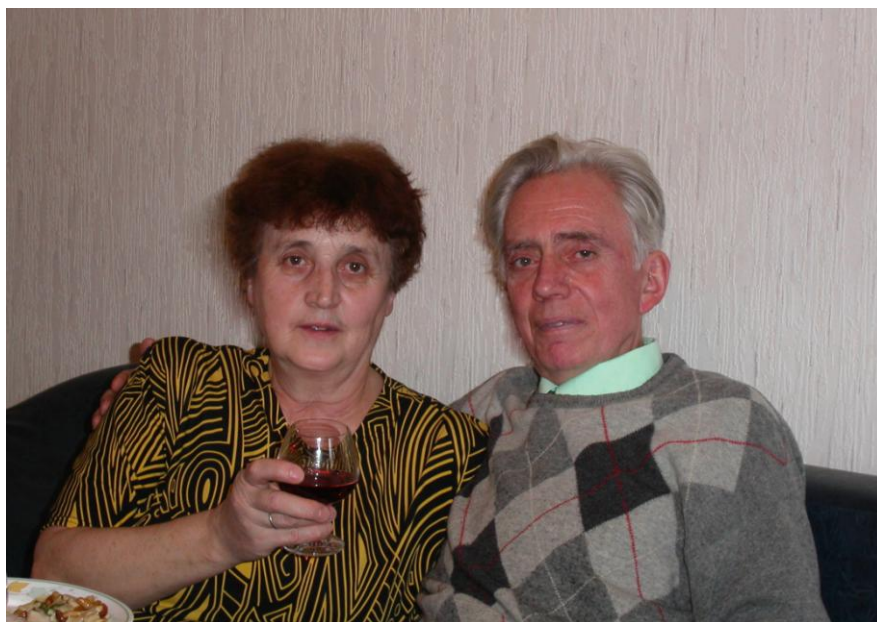
Татьяна Андреевна

Н.А. Власова

Татьяна Андреевна Иванова – талантливый физик-экспериментатор, более 50 лет верой и правдой служившая родному НИИЯФу, надежная спутница жизни и безотказная помощница

Эльмара Николаевича, исключительной доброты души человек.

Татьяна Андреевна пришла в НИИЯФ сразу после окончания школы в 1956 году. Первые трудовые навыки она получила под руководством Евгения Васильевича Горчакова, одного из пионеров исследования космического пространства, талантливого физика, для которого самым важным было ПОНИМАНИЕ физических процессов.



“Каков супруг, во многом зависит от супруги.”

Эразм Роттердамский

Евгений Васильевич был соавтором открытия внешнего радиационного пояса Земли, первого измерения в радиационных поясах потоков электронов с энергией >15 МэВ.



Евгений Васильевич Горчаков
(1932-2003)
Лауреат Государственной премии СССР
(1979)

Татьяна Андреевна работала и одновременно училась на вечернем отделении физического факультета МГУ. Она стала знающим и думающим физиком-экспериментатором, но продолжала учиться всю жизнь: в частности, не жалея времени и сил Татьяна Андреевна, осваивала новые компьютерные программы, каждый раз стараясь добиться совершенства. Татьяна Андреевна была не только квалифицированным физиком-экспериментатором, но и универсальным специалистом: она занималась расчётом приборов, калибровкой детекторов, обработкой экспериментальных данных, анализом полученной информации, подготовкой отчётов и публикаций, качественного графического материала для презентаций.

Татьяна Андреевна обладала критичным и пытливым умом. В любой работе она старалась смотреть в корень проблемы, ее идеи были оригинальны, неожиданны, но казались простыми и естественными, после того, как Татьяна Андреевна их озвучивала. Татьяна Андреевна стала настолько полезным и надежным сотрудником, что в последние годы за нее просто «боролись» и группа обработки Людмилы Васильевны Тверской, и группа электронщиков Ильи Александровича Рубинштейна.

Тандем Ильи Александровича и Татьяны Андреевны по созданию блоков детектирования научной аппаратуры был очень

плодотворным. Татьяна Андреевна искала новые пути, предлагая оригинальные методики калибровок детекторов и настроек электронной аппаратуры. Ее богатый опыт, глубокие знания, работоспособность, ответственность и огромное желание работать приводили к положительным результатам: по словам Ильи Александровича, аппаратура, налаженная и откалиброванная Татьяной Андреевной, работала точно и надежно.

Многие десятилетия созданием аппаратуры для исследования космического пространства в лаборатории физики магнитосферы под руководством Эльмара Николаевича Сосновца занимались две группы электронщиков: группа И.А. Рубинштейна создавала блоки детектирования, а группа Ю.В. Кутузова – блоки обработки.

Начиная с аппаратуры «Овал» на ИСЗ «Космос-900» (1977г.), Юрий Васильевич Кутузов был ведущим по научной аппаратуре и создателем информационных блоков для многих ИСЗ. Это был настоящий Человек, рядом с которым всякий ощущал себя как за каменной стеной. Юрий Васильевич все делал на совесть. Разра-



Юрий Васильевич Кутузов
10.03.1935 – 07.05.2007

ботанные им электронные схемы были проверены и перепроверены. Таким надежным человеком Юрий Васильевич был во всем. Он обладал отличными организаторскими способностями, умением наладить совместную работу людей из разных организаций, различных специальностей, умением сплотить и объединить людей. Юрия Васильевича и Эльмара Николаевича с

Татьяной Андреевной связывали не только общая работа, но и просто товарищеские отношения. Юрий Васильевич бывал у Со-сновцов дома, на даче в Абрамцево, помогал крыть крышу шифером на дальней даче, построенной Эльмаром Николаевичем. Они были совершенно разными людьми, но их объединяло то, что все трое были личностями: сильными, честными, справедливыми, внутренне очень красивыми людьми.

За свою жизнь в НИИЯФе Татьяна Андреевна сделала очень много. Только за последние годы она была ведущим физиком по контрольно-патрульной аппаратуре ДИЭРА, устанавливаемой на геостационарных ИСЗ серии «Горизонт»; блок БД научного комплекса для спутника «Университетский-Татьяна» – это детище Ильи Александровича и Татьяны Андреевны. Комплекс успешно проработал 2 года, вместо запланированных 6 месяцев.



Т.А. Иванова и И.А. Рубинштейн во время работы над научной аппаратурой для спутника «Университетский-Татьяна»

Одновременно с созданием научной аппаратуры Татьяна Андреевна занималась обработкой экспериментальных данных в группе Л.В. Тверской. Работа велась каждый день, часто до позднего вечера, а иногда по субботам и воскресеньям. За пару месяцев до своего ухода, не имея сил приезжать на службу, Татьяна Андреевна готовила данные на домашнем компьютере и обсуждала рабочие вопросы по телефону. У неё был очень сильный характер: до последних

дней никто в институте, кроме И.А. Рубинштейна, не знал о ее проблеме и состоянии. В этом вся Татьяна Андреевна: всю жизнь она помогала не только своим родным и близким, но и окружающим, а своей болью и трудностями никого не хотела обременять и травмировать.

Татьяна Андреевна была любящей и внимательной дочерью, женой, матерью и бабушкой. Ее доброта и забота распространялись на окружающих. Она была верной, надежной и преданной подругой: дружба Т.А. Ивановой, Г.Н. Яковлевой и еще трех их подруг началась в первом классе школы и продолжалась всю жизнь.

В отделе Татьяну Андреевну называли «министром по связям с общественностью»: она для каждого находила доброе слово, не жалела душевных сил и своего времени чтобы внимательно выслушать, посочувствовать и, конечно, помочь. Эльмар Николаевич старался создать дружный единый коллектив единомышленников, а Татьяна Андреевна была объединяющим центром. Она очень любила праздники и старалась каждому человеку сделать приятный подарок, не забывая даже родственников



1996 г. В Абрамцево на даче, которую перестроил Эльмар Николаевич своими руками и с любовью выращивал там цветы; он очень любил пионы, которые селекционировала его мама.

сотрудников (так Танечка всегда передавала сувениры и для моей мамы).

15 октября 2009 года Т.А. Ивановой исполнилось бы 70 лет. Очень больно, что слова любви и самой высокой оценки научной деятельности Татьяны Андреевны приходится говорить посмертно. Неправда, что нет незаменимых людей. Каждый человек является частичкой души близких и любящих его людей и остается в их сердцах навсегда.



Татьяна Андреевна Иванова
Фото сделано примерно в 1985 г.

Приложение. Список научных трудов Э.Н. Сосновца

1. П.В.Вакулов, Н.Н.Горюнов, Ю.И.Логачев, Э.Н.Сосновец Регистрация излучений при полетах советских искусственных спутников и космических ракет Геомagnetизм и аэрoномия, 1961, т.1, N 6, с. 880-887
2. С.Н.Вернов, П.В.Вакулов, Е.В.Горчаков, П.П.Игнатъев, С.Н.Кузнецов, Ю.И.Логачев, Г.П.Любимов, А.Г.Николаев, В.П.Охлопков, Э.Н.Сосновец, М.В.Терновская, А.Е.Чудаков Исследование радиации на искусственном спутнике Земли "Космос-17" Известия АН СССР, серия физическая, 1964, т. 28, N 12, с. 2058-2074
3. S.N.Vernov, A.E.Chudakov, P.V.Vakulov, E.V.Gorchakov, P.P.Ignatyev, S.N.Kuznetsov, Yu.I.Logatchev, G.P.Lyubimov, A.G.Nikolaev, V.P.Okhlopov, E.N.Sosnovets, M.V.Ternovskaya Preliminary results of study of radiation carried out on board the Cosmos-17 satellite Space Research, 1965, v. 5, p. 404-422
4. S.N.Vernov, E.V.Gorchakov, S.N.Kuznetsov, Yu.I.Logatchev, E.N.Sosnovets, B.A.Tverskoy, A.E.Chudakov Radiation belts of the Earth Proc. 9th Intern. Cosmic Rays Conf., London, 1965, p. 40-49
5. С.Н.Кузнецов, В.Г.Столповский, Э.Н.Сосновец Временные изменения внешнего радиационного пояса Земли по данным спутников "Электрон" Сб. "Исследования космического пространства", М., Наука, 1965, с. 420-425
6. С.Н.Вернов, П.В.Вакулов, С.Н.Кузнецов, Ю.И.Логачев, Э.Н.Сосновец, В.Г.Столповский Нерегулярные потоки электронов высоких энергий вблизи границы радиационных поясов Земли Сб. "Исследования космического пространства", М., Наука, 1965, с. 425-433
7. С.Н.Вернов, А.Е.Чудаков, П.В.Вакулов, Е.В.Горчаков, Ю.И.Логачев, А.Г.Николаев, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, М.В.Терновская Пульсации магнитного поля по измерениям на спутнике "Электрон-3" Сб. "Исследования космического пространства", М., Наука, 1965, с. 433-434
8. С.Н.Вернов, П.В.Вакулов, Е.В.Горчаков, С.Н.Кузнецов, Ю.И.Логачев, А.Г.Николаев, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, В.Г.Столповский, А.Е.Чудаков, В.А.Эльтеков Результаты исследования геометрического расположения и состава частиц радиационных поясов Земли по данным спутников "Электрон-1" и "Электрон-2" Сб. "Исследования космического пространства", М., Наука, 1965, с. 394-405
9. Н.Н.Горюнов, Б.И.Савин, Э.Н.Сосновец Электрометрический усилитель на транзисторах для измерения слабых токов от детекторов заряженных частиц Космические исследования, 1965, т. 3, N 1, с. 172-174

