

УДК 533.9

ПЕРВЫЕ СОВЕТСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В 1957–1959 гг.: ИСТОРИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

А.А. ПЕТРУКОВИЧ¹, Т.М. МУЛЯРЧИК¹,
С.В. ВАСЮКОВ¹, М.И. ВЕРИГИН¹
Г.А. КОТОВА¹, В.А. СТЯЖКИН²

¹ Институт космических исследований
РАН, г. Москва, Россия

² Институт земного магнетизма и рас-
пространения радиоволн РАН, г. Троицк,
Московская обл., Россия

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена истории первых советских космических экспериментов. Кратко изложено состояние науки в 50-е годы XX в., история первых запусков (трех спутников и двух лунных ракет). Подробно представлены четыре наиболее успешных экс-

перимента по измерениям потоков космической радиации, магнитного поля, плотности плазмы, состава ионосферной плазмы. Приведены список первых научных публикаций, а также ссылки на основные источники более подробной информации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
космические
исследования,
история.

Начало космической эры создало новые возможности для изучения околоземного пространства. Уже в ходе первых двух–трех лет исследований были заложены основы современной физики космоса: открыты радиационные пояса, плазмосфера, солнечный ветер. Аппаратура первых советских научных спутников по многим параметрам вполне соответствовала современному уровню, а многие из примененных тогда методов измерений используются до сих пор. Результаты работ активно публиковались в научных журналах, в частности был учрежден новый журнал «Искусственные спутники Земли» (сейчас «Космические исследования»). Важным фактором, обеспечившим комплексность исследований, стало их проведение в период Международного геофизического года.

В статье кратко изложена история космических исследований в СССР в течение Международного геофизического года (МГГ) и Международного года сотрудничества (1957–1959 гг.): приведены сведения об основных запусках, о наиболее интересных экспериментах и их авторах. В этот период были запущены три околоземных спутника, две ракеты к Луне. Поскольку многие эксперименты ставились и на спутниках, и на суборбитальных ракетах, то в обзор включены и некоторые результаты ракетных запусков. Статья подготовлена по материалам приглашенного доклада на секции истории геофизики конгресса IUGG/IAGA 2007 г., посвященной 50-летию МГГ. По основным экспериментам дан достаточно полный список публикаций 1957–1960 гг. в советских научных журналах.

ВВЕДЕНИЕ

Знания об окружающем космическом пространстве, верхней атмосфере, излучении Солнца и солнечной активности в начале 50-х годов XX в. были довольно фрагментарны, прежде всего из-за отсутствия достаточного количества экспериментальных данных. На поверхности Земли получить их было практически невозможно, так как космические корпускулярные потоки и большая часть спектра электромагнитного излучения Солнца задерживаются атмосферой и геомагнитным полем.

Бурно развивавшиеся в середине XX в. технологии радиосвязи и радиолокации требовали (и одновременно были основным инструментом) исследований состояния ионосферы – верхнего ионизованного Солнцем слоя атмосферы, существенно влияющего на распространение радиоволн. Хотя представление о слоях ионосферы уже сформировалось, ее структура выше максимума плотности, откуда отражения радиоволн к поверхности Земли уже не происходит, а также ионный состав были неизвестны.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ГОД

Предполагалось, что за пределы ионосферы и атмосферы простирается близкое к дипольному геомагнитное поле. Регистрируемые на поверхности Земли возмущения поля – магнитные бури и суббури – и сопутствующие им полярные сияния объяснялись воздействием на геомагнитный диполь струй «солнечных корпускул», появляющихся после солнечных вспышек. Тем не менее было ясно, что такая картина неполна, так как был известен класс магнитных бурь, не связанных с солнечными вспышками. В 1950-е годы появились и данные о регулярном отклонении плазменных хвостов комет от радиального направления (на Солнце), что свидетельствовало о наличии постоянного потока солнечной плазмы. Однако прямых данных о составе и динамике плазмы за пределами ионосферы не было. Собственно термин «магнитосфера» появился только в начале 1960-х годов.

Еще одной важной целью исследований были космические лучи. Магнитное поле Земли не пропускает к ее поверхности частицы с энергиями ниже ~1 ГэВ. Лучи больших энергий останавливаются атмосферой Земли, порождая поток вторичных частиц, который собственно и регистрируется на поверхности. Поэтому для наблюдений первичных частиц детекторы было необходимо поднять как можно выше.

Геофизика в 1950-е годы находилась на подъеме еще и потому, что развитие техники (радаров, ракет, электронных приборов, компьютеров) способствовало получению абсолютно новых результатов. После Второй мировой войны возобновились и международные контакты ученых. Совершенно логичным в этой связи стало предложение о проведении третьего Международного полярного года – скоординированных комплексных геофизических исследований в Арктике (первый полярный год состоялся в 1882–1883 гг., второй – в 1932–1933 гг.). Эту идею активно поддержало научное сообщество, более того, было признано целесообразным придать работам глобальный характер, распространив наблюдения на весь земной шар. Такая расширенная программа исследований получила название Международного геофизического года – МГГ (IGY). Для МГГ был выбран интервал с 1 марта 1957 г. по 31 декабря 1958 г., во время ожидаемого солнечного максимума. Для завершения исследований период сотрудничества был продлен и на 1959 г. – так называемый Международный год сотрудничества – МГС



Рис. 1. Эмблема МГГ

(IGC). Советский Союз принял активное участие в МГГ: было подготовлено и проведено большое количество экспедиций (в том числе первая комплексная антарктическая экспедиция), открыты новые наблюдательные станции. Уровень международного сотрудничества стал для СССР тех времен беспрецедентным.

Суборбитальные ракеты, с помощью которых исследовались космические излучения и верхняя атмосфера, стартовали начиная с 1940-х годов, поэтому в течение МГГ можно было ожидать запуска первого спутника. Задача проведения измерений в космосе была включена в программу МГГ уже в 1953 г. США официально объявили о планах по запуску спутника в рамках МГГ в 1955 г., в 1956 г. это сделал и СССР. Интересно, что эмблема МГГ, созданная в 1954 г., уже содержала условное изображение спутника на орбите (рис. 1).

Необходимо отметить, что задачи геофизических исследований, которые ставились перед спутниками, были важны и для развития космической техники. Верхняя атмосфера влияет на движение спутников, радиосвязь с ними зависит от прохождения радиоволн через ионосферу, а космические излучения воздействуют на человека, находящегося в космосе. В частности, до запуска первого спутника никто не мог сказать с уверенностью, сколько он продержится на орбите, так как представления о плотности верхней атмосферы были весьма поверхностными.

Более подробную информацию об истории исследований можно найти в публикациях Д.П. Штерна [Stern, 1989, 1996] и в нескольких обзорных работах по истории МГГ

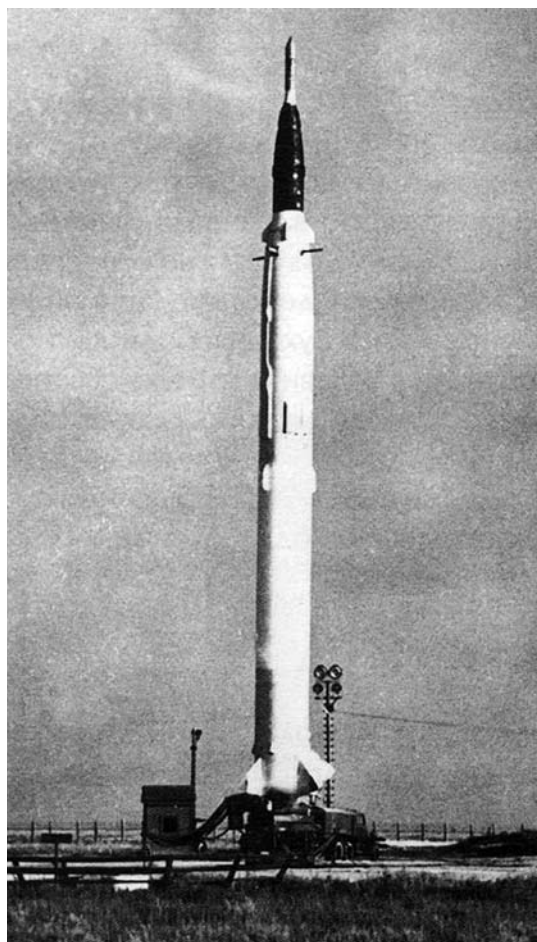
[Троицкая, 1955; Хргиан, Бритаев, 1957; Nicolet, 1984; Van Allen, 1984; Распопов и др., 2007]. Научные задачи и приборы для первых космических экспериментов были подробно обсуждены еще до запуска первого спутника в специальном выпуске журнала “Успехи

физических наук” (УФН) за сентябрь 1957 г. и нескольких последующих [Вернов и др., 1957а,б; Грингауз, Зеликман, 1957; Мандельштам, Ефремов, 1957; Миртов, 1957; Миртов, Истомин, 1957; Пушкин, Долгинов, 1957; Альперт, 1958; Красовский и др., 1958а].

На историю запусков первых спутников немалое влияние оказало военное противостояние двух сверхдержав. Для СССР создание ракет было единственным шансом достичь ядерного паритета с США. Все работы по этой тематике велись под руководством С.П. Королева, который, хорошо понимая и значение первого космического запуска, инициировал решение правительства по этому вопросу. Первые советские ракеты (Р-1, Р-2, Р-5) были недостаточно мощными, чтобы вывести спутник на орбиту. Такая возможность появилась только в 1957 г. с разработкой межконтинентальной ракеты Р-7.

