

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

КОСМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

Том XI

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

1

МОСКВА · 1973

УДК 550.388.2

*К. Н. Грингауз, В. В. Серафимов, К. Г. Шмеловский,
Я. Ш. Мишаур*

ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ, ПРОВЕДЕННЫЕ ПРИ ПОМОЩИ СПУТНИКА «ИНТЕРКОСМОС-2». I

Приводятся основные данные о спутнике «Интеркосмос-2», научной аппаратуре, организации всего эксперимента и обработке полученных данных. На спутнике проводились эксперименты со сферическими ионными ловушками, цилиндрическими зондами Ленгмюра, ВЧ-зондом электронной температуры и двухчастотным передатчиком когерентных радиоволн «Маяк». Приводятся общая характеристика результатов измерений.

1. ВВЕДЕНИЕ

Спутник «Интеркосмос-2» был запущен 25.XII 1969 г. в соответствии с программой совместных исследований космического пространства социалистическими странами на орбиту с наклоном к экватору 49° , и перигеем ~ 220 и апогеем ~ 1200 км. В программе научных исследований, проведенных на этом спутнике, главное место занимали исследования локальных параметров ионосферы зондовыми методами; кроме того, для определения полного содержания электронов между спутником и рядом наземных пунктов на нем был установлен передатчик когерентных радиоволн.

В проведении экспериментов непосредственно на спутнике участвовали научные учреждения НРБ, ГДР, СССР и ЧССР; в ионосферных исследованиях, проведенных при помощи приема когерентных радиоволн, излучавшихся спутником, и в одновременных наблюдениях при помощи наземных ионосферных станций вертикального зондирования кроме указанных стран участвовали также научные учреждения других социалистических стран: ВНР, Кубы, ПНР.

Зондовая аппаратура для изучения ионосферы, установленная на спутнике, состояла из: 1) прибора для измерения концентрации положительных ионов при помощи двух сферических ионных ловушек; 2) прибора для измерения температуры электронов методом сферического высокочастотного зонда; 3) прибора для измерения концентрации и температуры электронов при помощи двух цилиндрических зондов Ленгмюра.

Технические задания на разработку и изготовление прибора 1 были составлены совместно НРБ и СССР, прибора 2 — СССР и ЧССР, прибора 3 — ГДР и СССР; указанные приборы были разработаны и изготовлены в СССР.

Установленный на спутнике передатчик когерентных радиоволн «Маяк» с частотами $f_1 \sim 20$ и $f_2 \sim 30$ мГц был разработан и изготовлен в ГДР. Болгарские, немецкие и чехословацкие специалисты участвовали в предстартовых испытаниях упомянутых выше приборов и присутствовали при запуске спутника.

Экспериментальные данные, полученные в результате измерений, выполненных на спутнике при помощи этих приборов, обрабатывались: по

нонным ловушкам — в НРБ и СССР, по высокочастотному зонду — в ЧССР и СССР, по зондам Ленгмюра — в ГДР и СССР.

Настоящее сообщение, составленное научными руководителями исследований каждой из стран, принимавших участие в проведении экспериментов на борту спутника¹, имеет целью дать краткие сведения о проведенных экспериментах и общую характеристику результатов измерений; часть полученных результатов в более детальном виде будет приведена в последующих публикациях [1—3].

2. НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Для проведения указанных выше экспериментов был выбран спутник, имеющий только химические источники тока, с тем, чтобы в наибольшей степени уменьшить искажения среды спутником при проведении зондовых измерений, так как токи солнечных батарей, несмотря на применяемые меры предосторожности, могут создавать магнитные поля, влияние которых на измерения локальных параметров холодной ионосферной плазмы трудно учесть.