10. S.N.Vernov, P.V.Vakulov, E.V.Gorchakov, S.N.Kuznetsov, Yu.I.Logatchev, A.G.Nikolaev, E.N.Sosnovets, V.G.Stolpovsky, A.E.Chudakov Results of investigation of geographical position and of composition of the Earth's radiation belts particles according to "Electron-1" and "Electron-2" data Space Research, 1966, v. 6, p. 829-844
11. S.N.Vernov, P.V.Vakulov, S.N.Kuznetsov, Yu.I.Logatchev, E.N.Sosnovets, V.G.Stolpovsky, A.E.Chudakov Time variation of the intensity in the outer belt and near its boundaries as deduced from "Electron-1" and "Electron-2" Space Research, 1966, v. 6, p. 810-828
12. С.Н.Вернов, В.М.Дриацкий, С.Н.Кузнецов, Ю.И.Логачев, Э.Н.Сосновец, В.Г.Столповский Поведение радиационных поясов и аномальное поглощение космического радиопомех в зоне полярных сияний во время магнитных бурь 12-14.02 и 20-21.02 1964 г. Геомагнетизм и аэронавигация, 1966, т. 6, N 1, с. 3-10
13. Э.Н.Сосновец Регистрация протонов малых энергий на спутниках серии "Электрон" Известия АН СССР, серия физическая, 1966, т. 30, N 11, с. 1820-1823
14. S.N.Vernov, P.V.Vakulov, S.N.Kuznetsov, Yu.I.Logatchev, A.G.Nikolaev, E.N.Sosnovets, V.G.Stolpovsky The structure of the Earth's proton radiation belts according to the data of the "Electron" series of satellites Space Research, 1967, v. 6, p. 577-581
15. С.Н.Вернов, П.В.Вакулов, С.Н.Кузнецов, Ю.И.Логачев, Э.Н.Сосновец, В.Г.Столповский Граница внешнего радиационного пояса и зона неустойчивой радиации Геомагнетизм и аэронавигация, 1967, т. 7, с. 417-422
16. С.Н.Вернов, С.Н.Кузнецов, Ю.И.Логачев, Г.Б.Лопатина, Э.Н.Сосновец, В.Г.Столповский Вариации внешнего радиационного пояса во время магнитных возмущений Труды Международного симпозиума по солнечно-земной физике. Совет Солнце-Земля АН СССР, М., 1968, с. 23-29
17. С.Н.Вернов, С.Н.Кузнецов, Ю.И.Логачев, Э.Н.Сосновец, В.Г.Столповский Естественные радиационные пояса Земли (обзор) Модель околоземного космического пространства, НИИЯФ МГУ, 1968, т. 1
18. S.N.Vernov, S.N.Kuznetsov, Yu.I.Logatchev, G.B.Lopatina, E.N.Sosnovets, V.G.Stolpovsky Радиальная диффузия электронов с энергией более 100 кэВ во внешнем радиационном поясе Space Research, 1968, т. 8, с. 120-131
19. Р.Н.Басилова, И.В.Гецелев, Е.В.Горчаков, Э.Н.Сосновец Расчетная модель Космоса Модель околоземного космического пространства, НИИЯФ МГУ, 1968, т. 3

- 20.** S.N.Vernov, E.V.Gorchakov, S.N.Kuznetsov, Yu.I.Logatchev, E.N.Sosnovets, V.G.Stolpovsky Particle fluxes in the outer geomagnetic field Rev. of Geophysics, 1969, v. 7, N 12, p. 274-280
- 21.** S.N.Vernov, S.N.Kuznetsov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, M.V.Teltsov, O.V.Khorosheva Acceleration of Electrons and Protons in the Magnetosphere during Magnetic Storm Препринт НИИЯФ МГУ, 1970, 70-335-100
- 22.** S.N.Kuznetsov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, M.V.Teltsov, O.V.Khorosheva Quasiperiodical pulsations of the charged particle flux in the unstable radiation zone Тезисы докладов сессии КОСПАР, Ленинград, 1970,
- 23.** С.Н.Вернов, Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева, Г.И.Федорова Инжекция энергичных электронов во внутренние области магнитосферы во время магнитной бури 29.X-4.XI.1968 Известия АН СССР, серия физическая, 1970, т. 34, N 11, с. 2270-2274
- 24.** С.Н.Кузнецов, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева Квазипериодические пульсации потоков заряженных частиц в неустойчивой зоне радиации Труды Международного Симпозиума по солнечно-земной физике, Ленинград, 1970,
- 25.** С.Н.Вернов, С.Н.Кузнецов, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева Ускорение электронов и протонов в магнитосфере во время магнитных бурь Space Research, 1970, v. 11, pp. 1253-1258
- 26.** И.В.Гецелев, Е.В.Горчаков, Э.Н.Сосновец, В.И.Ткаченко Характеристики проникающих излучений в околоземном и межпланетном космическом пространстве Модель космоса, НИИЯФ МГУ, 1970, т. 3
- 27.** S.N.Vernov, S.N.Kuznetsov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, M.V.Teltsov, O.V.Khorosheva Acceleration of the electrons and protons in the geomagnetosphere during magnetic storms Space Research, 1971, v. 11, p. 1253-1258
- 28.** С.Н.Кузнецов, В.Ф.Никитин, Э.Н.Сосновец Использование данных о радиационных поясах для определения характеристик геомагнитного поля Труды III конференции ИЗМИРАН, 1971, с. 288-293
- 29.** S.N.Vernov, I.Ya.Kovalskaya, M.I.Panasyuk, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, O.V.Khorosheva Proton radiation belt variations in July-August 1970 Space Research, 1972, v. 12, p. 1493-1497
- 30.** С.Н.Вернов, В.П.Бородулин, М.И.Панасюк, И.А.Рубинштейн, И.А.Савенко, Э.Н.Сосновец Наблюдение малоэнергичных протонов в июле-августе 1970 г. на спутнике "Молния-1" Космические исследования, 1972, т. 10, N 3, с. 376-381

31. С.Н.Вернов, Е.В.Горчаков, С.Н.Кузнецов, Э.Н.Сосновец, Ю.И.Логачев и др. Потоки частиц во внешнем геомагнитном поле Сб. "Физика магнитосферы", изд. Мир, Москва, 1972, с. 318
32. С.Н.Вернов, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева Резонансное ускорение малоэнергичных протонов в радиационных поясах Земли Геомагнетизм и аэрномия, 1972, т. 12, N 5, с. 785-789
33. С.Н.Кузнецов, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева Ускорение электронов и протонов во внешних областях магнитосферы во время полярных суббурь Геомагнетизм и аэрномия, 1972, т. XII, N 3, с. 481-484
34. Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская North-South Asymmetry of solar cosmic ray intensity in polar caps Труды Международной Конференции по космическим лучам, Денвер, 1973, с. 1452-1458
35. М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Вариации интенсивности малоэнергичных протонов и электронов во внешней магнитосфере во время внезапного начала бури Космические исследования, 1973, т. 11, N 3, с. 431-435
36. М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Дифференциальный энергетический спектр протонов малых энергий во внутренних областях радиационного пояса Космические исследования, 1973, т. 11, N 3, с. 436-440
37. А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец К вопросу об измерении дифференциального энергетического спектра протонов во внешних областях радиационного пояса Космические исследования, 1973, т. 11, N 6, с. 883-889
38. Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская О структурных и динамических особенностях проникновения солнечных космических лучей в полярные области Известия АН СССР, серия физическая, 1973, т. 3, N 6, с. 1313-1317
39. Б.А.Тверской, Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, И.Я.Ковальская, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов Проникновение солнечных космических лучей в магнитосферу Земли Труды V Межд. семинара "Солнечные космические лучи и их проникновение в магнитосферу Земли, Ленинград, 1973, с. 365-385
40. И.В.Гецелев, Е.В.Горчаков, М.И.Панасюк, О.И.Савун, Э.Н.Сосновец, В.И.Степакин, И.Н.Сенчуро, П.И.Шаврин Радиация, захваченная магнитным полем Земли Модель космоса, НИИЯФ МГУ, 1973, т. 3, с. 37-90
41. С.Н.Вернов, Т.А.Иванова, С.Н.Кузнецов, Ю.И.Логачев, Г.Б.Лопатина, Э.Н.Сосновец Регистрация солнечных космических лучей

одновременно вблизи Венеры и в магнитосфере Земли Геомagnetизм и аэрономия, 1973, т. 13, N 1, с. 164-166

42. Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец Солнечные космические лучи в магнитосфере Земли Модель космоса, НИИЯФ МГУ, 1973, т. 1, с. 376-382

43. Т.А.Ivanova, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Dynamics of plasma sheet and dayside polar cups according to solar proton measurements in polar regions (тезисы) Программа и тезисы Симпозиума по солнечно-земной физике, Сан-Паоло, 1974,

44. I.Ya.Kovalskaya, M.I.Panasyuk, S.I.Ryumin, E.N.Sosnovets, S.K.Stolbouschkin, L.V.Tverskaya, O.V.Khorosheva Features of the Intensity Variations and Spectrum of Low-Energy protons in Polar cups Программа и тезисы КОСПАР 17, 1974,

45. А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Вариации pitch-углового распределения протонов во внешних областях радиационного пояса Космические исследования, 1974, т. 12, N 2, с. 235-240

46. A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, O.V.Khorosheva Enhancement of Proton Ring Current during Magnetic storms and the Development of Asymmetry in Low-Latitude magnetic disturbances (тезисы) COSPAR XVIII Varna, 1975,

47. I.Ya.Kovalskaya, M.I.Panasyuk, S.I.Ryumin, E.N.Sosnovets, S.K.Stolbouschkin, L.V.Tverskaya, O.V.Khorosheva Features of the Intensity Variations and Spectrum of Low-Energy protons in Polar cups Space Research, 1975, v. 15, p. 455-459

48. A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets Strong pitch-angle diffusion of protons during the magnetic storm of 19 March, 1973 Space Research, 1975, v. 15, N 2, p. 485-489

49. Л.М.Коврыгина, Л.В.Тверская, Э.Н.Сосновец, О.В.Хорошева Динамика пояса энергичных электронов, инжектированных во внутренние области магнитосферы во время бури 16-18 декабря 1971 г. Геомagnetизм и аэрономия, 1975, т. 15, N 2, с. 308-312

50. А.Н.Гречин, Л.М.Коврыгина, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец Предварительные результаты наблюдений протонов кольцевого тока на спутнике "Молния-1" Космические исследования, 1975, т. 13, N 3, с. 352-360

51. А.С.Ковтюх, Э.Е.Матвеева, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, В.А.Троицкая, Ф.З.Фейгин, В.Л.Якименко Сравнение вариаций потоков и анизотропии протонов, измеренных на спутнике "Молния-1", с наземными измерениями геомагнитных пульсаций типа РС-1 (жемчужины) Космические исследования, 1975, т. 13, N 6, с. 942-946

52. Т.А.Ivanova, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Dynamics of plasma sheet

and dayside polar cups according to solar proton measurements in polar regions Геомagnetизм и аэрoномия, 1976, т. 16, N 1, с. 159-163

53. A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, O.V.Khorosheva Enhancement of Proton Ring Current during Magnetic storms and the Development of Asymmetry in Low-Latitude magnetic disturbances Space Research, 1976, v. 16, p. 519-522

54. Л.М.Коврыгина, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева Быстрые квазипериодические вариации частиц в высокоширотных областях магнитосферы по измерениям на ИСЗ "Молния-1" Тезисы докладов симпозиума КАПГ по солнечно-земной физике, Тбилиси, 1976, с. 113-115

55. И.Я.Ковальская, М.И.Панасюк, С.П.Рюмин, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева Динамика полярного каспа по данным об электронах с $E_e > 40$ кэВ и протонов с $E_p > 65$ кэВ Геомagnetизм и аэрoномия, 1976, т. 16, N 1, с. 134-137

56. Э.Н.Сосновец Дозы излучения Модель космоса, НИИЯФ МГУ, 1976, т. 3, с. 82-91, с. 278-527

57. Э.Н.Сосновец Естественные радиационные пояса Земли Модель космоса, НИИЯФ МГУ, 1976, т. 3, с. 50-81

58. А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Некоторые особенности структуры и динамики кольцевого тока протонов Тезисы докладов симпозиума КАПГ по солнечно-земной физике, Тбилиси, 1976, с.190-192

59. Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец, Е.А.Чучков Одновременные измерения возрастания потоков СКЛ на ИСЛ "Луна-22" и ИСЗ "Космос-675" в сентябре 1974 г. Тезисы докладов симпозиума КАПГ по солнечно-земной физике, Тбилиси, 1976, с. 56-58

60. А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Протонная компонента радиационных поясов по измерениям на ИСЗ "Молния" Известия АН СССР, серия физическая, 1976, т. 40, N 3, с. 496-501

61. Т.А.Иванова, С.Н.Кузнецов, Ю.И.Логачев, Э.Н.Сосновец Северо-южная асимметрия и анизотропия СКЛ во время вспышки 18 апреля 1972 г. Космические исследования, 1976, т. 14, N 2, с. 235-238

62. Т.А.Иванова, Л.В.Тверская, Э.Н.Сосновец Эффект северо-южной асимметрии солнечных космических лучей и динамика плазменного слоя и дневного полярного каспа Геомagnetизм и аэрoномия, 1976, т. 16. N 1, с. 159-163

63. Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Вариации границ проникновения солнечных протонов в магнитосферу Земли во время сильной магнитной бури 4-6 июля 1974 г. Всесоюзный симпозиум по физике геомагнитосферы. Тезисы докладов. Иркутск, 1977, с. 37

