

## Спектрометр мягких электронов СФ – 3 на ИСЗ "Интеркосмос–19"

Лисаков Ю.В., Мулярчик Т.М., Арямкин В.М.

Работа подготовлена для семинара-конференции 30 лет ИК–19 на основе некоторых публикаций по спектрометру мягких электронов СФ-3, успешно работавшему на ИСЗ "Интеркосмос–19".

30–40 лет назад измерения мягких электронов (10эВ – 10кэВ) с борта ИСЗ представляли собой научный интерес для исследователей свечения ночного неба, полярных сияний, ионосферных фотоэлектронов, хотя и вызывали определенные технические трудности при разработке необходимых приборов. В 1968г. и 1970г. на ИСЗ "Космос–261" и "Космос–348" прибором РИЭ-204 из спутникового научного комплекса "Вальдшенп", разработанного и изготовленного СНИИП, проводились измерения авроральных электронов и фотоэлектронов, изучались пространственные распределения дифференциальных потоков электронов, энергетические спектры и угловые распределения. Это направление исследований, с большим упором на изучение фотоэлектронов и быстрых вариаций интенсивности электронов (с временным разрешением до сотых долей сек), было продолжено в 1979г. на ИСЗ "Интеркосмос–19" спектрометром мягких электронов СФ–3 [1], который являлся дальнейшим развитием (клоном) прибора РИЭ-204, модифицированным и изготовленным в ОКБ ИКИ в Киргизии, г. Фрунзе (теперь г. Бешкек).

Основные технические характеристики спектрометра:

|                           |                                                            |
|---------------------------|------------------------------------------------------------|
| Энергетическое разрешение | – $\Delta E/E \approx 20\%$ ;                              |
| Угол зрения               | – конус с углом $10^\circ$ ;                               |
| Геометрический фактор     | – $1.4 \cdot 10^{-2} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{стер.}$ |

На ИСЗ "Интеркосмос–19", где основным бортовым научным прибором был ИОНОЗОНД (Ионосферная станция ИС–338) спектрометр мягких электронов СФ-3 наряду с другими приборами являлся составной частью научного бортового комплекса. Эксперимент, задачей которого было комплексное изучение ионосферы Земли, начался 2 марта 1979 г. (ИСЗ был выведен на орбиту 27 февраля 1979 г.). Данные по измерениям электронов предполагалось сопоставлять и использовать при интерпретации других проводившихся на ИСЗ плазменных экспериментов: волновых измерений, измерений плотности, температур и др.

Размещение прибора на ИСЗ в данном комплексном эксперименте определялось задачами по исследованию фотоэлектронов и авроральных электронов, особенностями ориентации аппарата в пространстве и условиями уменьшения влияния элементов конструкции аппарата на траектории измеряемых частиц. Прибор размещён так, что ось его поля зрения составляла угол  $30^\circ$  с продольной осью аппарата, направленной в зенит. По отношению к вектору скорости прибор располагался под углом  $135^\circ$ . Так как в состав служебных систем ИСЗ входили солнечный датчик и штатный магнитометр, при интерпретации данных с прибора СФ-3 имелась возможность учитывать реальное расположение осей аппарата по отношению к магнитной силовой линии и направлению на Солнце.

Конструктивно прибор состоял из двух блоков – датчика, размещаемого вне гермоотсека, и блока электроники, размещаемого в гермоотсеке. Датчик СФ–3 (рис. 1.) представлял собой электростатический цилиндрический анализатор со сцинтилляционным счетчиком электронов, прошедших дополнительное ускорение 12 кВ. Для снижения фоновых помех счет сцинтилляций выполнялся двумя фотоэлектронными умножителями ФЭУ–85А, включенными по схеме совпадений. Работа прибора

определялась внутренним циклом длительностью 96с, в течение которого на пластины анализатора подавалось парафазное напряжение, обеспечивающее непрерывное измерение электронов в диапазоне энергий 10 – 150 эВ (24 с), 150 – 10 эВ (24 с), затем последовательные измерения на 8-ми энергетических ступенях длительностью по 6 с (1,2 – фон, 3 – 50 эВ, 4 – 120 эВ, 5 – 500 эВ, 6 – 1000 эВ, 7 – 5000 эВ, 8 – 15000 эВ). Также была возможность работать в режиме измерений на одной из энергетических ступеней. Импульсы от ФЭУ, прошедшие схему отбора совпадений (время отбора совпадений не более 50 нс), регистрировались линейным (малой емкости) и нелинейным (большой емкости) счетчиками с буферной памятью (БП) каждый. Данные с БП поступали на штатную телеметрическую систему и на единую телеметрическую систему (ЕТМС). Время хранения информации в БП определялось временем запоминания (0.08 – 2.5 с) или в режиме непосредственной передачи – 0,01с.