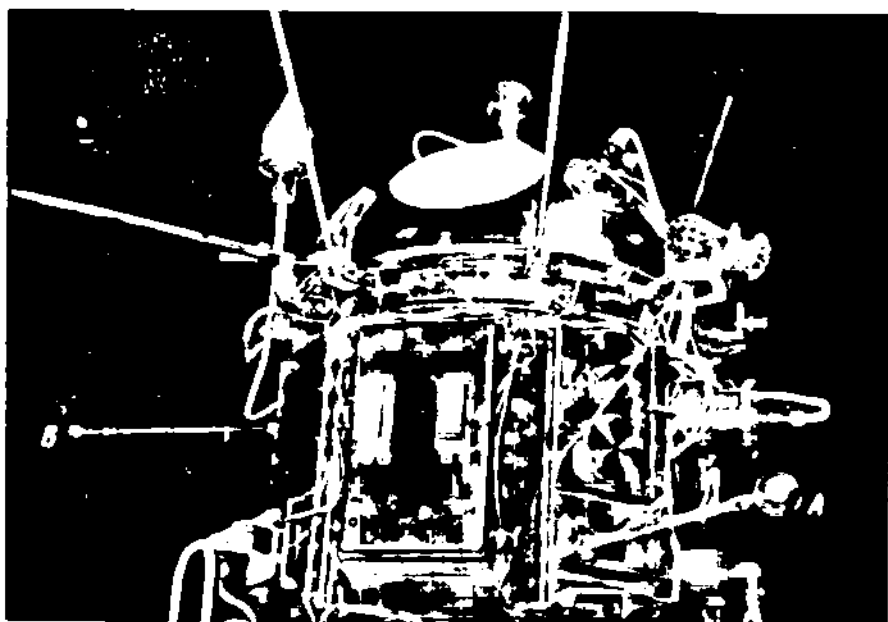


Рис. 1

Спутник не имел системы принудительной ориентации, однако был снабжен устройствами, позволявшими определять его ориентацию относительно магнитного поля и направления на Солнце.

В связи с тем, что спутник не ориентирован, для ионных ловушек и высокочастотного зонда была выбрана сферическая форма, при которой зависимость результатов измерений от ориентации зонда наименьшая.

На фотографии спутника «Интеркосмос-2», приведенной на рис. 1, можно, в частности, видеть одну из двух сферических ионных ловушек (А) и ВЧ-зонд (В).

Сферические ионные ловушки были приборами, при помощи которых начались успешные исследования ионосферы зондовыми методами и были

¹ В НРБ — д-р К. Серафимов, в ГДР — чл.-корр. АН ГДР, проф. К. Г. Шмеловский, в СССР — проф. К. Грийгауз, в ЧССР — д-р Я. Шмилауэр.

получены первые распределения концентрации ионосферных заряженных частиц на высотах 500–1000 км (третий советский спутник Земли, май 1958 г. [4]). С тех пор сферические ионные ловушки неоднократно применялись как в советских [5, 6], так и в зарубежных (например, [7, 8]) спутниковых ионосферных измерениях. Примененные на «Интеркосмос-2» сферические ионные ловушки (см. рис. 2) имели диаметр 60 мм и были установлены на штангах так, что они заведомо находились вне слоя