- 64.** П.В.Вакулов, Л.М.Коврыгина, Ю.В.Минеев, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Двухмаксимумная структура внешнего пояса энергичных электронов Всесоюзный симпозиум по физике геомагнитосферы. Тезисы докладов. Иркутск, 1977, с. 36
- 65.** А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Магнитный эффект асимметричного кольцевого тока протонов Космические исследования, 1977, т. 15, N 4, с. 559-565
- 66.** А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Относительное влияние конвекции и высыпания протонов на формирование асимметричного кольцевого тока во время бури 25.I.1974 г. Всесоюзный симпозиум по физике геомагнитосферы. Тезисы докладов. Иркутск, 1977, с. 35-36
- 67.** А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Сравнение потоков протонов малых энергий с критическим уровнем вблизи внешней границы радиационных поясов Земли Космические исследования, 1977, т. 15, N 1, с. 102-108
- 68.** Л.М.Коврыгина, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева Ускорение и дрейф протонов и электронов с энергиями в десятки-сотни кэВ во внешней магнитосфере Всесоюзный симпозиум по физике геомагнитосферы. Тезисы докладов. Иркутск, 1977, с. 35
- 69.** Л.М.Коврыгина, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Формирование и распад пояса энергичных электронов, инжектированных во время бури 4-6 июля 1974 г. Геомагнетизм и аэрономия, 1977, т. 17, N 3, с. 519-521
- 70.** М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец, В.Н.Филатов Экспериментальные результаты измерений протонов и альфа-частиц с энергиями >1 МэВ/нуклон в радиационных поясах Космические исследования, 1977, т. 15, N 6, с. 887-894
- 71.** B.A.Tverskoy, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, A.V.Dronov, T.A.Ivanova, A.S.Kovtyukh, Yu.V.Kutuzov, S.Ya.Reizman, I.A.Rubinstein, O.V.Khorosheva Observations of Proton and Electron Fluxes in the magnetosphere on board the Cosmos-900 satellite from 1-15 December 1977 Тезисы докл. КОСПАР 21, Инсбрук, 1978, с. 306
- 72.** L.A.Darchieva, T.A.Ivanova, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Observations of solar cosmic rays in the Earth's magnetosphere during the event of September 19-21, 1977, according to Cosmos-842, Cosmos-900, Cosmos-911 satellites' data Phys. Solariterr., Potsdam, 1978, N 9, p. 5-10
- 73.** Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Вариации широты геомагнитного обрезания солнечных протонов во время сильных геомагнитных возмущений Геомагнетизм и аэрономия, 1978, т. 18, N 6, с. 1097-1098

- 74.** А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Динамика протонов кольцевого тока во время бури 25 января 1974 г. Космические исследования, 1978, т. 16, N 2, с. 226-237
- 75.** М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева О возникновении глобальных тонких структурных образований в магнитосфере во время суббурь Геомагнетизм и аэрномия, 1978, т. 18, N 1, с. 172-175
- 76.** E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, L.A.Darchieva, A.V.Dronov, T.A.Ivanova, T.I.Morozova, M.I.Panasyuk Cosmos-900 observations of electrons and protons in the Earth's magnetosphere 4-5,8-9,12-13.12 1977 IMS Newsletter, 1979, N 6, p. 3-5
- 77.** E.N.Sosnovets, A.V.Dronov, T.A.Ivanova, L.M.Kovrygina, T.I.Morozova, M.I.Panasyuk Cosmos-900 observations of electrons and protons in the Earth's magnetosphere 1-2,5-6.12 1977 IMS Newsletter, 1979, N 7, p. 7
- 78.** А.С.Бирюков, Ю.В.Гоцелюк, А.В.Дронов, А.В.Захаров, С.Н.Кузнецов, Т.И.Морозова, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец, В.Г.Столповский, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева Высыпание заряженных частиц во время магнитных бурь по данным ИСЗ Интеркосмос-17 и Космос-900 Труды Международного семинара по физике ионосферы и межпланетного пространства, Варшава, 1979, т. 15, N 3, с. 89-93
- 79.** А.В.Дронов, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец Динамика авроральных протонов и электронов в десятки и сотни кэВ по данным ИСЗ "Космос-900" Симпозиум КАПГ по солнечно-земной физике, тезисы докладов, изд. "Наука", Ашхабад, 1979, с. 60-61
- 80.** О.Р.Григорян, С.Н.Кузнецов, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Экспериментальное определение времени жизни электронов во внешнем радиационном поясе Геомагнетизм и аэрномия, 1979, т. 19, N 4, с. 623-628
- 81.** E.N.Sosnovets, V.V.Afonin, A.V.Dronov, V.D.Ozerov, M.I.Panasyuk, L.V.Tverskaya, V.I.Tulupov, O.V.Khorosheva, Ya.Shmilauer Effect of Magnetospheric Processes on the Ionosphere During Magnetic Storm of 1 December 1977 based on Cosmos-900 Data Space Research, 1980, v. 20, p. 153-156
- 82.** В.П.Бородулин, Г.Г.Соловьев, Э.Н.Сосновец Анализ методов исследования и теории распространения света в дисперсных средах Материалы и процессы космической технологии, М., Наука, 1980, с. 146-168
- 83.** А.Н.Герберг, А.В.Дронов, А.Ш.Искандеров, М.И.Панасюк, В.И.Петров, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, У.В.Шебиот Измерение радиации на ИСЗ "Космос-900". 1. Спектрометрия электронов Космиче-

ские исследования, 1980, т. 18, N 3, с. 392-396

84. А.С.Ковтюх, В.Д.Маслов, С.Я.Рейзман, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Измерение радиации на ИСЗ "Космос-900". 2. Спектрометрия протонов средних энергий Космические исследования, 1980, т. 18, N 3, с. 397-401

85. Т.А.Иванова, В.Д.Маслов, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Измерения радиации на ИСЗ "Космос-900". 3. Спектрометрия протонов и альфа-частиц с энергиями более 1 МэВ/нуклон Космические исследования, 1980, т. 18, N 4, с. 567-571

86. Т.А.Иванова, С.Н.Кузнецов, Э.Н.Сосновец Некоторые особенности проникновения СКЛ в магнитосферу Земли Международный семинар КАПГ "Космофизические аспекты исследования космических лучей". Алма-Ата. Тезисы докладов, 1980, с. 73

87. В.И.Алтынцева, А.В.Дронов, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Н.М.Полех, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец Пространственно-временные вариации высыпающихся потоков авроральных электронов с $E_e > 30$ кэВ Тезисы докладов V Всесоюзного семинара по ОНЧ излучениям, Мурманск, 1980,

88. Т.А.Иванова, Л.А.Дарчиева, Л.М.Коврыгина, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Северо-южная асимметрия интенсивности и вариации границ проникновения солнечных космических лучей в магнитосферу Земли Международный семинар КАПГ "Космофизические аспекты исследования космических лучей". Алма-Ата. Тезисы докладов, 1980, с. 75

89. Т.А.Ivanova, S.N.Kuznetsov, E.N.Sosnovets The dynamics of low latitude boundary of penetration of SCR low-energy protons Proc. 17 Conf. int. rayonn. cosmicque, Paris, 1981, v. 3, p. 496-499

90. Б.Н.Вайнман, Ю.М.Горбачев, В.И.Довгий, А.В.Дронов, В.Н.Каналеев, Ю.В.Кутузов, В.И.Лазарев, Н.Ф.Макарова, М.И.Панасюк, Р.С.Рашкован, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, С.К.Столбоушкин, М.В.Тельцов, С.А.Филиппычев, А.Ф.Шинкевич Аппаратура для измерения радиации на геостационарной орбите Депонированная рукопись, М., 1981, инв.N21145, СИП, сер.IV, N12, с.1-12

91. А.В.Дронов, А.С.Ковтюх, Т.И.Морозова, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, В.И.Тулупов, О.В.Хорошева Динамика кольцевого тока, высыпающихся частиц, свечения полярных сияний по данным ИСЗ "Космос-900" Всесоюзное совещание по итогам выполнения проекта "Международные исследования магнитосферы", Ашхабад, 1981,

92. А.В.Дронов, Т.И.Морозова, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, В.И.Тулупов, О.В.Хорошева Динамика энергичных частиц и свечения полярных сияний во время магнитосферных возмущений по

данным ИСЗ "Космос-900" Всесоюзное совещание по итогам выполнения проекта "Международные исследования магнитосферы", Ашхабад, 1981, с. 133

93. Н.А.Власова, Т.А.Иванова, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Проникновение солнечных протонов и альфа-частиц с энергиями более 1 МэВ/нуклон в полярные шапки Космические исследования, 1981, т. 19, N 4, с. 551-558

94. А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец Структура и динамика авроральных протонов и электронов с энергиями в десятки и сотни кэВ по измерениям на ИСЗ "Космос-900" Космические исследования, 1981, т. 19, N 1, с. 71-75

95. С.Н.Вернов, Н.К.Осипов, В.С.Соколов, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Б.А.Тверской, Г.М.Чернявский Физические характеристики среды на геостационарной орбите (обзор) Депонированная рукопись, М., 1981, инв. N21144, СИП, сер.1, N12, с.1-29

96. A.V.Dronov, T.I.Morozova, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, B.A.Tverskoy, V.I.Tulupov, O.V.Khorosheva Ring current, high-energy particle precipitations and auroras during the magnetic storm of December 1-2 1977 as deduced from Cosmos-900 Data 24 COSPAR, Canada, 16 May-2 June 1982, Ottawa, Abstract, 1982, p. 233

97. L.A.Darchieva, T.A.Ivanova, Yu.V.Kutuzov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, B.A.Tverskoy Solar protons in the Earth's magnetosphere during the period from September 19 to 22,1977 Solar-Geophys. Activity Reports for 7-24 Sept.,1977 and 22 Nov., 1977, World Data Center A, 1982, part 1, p.164-167

98. В.И.Алтынцева, А.В.Дронов, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Н.М.Полех, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец Вариации интенсивности и анизотропии потоков высыпающихся частиц с энергией более 30 кэВ Космические исследования, 1982, т. 20, N 4, с. 552-559

99. А.В.Дронов, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, В.И.Тулупов, О.В.Хорошева Взаимосвязь кольцевого тока высыпающихся электронов и свечения полярных сияний в утреннем секторе магнитосферы по данным ИСЗ "Космос-900" Геомагнетизм и аэрономия, 1982, т. XXI, N 1, с. 85-89

100. А.В.Дронов, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, М.И.Панасюк, В.И.Тулупов, О.В.Хорошева Взаимосвязь кольцевого тока, высыпающихся электронов и полярных сияний в утреннем секторе магнитосферы по данным ИСЗ "Космос-900" Геомагнетизм и аэрономия, 1982, т. 22, N 1, с. 85-89

101. Т.И.Морозова, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская,

О.В.Хорошева Динамика вечерне-утренней асимметрии кольцевого тока во время магнитной бури 1-2 декабря 1977 г. по данным ИСЗ "Космос-900" Геомагнетизм и аэрономия, 1982, т.22, N4, с.609-611

102. Т.Я.Белоусова, Н.А.Власова, Л.М.Гладких, М.Ф.Горяинов, Э.А.Изупак, Е.К.Иорданский, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, С.А.Филиппычев Многоканальные спектрометры с использованием охлаждаемых полупроводниковых детекторов для регистрации низкоэнергичной радиации в космическом пространстве III Международный семинар социалистических стран "Научное космическое приборостроение", тезисы семинара, изд. ИКИ, Одесса, 1982, с. 116-117

103. Э.Н.Сосновец, Т.И.Морозова, Н.Н.Павлов Организация системы обработки информации приборов КДК-654, КДК-662 и ПЛАЗМА-2 изделий 11Ф654 и 11Ф662 Научно-технич. отчет НИИЯФ МГУ, 1982, с. 1-23

104. L.A.Darchieva, A.V.Dronov, T.A.Ivanova, L.M.Kovrygina, Yu.V.Mineev, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, E.S.Spirkova Dynamics of the boundary of solar cosmic ray penetration into the magnetosphere during a strong magnetic storm 18th Intern. Cosmic Ray Conf., Conf. Papers, Bangalor, India, 1983, v. 10, p. 233-236

105. A.S.Buryukov, T.A.Ivanova, L.M.Kovrygina, S.N.Kuznetsov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya The SCR flux structure in the polar caps 18th Intern. Cosmic Ray Conf., Conf. Papers, Bangalor, India, 1983, v. 3, p. 461-464