В СССР ракеты для исследований на больших высотах во время краткого полета по суборбитальной траектории использовались с конца 1940-х годов. Позднее были разработаны и специализированные геофизические модификации. Всего было запущено 18 ракет Р-1 (до высот 110 км, 1949–1955 гг.) и 11 ракет Р-2А (до высот 200 км, 1957–1960 гг.). Ракеты Р-5 (Р-5А, Р-5Б, Р-5В), которые запускались с 1958 г., могли достигать высот 500 км, выше максимума плотности ионосферы (рис. 2). На ракетах проводились исследования ионосферы, атмосферы, излучения Солнца, космических лучей, биологические эксперименты, включая запуски аппаратов с собаками на борту.

Первоначально по программе МГГ в СССР разрабатывался спутник весом более одной тонны, несущий десяток различных приборов, так называемый «объект-Д». Однако его подготовка затягивалась, и С.П. Королев, обеспокоенный приоритетом



ИСТОРИЯ ЗАПУСКОВ

Рис. 2. Ракета Р-5 на старте

первого запуска, принял решение о создании более простого спутника, оснащенного только радиопередатчиком. Именно этот спутник и был запущен 4 октября 1957 г. (см. таблицу). Внешне спутник выглядел как сфера диаметром 58 см с четырьмя антеннами и

Спутник	Перигей, км	Апогей, км	Наклонение, град.	Период, мин	Срок существования
ИСЗ-1	228	947	65	94.6	92 дня
ИСЗ-2	225	1671	65	103.7	162 дня
ИСЗ-3	226	1880	65	105.45	692 дня

Орбиты первых советских ИСЗ

Рис. 3. Внешний вид и внутренняя компоновка ИСЗ-1: а – со снятыми батареями (1 – радиопередатчик, 2 – передняя полуболочка, 3 – шарнирный узел антенны), б – с установленными батареями

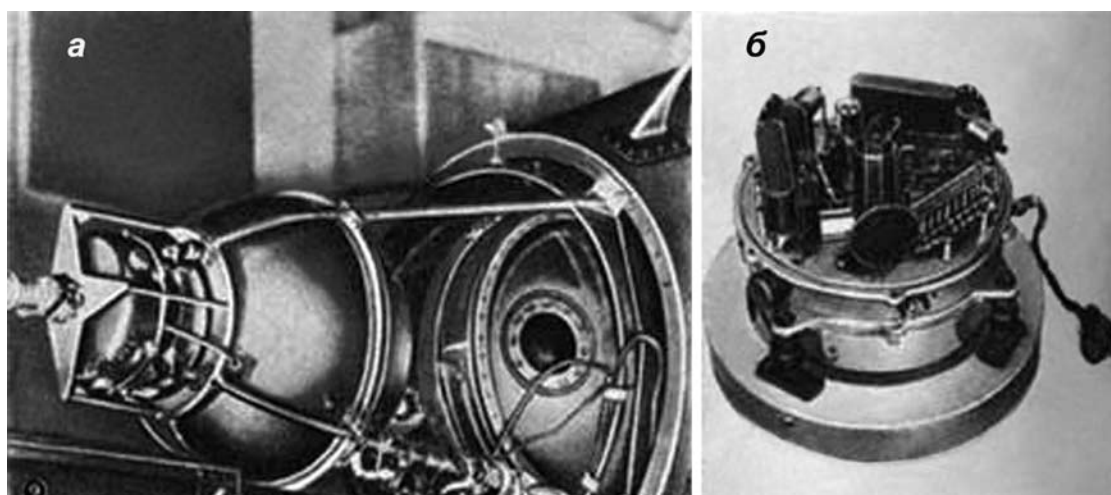
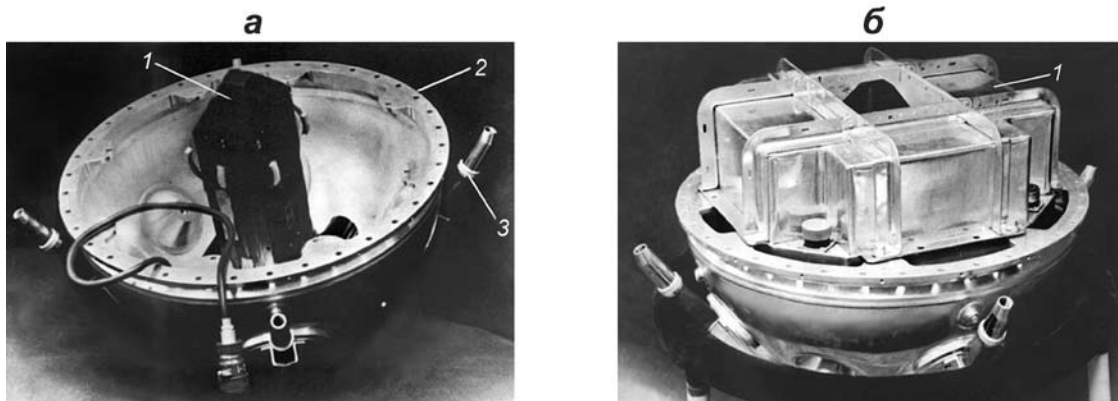


Рис. 4. Внешний вид (а) и приборный отсек (б) ИСЗ-2

Рис. 5. Внешний вид (а) и схема размещения научной аппаратуры (б) ИСЗ-3

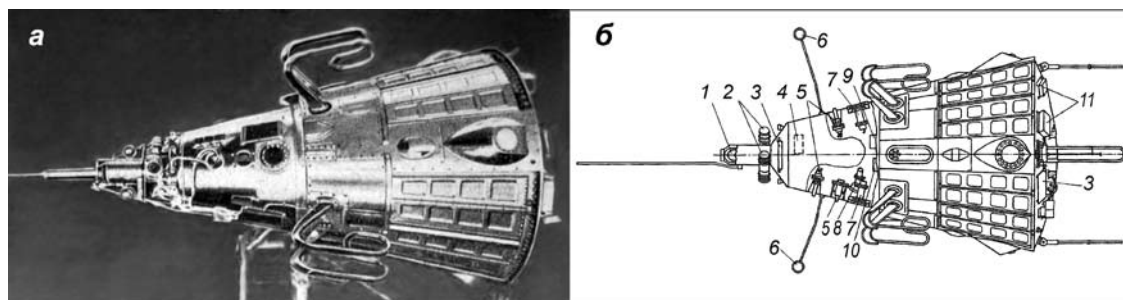
- 1 – магнитометр;
- 2 – фотоумножители для регистрации корпускулярных потоков;
- 3 – солнечные батареи;
- 4 – прибор для регистрации фотонов в космических лучах;
- 5 – магнитный и ионизационный манометры;
- 6 – ионные ловушки;
- 7 – электростатические флюксометры;
- 8 – масс-спектрометрическая трубка;
- 9, 10 – приборы для измерения интенсивности космического излучения;
- 11 – датчик для регистрации микрометеоритов

весом 83 кг (рис. 3). В нем были установлены два передатчика, работавшие на частотах 20.005 и 40.002 МГц. Прием сигналов одновременно на двух частотах позволял оценить параметры ионосферы вдоль пути распространения радиоволны [Альперт и др., 1958]. Спутник просуществовал на орбите 92 дня и сгорел в атмосфере 4 января 1958 г.

Меньше чем через месяц, 3 ноября 1957 г., был запущен второй искусственный спутник Земли – ИСЗ-2 (см. таблицу). Он представлял собой конической формы капсулу высотой 4 м, с диаметром основания 2 м и весом 508.3 кг (рис. 4). В программу работы ИСЗ-2 были включены три эксперимента: 1) медико-биологический (с собакой); 2)

по измерению ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца; 3) по изучению космических лучей. На спутнике также были установлены два радиопередатчика, телеметрическая система, работавшая только в режиме непосредственной передачи, и программно-временное устройство.

Спутник ИСЗ-3 (на базе отложенного «объекта-Д») был выведен на орбиту 15 мая 1958 г. (см. таблицу). Герметичный корпус ИСЗ-3 имел форму конуса высотой 3.57 м, с диаметром основания 1.73 м (рис. 5). Вес научно-технической аппаратуры и источников питания составлял 968 кг. На борту имелись почти все системы, характерные для современного спутника. Управление ра-



ботой научной аппаратуры производилось с помощью программно-временного устройства, имелась система запоминания информации. Основными источниками питания служили электрохимические батареи, но на борту были установлены и опытные солнечные панели.

Следующие советские околоземные научные спутники были запущены только в 1962 г., и поэтому здесь не рассматриваются. Усилия разработчиков временно переключились на создание «космических кораблей-спутников» (так называли будущие пилотируемые корабли), на которых проводились только эксперименты, необходимые для обеспечения полета человека в космос (в частности, по наблюдению космической и солнечной радиации) и «космических ракет» (автоматических межпланетных станций). Первая космическая ракета в сторону Луны (станция «Луна-1») была запущена 2 января 1959 г. (рис. 6, а). Целью полета была посадка на поверхность Луны, однако ракета прошла на расстоянии 6 000 км от поверхности Луны и вышла на гелиоцентрическую орбиту. Следующий пуск был произведен 12 сентября 1959 г., и 14 сентября станция «Луна-2» (рис. 6, б) достигла поверхности Луны. Схема движения станции «Луна-2» приведена на рис. 7.