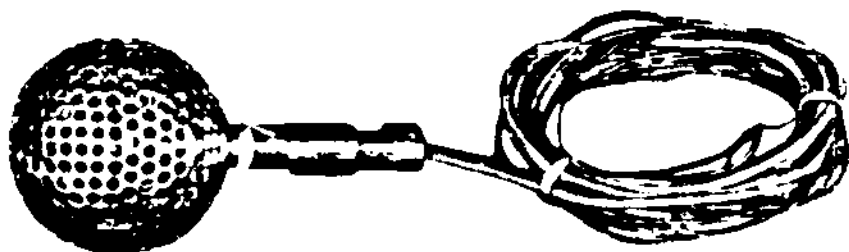


Рис. 2

объемного заряда, окружающего спутник (см. [4]). Коллектор каждой ловушки, имевший диаметр 2,0 см, был окружен антифотоэлектронной сеткой диаметром 2,6 см. На внешние сетки ловушек относительно корпуса спутника подавалось пилообразное напряжение, менявшееся за 5,8 сек от $-5,0$ до $+12,9$ в. Чтобы при подаче положительных потенциалов на внешние сетки ловушек изменение потенциала спутника относительно окружающей плазмы за счет тока ионосферных электронов, собираемых внешней сеткой, было минимальным, пилообразные напряжения на ловушки подавались поочередно (в то время как на одной ловушке снималась вольт-амперная характеристика, на внешнюю сетку другой подавалось постоянное отрицательное напряжение). Определение концентрации положительных ионов велось с использованием метода, предложенного в [4] по наклону вольт-амперной характеристики.

В составе аппаратуры, установленной на спутнике, имелось запоминающее устройство, позволявшее запоминать результаты измерений за время полного оборота спутника вокруг Земли с последующей передачей информации по радиотелеметрической линии связи. Ионные ловушки были в числе приборов, данные которых передавались при непосредственной радиотелеметрической связи, а также регистрировались при полете спутника вне зоны видимости присланных радиотелеметрических пунктов. Это позволило, в частности, получить данные об экваториальной аномалии во внешней ионосфере и области F , публикуемые в [4].

Одной из основных задач экспериментов на спутнике «Интеркосмос-2» являлось измерение температуры ионосферных электронов T_e вдоль орбиты спутника. Величина T_e весьма сильно зависит от основных физических процессов, происходящих в ионосфере, и ее изучение помогает решению столь важных вопросов, как причина существования ночной ионосферы, связь области F с плазмосферой, поступление фотоэлектронов из магнитно-сопряженной области ионосферы, неустойчивости ионосферной плазмы и т. п. Опубликованные до настоящего времени данные о T_e , носящие глобальный характер, полученные со спутников «Эксплорер-22», -31 и -32» (см. [9–11]), являются неполными — они относятся к большим высотам ≥ 1000 км и к минимуму солнечной активности. Данные T_e , полученные методом некогерентного рассеяния, относятся лишь к небольшому числу пунктов, в которых расположены соответствующие обсерватории; ракетные данные T_e носят эпизодический характер.

Отсутствие достаточно многочисленных и надежных сведений о распределении электронной температуры T_e является препятствием для создания модели ионосферы. Об этом, в частности, свидетельствуют опубликованные в 1970 и 1971 гг. сообщения Комиссии по созданию Международной модели ионосферы [12, 13].

Для получения орбитальных распределений T_e на спутнике использовался метод сферического ВЧ-зонда, являющийся модификацией метода, впервые примененного при ракетных ионосферных экспериментах в Япо-



Рис. 3

нии в 1961 г. При интерпретации результатов этого эксперимента использована теория несколько более развитая, чем в последних публикациях о более поздних японских экспериментах [14]. Примененные при обработке результатов измерений соотношения позволяют учесть конечное входное сопротивление прибора и уменьшают погрешности измерений T_e (более подробно об этом см. [2]).

Примененный для измерения T_e сферический зонд (рис. 3) имеет диаметр 3 см и расположен на штанге, удаляющей его от корпуса спутника на 50 см (см. рис. 1). Частота ВЧ-напряжения, питающего зонд, 50 кгц; величина T_e определяется один раз в 3,6 сек; величины подаваемых на зонд напряжений 0,24 и 0,48 в. Подробнее прибор описан в [2].

На спутнике были установлены два взаимно-перпендикулярных цилиндрических зонда, удаленных от корпуса при помощи штанги на расстоянии 50 см. Каждый из зондов (рис. 4) диаметром 6 мм и длиной 20 мм располагался между двумя охраняемыми секциями; суммарная длина зонда и охраняемых секций составляла 110 мм; два взаимно-перпендикулярных зонда были применены для проверки влияния на измерения геомагнитного поля. Напряжения на зондах менялись по пилообразному закону от -3 до $+11$ в за 3,8 сек; также как и ионные ловушки (и по той же причине) зонды использовались поочередно.