106. Т.Я.Белоусова, Н.А.Власова, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, С.А.Филиппычев, А.Г.Мясников, Л.М.Гладких, Э.А.Изупак, Е.К.Иорданский Активное охлаждение полупроводниковых детекторов, предназначенных для регистрации заряженных частиц в космосе Приборы и техника эксперимента, 1983, т. 21, N 4, с. 211-214

107. А.С.Бирюков, Т.А.Иванова, Л.М.Коврыгина, С.Н.Кузнецов, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, К.Кудела Граница проникновения СКЛ в магнитосферу в магнитно-спокойное время Космические исследования, 1983, т. 21, N 6, с. 897-906

108. Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, Л.М.Коврыгина, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Диагностика состояния магнитосферы по данным о солнечных космических лучах Геомагнетизм и аэрономия, 1983, т. 23, N 1, с. 62-67

109. А.С.Беспозванная, Г.Л.Гдалевич, В.Д.Озеров, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева Динамика ионосферного провала и кольцевого тока по данным одновременных спутниковых и наземных измерений Физические процессы в области главного ионосферного провала. Сб.статей семинара проектов N5 и N6 КАПГ, Прага, 1983,

- 110.** Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Дневной высокоширотный профиль протонов солнечных космических лучей с $E_p > 1$ МэВ Космические исследования, 1983, т. 21, N 4, с. 577-585
- 111.** Л.А.Дарчиева, А.В.Дронов, Т.А.Иванова, Л.М.Коврыгина, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Исследование магнитосферных процессов с помощью солнечных космических лучей Известия АН СССР, серия физическая, 1983, т. 47, N 9, с. 1838-1843
- 112.** М.Ф.Горяинов, А.В.Дронов, А.С.Ковтюх, Э.Н.Сосновец Пространственная, спектральная и угловая структура потоков электронов с энергиями 30-210 кэВ на малых высотах в магнито-спокойное время Космические исследования, 1983, т. 21, N 4, с. 609-618
- 113.** Б.А.Тверской, А.И.Акишин, Н.Н.Контор, Л.С.Новиков, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Физические условия в околоземном космическом пространстве и эксперименты по влиянию факторов космического пространства на ИСЗ Научно-технич. отчет НИИЯФ МГУ, 1983, с.1-68
- 114.** A.S.Buryukov, T.A.Ivanova, L.M.Kovrygina, S.N.Kuznetsov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, K.Kudela Boundary of solar cosmic ray penetration into the magnetosphere according to data of Intercosmos-17 and Cosmos-900 Acta physica Slovaca, 1984, v. 34, N 2,3, p. 153-156
- 115.** A.S.Buryukov, Yu.V.Gotselyuk, A.V.Dronov, T.A.Ivanova, S.N.Kuznetsov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, I.Kimak, K.Kudela Dynamics of solar cosmic ray penetration into the magnetosphere Thesis of 9 Europe Cosmic Ray Symposium Kosice, Czechoslovakia, 1984,
- 116.** A.S.Buryukov, T.A.Ivanova, L.M.Kovrygina, S.N.Kuznetsov, I.A.Kurillo, E.N.Sosnovets, V.G.Stolpovsky, L.V.Tverskaya, K.Kudela Structure of solar cosmic ray fluxes in the polar caps Acta physica Slovaca, 1984, v. 34, N 2,3, p. 157-160
- 117.** Н.А.Власова, С.Н.Кузнецов, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Анизотропия потоков протонов и тяжелых ионов в радиационных поясах Земли Известия АН СССР, серия физическая, 1984, т. 48, N 11, с. 2204-2207
- 118.** Л.М.Коврыгина, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, Т.А.Кирдина, В.А.Кузьмина, А.Б.Малышев Вариации положения максимума внешнего пояса энергичных электронов в течение 19-21 циклов солнечной активности IV Международный симпозиум КАПГ по солнечно-земной физике, Сочи, тезисы докладов, 1984,
- 119.** А.С.Беспозванная, Г.Л.Гдалевич, В.Д.Озеров, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева Взаимосвязь кольцевого тока и ионосферного провала в утренние и вечерние часы Геомагнетизм и аэрономия, 1984, т. 24, N 3, с. 442-447

- 120.** В.Д.Ильин, С.Н.Кузнецов, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Неадиабатические эффекты и граница захвата протонов радиационных поясов Земли Известия АН СССР, серия физическая, 1984, т. 48, N 11, с. 2200-2203
- 121.** И.А.Рубинштейн, Л.М.Коврыгина, Т.И.Морозова, Н.Н.Павлов, Т.А.Иванова, Л.А.Дарчиева, Т.Н.Лукина, А.Г.Злотин, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Отчет по результатам обработки и анализа информации аппаратуры КДК-654 на изделии 11Ф654 N 12 Научно-технич. отчет НИИЯФ МГУ, 1984, вып. 3, с. 1-15
- 122.** И.А.Рубинштейн, Л.М.Коврыгина, Т.И.Морозова, Н.Н.Павлов, Т.А.Иванова, Л.А.Дарчиева, Т.Н.Лукина, А.Г.Злотин, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Отчет по результатам обработки и анализа информации аппаратуры КДК-654 на изделии 11Ф654 N 12. Научно-технич. отчет НИИЯФ МГУ, 1984, вып. 2, с. 1-10
- 123.** Н.А.Власова, Б.Н.Князев, А.С.Ковтюх, А.Г.Козлов, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец Протоны с $E > 30$ кэВ радиационных поясов Земли в магнитно-спокойное время вблизи геомагнитного экватора и на малых высотах Космические исследования, 1984, т. 22, N 1, с. 53-67
- 124.** А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец Спектральные характеристики протонов на малых и больших высотах во время геомагнитной бури 29 июля 1977 г. Космические исследования, 1984, т. 22, N 3, с. 399-405
- 125.** М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Формирование протонных радиационных поясов в области энергий в несколько МэВ Космические исследования, 1984, т. 22, N 5, с. 756-762
- 126.** E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya The features of ring current particle injection during global magnetic storms 5th General Assembly IAGA/IAMAP, Abstracts Prague, Czechoslovakia, 1985, v. 2, p. 284
- 127.** А.В.Дронов, Т.И.Морозова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, В.И.Тулупов, О.В.Хорошева Взаимосвязь магнитного поля, областей высыпания электронов и свечения полярных сияний в вечернем-полуночном секторе магнитосферы Тезисы докладов Международного симпозиума КАПГ, проект N5, Москва, 1985, с. 16
- 128.** И.Б.Волков, А.В.Дронов, Ю.П.Кратенко, Л.М.Коврыгина, Ю.В.Минеев, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Динамика внешнего пояса энергичных электронов по данным одновременных измерений на ИСЗ "Интеркосмос-19" и "Космос-900" Космические исследования, 1985, т. 23, N 4, с. 642-646
- 129.** Т.А.Иванова, С.Н.Кузнецов, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Динамика низкоширотной границы проникновения в магнитосферу солнечных

протонов малых энергий Геомagnetизм и аэрономия, 1985, т. 25, N 1, с. 7-12

130. В.И.Дегтярев, О.И.Платонов, Г.В.Попов, Э.Н.Сосновец, В.И.Лазарев, М.В.Тельцов, Б.В.Марьин Исследование долготного эффекта в потоках частиц, регистрируемых на геостационарных спутниках Сб. "Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца", Сиб ИЗМИР, Иркутск, 1985, вып.74, с. 132-140

131. Н.А.Власова, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Относительное содержание протонов и ионов гелия в солнечных космических лучах и в радиационных поясах Земли В кн. "Вариации космических лучей", изд. ИЗМИР АН СССР, Москва, 1985, с. 27-32

132. Е.В.Горчаков, А.И.Григорьев, Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, Е.Е.Ковалев, А.В.Коломенский, С.Н.Кузнецов, В.М.Петров, Э.Н.Сосновец, В.И.Степакин, Л.В.Тверская, И.Б.Теплов, М.В.Терновская и др. Проникновение космических лучей в магнитосферу Земли. Граница проникновения протонов. Госстандарт СССР, Москва, 1985, ГОСТ 25645.121-85

133. М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец Пространственное распределение протонов на больших и малых высотах в радиационных поясах. Сравнение теории и эксперимента Космические исследования, 1985, т. 23, N 6, с. 911-919

134. М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Энергетические распределения протонов с $0.05 < E_p < 50$ МэВ в радиационных поясах Земли Космические исследования, 1985, т. 23, N 1, с. 106-112

135. Ju.I.Vakulin, V.I.Degtyarev, A.V.Dronov, G.A.Gerebtsov, L.M.Kovrygina, O.I.Platonov, G.V.Popov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Comparison of the ryometric absorption with the disturbances of energetic electron fluxes in the geostationary orbit Abstracts of 6th Intern. Symp. on STP, France, 1986, p. 58-59

136. B.A.Tverskoy, E.N.Sosnovets, E.E.Antonova, L.V.Tverskaya Magnetosphere-ionosphere interactions and dynamics of auroral plasma and ring current Conf.papers XIX General Assembly at the Intern. Union of Geodezy and Geophysics, Moscow, 1986, p. 6-42

137. T.Ya.Belousova, N.A.Vlasova, M.F.Goryainov, A.S.Kovtyukh, Yu.V.Kutuzov, M.I.Panasyuk, S.Ya.Reizman, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets Study of ion composition in tens keV energy range at a geostationary orbit Abstracts of 6th Intern. Symp. on STP, France, 1986, p. 32

138. Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Динамика кольцевого тока по данным прямых измерений и по данным о солнечных космических лучах в магнитосфере Геомagnetизм и аэрономия, 1986, т. 26, N 1, с. 107-113

139. Т.Я.Белуосова, Н.А.Власова, М.Ф.Горяинов, А.С.Ковтюх,

Ю.В.Кутузов, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец Динамика многокомпонентного кольцевого тока на геостационарной орбите Всесоюзный симпозиум по солнечно-земной физике. Иркутск СибИЗМИР СОАН СССР (тезисы докладов), 1986, с. 63-64

140. А.В.Дронов, А.С.Ковтюх, Э.Н.Сосновец Динамика энергетических спектров электронов (30-210 кэВ) во время геомагнитных возмущений по данным ИСЗ "Космос-900" Космические исследования, 1986, т. 24, N 6, с. 896-908

141. Т.Я.Белоусова, Н.А.Власова, М.Ф.Горяинов, Ю.В.Кутузов, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, О.С.Графодатский, А.Г.Козлов, Б.Н.Князев Исследование ионного состава на геостационарной орбите. Предварительные результаты. Космические исследования, 1986, т. 24, N 6, с. 908-916

142. С.И.Авдюшин, И.Б.Теплов, Е.В.Горчаков, Э.Н.Сосновец, М.В.Терновская, Н.А.Власова, С.Я.Рейзман и др. Пояса Земли радиационные естественные. Пространственно-энергетические характеристики протонов Госстандарт СССР, Москва, 1986, 25645.138-86.

143. С.И.Авдюшин, М.И.Панасюк, Е.В.Горчаков, Э.Н.Сосновец, М.В.Терновская, Н.А.Власова, С.Я.Рейзман и др. Пояса Земли радиационные естественные. Пространственно-энергетические характеристики электронов Госстандарт СССР, Москва, 1986, ГОСТ 25645.139-86.