Корпус станции «Луна-2» состоял из двух тонких сферических полуоболочек. На одной из полуоболочек были расположены четыре стержня антенн радиопередатчика, работавшего на частоте 183.6 МГц. Они были закреплены симметрично относительно алюминиевого модуля, на конце которого находился магнитометр. На этой же

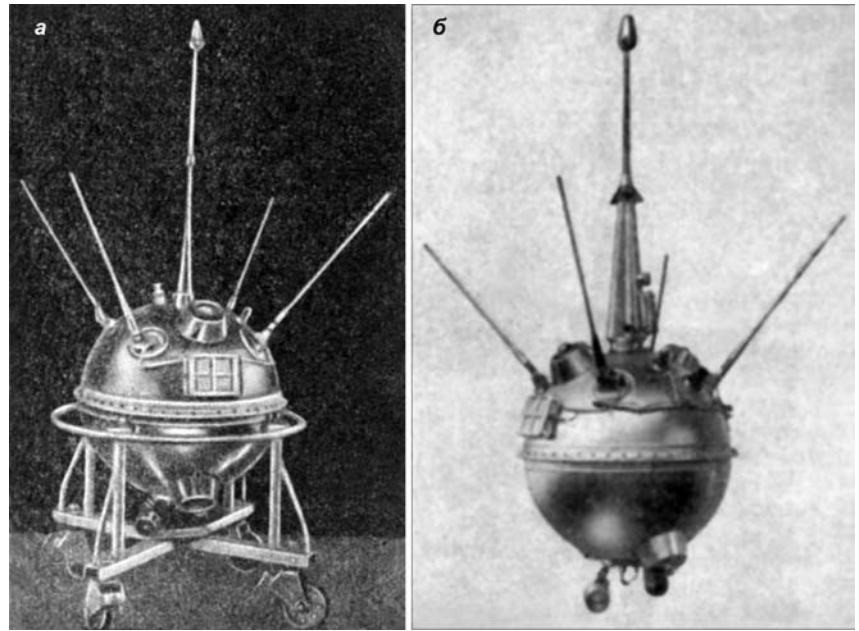


Рис. 6. Общий вид станций «Луна-1» (а) и «Луна-2» (б)

полуоболочке были размещены две ионные ловушки и два пьезодатчика для регистрации микрометеоритов. Оригинальный эксперимент с натриевой кометой, предложенный И.С. Шкловским, позволил проследить за яркостью освещаемого Солнцем облака натрия, выпущенного ракетой [Шкловский, 1960].

Более подробные сведения о советской космической программе первых лет можно найти в книгах Я.К. Голованова [1994] и Б.Е. Чертока [1995–2007], сведения о первых запусках, в том числе геофизических ракет, в книгах [Успехи..., 1968; Энциклопедия..., 1985]. В США в этот период были запущены малые спутники «Эксплорер-1–7» весом до 40 кг и станции «Пионер» к Луне [Энциклопедия..., 1985].

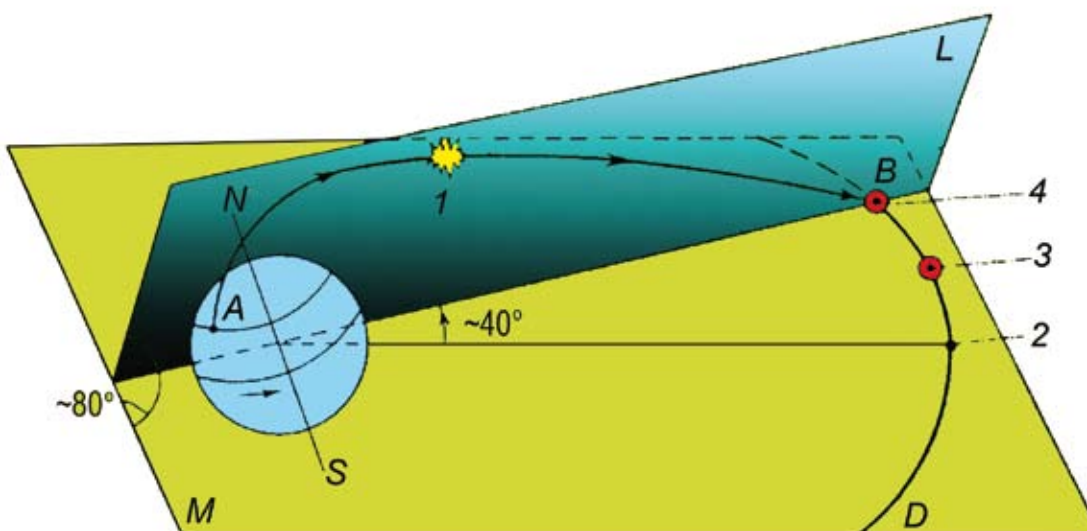


Рис. 7. Схема движения станции «Луна-2» к Луне
 А – место старта;
 М – плоскость орбиты Луны; D–B – орбита Луны; L – плоскость траектории ракеты.
 1 – область образования искусственной кометы;
 2 – точка лунной орбиты с наименьшим склонением; 3 – Луна в момент старта 2-й космической ракеты; 4 – Луна в момент встречи с ракетой

ПУБЛИЧНОСТЬ КОСМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ

Интересен и информационный аспект истории первых запусков. В американских газетах появлялись публикации о космических планах США, размерах спутников, датах запусков, об орбитах. Однако советская программа из-за общей секретности и ограниченности общения с западными коллегами была практически не известна на Западе. В советской печати не появлялось ничего конкретного о будущих запусках, хотя недостатка в популярных лекциях, книгах и научных публикациях, обсуждавших проблему «в общем», не было. В результате, когда в 1956 г. советский представитель в международном комитете МГГ академик Л.И. Седов сообщил о подготовке СССР к запуску спутника, за рубежом на это просто не обратили внимание. Тем не менее в СССР работы по созданию спутника велись большим количеством организаций (в частности, по всей стране готовились группы наблюдателей для визуального определения параметров орбиты [Шкловский, 1958; Шкловский, Щеглов, 1958]).

Сообщение ТАСС о старте ИСЗ-1 было опубликовано в газете «Правда» 5 октября 1957 г. В нем говорилось о запуске первого искусственного спутника Земли по программе Международного геофизического года, сообщались данные о его орбите, размерах и весе, а также о том, что на спутнике установлены два радиопередатчика, непрерывно излучающие радиосигналы, доступные для радиоловильщиков. Сообщение ТАСС не выделялось среди статей с броскими заголовками типа «Подготовка к зиме – дело неотложное» и обращением к Центральному Комитету КПСС, в котором говорилось, что «колхозники и колхозницы колхоза им. В.И. Ленина Вурнарского района Чувашской АССР, как и все колхозы и труженики сельского хозяйства нашей страны, от всего сердца и как боевую

задачу восприняли призыв Коммунистической партии – догнать в ближайшие годы США по производству мяса, молока и масла на душу населения».

Однако запуск спутника вызвал небывалый общественный и политический резонанс во всем мире, воспринявшем это как величайшее научное и техническое достижение и как большую победу Советского Союза. Газета «The New York Times» вышла с огромным заголовком: «Советы запустили в космос спутник Земли» и с изображением земного шара и орбиты спутника вокруг него. В сопровождающей заметке отмечалось, что советский спутник в 8 раз тяжелее того, который планировалось запустить в США и что сигналы спутника передаются для всех радиоловильщиков. Это не замедлило сказаться и на советской прессе, и 9 октября 1957 г. «Правда» опубликовала новые подробности о конструкции и движении спутника.

В дальнейшем все первые запуски сопровождались в газете «Правда» большими статьями на одну–две полосы, рассказывающими об устройстве спутников, научных задачах и основных результатах. В частности, «Правда» посвятила спутнику ИСЗ-3 почти весь номер от 18 мая 1958 г. Были опубликованы фотоснимок спутника и схема с расположением аппаратуры, в нескольких статьях описывались орбита и устройство спутника, объяснялись основные научные задачи. 5 октября 1958 г. вышла такая же большая статья с изложением основных результатов полета. Статьи были написаны на доступном широкому читателю языке, что немало способствовало популяризации космической тематики и геофизических исследований. Сводка публикаций о первых спутниках приведена в книге [Освоение..., 1971].

ЭКСПЕРИМЕНТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В этом разделе более подробно расскажем о четырех экспериментах на первых спутниках и ракетах: измерениях космической радиации, магнитного поля, концентрации плазмы и ионного состава ионосферной плазмы. Авторы этих наиболее успешных экспериментов в 1960 г. стали лауреатами Ленинской премии (ссылки на публикации даны в соответствующих разделах). Назовем и другие эксперименты, проводившиеся в эти годы: наблюдения атмосферы [Михневич, 1958; Михневич и др., 1959], коротковолнового излучения Солнца [Иванов-Холодный, 1959; Брунс, Прокофьев, 1961], микрометеоров [Комиссаров и

др., 1958; Назарова, 1960а,б, 1962], мягких электронов [Красовский и др., 1958б, 1959а,б, 1961; Шкловский и др., 1959; Krasovski, 1961b]. Итоги исследований подведены в публикации [Успехи..., 1968], в том числе в ее английском переводе [Advances..., 1968].

ОТКРЫТИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ

Космические лучи взаимодействуют с атомами атмосферы, а поверхности Земли достигают только вторичные частицы. Поэтому информацию о первичном излучении можно получить, лишь поднявшись

в верхние слои атмосферы. В СССР такие исследования проводились сотрудниками Научно-исследовательского института ядерной физики (НИИЯФ) при МГУ под руководством С.Н. Вернова¹. С 1947 г. для этих целей начали использоваться и баллистические ракеты, запускаемые с полигона Капустин Яр.

Однако наиболее впечатляющие результаты были получены, когда начались эксперименты с использованием спутников. На втором спутнике были установлены счетчики Гейгера, которые в основном регистрировали лишь космические лучи небольшой интенсивности. 7 ноября 1957 г. во время слабого геомагнитного возмущения интенсивность сигнала оказалась повышенной на 50% (рис. 8). Зарегистрированный эффект был интерпретирован как малая вспышка космического излучения, хотя, как мы сейчас знаем, природа этих высыпаний была магнитосферной.