Результаты измерения T_e регистрировались при непосредственной радиотелеметрической передаче и в режиме орбитального запоминания, что позволило получить распределения T_e глобального характера. Тот же сферический зонд использовался для изучения вариаций электрического потенциала спутника относительно окружающей его плазмы (см. [2]).

Как отмечалось, измерения концентрации и температуры электронов n_e , T_e проводились методом зонда Ленгмюра. Однако эти измерения проводились только во время непосредственной радиотелеметрической передачи в зонах прямой видимости спутника с наземных приемных пунктов, т. е. в ограниченных интервалах высот и геомагнитных широт. Эти измерения, однако, важны, так как они позволили на некоторых участках орбит спутника сравнивать результаты одновременных измерений величин n_e (при помощи ионных ловушек) и n_e , которые должны быть равны из-за нейтральности ионосферы и отсутствия отрицательных ионов в изучаемой об-

ласть, а также величин T_e , определенных двумя независимыми способами — методом ВЧ-зонда и методом зонда Ленгмюра.

Передатчик когерентных радиоволн «Маяк» имел на каждой из частот выходную мощность ~ 100 мвт.

Результаты зондовых измерений локальных величин n , (или n_e) вблизи спутника могут быть использованы для построения вертикальных распределений $n_e(h)$ до высот спутника совместно с данными, полученными при помощи наземных наблюдений когерентных радиоволн, излучаемых со

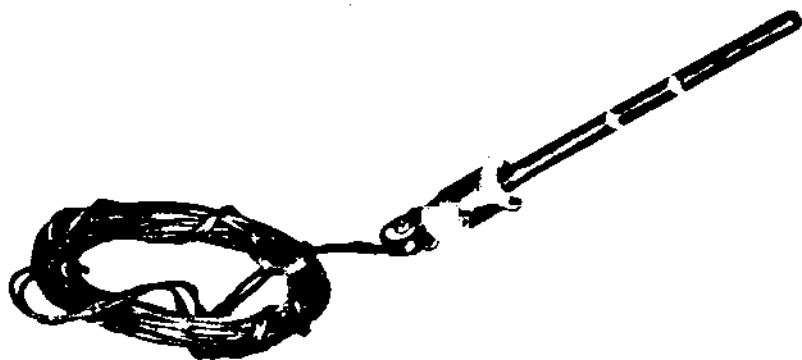


Рис. 4

спутника передатчиком «Маяк», и с данными наземных ионосферных станций вертикального зондирования, расположенных вблизи линии проекции орбиты спутника на Землю. Измерения на Земле разности фаз когерентных радиоволн «Маяк» (или измерения эффекта Фарадея) позволяют, как известно, определить полное содержание электронов на луче зрения от пункта наблюдения до спутника (см., например, [15] или [16]). Ионосферные станции позволяют определить вертикальное распределение $n_e(h)$ (ниже главного максимума n_e). Очевидно, что достаточно близким к реальному будет вертикальное распределение n_e , построенное таким образом, чтобы оно одновременно удовлетворяло данным, полученным ионосферной станцией, значению полного содержания электронов до высоты спутника, определенному по наблюдению когерентных радиоволн и локальному значению n_e (или n_e), определенному при помощи зондов, установленных на самом спутнике.

3. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Работа приборов на спутнике продолжалась 56 суток, в течение которых было произведено 229 сеансов непосредственной радиосвязи; была воспроизведена информация, которая запоминалась при помощи запоминающего устройства во время 109 полных оборотов спутника вокруг Земли.

При помощи ионных ловушек получены распределения концентрации положительных ионов вдоль орбиты спутника; в этих распределениях во многих случаях наблюдается хорошо выраженный эффект экваториальной аномалии в области F и во внешней ионосфере, причем в отличие от ранее опубликованных результатов этот эффект часто наблюдается на высотах более 900 км в ночной ионосфере.