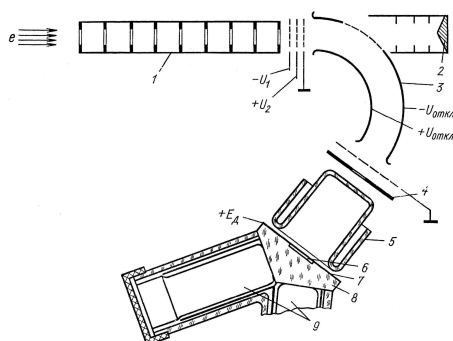


Рис. 1. Сцинтилляционный детектор с дополнительным ускорением электронов:

1 – коллиматор; 2 – световая ловушка; 3 – отклоняющие пластины; 4 – диафрагма; 5 – стеклянный цилиндр; 6 – сцинтилирующая пластмасса; 7 – фольга; 8 – световод; 9 – ФЭУ.

При разработке и изготовлении прибора в ОКБ ИКИ был успешно решен ряд возникавших технологических проблем: обеспечение исключения пробоев высоковольтных цепей (напряжение доускорения – 12 кВ, питание пластин анализатора – 5 кВ, питание ФЭУ – 2 кВ), уменьшение толщины светозащитного металлического покрытия (напыление) сцинтиллятора с 1 мкм до 2000 Å, покрытие пластин анализатора, светоловушки, внутренней поверхности датчика специальной светопоглощающей проводящей и непроводящей чернью, экранирование тракта анализатора от магнитных полей и многих других.

При наземной отработке была проведена предварительная абсолютная калибровка прибора. В качестве источника электронов использовалась тритиевая мишень с известным распределением интенсивности электронов по спектру.

#### ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ С ОРБИТЫ.

В течение первых 6-ти месяцев работы со 2 марта 1979г. прибором СФ-3 на высотах 500 – 1000 км были зарегистрированы высыпавшиеся авроральные электроны, мелкомасштабная структура их пространственного распределения, потоки электронов по направлению к Земле в области дневного полярного каспа и полярных шапок, фотоэлектроны, пришедшие из магнитносопряженной области, локальные атмосферные электроны, рассеянные на этих высотах, т. е. практически, все "виды" мягких электронов, доступные для наблюдения в земной ионосфере.

По предварительным данным чувствительность прибора оказалась недостаточной для того, чтобы регистрировать поток электронов фототока с КА при его освещении солнечным ультрафиолетом.