144. А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Н.А.Власова Пространственно-энергетические распределения ионов кольцевого тока на геостационарной орбите Всесоюзный симпозиум по солнечно-земной физике. Иркутск СибИЗМИР СОАН СССР (тезисы докладов), 1986, с. 64-65

145. S.N.Kuznetsov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, K.Kudela Solar cosmic ray electrons in the earth's magnetosphere Bull. Astron. Inst. Czechosl., 1987, v. 38

146. L.A.Darchieva, T.A.Ivanova, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya The features of the solar cosmic ray increase in the Earth's magnetosphere on April 24-May 1, 1984 Conf. papers, XX ICRC, Moscow, 1987, v. 4, p. 235-238

147. L.A.Darchieva, T.A.Ivanova, T.N.Lukina, T.I.Morozova, N.N.Pavlov, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya The Solar Protons in the Earth's Magnetosphere as observed on Board Cosmos-1490 and 1520 From 24 April to 1 May 1984 Solar-Geophys Activity Reports, World Data Center A for Solar-Terr. Physics, USA, Boulder, 1987, p.150-151

148. Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, О.С.Графодатский, Ш.Н.Исляев, А.Г.Козлов Ионный кольцевой ток во время магнитных возмущений по наблюдениям на геостационарной

орбите. 1. Динамика во время умеренных бурь. Космические исследования, 1987, т. 25, N 4, с. 599-605

149. V.V.Afonin, Yu.V.Gotselyuk, M.S.Kazaryan, L.M.Kovrygina, S.N.Kuznetsov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, Ya.Shmilauer Correlated Cosmos-900 and Intercosmos-17 observations of spatial-temporal variations of ionospheric parametr and ring current and precipitations Adv. Space Res. Geospace Plasmas, 1988, v. 8

150. N.A.Vlasova, A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, S.Ya.Reizman Diurnal variations of the flux intensity on a synchronous orbit Preprint INP MSU, 1988, 88-34/55

151. N.A.Vlasova, A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, S.Ya.Reizman Diurnal variations of the flux intensity on a synchronous orbit (abstract) 27 Plenary meeting of COSPAR, Abstracts, Finland, 1988, p. 351

152. N.A.Vlasova, A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets Some feature the variation of the ring-current ion composition on a synchronous orbit 27 Plenary meeting of COSPAR, Abstracts, Finland, 1988, p. 344

153. N.A.Vlasova, A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets Variations of the ring-current ion composition during magnetic storms in different LT-sectors 27 Plenary meeting of COSPAR, Abstracts, Finland, 1988, p. 350

154. Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, О.С.Графодатский, Ш.Н.Исляев, А.Г.Козлов Вариации ионного состава на геостационарной орбите во время геомагнитной бури Известия АН СССР, серия физическая, 1988, т. 52, N 4, с. 824-826

155. А.В.Дронов, Т.И.Морозова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, В.И.Тулупов, О.В.Хорошева Взаимосвязь кольцевого тока, областей высыпания электронов и свечения полярных сияний в вечерне-полуночном секторе магнитосферы Геомагнетизм и аэрномия, 1988, т. 28, N 6, с. 1011-1016

156. Ю.И.Вакулин, В.И.Дегтярев, А.В.Дронов, Г.А.Жеребцов, Л.М.Коврыгина, О.И.Платонов, Г.В.Попов, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Взаимосвязь риометрического поглощения и возрастания потоков энергичных электронов на геостационарной орбите Сб. "Исследования по геомагнетизму, аэрномии и физике Солнца", М., Наука, 1988, вып. 11, с. 96-105

157. Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Диагностика магнитосферных процессов по данным измерений солнечных космических лучей и энергичных магнитосферных частиц на ИСЗ серии Космос Сб. "Магнитосферные исследования", М., Радио и связь, 1988, N 10, с. 39-56

158. И.Б.Волков, А.В.Дронов, Л.М.Коврыгина, Ю.В.Минеев, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Динамика энергичных электронов во время

интервала МИМ 22 марта 1978 г. по данным ИСЗ "Интеркосмос-19" и "Космос-900" Тезисы докладов Международного семинара "Результаты комплексных исследований по данным измерений ИСЗ "Интеркосмос-19", Калуга, 1988, с. 44-45

159. Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, О.С.Графодатский, Ш.Н.Исляев, А.Г.Козлов Ионный кольцевой ток во время магнитных возмущений по наблюдениям на геостационарной орбите. 2. Вариации энергетических и зарядовых спектров ионов во время умеренных бурь Космические исследования, 1988, т. 26, N 5, с. 746-753

160. Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, Э.Н.Сосновец, О.С.Графодатский, Ш.Н.Исляев, А.Г.Козлов Ионный кольцевой ток во время магнитных возмущений по наблюдениям на геостационарной орбите. 3. Вариации ионного состава, связанные со слабыми магнитными возмущениями Космические исследования, 1988, т. 26, N 6, с. 881-889

161. О.С.Графодатский, Ш.Н.Исляев, В.И.Верхотуров, С.А.Маслов, А.В.Дронов, Т.А.Иванова, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Некоторые физико-технические характеристики патрульной аппаратуры ДИЭРА Тезисы докладов III межотраслевой научно-технической конференции, Иркутск, 1988,

162. Ю.И.Вакулин, О.С.Графодатский, В.И.Дегтярев, В.И.Довгий, Г.А.Жеребцов, Ш.Н.Исляев, В.Н.Каналеев, А.Г.Козлов, Г.М.Маркелов, О.И.Платонов, Г.В.Попов, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Радиационная обстановка на геостационарной орбите для магнито-спокойных условий по данным спутника связи "Радуга" Космические исследования, 1988, т. 26, N 1, с. 120-126

163. N.A.Vlasova, A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, S.Ya.Reizman Diurnal variations of ion flux intensity on a synchronous orbit Advances of Space Research, 1989, v. 9, N 12, p. 163-170

164. Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Асимметричная инжекция частиц кольцевого тока по данным измерений солнечных протонов в магнитосфере Тезисы докладов V Симпозиума КАПГ "Солнечно-земная физика", Самарканд, 2-6 октября, 1989, с.301

165. Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец, О.С.Графодатский, Ш.Н.Исляев, А.Г.Козлов Взаимосвязь пространственных, угловых и энергетических распределений частиц на геостационарной орбите Космические исследования, 1989, т. 27, N 1, с. 94-101

166. И.Б.Волков, Л.М.Коврыгина, Ю.В.Минеев, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Динамика энергичных электронов во время интервала

МИМ 22 марта 1979 по данным ИСЗ "Интеркосмос-19" и "Космос-900" Космические исследования, 1989, т. 27, N 6, с. 946-949

167. О.С.Графодатский, В.И.Дегтярев, А.В.Дронов, О.И.Платонов, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская О долготных вариациях потоков энергичных электронов в окрестности геостационарных ИСЗ Сб. "Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца", М., Наука, 1989, вып.85, с. 3-7

168. О.С.Графодатский, А.В.Дронов, Т.А.Иванова, Л.М.Коврыгина, Т.И.Морозова, М.И.Панасюк, В.П.Пищиков, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Особенности вариаций потоков электронов с энергиями в десятки-сотни кэВ и протонов с энергией 1 МэВ на геостационарной орбите Сб. "Исследования по геомагнетизму и физике Солнца", М., Наука, 1989, с. 7-15

169. О.С.Графодатский, Ш.Н.Исляев, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Б.А.Тверской Регистрация потоков магнитосферной плазмы на ИСЗ "Горизонт" Сб. "Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. Электризация геостационарных спутников", 1989, вып. 86, с. 99-130.

170. Н.А.Власова, В.И.Дегтярев, А.В.Дронов, О.И.Платонов, В.Г.Попов, Л.М.Коврыгина, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, С.Н.Самсонов, В.Д.Соколов Сопоставление аврорального риометрического поглощения с суббуревыми возмущениями энергичных электронов на геостационарной орбите Тезисы докладов V Симпозиума КАПГ "Солнечно-земная физика", Самарканд, 2-6 октября, 1989, с. 97

171. Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Сравнительный анализ долговременных вариаций многокомпонентного кольцевого тока по данным геостационарного спутника "Горизонт" (тезисы) Тезисы докладов V Симпозиума КАПГ "Солнечно-земная физика", Самарканд, 2-6 октября, 1989, с.111

172. Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, О.С.Графодатский, Ш.Н.Исляев, А.Г.Козлов Суточные вариации и энергетические спектры ионов кольцевого тока на геостационарной орбите Космические исследования, 1989, т. 27, N 3, с. 411-418

173. Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Динамика экваториальных и полярных границ проникновения солнечных протонов с энергией 1 МэВ в магнитосферу во время сильной магнитной бури Геомагнетизм и аэрономия, 1990, т. 30, N 5, с. 856-858

174. Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Сравнительный анализ долговременных вариаций многокомпонентного кольцевого тока по данным геостационарного спутника "Горизонт" Космические

исследования, 1990, т. 28, N 5, с. 743-749

175. Т.А.Кирдина, Л.М.Коврыгина, В.А.Кузьмина, А.Б.Малышев, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Влияние цикла солнечной активности на положение максимума внешнего радиационного пояса Сб. "Космические лучи", Междувед. Геофизич. Комитет РАН, 1991, с. 88-91

176. Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Динамика многокомпонентного ионного кольцевого тока во время бури 12-13.08.85 г. по результатам измерений на ИСЗ "Горизонт" и АМРТЕЕ/ССЕ Космические исследования, 1991, т. 29, N 4, с. 559-566

177. И.В.Гецелев, А.Н.Гусев, Л.А.Дарчиева, Н.А.Кабашова, Т.И.Морозова, Н.Н.Павлов, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, О.И.Савун, Э.Н.Сосновец, Г.А.Тимофеев, Л.В.Тверская, Б.Ю.Юшков Модель пространственно-энергетического распределения захваченных частиц (протонов и электронов) в радиационных поясах Земли, Препринт НИИЯФ МГУ, 1991, 91-37/241

178. О.С.Графодатский, Л.А.Дарчиева, Т.А.Иванова, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Наблюдение диффузионной волны энергичных электронов внешнего радиационного пояса в июне 1986г. Геомагнетизм и аэрномия, 1991, т. 31, N 6, с.1096-1099

179. В.И.Верхотуров, О.С.Графодатский, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Потоки частиц радиационных поясов Земли и магнитосферной плазмы на орбите геостационарных ИСЗ (обзор) Сб. "Исследования по геомагнетизму, аэрномии и физике Солнца", М., Наука, 1991, вып. 94, с. 17-33

180. В.И.Верхотуров, О.С.Графодатский, А.С.Ковтюх, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Пространственно-энергетические, массовые и зарядовые распределения плазмы и энергичных частиц в районе геостационарной орбиты (обзор) Сб. "Исследования по геомагнетизму, аэрномии и физике Солнца", М., Наука, 1991, вып. 94, с. 91-108

181. K.G.Afanasjev, E.V.Gorchakov, Yu.V.Kutuzov, B.V.Marjin, T.I.Morozova, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, M.V.Teltsov, V.I.Shumshurov, N.A.Vlasova "ADIPE" complex experiment on the study of space environment factors in geostationary orbit Intern. conf. "Problems of spacecraft environments interaction", Abstracts of papers, Novosibirsk, 1992, p. 14-15

182. I.V.Getselev, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Dynamic simulation of the dependence of the electron radiation belts on geomagnetic activity, Abstracts of Intern. Conf. "Problems of spacecraft environments interaction", Novosibirsk, 1992, p. 71

183. I.V.Getselev, A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, G.I.Pugacheva,

S.Ya.Reizman, O.I.Savun, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Models of charged particles fields in the Earth's magnetosphere, Abstracts of Intern. Conf. "Problems of spacecraft environments interaction", Novosibirsk, 1992, p. 71

184. I.V.Getselev, B.V.Marjin, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, M.V.Teltsov, V.I.Verkhoturov, O.S.Grafodatsky Radiation dose on geostationary orbit, Abstracts of Intern. Conf. "Problems of spacecraft environments interaction", Novosibirsk, 1992, p. 74

185. K.K.Krupnikov, V.I.Lazarev, B.V.Marjin, V.N.Mileev, T.I.Morozova, L.S.Novikov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, M.V.Teltsov, O.S.Grafodatsky, Sh.N.Islyayev Space plasma characteristics and spacecraft charging effects in geostationary orbit deduced from measurements on satellite "Gorizont" Abstracts of Intern. Conf. "Problems of spacecraft environment interactions", Novosibirsk, 1992, p.16

186. M.F.Goryainov, Yu.V.Kutuzov, B.V.Marjin, T.I.Morozova, I.A.Rubinstein, B.I.Savin, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, M.V.Teltsov, V.I.Verkhoturov, O.S.Grafodatsky, Sh.N.Islyayev, N.A.Vlasova "ADIPE" complex experiment on the study of space environment factors in synchronous orbit Proc. of Intern. conf. "Problems of spacecraft-environment interaction" ESTEC ESA, Noordwijk, Holland, 1993, p. 45-51

187. T.A.Ivanova, A.V.Zolotukhin, T.I.Morozova, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, V.I.Shumshurov, V.I.Verkhoturov, O.S.Grafodatsky, Sh.N.Islyayev, S.A.Maslov Developing the methodology and establishing a global patrols service for monitoring of space environment parameters Proc. of Intern. conf. "Problems of spacecraft-environment interaction" ESTEC ESA, Noordwijk, Holland, 1993, p. 42-44

188. A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, N.A.Vlasova Long term ring current variations on geostationary orbit Advances of Space Research, 1993, v. 13, N 4, p. 309-313

189. M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets The availability of data in the former Soviet Union-Part 2, Gorizont STEP Intern, 1993, v. 3, N 2, p. 3-6