В 1958 г. американские спутники “Эксплорер-1” (запущен 1 февраля) и “Эксплорер-3” (запущен 26 марта) обнаружили постоянно существующую область экстремально высокой радиации (фактически произошло зашкаливание счетчика Гейгера) на экваториальных широтах, позднее названную внутренним радиационным поясом [Van Allen et al., 1958]. Это открытие было абсолютно неожиданным. Советский спутник не смог этого сделать по нескольким причинам: получение информации со спутника было возможно только в режиме непосредственной передачи, а над территорией СССР в относительно северных широтах на высоте орбиты спутника основной радиационный пояс был не виден. Сигналы с более экваториальных широт, принятые в других странах, получить не удавалось из-за политических осложнений.



Вернов Сергей Николаевич (1910–1982)

¹ Вернов Сергей Николаевич родился в 1910 г. в г. Сестрорецке под Петербургом. В 1931 г. окончил Ленинградский политехнический институт и был направлен на работу в Государственный радиевый институт. В 1935 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Изучение космических лучей в стратосфере с помощью шаров-зондов», в 1939 г. – докторскую диссертацию на тему «Широтный эффект космических лучей в стратосфере и проверка каскадной теории». С 1946 г. С.Н. Вернов – заместитель директора НИИЯФ МГУ, с 1962 г. директор НИИЯФ, академик. Автор и руководитель многочисленных экспериментов по исследованию космических лучей. С.Н. Вернов – лауреат Ленинской премии СССР 1960 г. (совместно с А.Е. Чудаковым).

Почти сразу после этого открытия С.Н. Вернов и А.И. Лебединский предложили механизм образования внутреннего радиационного пояса через захват в магнитном поле вторичных энергичных протонов, возникающих при распаде нейтронов альbedo (появляющихся при взаимодействии первичных космических лучей с атмосферой). Практически одновременно и независимо этот механизм формирования внутреннего радиационного пояса предложил Ф.Зингер [Singer, 1958].

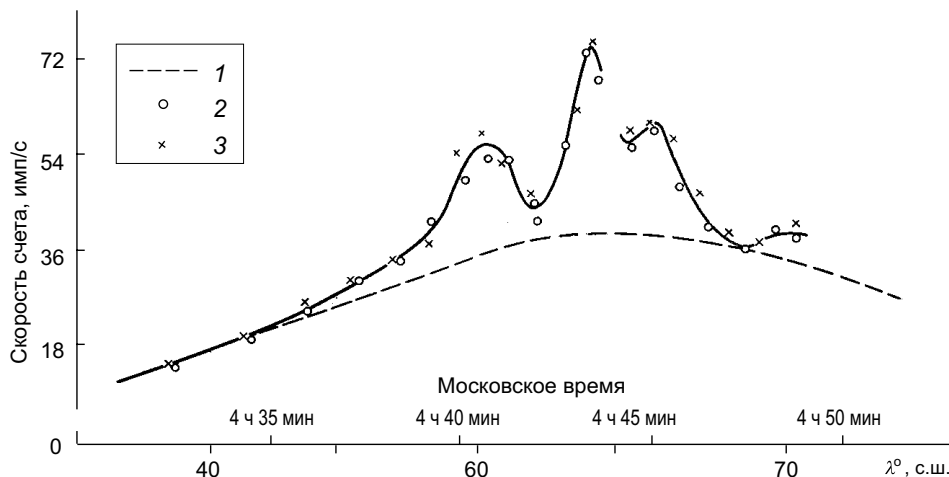


Рис. 8. Потоки радиации на высоких широтах по измерениям на ИСЗ-2 [Вернов и др., 1958в]
1 – показания в спокойное время;
2, 3 – интенсивность: 2 – по первому детектору, 3 – по второму детектору

На борту ИСЗ-3, кроме счетчика Гейгера, был установлен и сцинтилляционный счетчик, с помощью которого можно было судить не только об интенсивности регистрируемых частиц, но и об их энергии. Счетчик состоял из цилиндрического кристалла иодистого натрия размером 40×40 мм и фотоумножителя. Амплитуда импульса на выходе счетчика зависела от энергии частицы в кристалле. Одновременное измерение полной ионизации, произведенной излучением в кристалле, и скорости счета частиц давало возможность определить среднюю энергию частиц и судить об их природе. Для определения величины токов использовался принцип накопления заряда на конденсатор, который после зарядки до определенного потенциала разряжался через неоновую лампочку. Частота зажиганий неоновой лампочки служила мерой ионизации, произведенной излучением в кристалле. Для передачи информации в этот раз использовался другой радиопередатчик, который могли принимать любительские приемники, так что, в отличие от эксперимента на ИСЗ-2, исследователи получали данные почти над всей поверхностью земного шара. Оказалось, что существуют две зоны радиации, которые имеют не только различное пространственное расположение, но и различный состав частиц – внутренний радиационный пояс, состоящий из протонов с энергиями в сотни мегаэлектронвольт, и внешний, содержащий электроны с энергией в сотни килоэлектронвольт (рис. 9). Американские спутники не могли наблюдать внешний радиационный пояс в связи с тем, что наклонение их орбит было слишком низким.

Сцинтилляционные и газоразрядные счетчики на станциях “Луна-1” и “Луна-2” при их пролете по траекториям, пронизыва-

ющим пояса от поверхности Земли до внешних границ, позволили определить их протяженность и степень стабильности. Положение максимума радиации внешнего радиационного пояса сдвинулось, его форма изменилась, в то время как внутренний пояс был относительно стабилен. Измерения в окрестностях Луны показали, что радиационные пояса вокруг нее отсутствуют.

Результаты исследований космических лучей и радиационных поясов суммированы в публикациях [Вернов и др., 1968а,б, 1970; Логачев, 2007], а полный список публикаций первых лет исследований включает работы [Вернов и др., 1958а,б,в, 1959а,б, 1960а,б, 1961; Ван Аллен, 1960; Вернов, Чудаков, 1960; Курносова и др., 1960, 1961; Шафер, Ярыгин, 1960; Логачев, 1961; Вакулов и др., 1962, 1965; Гинзбург и др., 1962а,б].

ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Одним из главных направлений исследований в космосе считались геомагнитные наблюдения, причем особый интерес вызывал переменный компонент поля, создаваемый внешними, внеземными токами. Авторы магнитометра Ш.Ш. Долгинов² и его сотрудники в Научно-исследовательском институте земного магнетизма (НИИЗМ, ныне ИЗМИРАН) стояли перед выбором между двумя типами магнитометров: ядерно-индукционным и феррозондовым [Dolginov, 1998].

Ядерно-индукционный метод основан на явлении свободной прецессии протонов во внешнем магнитном поле. Преимущество такого магнитометра состоит в том, что измерение поля сводится к измерению частоты, т.е. его точность зависит только от точности определения частоты. Однако этот метод весьма чувствителен к помехам от внешних переменных напряжений. Кроме того, такой магнитометр может измерять только модуль поля.

Феррозондовые приборы содержат ферромагнитные сердечники и охватывающие

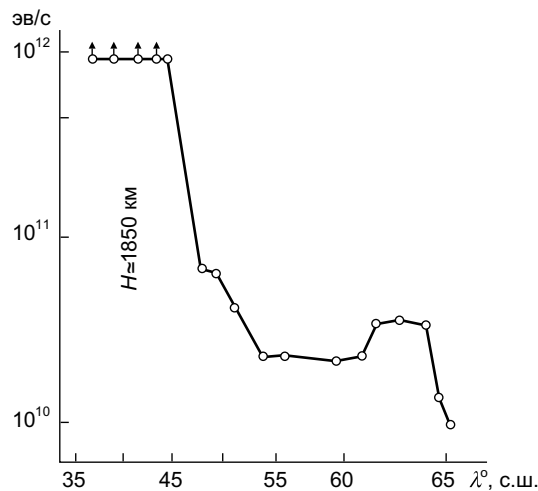


Рис. 9. Примеры регистрации внутреннего и внешнего радиационного поясов при полете ИСЗ-3. По оси абсцисс – географические широты, по оси ординат – энерговыведение в цилиндрическом кристалле NaI размером 40×40 мм² [Вакулов и др., 1965]

² Долгинов Шмая Шлемович родился в 1917 г. в пос. Монастырщино Смоленской области. После окончания Ленинградского государственного университета в 1942 г. был направлен на работу в НИИЗМ (ныне ИЗМИРАН) в г. Троицк Московской области. С 1943 г. – начальник магнитной партии, с 1946 г. – начальник магнитной лаборатории, в 1969 г. – заведующий отделом экспериментальных исследований магнитосферы. Автор и руководитель многочисленных космических магнитных экспериментов на ИСЗ и межпланетных станциях. Ш.Ш. Долгинов – лауреат Ленинской премии 1960 г. (совместно В.М.Пушковым).

их обмотки, в которые подается переменный ток и с которых снимается ЭДС, несущая информацию об измеряемом значении поля. Феррозондовые магнитометры не свободны от дрейфа нулевого значения, однако имеют малые размеры и потребляют малую мощность.

С учетом всех преимуществ и недостатков был выбран феррозондовый магнитометр. На ИСЗ-3 была использована схема, в которой сигналы с двух взаимноперпендикулярных обмоток ориентировали подвижную головку по вектору поля, амплитуда которого измерялась третьей обмоткой (рис. 10). Фактически применялась схема измерений по двум углам и полному вектору, аналогичная наземным установкам. В дальнейшем была разработана более простая схема (в том числе применявшаяся на станциях “Луна-1” и “Луна-2”), включающая три одинаковых взаимно перпендикулярных датчика, измерявших компоненты поля в декартовой системе.

При выборе диапазона и характеристик магнитометра опирались на значения геомагнитного поля на поверхности Земли с учетом его разложения в ряд по сферическим гармоникам.