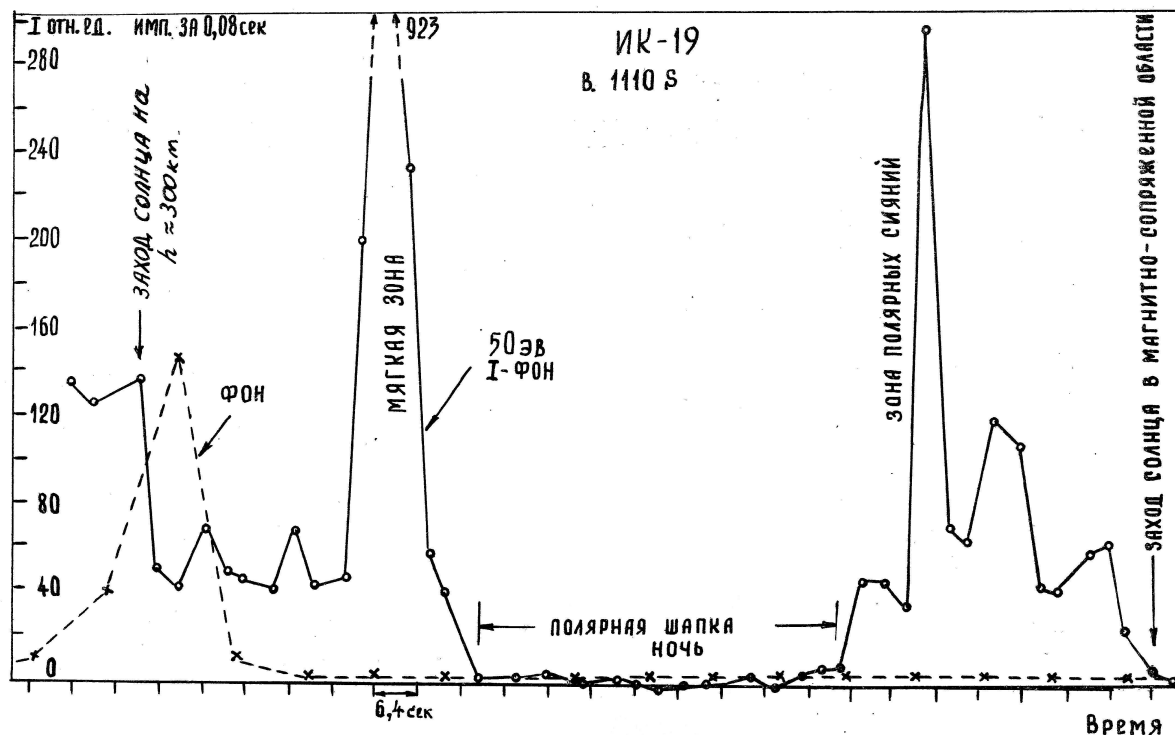


Рис. 2. Пример измерения мягких электронов спектрометром электронов СФ-3. Представлены интенсивность электронов с  $E = 50$  эВ (за вычетом фона) и интенсивность фона прибора. Пик фона на левой части рисунка связан с засветкой от Солнца.

Был рассмотрен случай, когда спутник пролетал над полярной шапкой, где силовые линии разомкнуты и фотоэлектроны из магнитносопряженной области не проходят. Высота геометрической тени Земли была около 500 км, высота спутника около 600 км. Интенсивность электронов в этом случае не превышала уровня фона.

Следует отметить, что случаи заметного увеличения фона из-за засветки Солнцем были редки.

Заметное увеличение фона из-за проникающей радиации наблюдалось только в районе магнитной Бразильской аномалии.

Минимальный фон прибора ночью на экваторе составлял около 10 имп/сек.

Нижний порог энергии регистрируемых прибором электронов определяется потенциалом входной сетки коллиматора и потенциалом КА, который не превышал  $-2 \div -4$  В, т.е. составлял 10 эВ.

#### Обработка данных.

Технические средств, используемые в настоящее время для обработки спутниковых телеметрических данных, несопоставимы с имевшимися в распоряжении экспериментатора 30 лет назад. Тогда были доступны графики на электрохимической бумаге (ЭХБ), а так же перезапись с телеметрических магнитных лент на магнитную ленту ЕС ЭВМ и обработка данных на таких ЭВМ, вычислительная мощность которых на несколько порядков ниже одного современного настольного компьютера.

На спутнике "Интеркосмос-19" были обнаружены всплески интенсивности сверхтепловых электронов со средней энергией порядка 100 эВ, ускоренных в результате воздействия на окружающую спутник плазму мощного радиоизлучения бортовой ионосферной станции на частотах, лежащих вблизи локальной плазменной.

### Совместная работа ИС–338 и СФ–3.

Как уже упоминалось выше, основным научным прибором в комплексном космическом эксперименте (КЭ) на ИСЗ "Интеркосмос-19" была ионосферная станция ИС–338, в состав которой входили блок ИОН-1, представлявший собой приемопередатчик радиолокационного типа, и антенная система. ИОН-1 работал на 338 фиксированных частотах в диапазоне  $0.3 \div 15.95$  МГц. Рабочие частоты переключались автоматически через 25 кГц в диапазоне от 0.3 до 1.5 МГц и через 50 кГц в диапазоне  $1.5 \div 15.95$  МГц. На каждой частоте излучался один импульс, длительность которого составляла 0.133 мс. Кварцованная частота повторения импульса равнялась 58.6 Гц. Мощность излучения, подводимая к антеннам, составляла  $140 \div 300$  Вт. Излучение и прием отраженных от ионосферы сигналов производился на одну и ту же антенную систему. Период работы станции определялся режимом телеметрии и мог составлять 8, 6, или 64 с, причем цикл зондирования на 338 частотах производился в течение 5.77 с.

Предварительный анализ телеметрической информации показал, что в режимах, когда спектрометр СФ-3 работал совместно с бортовой ионосферной станцией (ИС–338) в данных спектрометра наблюдаются регулярные заметные всплески, которые вначале были интерпретированы как значительная электрическая помеха, генерируемая мощным потребителем бортовой сети – ионосферной станцией. Однако, при дальнейшем внимательном анализе телеметрических данных было обращено внимание на переменчивость характеристик всплеска телеметрируемого сигнала. Во-первых, длительность всплеска была различной и превышала длительность единичного импульса ионизонда (0.133 мс), во-вторых, на различных участках орбиты ИСЗ всплеск возникал при разных значениях частоты зондирующего импульса, и в-третьих, параметры (амплитуда, длительность, форма) всплеска зависела от геофизических параметров вдоль орбиты спутника (день-ночь, экватор, средние или высокие широты и др.).