190. M.F.Goryainov, A.S.Kovtyukh, G.B.Martinenko, B.I.Savin, E.N.Sosnovets Dynamics and ion compositions of the ring current during substorms: Gorizont-35 results Abstracts of X Workshop on the Earth's trapped particle environment, Taos, New Mexico, USA, 1994,

191. E.V.Gorchakov, T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Dynamics of energetic electrons of the Earth's outer radiation belt X Workshop on the Earth's Trapped particle environment, Taos, New Mexico, USA, 1994,

192. S.N.Kuznetsov, E.N.Sosnovets, N.A.Vlasova Observation of medium

energy electrons on a geostationary orbit Abstracts of X Workshop on the Earth's trapped particle environment, Taos, New Mexico, USA, 1994,

193. M.F.Goryainov, A.S.Kovtyukh, G.B.Martinenko, M.I.Panasyuk, B.I.Savin, E.N.Sosnovets Variations of the multi-component ring current energy spectra during the geomagnetic storms: Gorizont-35 results 30th COSPAR Scientific Assembly, Hamburg, Germany, 11-21 July, Abstracts, 1994, Abstracts, p.2-17-017

194. М.Ф.Горяинов, А.С.Ковтюх, Б.И.Савин, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, Г.Б.Мартыненко, М.И.Панасюк, Ю.В.Кутузов, В.И.Верхотуров, О.С.Графодатский Измерения энергетических спектров ионов H⁺, He⁺⁺ и O⁺ кольцевого тока в области геостационарной орбиты Космические исследования, 1994, т.32, N6, с.150-155

195. Э.Н.Сосновец Космический патруль Наука в России, 1994, N1, с.8-11

196. A.S.Kovtyukh, G.B.Martinenko, E.N.Sosnovets Dynamics of the ring current ion's fluxes on the geostationary orbit during substorms: "Gorizont-35" results Annales de Geophys., Supplement III Space and Planetary Sciences, 1995, V.13, Part III, p.688

197. T.A.Ivanova, Yu.V.Kutuzov, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, I.A.Rubinstein, L.V.Tverskaya, M.V.Teltsov, E.N.Sosnovets, N.A.Vlasova Electron fluxes and radiation dose variations at 20,000 and 36,000 km altitudes Workshop on Radiation Belts: Models and Standards. 17-20 Oct., 1995, Brussels, Belgium. Abstracts, 1995, p.B12

198. M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, O.S.Grafodatsky, V.I.Verkhoturov, Sh.N.Islyayev First results and perspectives of monitoring radiation belts Workshop on Radiation Belts: Models and Standards. 17-20 Oct., 1995, Brussels, Belgium. Abstracts, 1995, p.D2

199. A.S.Kovtyukh, G.B.Martinenko, E.N.Sosnovets Local time variations of the ring current ion's fluxes on the geostationary orbit during substorms: "Gorizont-35" results Annales de Geophys., Supplement III Space and Planetary Sciences, 1995, V.13, p.688

200. T.A.Ivanova, Yu.V.Kutuzov, B.V.Marjin, N.N.Pavlov, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, L.V.Tverskaya, N.A.Vlasova Some characteristics of hot magnetospheric plasma at geostationary orbit Workshop on Radiation Belts: Models and Standards. 17-20 Oct., 1995, Brussels, Belgium. Abstracts, 1995, p.D15

201. М.Ф.Горяинов, А.С.Ковтюх, Г.Б.Мартыненко, Б.И.Савин, Э.Н.Сосновец Вариации энергетических спектров ионов H⁺, He⁺⁺ и O⁺ кольцевого тока в околополночном секторе геостационарной орбиты Космические исследования, 1995, т. 33, N 3, с. 237-242

- 202.** Н.А.Власова, Э.Н.Сосновец Особенности распределений потоков энергичных электронов на геостационарной орбите Международн. симпозиум "Спутниковые исследования ионосферных и магнитосферных процессов", Тезисы докладов, Москва ИЗМИРАН, 1995, с. 59
- 203.** А.С.Ковтюх, Г.Б.Мартыненко, Э.Н.Сосновец Сравнительный анализ энергетических спектров ионов H^+ , He^{++} и O^+ кольцевого тока в полуденном и полуночном секторе геостационарной орбиты Космические исследования, 1995, т. 33, N 4, с. 350-354
- 204.** А.С.Ковтюх, Г.Б.Мартыненко, Э.Н.Сосновец Суточный ход энергетических спектров ионов H^+ , He^{++} и O^+ кольцевого тока на геостационарной орбите по данным ИСЗ "Горизонт-35" Космические исследования, 1995, т. 33, N 5, с. 455-465
- 205.** M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, O.S.Grafodatsky, V.I.Verkhoturov, Sh.N.Islyayev First results and perspectives of monitoring radiation belts Geophysical monograph Series of AGU, "Radiation belts: Models and Standards", 1996, v. 97, p. 211-216
- 206.** K.K.Krupnikov, V.N.Mileev, L.S.Novikov, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, B.A.Tverskoy, N.A.Vlasova, V.I.Verkhoturov, O.S.Grafodatsky, I.A.Maksimov Measurements of hot magnetospheric plasma at geostationary orbit and charging effects ESA Symposium Proceedings on "Environment modeling for space-based applications", ESTEC, Noordwijk, the Netherlands, Abstracts, 1996, p.191-196
- 207.** N.A.Vlasova, T.A.Ivanova, Yu.V.Kutuzov, B.V.Marjin, N.N.Pavlov, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, L.V.Tverskaya Some characteristics of hot magnetospheric plasma at geostationary orbit Geophysical monograph Series of AGU, "Radiation belts: Models and Standards", 1996, v. 97, p. 269-273
- 208.** E.N.Sosnovets, N.A.Vlasova Some features of electron diurnal variation at geostationary orbit 31st COSPAR Scientific Assembly, Birmingham UK, 14-21 July, Report abstracts, 1996, Abstracts, p. 203
- 209.** T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Dynamics of the outer belt relativistic electrons in a solar activity minimum Abstracts of Workshop "Space Radiation Environment Modeling: New Phenomena and Approaches", Moscow, 1997, p. 1.40
- 210.** T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Modeling the effects in near-keV electron plasma at geostationary orbit Abstracts of Workshop "Space Radiation Environment Modeling: New Phenomena and Approaches", Moscow, 1997, p.1.35
- 211.** T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Relativistic electrons in outer radiation belt in a period of solar activity minimum Ab-

- stracts 8th Scientific Assembly of IAGA with ICMA and STP Symposia", Uppsala, Sweden, 1997,
- 212.** A.S.Kovtyukh, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Some consequences of SC on March 17, 1992 according to data at geostationary orbit Abstracts 8th Scientific Assembly of IAGA with ICMA and STP Symposia", Uppsala, Sweden, 1997, p. 297-298
- 213.** N.N.Pavlov, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, N.A.Vlasova, O.S.Grafodatsky, V.I.Verkhoturov, I.A.Maksimov, A.V.Zolotukhin, A.I.Zubarev Some features of energetic electron dynamics at geostationary orbit under different interplanetary conditions Abstracts of Workshop "Space Radiation Environment Modeling: New Phenomena and Approaches", Moscow, 1997, p.1.43
- 214.** A.S.Kovtyukh, N.N.Pavlov, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova, O.S.Grafodatsky, B.V.Marjin, V.I.Verkhoturov, I.A.Maksimov, A.V.Zolotukhin, A.I.Zubarev Substorm variations of ion energy spectra at geostationary orbit Abstracts of Workshop "Space Radiation Environment Modeling: New Phenomena and Approaches", Moscow, 1997, p.1.41
- 215.** Т.А.Иванова, Н.Н.Павлов, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Динамика флюэнса энергичных электронов внешнего радиационного пояса Земли в период минимума солнечной активности Всероссийская научн. конф. "Физические проблемы экологии", 23-27 июня 1997 г., Москва, тезисы докладов, 1997, т. 2, с. 40
- 216.** Н.А.Власова, Ю.В.Кутузов, Н.Н.Павлов, Э.Н.Сосновец Динамика энергичных электронов и плазмы на геостационарной орбите при различных параметрах межпланетной Среды Всероссийская научн. конф. "Физические проблемы экологии", 23-27 июня 1997 г., Москва, тезисы докладов, 1997, с. 17
- 217.** Э.Н.Сосновец Мониторинг плазменных оболочек магнитосферы Земли на российских космических аппаратах связи, навигации и телевидения Материалы науч. конф. в сб. "Физические проблемы экологии (Физическая экология)". Изд. ООП, МГУ, 1997, т. 2, с. 78
- 218.** Н.А.Власова, Ю.В.Кутузов, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец Особенности распределений потоков электронов на геостационарной орбите Геомагнетизм и аэрномия, 1997, т. 37, N 3, с. 55-63
- 219.** B.V.Marjin, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov 0.1-12 keV Electron Plasma in Geostationary Orbit 6th Spacecraft Charging Technology Conference, AFRL, Hanscom AFB, MA, USA (abstracts), 2-6 November, 1998, p. 35
- 220.** K.K.Krupnikov, V.N.Mileev, L.S.Novikov, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov Charging of Geostationary Satellite as Is from the Data of Hot

Plasma Spectrometers 6th Spacecraft Charging Technology Conference, AFRL, Hanscom AFB, MA, USA (abstracts), 2-6 November, 1998, p. 37

221. T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Coordinated Observations of Relativistic Electrons in Inner and Distant Magnetosphere 32nd Scientific Assembly of COSPAR, Abstracts, Nagoya, Japan, 12-17 July, 1998, p. 191

222. A.S.Kovtyukh, B.V.Marjin, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Dynamics of near plasma sheet, ring current and energetic electrons of radiation belt under northward IMF condition Book of Abstracts International Conference of Problem of Geocosmos, S. - Petersburg, Russia, June 29 - July 3, 1998, p. 92

223. M.O.Riazantseva, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Geostationary orbit plasma pressure variations according to Gorizont satellite data COSPAR, 12-19 July, Japan, 1998, p. 230

224. M.O.Riazantseva, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Hot plasma pressure variations on the geostationary orbit on the base of Gorizont satellite data International Symposium "Space plasma studies by in-situ and remote measurements" SRI of SRA Moscow, June 1-5, 1998, p. 60

225. M.O.Riazantseva, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Hot plasma pressure variations using geostationary satellite data, Preprint SINP MSU, 1998, 98-28/529

226. M.O.Riazantseva, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova March 92 plasma pressure variations on the geostationary orbit on the base of Gorizont satellite data International Book of Abstracts International Conference of Problem of Geocosmos, S. - Petersburg, Russia, June 29 - July 3, 1998, p. 67

227. A.S.Kovtyukh, B.V.Marjin, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Observations of near plasma sheet, ring current and energetic electron radiation belt under northward IMF condition International Symposium Space Plasma Studies by In-situ and Remote Measurements. Book of Abstracts, Moscow, June 1-5, 1998, p.42

228. T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Relativistic Electrons in GLONASS Orbit 6th Spacecraft Charging Technology Conference, AFRL, Hanscom AFB, MA, USA (abstracts), 2-6 November, 1998, p. 35

229. T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Variations of Outer-belt Relativistic Electrons During Solar Activity Minimum Book of Abstracts International Conference of Problem of Geocosmos, S. - Petersburg, Russia, June 29 - July 3, 1998, p. 94

230. A.C.Ковтюх, Г.Б.Мартыненко, Э.Н.Сосновец, М.Ю.Смирнов Осо-

бенности динамики энергетических спектров ионного кольцевого тока во время сильных бурь Космические исследования, 1998, т. 36, N 4, с. 369-375

231. T.A.Ivanova, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya Acceleration of Energetic Electrons and Protons on High - Latitude Field Lines at High Altitudes 22th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Birmingham, UK, 19-30 July, 1999, p. B.361

232. N.A.Vlasova, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.N.Pavlov An Effect of Northward IMF on Plasmadynamics in Geosynchronous Orbit 22th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Birmingham, UK, 19-30 July, 1999, p. A.360

233. Yu.Galperin, L.M.Zelenyi, S.Savin, R.A.Kovrazhkin, M.Veselov, M.Mogilevsky, A.Petrukovich, V.Stepanov, M.Yanovsky, V.Kunitsyn, I.Silin, E.N.Sosnovets Closely-Spaced Multi-Satellite ROY Project to Study Magnetic Field Annihilation and Strong Turbulence at Small Scales in Critical Magnetospheric Regions Abstracts of the conference "Dynamics of the magnetosphere and its coupling to the ionosphere on multiple scales from INTERBALL ISTP satellites and ground-based observations", Zvenigorod, Russian Federation, February 8-13, 1999, p. 50