В качестве опорных точек принимались минимальное поле Земли над областью экватора – 15.000 нТ и максимальное поле – 60.000 нТ. В результате был выбран диапазон измерений по каждому датчику 40.000 ± 24.000 нТ, чувствительность каждого канала составляла 380 нТ/В телеметрической шкалы. Прибор весил 13 кг и потреблял 20 Вт. Сопоставление измеренных значений напряженности геомагнитного поля с рас-

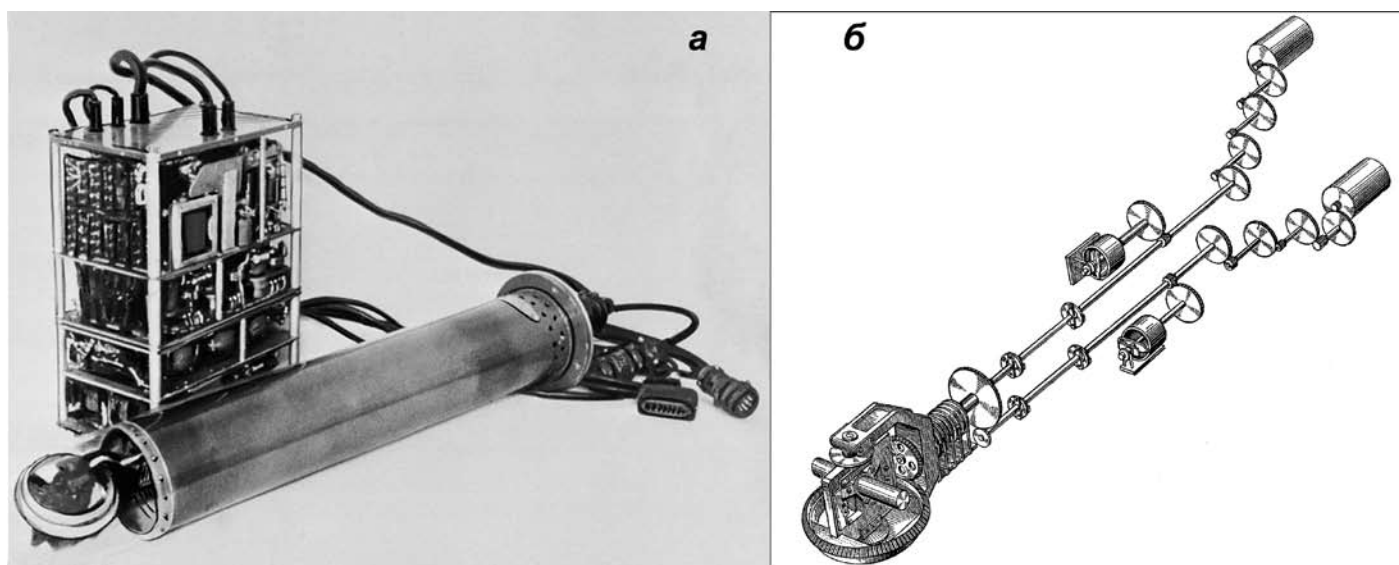


Долгинов Шмая Шлемович (1917–2001)

четными показало, что они совпадают с точностью 0.1%–1%.

При пролетах станций “Луна-1” и “Луна-2” измерения проводились на гораздо больших высотах, где основное поле существенно уменьшалось, а эффекты внешних источников должны были стать более заметны. И действительно, по наблюдениям на удалении от Земли от 14 до 34 тыс. км измеренные значения существенно отличались

Рис. 10. Магнитометр СГ-45 на ИСЗ-3: а – внешний вид, б – схема его устройства



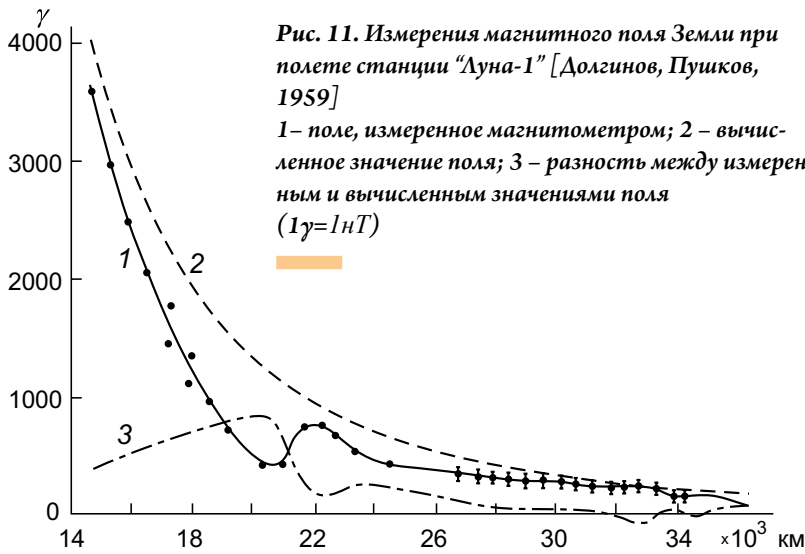


Рис. 11. Измерения магнитного поля Земли при полете станции “Луна-1” [Долгинов, Пушков, 1959]
 1 – поле, измеренное магнитометром; 2 – вычисленное значение поля; 3 – разность между измеренным и вычисленным значениями поля ($1\gamma = 1\text{нТ}$)

ее поверхности (рис. 12). Они показали, что величина лунного магнитного поля не превышала порога чувствительности прибора.

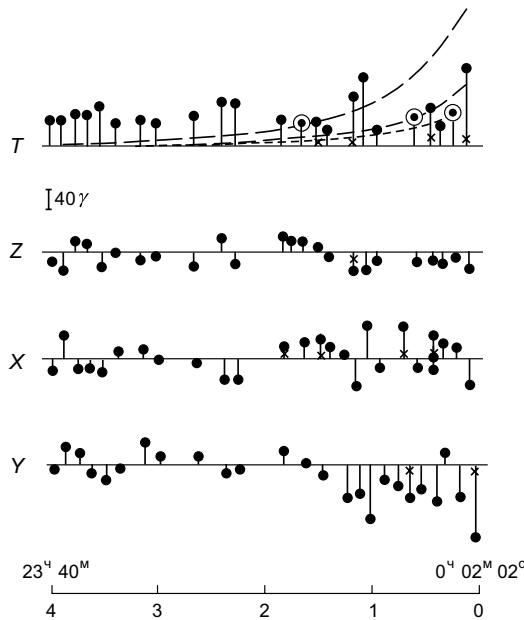
Результаты исследований магнитного поля суммированы в публикации [Долгинов, Пушков, 1968], а полный список публикаций первых лет исследований включает работы [Долгинов и др., 1958, 1960а,б, 1961, 1962; Долгинов, Пушков, 1959; Dolginov et al., 1961].

НАБЛЮДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

Ближайшая к Земле ионизованная материя в ионосфере доступна для изучения с поверхности Земли с помощью радиоволн.

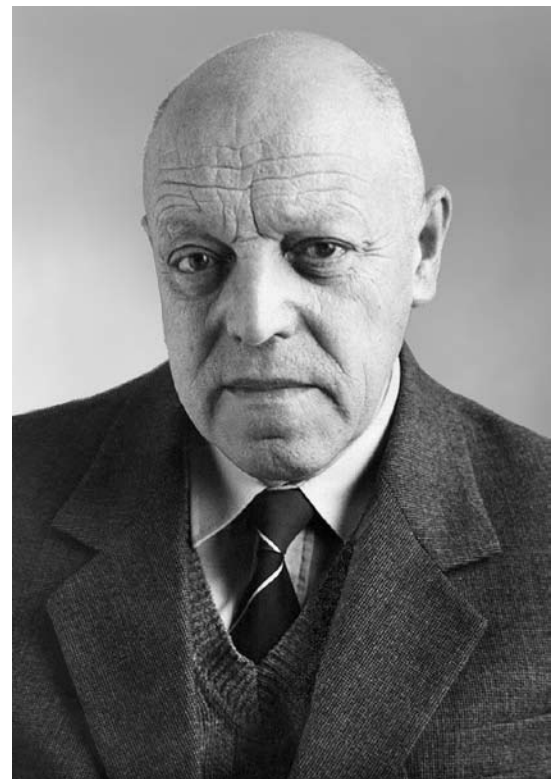
По зависимости высоты отражения радиоволн от их частоты можно определить профиль плотности ионосферы ниже его максимума, находящегося в F-слое на высоте 300–400 км. На ракетах можно использовать другой способ измерений – радиопросвечивание. При подъеме ракеты можно вычислить профиль концентрации плазмы по изменению с высотой набега фазы, зависящего от плотности электронов. Такие исследования проводились в НИИ 885

Рис. 12. Измерение магнитного поля Луны при полете станции “Луна-2” [Долгинов и др., 1961]. Точками показаны измеренные поля; пунктирные линии – предположения о магнитном поле Луны



от вычисленных (рис. 11). Этот эффект был сопоставлен с регистрацией внешнего радиационного пояса группой С.Н. Вернова. Показания магнитометра на станции “Луна-2” также не совпадали с теоретической кривой, но в этом случае отклонение оказалось меньше, чем на станции “Луна-1”, что подтвердило предположение об изменчивости внешнего радиационного пояса.

Для измерений на станции “Луна-2” магнитометр был усовершенствован: его динамический диапазон составил ± 700 нТ, порог чувствительности 30 нТ. Это позволило с большей точностью проводить измерения вблизи Луны. Измерения начались с расстояния двух лунных радиусов до поверхности Луны и продолжались до расстояния 55 км от



Грингауз Константин Иосифович (1918–1993)

бораторией под руководством К.И. Грингауза³ [Verigin, Axford, 2000]. Ракетные эксперименты на частотах 24, 48 и 144 МГц позволили проследить ход электронной концентрации верхней атмосферы вплоть до высоты 480 км и показать, что выше максимума концентрация уменьшается медленно (в отличие от доминировавших тогда представлений о резкой высотной границе), а также исследовать появление спорадического E-слоя аномальной плотности.