Таким образом, сейчас можно сказать, что в режимах работы научного комплекса ИСЗ "Интеркосмос-19", когда одновременно работали ионосферная станция и спектрометр мягких электронов, реализовывалась конфигурация активного плазменного эксперимента в космосе. Воздействующим прибором был бортовой ионизонд (ИС–338), а диагностическим прибором – бортовой спектрометр мягких электронов (СФ–3).

Ниже дан краткий обзор некоторых публикаций по измерениям, полученным спектрометром мягких электронов СФ–3 на ИСЗ "Интеркосмос-19".

В работах [2,3], было показано, что в режимах совместной работы ионизонда и спектрометра электронов были обнаружены всплески интенсивности сверхтепловых электронов со средней энергией порядка 100 эВ, ускоренных в результате воздействия на окружающую спутник плазму мощного радиоизлучения бортовой ионосферной станции на частотах, лежащих вблизи локальной плазменной.

Заметные всплески интенсивности мягких электронов регистрировались всегда и с периодом точно равным периоду работы ионосферной станции. Такие всплески интенсивности были названы *стимулированными всплесками*.

На рис. 3. следует обратить внимание на то, что, во-первых, основной всплеск почти на три порядка превышает уровень фона и локализуется немного ниже локальной плазменной частоты, во-вторых, имеется всплеск вблизи гирочастоты электронов, и в-третьих, просматриваются другие всплески на более высоких частотах.

Характеристики стимулированных всплесков.

Длительность единичного всплеска интенсивности  $\tau$ , соответствующего одному зондирующему импульсу передатчика, не превышает нескольких миллисекунд, но в то же время заметно длиннее, чем зондирующий радиоимпульс (0.133 мс).

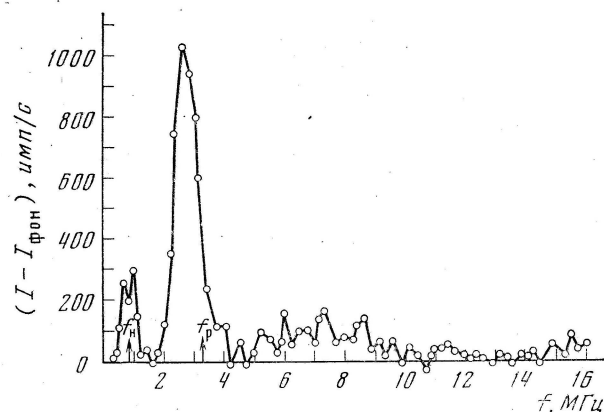


Рис. 3. Пример распределения интенсивности электронов ( $E_e = 130$  эВ) в стимулированном всплеске в зависимости от частоты  $f$  излучаемого импульса.

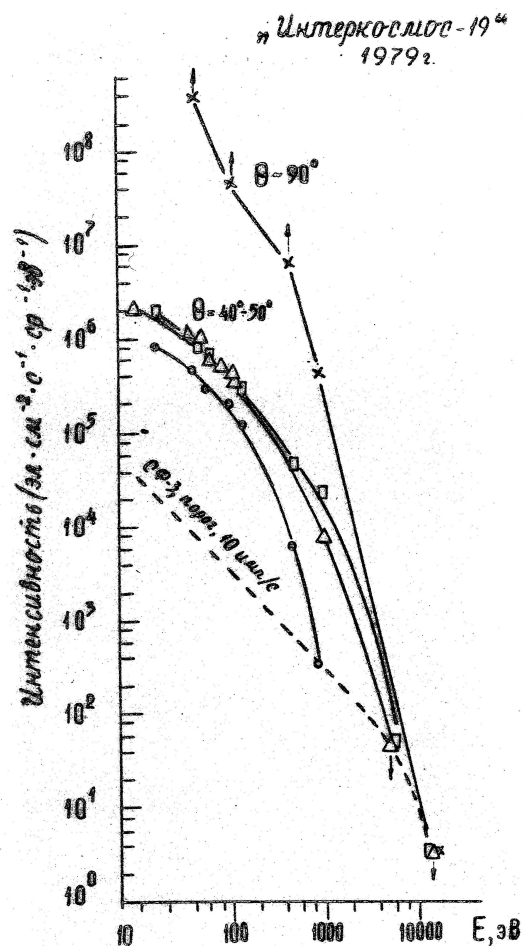


Рис. 4. Примеры энергетических спектров электронов в стимулированных всплесках для высоких и средних широт (кружки, треугольники, квадраты) для питч-угла  $\theta$   $40^\circ - 50^\circ$  (спектры близки к максвелловским с температурой  $100 \div 150$  эВ) и вблизи экватора (крестики) для  $\theta \approx 90^\circ$  (интенсивность заметно возрастает до зашкала прибора). Штриховой кривой показан порог прибора СФ-3 по чувствительности (10 имп/с)