Измерения электронной температуры в ионосфере посредством высокочастотного сферического зонда дополняют имеющиеся представления о глобальных тепловых свойствах ионосферы.

Наиболее детально обработаны результаты измерений T_e , относящиеся к зимней ионосфере на высотах 650–1100 км в области значений параметра Мак Илвэйна L от 1,3 до 2,2.

Ночные значения T_e в этой области лежат в интервале 1200–1600° К.

Как известно, существенный вклад в предрассветное повышение T_e дают потоки фотоэлектронов из магнитно-сопряженной области ионосферы. Согласно измерениям, проведенным в указанной области ($h \sim 650 \div 1100$ км, $L \sim 1,3 \div 2,2$), среднее значение зенитного угла Солнца в сопряженной области, при котором начинается рост T_e , составляет 103°.

Днем температура в указанной области ионосферы $T_e \sim 2500 \div 3500$ ° К.

Сопоставление с ранее опубликованными данными о величинах T_e в годы низкой солнечной активности [2] свидетельствует в пользу слабой зависимости T_e во внешней ионосфере от фазы цикла солнечной деятельности и о сдвиге начала предрассветного повышения T_e с ростом солнечной активности в сторону больших зенитных углов в сопряженной области от 98 до 103°.

Измерения при помощи зондов Ленгмюра позволили получить ценные данные о величинах концентрации заряженных частиц и величинах T_e для сопоставления с аналогичными характеристиками, полученными другими методами.

Обработка и интерпретация результатов измерений, проведенных на спутнике «Интеркосмос-2», еще не закончена, и их публикация будет продолжена.

Дата поступления
14 апреля 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Л. Гдалевич, Б. Н. Горожанкин, И. Кутнев, Д. Самарджиев, К. Серафимов. Космич. исслед., 11, вып. 2, 1073.
2. В. В. Афонин, Г. Л. Гдалевич, К. И. Грингауз, Я. Кайнарона, Я. Шмилауэр. Космич. исслед., 11, вып. 2, 1973.
3. К. Бишофф, Г. Л. Гдалевич, В. Ф. Губский, Г. Циммерман. Космич. исслед., 11, вып. 2, 1973.
4. К. И. Грингауз, В. В. Безруких, В. Д. Озеров. В сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 6. Изд-во АН СССР, 1961, стр. 63.
5. K. I. Gringauz, B. N. Gorozhankin, G. L. Gdalevich, N. M. Shutte, V. E. Rybchinsky, V. V. Afonin. Space Res., 5, 733, 1965.
6. В. В. Афонин, Т. К. Бреус, Г. Л. Гдалевич, Б. Н. Горожанкин, К. И. Грингауз, Р. Е. Рыбчинский, Н. М. Шютте. В сб. «Исследования космического пространства», «Наука», 1965, стр. 151.
7. R. L. F. Boyd, W. J. Raitt. Space Res., 5, 207, 1965.
8. R. C. Sagalin, M. Smiddy, Y. N. Bhargava. Space Res., 5, 189, 1965.
9. L. H. Brace, B. M. Reddy. J. Geophys. Res., 70, 5783, 1965.
10. B. C. N. Rao, E. J. H. Maier. J. Geophys. Res., 75, 816, 1970.
11. P. Bauer, G. Lejeune, M. Petit. Planet. Space Sci., 18, 1447, 1970.
12. K. Rawer. COSPAR Bulletin No. 56, December 1970, 80.
13. K. Rawer. URSI Bulletin No. 180, September 1971, 24.
14. K. Hirao, K. Oyama. J. Geomagn. and Geoelectr., 23, 161, 1971.
15. Н. А. Митяков, Э. Е. Митякова. Геоматнетизм и аэронавтика, 3, № 5, 553, 1963.
16. K. H. Schmelovsky, D. Felske. Space Res., 7, 2, 1370, 1967.