Для локальных измерений плазмы с борта спутника К.И. Грингаузом и его группой использовались так называемые ловушки заряженных частиц. На ИСЗ-3 была установлена сферическая ловушка, внешний вид которой приведен на рис. 13. Внутри каждой ловушки помещался сферический коллектор, имевший отрицательный потенциал (–150 В) относительно корпуса спутника. Радиус внешней сетки 5 см, диаметр коллектора 3 см, коэффициент прозрачности оболочки 0.63. Электрическое поле внутри ловушки собирало на коллектор все положительные ионы (с энергией порядка долей электронвольт) и выталкивало отрицательные частицы, если их энергия не превышала энергию тормозящего поля (150 эВ). Эти измерения подтвердили полученный в более ранних экспериментах вывод о наличии ионосферных ионов над максимумом F-слоя и соответственно о медленном спадаении концентрации с высотой. Для экспериментов на станциях “Луна-1” и “Луна-2” были разработаны более чувствительные ловушки с дополнительной сеткой, установленной между внешней сеткой и коллектором и предназначенной для подавления эмиссии электронов с коллектора. Потенциалы электродов относительно корпуса были следующими: коллекторов 60–90 В, внутренней сетки –200 В; потенциал внешней сетки переключался между величинами –10 В, –5 В, 0 В, +15 В.

На рис. 14 представлены измерения коллекторных токов на участке до 25 000 км. Во время полета к Луне станции вращались,

³ Грингауз Константин Иосифович родился в 1918 г. в г. Туле. В 1941 г. окончил Ленинградский электротехнический институт. После войны поступил на работу в НИИ 885 (сейчас РНИИ КП). С 1950 г. – руководитель лаборатории радиотехнологий, где проводил исследования в области радиозондирования ионосферы с помощью ракет. С 1959 г. – заведующий отделом Радиотехнического института, с 1971 г. – заведующий лабораторией ИКИ РАН. К.И. Грингауз разработал радиопередатчик и антенны для первого спутника Земли, сигналы которого должны были быть доступны любому радиолюбителю. Автор и руководитель экспериментов по диагностике плазмы на многих околоземных спутниках и межпланетных станциях. К.И. Грингауз – лауреат Ленинской премии 1960 г.

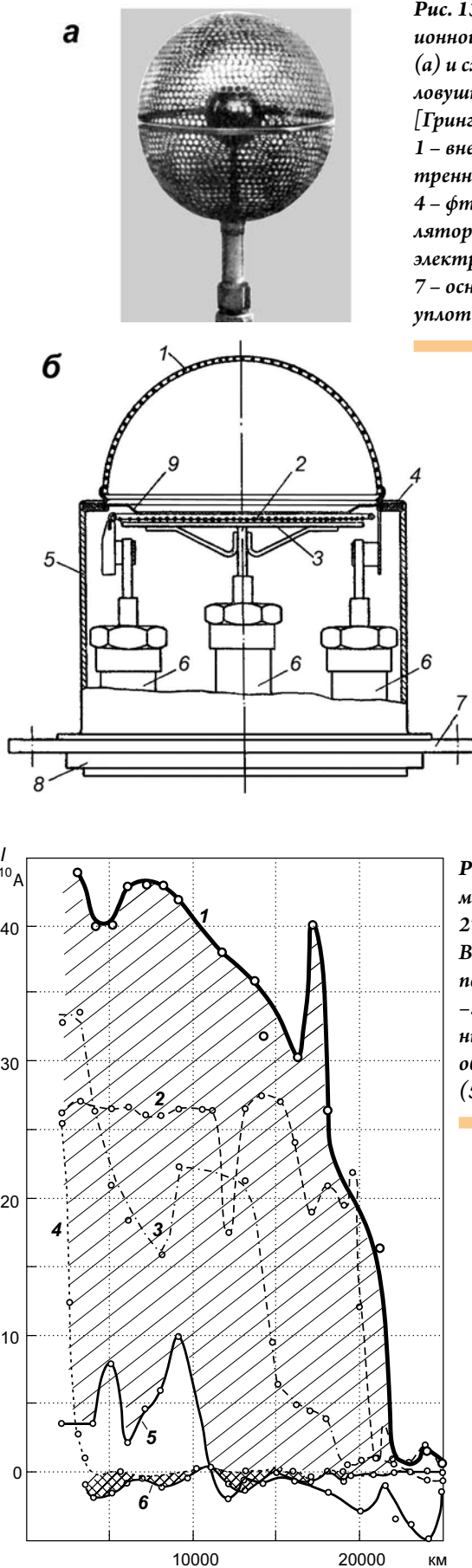
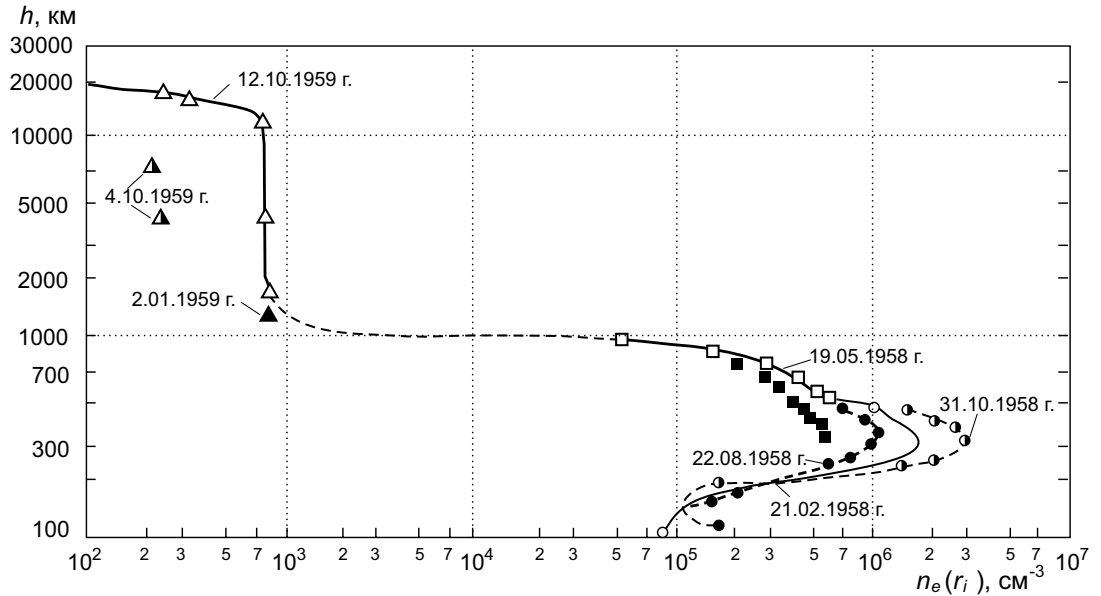


Рис. 13. Общий вид сферической ионной ловушки Спутника-3 (а) и схема трехэлектродной ловушки станции “Луна-2” (б) [Грингауз, 1962а]

1 – внешняя сетка; 2 – внутренняя сетка; 3 – коллектор; 4 – фторопластовый изолятор; 5 – корпус; 6 – вводы электрических соединений; 7 – основание; 8 – резиновый уплотнитель

Рис. 14. Измерения плазмы атмосферы на станции “Луна-2” [Грингауз и др., 1961а]. Верхние границы тока при потенциале: –10 В (1), –5 В (2), 0 В (3), +15 В (4); нижние границы тока: общая для –10 В, –5 В и 0 В (5) и +15 В (6)

Рис. 15. Итоговый график высотной зависимости концентрации плазмы по данным первых экспериментов [Грингауз, 1962б]



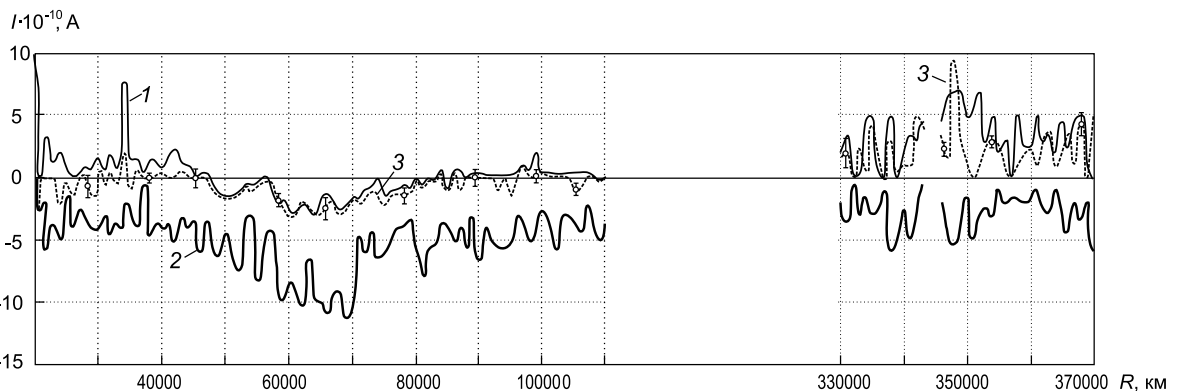
ориентация каждой ловушки относительно вектора скорости и направления на Солнце непрерывно менялась, что приводило к колебаниям коллекторного тока. Ясно видна зависимость максимального сигнала от потенциала внешней сетки ловушки, что означает регистрацию ионов небольших энергий. Таким образом, Земля выше ионосферы окружена плазмой с температурой ионов $\sim 10^4$ К. Эта оболочка впоследствии была названа плазмосферой. На расстоянии примерно 4 земных радиуса плазмосфера резко обрывалась. Эта граница позже была названа плазмопаузой. Итоговый по всем экспериментам высотный профиль концентрации плазмы над Землей показан на рис. 15. На нем четко видны основной максимум F-слоя ионосферы, плазмосфера и плазмопауза.