*Энергетический спектр электронов.* Стимулированные всплески интенсивности в соответствующих режимах работы спутника систематически наблюдались в диапазоне сверхтепловых энергий, т.е. от 10 (нижний порог спектрометра без учета потенциала спутника относительно плазмы) до 150 эВ, но иногда также на энергии 500 эВ и лишь в очень редких случаях на энергиях 1 кэВ. В энергиях 5 и 15 кэВ регистрируемая интенсивность электронов при работе передатчика никогда не превышала уровня фона спектрометра.

*Зависимость от геофизических условий.* Стимулированные всплески интенсивности мягких электронов, повторяющиеся с периодом импульсов ионосферной станции ИС-338, систематически регистрировались, как на освещенных, так и на неосвещенных участках орбиты ИСЗ "Интеркосмос-19" в самых разнообразных геофизических ситуациях, но их характеристики при этом менялись. В ночных условиях увеличивалась средняя длительность всплесков. Не наблюдалось изменения характеристик всплесков при пересечении границы "замкнуты" и "разомкнутых" силовых линий, что независимо свидетельствует в пользу локальной генерации всплесков. Наоборот, при пересечении спутником геомагнитного экватора наблюдалось значительное увеличение интенсивности стимулированных всплесков.

*Энергетика процесса ускорения.* В публикациях проводятся оценки по порядку величины для мощности ускоренных вокруг спутника электронов. Оценка плотности энергии электрического поля  $E^2/8\pi$  в радиодиапазоне для пространства вблизи спутника дает значения, соизмеримые с плотностью тепловой энергии плазмы.

Подробно рассмотрены особенности регистрации всплесков в области геомагнитного экватора. В экваториальной области направление геомагнитного поля становится горизонтальным и скорость спутника поперек магнитного поля резко уменьшается, причем питч-угол электронов, измеряемых прибором СФ-3, приближается к  $90^\circ$  (что соответствует регистрации частиц, ускоренных в непосредственной близости от спутника).

В работах высказаны предположения, что под действием мощного электромагнитного излучения вблизи локальной плазменной частоты ускоряются не только электроны, но и ионы околоспутниковой плазмы.

Кроме того, проводится сопоставление с результатами других экспериментов, в частности, с экспериментами на ИСЗ ИСИС-1 и "Алуэтт", на которых также проводилось импульсное ионосферное радиозондирование и измерения мягких электронов. И во многих случаях на ионограммах наблюдались специфические стимулированные излучения, связанные с трансформацией волновой энергии в те или иные колебания околоспутниковой плазмы, которые не были идентифицированы как эффект воздействия на околоспутниковую плазму электромагнитным излучением бортового ионозонда на частотах, близких к локальной плазменной.

Мы так подробно остановились на этих публикациях, поскольку считаем их основным научным результатом работы спектрометра мягких электронов СФ-3 на ИСЗ "Интеркосмос-19", сохранившим актуальность и в настоящее время.

В работах [4,5] были представлены результаты дальнейшего, более подробного анализа обнаруженного на ИСЗ "Интеркосмос-19" явления возникновения *стимулированных всплесков* под действием радиоизлучения бортового ионозонда, а также проведено сопоставления с аналогичными данными, полученными на ИСЗ "Алуэтт – 2" и ИСИС-2.

По материалам эксперимента на спутнике "Интеркосмос-19" проведено исследование зависимости интенсивности стимулированных всплесков ускоренных электронов от параметров  $p = f / f_{ce}$  и  $q = f_{pe} / f_{ce}$ , где  $f_{pe}$  и  $f_{ce}$  – соответственно локальная плазменная и гирочастота электронов, а  $f$  – частота "накачки" (частота радиоизлучения передатчика бортового ионозонда).

В результате анализа 332 стимулированных всплесков было выявлено, что преимущественное ускорение электронов происходит вблизи определенных частот излучения передатчика, зависящих от параметров плазмы вокруг спутника, и максимумы интенсивности ускоренных электронов во всплесках образуют на плоскости  $f / f_{ce} - f_{pe} / f_{ce}$  отдельные ветви.

На рис. 5. представлены все 332 стимулированных всплеска. Очевидно распределение всплесков вдоль нескольких ветвей.