234. E.V.Gorchakov, T.A.Ivanova, Yu.V.Kutuzov, A.V.Pavlov, S.Ya.Reizman, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, N.A.Vlasova Long-term Variations of the Outer Belt Relativistic Electrons Observed with GLONASS and Geosynchronous Satellites Abstracts of the conference "Dynamics of the magnetosphere and its coupling to the ionosphere on multiple scales from INTERBALL ISTP satellites and ground-based observations", Zvenigorod, Russian Federation, February 8-13, 1999, p. 3

235. M.O.Riazantseva, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova March 92 Plasma Pressure Variations on the Geostationary Orbit on the Base of GORIZONT Satellite Data Problems of Geocosmos Proceedings, 1999, p. 225-230

236. T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, N.A.Vlasova Outer Belt Relativistic Electrons in Period of Solar Activity Minimum Abstracts of Workshop "Space Radiation Environment: Radiation, Monitoring for the International Space Station", Farnborough, UK, 1 - 5 November 1999, 1999, p. 38

237. B.V.Marjin, V.N.Mileev, L.S.Novikov, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, M.Savel'ev, V.M.Feigin, A.Tutnev Research of Geosynchronous GORIZONT and ELECTRO Satellite Charging Effects Using Onboard Hot Plasma Spectrometer Abstracts of Workshop "Space Radiation Environment: Radiation, Monitoring for the International Space Station", Farnborough, UK, 1 - 5 November 1999, 1999, p. 46

- 238.** N.N.Pavlov, N.N.Kontor, E.N.Sosnovets Restoration of space particle data collections, 22th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Birmingham, UK, 19-30 July, 1999, p. B.87
- 239.** N.A.Vlasova, M.O.Rizantseva, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov Some Features of Geostationary Orbit Plasma Pressure Abstracts of the conference "Dynamics of the magnetosphere and its coupling to the ionosphere on multiple scales from INTERBALL ISTP satellites and ground-based observations", Zvenigorod, Russian Federation, February 8-13, 1999, p. 8
- 240.** Yu.V.Kutuzov, B.V.Marjin, A.V.Pavlov, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Temporal and Spatial Effects in Near-kev Electron Plasma at Geosynchronous Orbit, Abstracts of the conference "Dynamics of the magnetosphere and its coupling to the ionosphere on multiple scales from INTERBALL ISTP satellites and ground-based observations", Zvenigorod, Russian Federation, February 8-13, 1999, p. 6
- 241.** И.В.Гецелев, А.В.Дмитриев, С.Н.Кузнецов, Л.С.Новиков, Э.Н.Сосновец и др. Разработка моделей частиц радиационных поясов Земли и частиц, ответственных за электризацию КА Отчет по НИР "Месбор-2 ГКНО", М: НИИЯФ МГУ, 1999, 1999,
- 242.** Н.А.Власова, Е.В.Горчаков, Т.А.Иванова, В.А.Иозенас, Ю.В.Кутузов, Б.В.Марьин, Н.Н.Павлов, И.А.Рубинштейн, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов, В.И.Шумшуров, В.И.Верхотуров, О.С.Графодатский, И.А.Максимов, А.В.Золотухин, А.И.Зубарев Система мониторинга радиационных условий в магнитосфере Земли на Российских космических аппаратах связи, навигации и телевидения Космические исследования, 1999, т. 37, N 3, с. 245-255
- 243.** Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, Э.Н.Сосновец, Н.Н.Павлов, М.В.Тельцов Суббуревые вариации потоков и энергетических спектров протонов в диапазоне 0.1-133 кэВ на геостационарной орбите Космические исследования, 1999, т. 37, N 5, с. 463-469
- 244.** Э.Н.Сосновец Экспериментальные основания теории формирования радиационных поясов Земли Сб. статей «У истоков космофизики. Памяти Бориса Аркадьевича Тверского», Изд-во МГУ, 1999, с. 45-63
- 245.** B.V.Marjin, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova, V.M.Feigin, V.A.Lipovetsy "Anomalic" structures of the plasma sheet at the geosynchronous orbit 33rd COSPAR Scientific Assembly, Warsaw, Poland, 16 - 23 July, 2000, CD-rom with abstracts
- 246.** N.A.Vlasova, E.N.Sosnovets, E.A.Chuchkov A study of long-term strong dawn-dusk asymmetry of the Earth's magnetosphere in 1991 33rd COSPAR Scientific Assembly, Warsaw, Poland, 16 - 23 July, 2000, CD-rom with abstracts

- 247.** A.S.Kovtyukh, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, N.A.Vlasova Comparative analysis of ion composition and energy spectra of the ring current for the solar activity minimum using geosynchronous satellite data Book of Abstracts of 1st S-RAMP conference, Sapporo, Japan, 2 - 6 October, 2000, S8-P04, p. 182
- 248.** M.O.Riazantseva, A.V.Dmitriev, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Correlations of Plasma Pressure Variations at the Geosynchronous Orbit with Substorm Activity Book of Abstracts of Intern. Conf. on Substorms-5, St. Peterburg, Russia, 16 - 20 May, 2000, p. 147
- 249.** B.V.Marjin, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov Energetics of Hot Electron Plasma Populations in Geosynchronous Orbit Book of Abstracts of Intern. Conf. on Substorms-5, St. Peterburg, Russia, 16 - 20 May, 2000, p. 168
- 250.** M.O.Riazantseva, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Geostationary Orbit Plasma Pressure Variations According to Gorizont Satellite Data Advances of Space Research, 2000, v. 25, N 1-2, p. 2365-2368
- 251.** B.V.Marjin, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov Hot Electron Plasma In Geosynchronous Orbit 33rd COSPAR Scientific Assembly, Warsaw, Poland, 16 - 23 July, 2000, CD-rom with abstracts, D022/D3.3-0065
- 252.** M.O.Riazantseva, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Hot plasma pressure variations on the geostationary orbit on the base of Gorizont satellite data Phys. Chem. Earth, 2000, v. 25, No 1-2, p. 55-58
- 253.** T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, N.A.Vlasova Long-Term Variations of Relativistic Electron Intensity in the Outer Radiation Belt, 33rd COSPAR Scientific Assembly, Warsaw, Poland, 16 - 23 July, 2000, CD-rom with abstracts
- 254.** A.S.Kovtyukh, B.V.Marjin, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, N.A.Vlasova Observations of Near Plasma Sheet, Ring Current and Energetic Electron Radiation Belt under Northward IMF Condition Phys. Chem. Earth, 2000, v. 25, No 1-2, p. 51-54
- 255.** N.A.Vlasova, E.N.Sosnovets Some Features of Substorm Evolution on March 21, 1992 after a Long Period of Northward IMF Book of Abstracts of Intern. Conf. on Substorms-5, St. Peterburg, Russia, 16 - 20 May, 2000, p. 43
- 256.** Т.А.Иванова, Н.Н.Павлов, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская Динамика внешнего радиационного пояса релятивистских электронов в минимуме солнечной активности Геомагнетизм и аэрономия, 2000, т. 40, № 1, с.13-18
- 257.** Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов и др. Новые наукоемкие технологии в технике Энциклопедия. Т.16 «Воздействие космической среды на ма-

териалы и оборудование космических аппаратов» Под ред. К.С.Касаева, ЗАО НИИ «ЭНЦИТЕХ», Москва, 2000, с. 1-295

258. N.N.Pavlov, B.V.Marjin, S.Ya.Reizman, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov Effects in Hot Electron Plasma at Geosynchronous Orbit, IAGA-IASPEI Joint Scientific Assembly, 19 - 31 August, Hanoi, Vietnam, 2001, p. 157

259. L.V.Tverskaya, E.N.Sosnovets, T.A.Ivanova Storm-Time Dynamics of the Low-Energy Solar Proton Boundaries in the Magnetosphere SOLSPA-2001 Euroconference "Solar cycle and space weather", 24-29 Sept., Vico Equense, Italy, 2001, p. 67

260. О.Р.Григорян, С.Н.Кузнецов, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец Изучение предвестников землетрясений в потоках энергичных частиц в околоземном космическом пространстве 3-я Всероссийская научн. конф. "Физические проблемы экологии", 22 - 24 мая 2001 г., физ. фак МГУ, Москва, 2001, с.19

261. И.В.Гецелев, С.А.Красоткин, Э.Н.Сосновец Модели радиационных поясов Земли XIII Международный симпозиум по истории авиации и космонавтики, посвященный сорокалетию первого полета человека в космическое пространство, 4 - 9 июня, Москва, 2001, с. 82

262. Э.Н.Сосновец, М.И.Панасюк, И.В.Гецелев, Н.А.Власова, Т.А.Иванова, Н.Н.Павлов, С.Я.Рейзман, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов, В.В.Хартов, И.А.Максимов, А.И.Зубарев, О.Пудовкин Моделирование и мониторинг радиационной обстановки в магнитосфере Земли на высокоапогейных космических аппаратах Всероссийская конференция по физике солнечно-земных связей, 24 - 29 сентября, Иркутск, Россия, 2001, с. 56

263. Т.А.Иванова, Н.Н.Павлов, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов, С.В.Балашов, И.А.Максимов, В.В.Хартов, А.И.Зубарев Мониторинг радиационной обстановки на геостационарной орбите в максимуме 23-го цикла солнечной активности 3-я Всероссийская научн. конф. "Физические проблемы экологии", 22 - 24 мая 2001 г., физ. фак МГУ, Москва, 2001, с. 25

264. Т.А.Иванова, Н.Н.Павлов, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов, С.В.Балашов, И.А.Максимов, В.В.Хартов, А.И.Зубарев Мониторинг радиационной обстановки на геостационарной орбите в максимуме 23-го цикла солнечной активности 3-я Всероссийская научн. конф. "Физические проблемы экологии", 22 - 24 мая 2001 г., физ. фак МГУ, Москва, 2001, т. 6, с.12-20

265. Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, Ю.В.Кутузов, Б.В.Марьин, Н.Н.Павлов, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов Наблюдение на геостационарной орбите ближнего плазменного слоя, кольцевого тока и

энергичных электронов радиационных поясов Земли 11-25 марта 1992 г. Космические исследования, 2001, т. 39, N 3, с. 1-11

266. N.A.Vlasova, E.N.Sosnovets, E.A.Chuchkov A study of long-term strong dawn-dusk asymmetry of the Earth's magnetosphere in 1991 *Advances of Space Research*, 2002, v. 30, N 10, p.2273-2278

267. T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, N.A.Vlasova Outer Belt Relativistic Electrons in Period of Solar Activity Minimum *Space Radiation Environment Workshop*, 1-3 November 1999, Farnborough., UK, 2002, p. 16-1-16-4

268. I.V.Getselev, N.A.Vlasova, T.A.Ivanova, E.N.Sosnovets, S.A.Krasotkin Space weather in geosynchronous orbit 2-th Conference "Solar Cycle and Space Weather", 24-29 September 2001, Vico Equense, Italy, 2002, ESA SP-477, p. 547-550

269. L.V.Tverskaya, E.N.Sosnovets, T.A.Ivanova Storm-Time Dynamics of the Low-Energy Solar Proton Boundaries in the Magnetosphere 2nd Conference "Solar Cycle and Space Weather", 24-29 September 2001, Vico Equense, Italy, 2002, ESA SP-477, p. 575-578

270. L.V.Tverskaya, T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, N.N.Vedenkin Storm-time formation of a relativistic electron belt and some relevant phenomena in other magnetosphere plasma domains 34th COSPAR Scientific Assembly - The Second World Space Congress, 10-19 Oct. 2002, Houston, USA, 2002, 00279

271. E.N.Sosnovets, A.S.Kovtyukh, E.A.Laschuk, N.A.Vlasova, B.V.Marjin, M.V.Teltsov, V.M.Feigin The anomalous diurnal variation of the electron component of hot plasma at geosynchronous orbit under quiet conditions *Proceedings of International conference "Problems of Geocosmos"*, 3-8 June 2002, St. Peterburg, Russia, 2002, p. 213-216

272. E.N.Sosnovets, A.S.Kovtyukh, E.A.Laschuk, N.A.Vlasova, B.V.Marjin, M.V.Teltsov, V.M.Feigin The anomalous diurnal variation of the electron component of hot plasma at geosynchronous orbit under quiet conditions *International conference "Problems of Geocosmos"*, 3-8 June 2002, St. Peterburg, Russia, 2002, p. 36-37