Еще один важнейший результат был получен на больших удалениях от Земли. На рис. 16 приведены данные ионных ловушек от 20 000 км до 370 000 км. Выше 300 000 км сигналы ловушек были близки друг к другу и не зависели

от напряжения на внешних сетках, т.е. наблюдаемые ионы имели энергию, много большую потенциала сетки. К.И. Грингауз и его сотрудники пришли к выводу, что они наблюдают «солнечное корпускулярное излучение», которое теперь называют солнечным ветром. Отрицательные токи коллектора, наблюдаемые при напряжении на внешней сетке +15 В, не превышали 10^{-10} А, что соответствовало потоку электронов $\sim 2 \cdot 10^7$ см $^{-2}$ с $^{-1}$. На расстояниях до 80 000 км в антисолнечном направлении трехэлектродные ловушки регистрировали отрицательные токи, соответствующие горячим электронам с потоками порядка $(2-4) \cdot 10^8$ см $^{-2}$ с $^{-1}$, названные тогда «третьим радиационным поясом». Поскольку счетчики более энергичных частиц в это время ничего не показывали, было решено, что наблюдались электроны с энергией менее 20 кэВ. Последующие исследования показали, что «третий радиационный пояс» — это плазменный слой хвоста магнитосферы.

Результаты экспериментов с использо-

Рис. 16. Измерения солнечного ветра и в магнитосфере на станции «Луна-2» [Грингауз и др., 1961а]. 1, 2 — общая верхняя и нижняя границы коллекторных токов при потенциале -10, -5 и 0 В; 3 — верхняя граница токов в ловушке при потенциале +15 В



ванием ракет представлены в публикациях [Грингауз, 1958; Грингауз, Рудаков, 1960, 1961; Грингауз и др., 1961б; Рудаков, 1961], экспериментов с использованием спутников – в работах [Грингауз, Рытов, 1960; Грингауз и др., 1960а,б, 1961а,в,г; Грингауз, 1962а]. Обзоры даны в публикациях [Красовский, 1958; Альперт, 1961; Gringauz, 1961а,б; Gringauz, Rudakov, 1961; Грингауз, 1962б, 1968].

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Состав ионосферы и верхней атмосферы сначала исследовался методом взятия проб на ракетах с возвращаемой головной частью. После приземления контейнера проба поступала в лабораторию, где и производился спектральный анализ. Однако такой метод оказался непригодным для исследования состава атмосферы выше 100 км из-за рекомбинации неустойчивых составляющих. Для измерений в разреженной атмосфере был предложен радиочастотный масс-спектрометр Беннета, использующий принцип разделения ионов по скоростям в высокочастотных электрических полях. Сотрудник Института прикладной геофизики (ИПГ) В.Г. Истомин⁴ усовершенствовал спектрометр Беннета, использовав особые прозрачные сетки, что позволило увеличить чувствительность прибора и его разрешение по массам. В 1957–1959 гг. он провел серию экспериментов на ракетах по определению ионного состава верхней атмосферы средних широт, спектрометр был установлен и на ИСЗ-3.

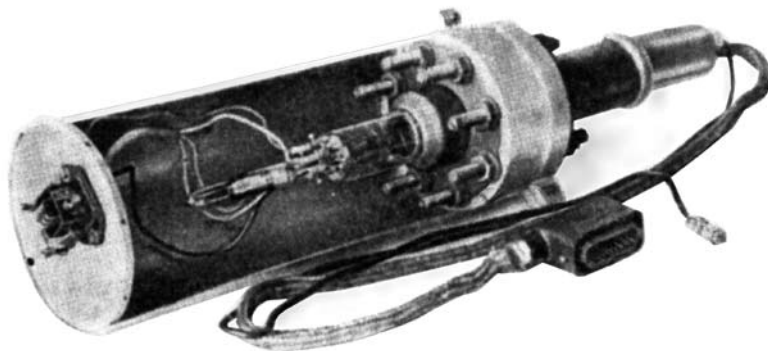
Основной элемент прибора – масс-спектрометрическая трубка, представляющая собой электровакуумную лампу (рис. 17). На систему, состоящую из трех параллельных равноотстоящих сеток, пода-



Истомин Вадим Глебович (1929–2000)

вался отрицательный пилообразный ускоряющий потенциал, много больший энергии ионов, и, кроме того, на среднюю сетку подавалось переменное высокочастотное напряжение, причем его амплитуда была мала по сравнению с ускоряющим напряжением. Максимум энергии в такой трехсеточной системе получали лишь ионы, влетевшие в нее при определенной фазе высокочастотного напряжения и прошедшие ее с определенной скоростью. При изменении ускоряющего напряжения эта оптимальная скорость сообщалась поочередно ионам всех масс. Четвертая сетка, на которую подавался подходящий положительный тормозящий потенциал, от-

Рис. 17. Внешний вид масс-спектрометрической трубки [Истомин, 1959б]



⁴ Истомин Вадим Глебович родился в 1929 г. в г. Москве. Закончил физический факультет Московского государственного университета. В 1953 г. был направлен в Геофизический институт АН СССР (ГЕОФИАН), где начал работать в группе Б.А. Миртова по определению состава атмосферы методом взятия проб воздуха. С 1956 г. сотрудник Института прикладной геофизики. По результатам своих масс-спектрометрических исследований в 1961 г. защитил кандидатскую диссертацию. По предложению И.С. Шкловского Ученый совет института утвердил эту работу в качестве докторской после небольшой переработки автором в течение месяца. В.Г. Истомин – автор и руководитель экспериментов во многих космических околоземных и планетных проектах; с 1967 г. – сотрудник Института космических исследований АН СССР. В.Г. Истомин – лауреат Ленинской премии 1960 г.

секала все ионы, кроме тех, которые прошли систему с оптимальной скоростью.

Такой масс-спектрометр имел разрешающую силу по массам около 20–25. Масс-спектрометрическая трубка была выполнена в виде запаянной стеклянной колбы, заполненной известной смесью инертных газов. Это позволяло быстро проверить и настроить прибор перед экспериментом, непосред-

ственно перед запуском трубка разбивалась.

Масс-спектрометрические наблюдения показали, что основными компонентами ионосферы являются ионы O^+ , NO^+ и O^{+2} с преобладанием атомарных ионов на больших высотах. Эти наблюдения дали возможность анализировать механизмы образования этих ионов в верхней атмосфере, что положило начало развитию фотохимии верхней атмосферы (рис. 18). Важным открытием стало также обнаружение ионов легких металлов в спорадическом *E*-слое.

Полный список публикаций первых лет исследований включает работы [Истомин, 1958, 1959а,б, 1960а,б, 1961а,б,в,г,д; Istomin, 1960].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги первых лет космических исследований, можно сказать, что эксперименты, проводившиеся в 1957–1959 гг. на ИСЗ-1, ИСЗ-2, ИСЗ-3, на станциях “Луна-1” и “Луна-2”, а также на геофизических ракетах, внесли неоценимый вклад в развитие космической физики, положили начало многим новым ее направлениям. Особенно хотелось бы отметить размах и комплексность исследований в рамках МГГ, а также уровень освещения их в прессе, которым современные исследователи могут только позавидовать.

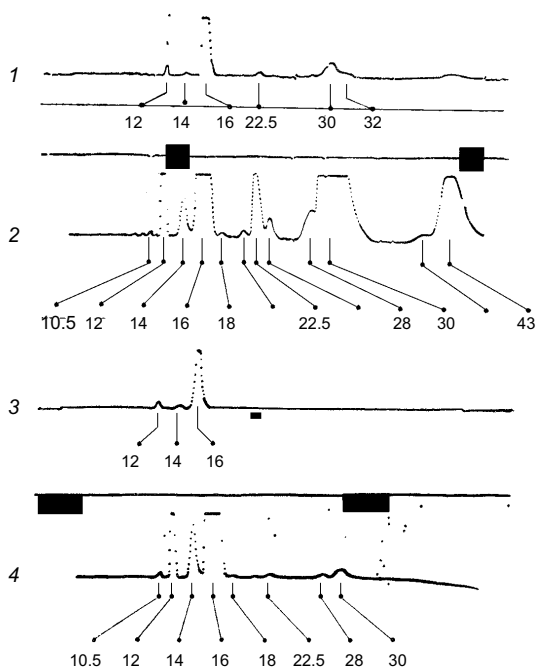


Рис. 18. Массовые спектры ионов по измерениям 23 мая 1958 г. на ИСЗ-3 [Истомин, 1960а] 1, 2 – записи по каналам низкой и высокой чувствительности масс-спектрометра, высота 230 км, широта 55° с.ш.; 3, 4 – то же, высота ~350 км, широта 64° с.ш.