Ветви, соответствующие первым гармоникам плазменной и гирочастоты электронов, а также областям диффузных резонансов, были интерпретированы при сопоставлении с результатами волновых экспериментов на спутниках "Интеркосмос-19" и "Алуэтт – 2".

Обнаруженная в ходе исследования новая ветвь ускорения электронов, расположенная между второй и третьей гармониками плазменной частоты интерпретируется как результат параметрического взаимодействия радиоизлучения мощного бортового передатчика с плазмой.

В работе также была рассмотрена роль квазистационарного потенциала на спутнике, наводимого при излучении передатчика, в ускорении электронов окружающей спутник плазмы.

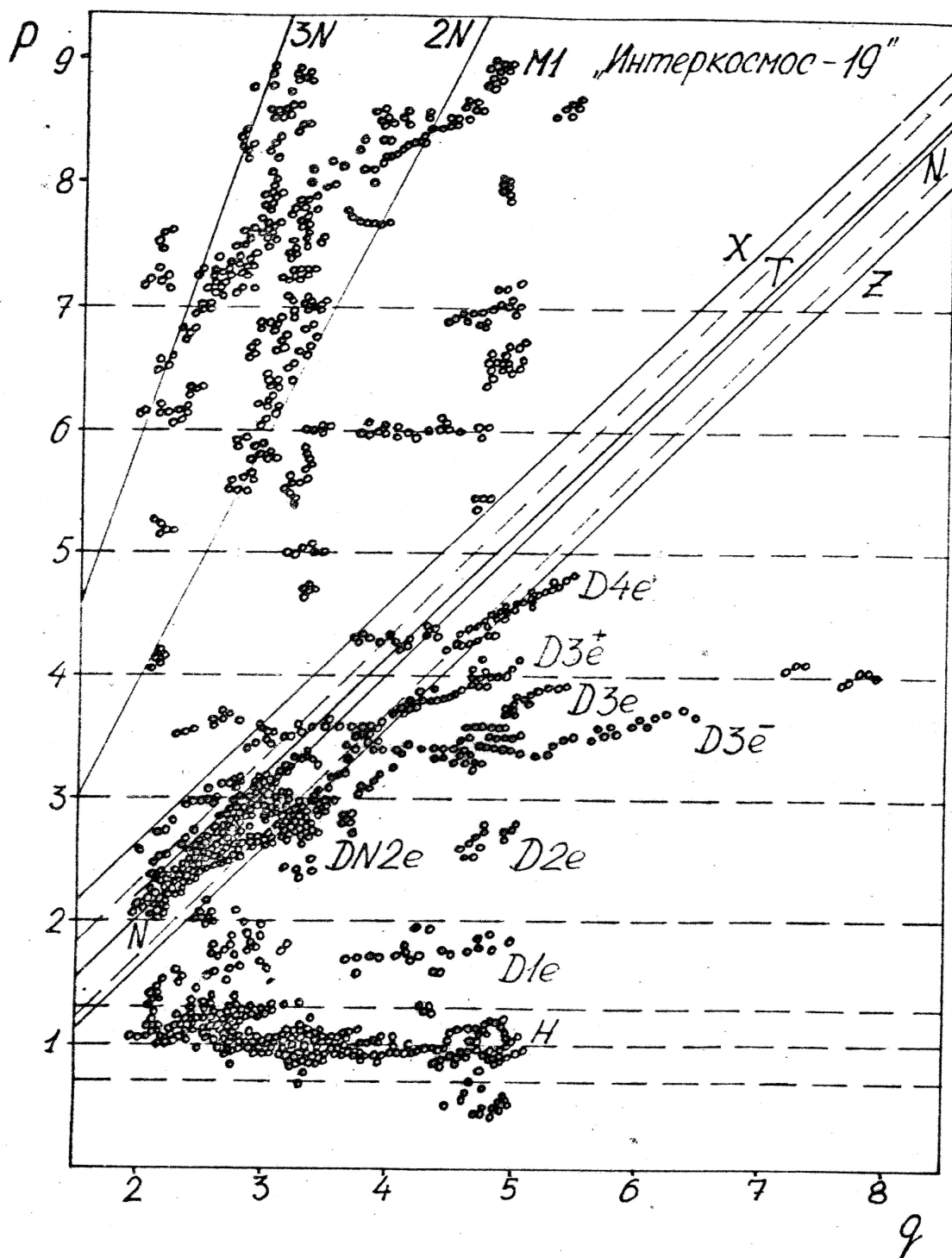


Рис. 5. Резонансные ветви ускорения электронов для частот радиоизлучения, соответствующих максимумам интенсивности в стимулированном всплеске. (В одном всплеске интенсивность электронов может быть значительной и между максимумами).