273. L.V.Tverskaya, M.I.Panasyuk, S.Ya.Reizman, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, V.V.Tsetlin The Features of radiation dose variations onboard ISS and MIR space station: comparative study 34th COSPAR Scientific Assembly - The Second World Space Congress, 10-19 Oct. 2002, Houston, USA, 2002, 00277

274. А.П.Бабаев, Б.В.Марьин, Л.С.Новиков, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов Гелиогеофизический аппаратурный комплекс геостационарного гидрометеорологического космического аппа-

рата «Электро-Л» 7-ая международная конференция «Системный анализ и управление космическими комплексами», 1-7 июля 2002 г., Евпатория, Украина, 2002, с. 13

275. Е.Е.Антонова, Н.А.Власова, Т.А.Иванова, Б.В.Марьин, И.Л.Овчинников, Н.Н.Павлов, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, М.О.Рязанцева, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов Динамические характеристики потоков плазмы в ближних областях плазменного слоя магнитосферы Земли III Всероссийская конференция «Университеты России - фундаментальные исследования. Физика элементарных частиц и атомного ядра» Научная сессия МИФИ, 22-25 января 2002, М., 2002, с. 22-24

276. С.В.Балашов, В.В.Иванов, И.А.Максимов, В.В.Хартов, Н.А.Власова, И.В.Гецелев, Т.А.Иванова, Н.Н.Павлов, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов Контроль радиационной обстановки на высокоапогейных КА. V межотраслевая научно-техническая конференция «Электризация космических аппаратов и совершенствование их антистатической защиты как средства увеличения надежности и сроков активного существования», 16 - 17 мая, ЦНИИмаш, г. Королев, 2002, с. 65-66

277. И.В.Гецелев, Т.А.Иванова, С.А.Красоткин, В.П.Охлопков, Э.Н.Сосновец, Е.А.Чучков Модели солнечных космических лучей для различных областей применения V межотраслевая научно-техническая конференция «Электризация космических аппаратов и совершенствование их антистатической защиты как средства увеличения надежности и сроков активного существования», 16 - 17 мая, ЦНИИмаш, г. Королев, 2002, с. 90

278. Э.Н.Сосновец, М.И.Панасюк, И.В.Гецелев, Н.А.Власова, Т.А.Иванова, Н.Н.Павлов, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Л.В.Тверская, В.В.Хартов, И.А.Максимов, А.И.Зубарев, О.Пудовкин Моделирование и мониторинг радиационной обстановки в магнитосфере Земли на высокоапогейных космических аппаратах. Конф. по физике солнечно-земных связей "Солнечно-земная физика", 24-29 сентября 2001, Иркутск, 2002, т. 2(115), с. 166-167

279. Э.Н.Сосновец Радиационные условия в околоземном космическом пространстве V межотраслевая научно-техническая конференция «Электризация космических аппаратов и совершенствование их антистатической защиты как средства увеличения надежности и сроков активного существования», 16 - 17 мая, ЦНИИмаш, г. Королев, 2002, с. 16

280. И.В.Гецелев, Т.А.Иванова, Э.Н.Сосновец Состояние и перспективы разработки модели магнитосферных частиц. V межотраслевая научно-техническая конференция «Электризация космических аппаратов и со-

вершенствование их антистатической защиты как средства увеличения надежности и сроков активного существования», 16 - 17 мая, ЦНИИ-маш, г. Королев, 2002, с. 90-91

281. L.S.Novikov, E.N.Sosnovets, B.V.Marjin, A.A.Makletsov, V.N.Mileev, V.M.Feigin In-flight investigations of geosynchronous spacecraft charging Proc. of the 9th International Symposium on Materials in a Space Environment, 16 - 20 June, 2003, Noordwijk, The Netherlands, 2003, ESA SP-540, p. 677-680

282. L.V.Tverskaya, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets Long-period global oscillations of the magnetosphere and the relevant effects in radiation belts Abstracts of ISEC 2003. Radiation Belt Science, 2 - 5 September 2003, Toulouse, France, 2003, p. 18

283. L.V.Tverskaya, T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, E.N.Sosnovets, N.A.Vlasova Long-term variations of the outer-belt relativistic electron fluxes Abstracts of NATO Advanced Research Workshop " Effects of Space Weather on Technology Infrastructure", March 25 - 29 2003, Rhodes, Greece, 2003, p. 55

284. L.V.Tverskaya, T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets Which factors in the magnetosphere and interplanetary medium are most relevant to producing the outer belt relativistic electrons? Abstracts of ISEC 2003. Radiation Belt Science, 2 - 5 September 2003, Toulouse, France, 2003, p. 28

285. С.А.Красоткин, И.В.Гецелев, М.В.Подзолко, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов Использование мониторинга потоков заряженных частиц для обеспечения безопасности космических полётов Тезисы 8-ой международной конф. "Системный анализ и управление", 29 июня – 06 июля, 2003, Евпатория, Украина, 2003, с. 168

286. С.В.Балашов, В.В.Иванов, И.А.Максимов, В.В.Хартов, Н.А.Власова, И.В.Гецелев, Т.А.Иванова, Н.Н.Павлов, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов Контроль радиационной обстановки на высокоапогейных космических аппаратах Космонавтика и ракетостроение, 2003, № 1(30), с. 95-101

287. Н.А.Власова, Т.А.Иванова, Н.Н.Павлов, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов, В.В.Иванов, И.А.Максимов, В.В.Хартов Контроль уровня радиационного воздействия космических излучений на геостационарные ИСЗ «Экспресс—А2 и А3» в максимуме 23-го цикла солнечной активности (2000-2002 г.г.) Тезисы конф." Радиационная стойкость электронных систем «Стойкость-2003»", 3-5 июня, 2003, НИИ Приборов, г.Лыткарино, 2003, т. 6, с. 187-188

288. L.V.Tverskaya, S.I.Avdvushin, V.M.Feigin, E.A.Ginzburg, T.A.Ivanova,

B.V.Marjin, N.N.Pavlov, E.N.Sosnovets Dynamics of the magnetosphere during extreme solar events of 2003, as is from the Meteor-3M and Express-A2 data: the radiation belts, the solar proton penetration boundary, and the regions of auroral precipitation Abstracts of the International Symposium on Solar Extreme Events of 2003, July 12-14, 2004, Moscow, Russia, 2004, p. 61

289. I.V.Getselev, A.V.Dmitriev, A.S.Kovtyukh, A.V.Pavlov, M.V.Podzolko, S.Ya.Reizman, E.N.Sosnovets, N.A.Vlasova Spatial distribution of helium, carbon, nitrogen and oxygen ion fluxes in Earth's magnetosphere Abstracts of the 27-th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", Russian, Academy of Sciences, 2-5 March, 2004, Polar Geophysics Institute, Apatity, 2004, p. 23

290. L.V.Tverskaya, M.I.Panasyuk, S.Ya.Reizman, E.N.Sosnovets, M.V.Teltsov, V.V.Tsetlin The features of radiation dose variations onboard ISS and MIR Space Station: comparative study Adv. Space Res., 2004, v. 34, № 6, p. 1424-1428

291. А.П.Бабаев, А.М.Волков, А.С.Кочегаров, В.А.Липовецкий, Л.А.Макриденко, Н.Н.Новикова, Л.М.Савельева, М.А.Савельев, В.М.Фейгин, С.И.Авдюшин, В.А.Крутов, И.С.Юдкевич, Т.А.Иванова, Б.В.Марьин, Л.С.Новиков, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов и др. Бортовые измерительные комплексы гелиогеофизического обеспечения на российских космических аппаратах ДЗЗ: результаты эксплуатации и перспективы развития Тезисы докладов 9-ой международной конференции "Системный анализ и управление", 4-11 июля, 2004, Евпатория, Украина, 2004, с. 76

292. Н.А.Власова, Б.В.Марьин, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов Горячая плазма на геостационарной орбите: некоторые особенности угловых распределений потоков электронов Вестник МГУ, сер.3, физика и астрономия, 2004, № 1, с. 55-58

293. Э.Н.Сосновец, Н.А.Власова, Т.А.Иванова, Б.В.Марьин, Л.С.Новиков, Н.Н.Павлов, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов, С.В.Балашов, В.В.Иванов, И.А.Максимов, В.В.Хартов Контроль уровня воздействия космических излучений на высокоапогейные космические аппараты Тезисы докладов 9-ой международной конференции "Системный анализ и управление", 4-11 июля, 2004, Евпатория, Украина, 2004, с. 75

294. М.И.Панасюк, С.Н.Кузнецов, Л.Л.Лазутин, Б.В.Марьин, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов Магнитные бури в октябре 2003 г. Коллаборация «Солнечные экстремальные события 2003 г. (СЭС-2003) Космические исследования, 2004, т. 42, № 5, с. 509-554

295. Э.Н.Сосновец, Н.А.Власова, Т.А.Иванова, Б.В.Марьин, Н.Н.Павлов,

С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, Л.В.Тверская, М.В.Тельцов, С.В.Балашов, В.В.Иванов, И.А.Максимов, В.В.Хартов Мониторинг радиационной обстановки на высокоапогейных космических аппаратах в 22-м и 23-м циклах солнечной активности Тезисы докладов 4-ой Всероссийской научной конференции "Физические проблемы экологии (экологическая физика)", 22-24 июня, 2004, Москва, физ-фак МГУ, 2004, с. 10

296. Н.В.Кузнецов, Р.А.Ныммик, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов Регистрация и прогнозирование поглощенных доз радиации от потоков солнечных протонов на борту орбитальных станций Космические исследования, 2004, т. 42, № 3, с. 211-218

297. А.П.Бабаев, Н.А.Власова, К.К.Крупников, В.А.Липовецкий, Б.В.Марьин, В.Н.Милеев, Л.С.Новиков, Э.Н.Сосновец, М.В.Тельцов, В.М.Фейгин, В.П.Ходненко Результаты мониторинга горячей магнитосферной плазмы на геостационарном КА «Электро» Сб. научных трудов «Дистанционное зондирование Земли. Получение и использование спутниковых данных о природных ресурсах Земли и окружающей среды», под редакцией И.В.Минаева, Н.Н.Новикова, Гидрометеиздат, Санкт-Петербург, 2004, с. 104

298. L.V.Tverskaya, T.A.Ivanova, N.N.Pavlov, S.Ya.Reizman, I.A.Rubinstein, E.N.Sosnovets, N.N.Vedenkin Storm-time formation of a relativistic electron belt and some relevant phenomena in other magnetosphere plasma domains Advances in Space Research, 2005, v. 36, № 12, p. 2392-2400

299. И.В.Гецелев, Э.Н.Сосновец, А.С.Ковтюх, А.В.Дмитриев, М.В.Подзолко, Н.А.Власова, С.Я.Рейзман Эмпирическая модель радиационного пояса ядер гелия Космические исследования, 2005, т. 43, № 4, с. 243-247

300. В.А.Садовничий, М.И.Панасюк, С.Ю.Бобровников, Н.Н.Веденькин, Н.А.Власова, Г.К.Гарипов, О.Р.Григорян, Т.А.Иванова, В.В.Калегаев, П.А.Климов, А.С.Ковтюх, С.А.Красоткин, Н.В.Кузнецов, С.Н.Кузнецов, Е.А.Муравьева, И.Н.Мягкова, Н.Н.Павлов, Р.А.Ныммик, В.Л.Петров, М.В.Подзолко, В.В.Радченко, С.Я.Рейзман, И.А.Рубинштейн, М.О.Рязанцева, Е.А.Сигаева, Э.Н.Сосновец, Л.И.Старостин, А.В.Суханов, В.И.Тулупов, Б.А.Хренов, В.М.Шахпаронов, В.Н.Шевелева, А.В.Широков, И.В.Яшин, В.В.Маркелов, Н.Н.Иванов, В.Н.Блинов, О.Ю.Седых, В.П.Пинигин, А.П.Папков, Е.С.Левин, В.М.Самков, Н.Н.Игнатьев, В.С.Ямников Первые результаты исследований космической среды на спутнике «Университетский-Татьяна» Космические исследования, 2007, т. 45, № 4, с. 291–305

Эльмар Николаевич Сосновец
(Сборник статей, посвящённый памяти
Эльмара Николаевича Сосновца)

Авторы:

Е.Е.Антонова, Н.А.Власова, А.С.Ковтюх, Ю.И.Логачёв,
Л.С.Новиков, И.А.Рубинштейн, М.О.Рязанцева,
Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская

Редакторы-составители:

М.И.Панасюк, В.И.Тулупов, Н.А.Власова, Н.Н.Павлов

Сборник поступил в ОНТИ 27 марта 2010 г.

Тираж 100 экз.