В работе [6] анализировались измерения спектрометром СФ–3 мягких электронов в околополуденном секторе авроральной зоны.

Околополуденный сектор авроральной зоны является примечательной областью полярной ионосферы. Здесь происходят существенные изменения целого ряда ионосферных характеристик, что связано, в первую очередь, с пространственными изменениями магнитосферной конвекции. Проекцией раздела этих изменений на ионосферу является разрыв Харанга.

Измерения потоков электронов спектрометром СФ–3 дали возможность сделать более детальную оценку геофизической обстановки в области разрыва Харанга. В работе исследовался характер высыпания авроральных электронов в околополуденном секторе авроральной зоны по непосредственным измерениям на спутнике "Интеркосмос-19". До того времени (1983 г.) подобных исследований высыпаний электронов в области разрыва Харанга не было. Момент прохождения разрыва Харанга над данной точкой обычно определяется по магнитограммам как момент перехода положительного возмущения в Н-компоненте магнитного поля в отрицательную бухту.

Было проанализировано семь случаев пересечения разрыва Харанга для магнитовозмущенных и спокойных условий. Усредненные график спектров авроральных электронов, построенные по трем виткам для спокойного периода (рис. 7. а, б), и четырем для возмущенного (рис. 7. в, г), подчеркивают характер изменения электронов при прохождении области разрыва Харанга. Для возмущенных условий интенсивность авроральных электронов в области разрыва Харанга уменьшается, а вид спектра в целом остается неизменным. Для спокойных условий наблюдается некоторая деформация спектра электронов в области разрыва Харанга. Уменьшение интенсивности электронов с энергиями 1 – 5 кэВ в области разрыва происходит примерно в 5 – 10 раз. Интенсивность электронов с энергиями, меньшими 1 кэВ и выше 5 кэВ, уменьшается в 2 – 3 раза.

Рис. 6. Проекция траектории спутника и положение разрыва Харанга на земную поверхность (сетка координат "MLT – инвариантная широта") для дней с различной магнитной активностью: сплошная линия – разрыв Харанга, штриховая линия – положение экваториальной границы диффузных высыпаний, стрелками обозначен номер витка.

Рис. 7. Спектры авроральных электронов, зарегистрированные при пересечении спутником области разрыва Харанга: 1 – на западной границе области разрыва; 2 – в разрыве Харанга; 3 – после прохождения области разрыва.

В работе были проведены сравнения полученных данных с результатами других исследований, проведенных в области разрыва Харанга.

Таким образом, измерения выполненные спектрометром СФ-3 в области разрыва Харанга, дополнили существовавшие к тому времени (1983 г.) представления об особенностях околополуденной авроральной ионосферы.

Работа [7] примечательна тем, что в ней используются возможности комплексного эксперимента, каковым и был "Интеркосмос-19". Комплексный эксперимент позволяет исследовать явления, используя одновременные измерения различных параметров ионосферы, выполненные разными приборами.

В этой публикации совместно анализировались одновременные данные измерений, полученные приборами СФ-3, АНЧ-2МЕ, Перо-3И и магнитометрические данные. Были проанализированы одновременные потоки авроральных электронов с энергиями  $E_e$  от 50 до 15000 эВ, захваченных электронов с  $E_e \geq 0,04$  МэВ, протонов СКЛ с  $E_p \geq 0,9$  МэВ, данные геомагнитного поля и амплитуд электрической и магнитной компонент поля излучений в диапазоне 0,1 – 16 кГц, измеренные на спутнике "Интеркосмос-19" во время магнитной бури 3 – 5 апреля 1979 года. Спектральный анализ пульсаций в указанных параметрах в области полярного каспа и полярной шапки выявил наличие общих для них периодов в диапазоне  $\sim 10 - 20$  с (тип Pc 3). Подобную модуляцию могут обеспечивать приходящие от границ магнитосферы МГД волны. Установлена взаимосвязь ОНЧ-излучений с градиентом плотности плазмы и потоками энергичных частиц.

Рис. 8. Флуктуации: а) геомагнитного поля (кривая 1 – расчетный, кривая 2 – измеренный модуль  $|B|$ ; потоков захваченных электронов с энергиями  $E_e = 0,3-0,9$  МэВ и квайзахваченных протонов СКЛ с  $E_p \geq 9$  МэВ; б) высыпающихся электронов с  $E_e = 500$  эВ; в) электрической и магнитной компонент поля низкочастотных излучений.

Рис. 8. Нормированный на максимальное значение частотный спектр потока электронов  $E_e = 500$  эВ, полученный осреднением по 5-ти частотам, начиная со второй гармоники, результата БПФ, выполненного по 128 точкам с добавлением 128 нулей. Для БПФ использованы точки, полученные осреднением за 1,12 с, измерений с периодом 0,08 с. Частотный спектр флуктуаций электронов с энергией 500эВ имеет максимум на периоде 20 с, что объясняется наличием в возмущенном солнечном ветре ядер  $He^{++}$ , максимум на периоде 10 с связан с возможным нестационарным импульсным пересоединением.

Анализ одновременных пульсаций поля ОНЧ-излучений, компонент геомагнитного поля и потоков мягких и энергичных заряженных частиц во время бури 3 – 5 апреля 1979г. в прикаспенной области показал, что наблюдавшийся частотный спектр могли обеспечивать приходящие от границ магнитосферы МГД волны. Несомненна взаимосвязь ОНЧ-излучения с градиентом плотности плазмы и потоками заряженных частиц.

Эта работа – пример сопоставления и использования данных по измерениям мягких электронов при интерпретации других проводившихся на ИСЗ "Интеркосмос-19" плазменных экспериментов.

Заключение.

Спектрометр мягких электронов СФ-3 на ИСЗ "Интеркосмос-19" на наш взгляд работал вполне успешно. Вдохновителем этих работ был Ю.И. Гальперин. Научным руководителем эксперимента была Фаина Константиновна Шуйская.

Здесь были представлены публикации известные авторам настоящего доклада, но вполне возможно есть еще публикации по данным прибора СФ-3, о которых нам не известно.

Работ по измерениям мягких электронов на ИСЗ "Интеркосмос-19" могло бы быть больше, но этому помешала безвременная смерть Ф.К. Шуйской.

**1. Арямкин В. М., Ю. В. Лисаков, Ф. К. Шуйская**

Спектрометр мягких электронов СФ-3 на спутнике "Интеркосмос-19"

В сб.: Аппаратура для исследования внешней ионосферы, Москва, ИЗМИРАН, 1980, стр. 163–173.

**2. Гальперин Ю. И., Р. З. Сагдеев, Ф. К. Шуйская, Ю. В. Лисаков, В. В. Мизулин, Ю. В. Кушнеревский, М. Д. Флигель, Г. В. Васильев**

Обнаружение явления ускорения электронов в ионосферной плазме под действием излучения мощного бортового радиопередатчика вблизи локальной плазменной частоты со спутника "Интеркосмос-19".

Препринт N Пр-598 ИКИ АН СССР, 1980 г.

**3. Гальперин Ю. И., Р. З. Сагдеев, Ф. К. Шуйская, Ю. В. Лисаков, В. В. Мизулин, Ю. В. Кушнеревский, М. Д. Флигель, Г. В. Васильев**

Обнаружение явления ускорения электронов в ионосферной плазме под действием излучения мощного бортового радиопередатчика вблизи локальной плазменной частоты со спутника "Интеркосмос-19".

Космические исследования, 1981, Т. 19. № 1. С. 34–44.

**4. Шуйская Ф.К., Ю. И. Гальперин, Ю. В. Лисаков, А. А. Серов**

Прямые измерения нагрева околоспутниковой плазмы в результате нелинейного взаимодействия с излучением мощного бортового передатчика в диапазоне частот  $0.5 \leq f_p / f_{ce} \leq 10$ .

Эффекты искусственного воздействия мощным радиоизлучением на ионосферу земли (Материалы Всесоюзного симпозиума. Суздаль, сентябрь 1983 г.). Издание ИЗМИРАН.

**5. Серов А. А., Ю. И. Гальперин, Ю. В. Лисаков, Ф. К. Шуйская**

Резонансные ветви стимулированного ускорения электронов окружающей спутник плазмы радиоизлучением мощного бортового передатчика.

Препринт № Пр-842 ИКИ АН СССР, 1983.

**6. Горелый К.И., В.И. Дегтярев, Ю.В. Лисаков, Н.М. Полех, Ф.К. Шуйская**

Мягкие электроны в околополуночной области авроральной зоны по данным спутника "Интеркосмос-19"

В кн.: Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. Москва, Наука, вып. 67, 1984.

**7. Ларкина В. И., Е. С. Виноградова, Ю. В. Минеев, Ю. В. Лисаков, Ф. К. Шуйская**

О взаимосвязи авроральных и захваченных электронов, протонов СКЛ и низкочастотных шумовых излучений по данным ИСЗ "Интеркосмос-19"

Препринт № 2 (828) ИЗМИРАН 1989.