ЛИТЕРАТУРА

- Альперт Я.А. О методе исследования ионосферы с помощью искусственного спутника Земли // УФН. 1958. Т. LXIV, вып. 1. С. 4–14.
- Альперт Я.А. Изучение ионосферы и межпланетного газа с помощью искусственных спутников Земли и космических ракет // Искусственные спутники Земли. 1961. Вып. 7. С. 125–169.
- Альперт Я.А., Добрякова Ф.Ф., Чудесенко Э.Ф., Шапиро Б.С. О некоторых результатах определения электронной концентрации внешней области ионосферы по наблюдениям за радиосигналами первого спутника Земли // УФН. 1958. Т. LXIV, вып. 2. С. 161–174.
- Брунс А.В., Прокофьев В.К. Измерение далекого ультрафиолетового излучения гелия на Солнце // Искусственные спутники Земли. 1961. Вып. 11. С. 15–22.
- Ван Ален Дж. О радиационной опасности при космических полетах // УФН. 1960. Т. LXX, вып. 4. С. 715–724.
- Вакулов П.В., Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Логачев Ю.И., Нестеров В.Е., Николаев А.Г., Писаренко Н.Ф., Савенко И.А., Чудаков А.Е., Шаврин Г.И. Исследование излучений при полетах космических кораблей и ракет // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1962. Т. 26. С. 758–781.
- Вакулов П.В., Горчаков Е.В., Логачев Ю.И. Радиационные пояса Земли по исследованиям на советских искусственных спутниках и космических ракетах в 1957–1959 гг. // Результаты исследований по программе Международного геофизического года; Межведомственный геофизический комитет при Президиуме Академии наук СССР. М.: Наука, 1965. Гл. 4. С. 38–48. (Космические лучи; № 6).
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е. Исследование космических лучей и земного корпуску-

- лярного излучения при полетах ракет и спутников // УФН. 1960. Т. LXX, вып. 4. С. 585–618.
- Вернов С.Н., Гинзбург В.А., Курносова Л.В., Разоренов Л.А., Фрадкин М.И.* Исследование состава первичного космического излучения // УФН. 1957а. Т. LXIII, вып. 1. С.131–148.
- Вернов С.Н., Логачев Ю.И., Чудаков А.Е., Шафер Ю.Г.* Исследование вариаций космического излучения // УФН. 1957б. Т. LXIII, вып. 1. С. 149–162.
- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Логачев Ю.И., Чудаков А.Е.* Измерение космического излучения на искусственном спутнике Земли // Искусственные спутники Земли. 1958а. Вып. 1. С. 5–9.
- Вернов С.Н., Вакулов Н.В., Горчаков Е.В., Логачев Ю.И., Чудаков А.Е.* Изучение мягкой компоненты космических лучей за пределами атмосферы // Искусственные спутники Земли. 1958б. Вып. 2. С. 62–69.
- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Логачев Ю.М., Чудаков А.Е.* Измерение космического излучения на искусственном спутнике Земли // Докл. АН СССР. 1958в. Т. 120, № 6. С. 1231–1233.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В., Логачев Ю.И.* Изучение земного корпускулярного излучения и космических лучей при полете космической ракеты // Докл. АН СССР. 1959а. Т. 125, № 2. С. 304–307.
- Вернов С.Н., Григоров И.А., Иваненко И.П., Лебединский А.И., Мурзин А.С., Чудаков А.Е.* Возможные механизмы создания земного корпускулярного излучения и космических лучей при полете космической ракеты // Докл. АН СССР. 1959б. Т. 124, № 5. С. 1022–1025.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В., Логачев Ю.И., Николаев А.Г.* Измерения радиации при полете второй космической ракеты // Искусственные спутники Земли. 1960а. Вып. 5. С. 24–29.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В., Логачев Ю.И., Николаев А.Г.* Измерения радиации при полете второй космической ракеты // Докл. АН СССР. 1960б. Т. 130, № 3. С. 517–520.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Шаврин Г.И., Нестеров Е.Н., Писаренко Н.Ф.* Обнаружение внутреннего радиационного пояса на высоте 320 км в районе Южно-Атлантической магнитной аномалии // Искусственные спутники Земли. 1961. Вып. 10. С. 40–44.
- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Логачев Ю.И.* Радиационные пояса Земли // Успехи СССР в исследовании космического пространства. М.: Наука, 1968а. С. 106–148.
- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Логачев Ю.И.* Космические лучи // Успехи СССР в исследовании космического пространства. М.: Наука, 1968б. С. 149–172.
- Вернов С.Н., Вакулов Н.В., Горчаков Е.В., Логачев Ю.И.* Радиационные пояса Земли и космические лучи. М.: Просвещение, 1970. 127 с.
- Гинзбург В.А., Курносова Л.В., Разоренов Л.А., Фрадкин М.И.* Некоторые исследования ядерной компоненты космических лучей и радиационных поясов Земли, проведенные на советских спутниках и ракетах // Геомагнетизм и аэрономия. 1962а. Т. 2, № 2. С. 194–232.
- Гинзбург В.А., Курносова Л.В., Логачев Ю.И., Разоренов Л.А., Фрадкин М.И.* Кратковременные возрастания интенсивности ядерной компоненты космических лучей, связанные с деятельностью Солнца и исследование интенсивности радиации на высотах 200–300 км // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1962б. Т. 26. С. 758–781.
- Голованов Я.К. С.П. Королев: Факты и мифы.* М.: Наука, 1994. 800 с.
- Грингауз К.И.* Ракетные измерения электронной концентрации в ионосфере при помощи ультракоротковолнового дисперсионного интерферометра // Искусственные спутники Земли. 1958. Вып. 1. С. 62–66.
- Грингауз К.И.* Некоторые результаты опытов, проведенных в межпланетном пространстве с помощью ловушек заряженных частиц на советских космических ракетах // Искусственные спутники Земли. 1962а. Вып. 12. С. 119–132.
- Грингауз К.И.* Строение ионизированной газовой оболочки Земли по данным прямых измерений локальных концентраций заряженных частиц, проведенных в СССР // Искусственные спутники Земли. 1962б. Вып. 12. С. 105–118.
- Грингауз К.И.* Плазма в межпланетном пространстве // Успехи СССР в исследовании космического пространства. М.: Наука, 1968. С. 269–292.
- Грингауз К.И., Зеликман М.Х.* Измерение

- концентрации положительных ионов вдоль орбиты искусственного спутника Земли // УФН. 1957. Т. LXIII, вып. 1. С. 239-252.
- Грингауз К.И., Рытов С.М.* О связи между результатами измерений с помощью ловушек заряженных частиц на советских космических ракетах и измерений магнитного поля на американском спутнике “Эксплорер-7” и ракете “Пионер-5” // Докл. АН СССР. 1960. Т. 135, № 1. С.48–51.
- Грингауз К.И., Рудаков В.А.* Измерение электронной концентрации в ионосфере по вращению плоскости поляризации радиоволн, излучаемых ракетой // Докл. АН СССР. 1960. Т. 132, № 6. С.1311–1314.
- Грингауз К.И., Рудаков В.А.* Измерение электронной концентрации в ионосфере до высот 420-470 км, проведенные во время МГГ при помощи радиоволн, излучавшихся с геофизических ракет АН СССР // Искусственные спутники Земли. 1961. Вып. 6. С. 48–62.
- Грингауз К.И., Курт В.Г., Мороз В.И., Шкловский И.С.* Ионизованный газ и быстрые электроны в окрестности Земли и в межпланетном пространстве // Докл. АН СССР. 1960а. Т. 132, № 5. С. 1062–1066.
- Грингауз К.И., Безруких В.В., Озеров В.Д., Рыбчинский Р.Е.* Изучение межпланетного ионизованного газа, энергичных электронов и корпускулярного излучения Солнца при помощи трехэлектродных ловушек заряженных частиц на второй советской космической ракете // Докл. АН СССР. 1960б. Т. 131, № 6. С. 1301–1304.
- Грингауз К.И., Безруких В.В., Озеров В.Д.* Результаты измерений концентрации положительных ионов в ионосфере методом ионных ловушек на третьем советском спутнике Земли // Искусственные спутники Земли. 1961а. Вып. 6. С. 63–100.
- Грингауз К.И., Рудаков В.А., Капорский А.В.* Аппаратура для ракетных измерений концентрации свободных электронов в ионосфере // Искусственные спутники Земли. 1961б. Вып. 6. С.33–47.
- Грингауз К.И., Безруких В.В., Озеров В.Д., Рыбчинский Р.Е.* Изучение межпланетного ионизованного газа, энергичных электронов и корпускулярного излучения Солнца при помощи трехэлектродных ловушек заряженных частиц на второй советской космической ракете // Искусственные спутники Земли. 1961в. Вып. 6. С. 101–107.
- Грингауз К.И., Курт В.Г., Мороз В.И., Шкловский И.С.* Ионизованный газ и быстрые электроны в окрестности Земли и в межпланетном пространстве // Искусственные спутники Земли. 1961г. Вып. 6. С. 108–112.
- Долгинов Ш.Ш., Пушков Н.В.* Результаты измерения магнитного поля Земли на космической ракете // Докл. АН СССР. 1959. Т. 129, № 1. С. 77–80.
- Долгинов Ш.Ш., Пушков Н.В.* Исследование магнитных полей Земли и планет // Успехи СССР в исследовании космического пространства. М.: Наука, 1968. С. 173–249.
- Долгинов Ш.Ш., Жузгов Л.Н., Пушков Н.В.* Предварительное сообщение о геомагнитных измерениях на третьем советском искусственном спутнике Земли // Искусственные спутники Земли. 1958. Вып. 2. С. 50–60.
- Долгинов Ш.Ш., Ерошенко Е.Г., Жузгов Л.Н., Пушков Н.В., Тюрмина Л.О.* Магнитные измерения на второй космической ракете // Искусственные спутники Земли. 1960а. Вып. 5. С. 16–23.
- Долгинов Ш.Ш., Жузгов Л.Н., Селютин Б.А.* Магнитометрическая аппаратура третьего советского искусственного спутника Земли // Искусственные спутники Земли. 1960б. Вып. 4. С.135–164.
- Долгинов Ш.Ш., Ерошенко Е.Г., Жузгов Л.Н., Пушков Н.В.* Исследования магнитного поля Луны // Геомагнетизм и аэрномия. 1961. Т. 1, № 1. С. 21–28.
- Долгинов Ш.Ш., Жузгов Л.Н., Пушков Н.В., Тюрмина Л.О., Фрязинов И.В.* Некоторые результаты измерения постоянного магнитного поля Земли с 3-го искусственного спутника Земли над территорией СССР // Геомагнетизм и аэрномия. 1962. Т. 2, № 6. С. 1061–1075.
- Иванов-Холодный Г.С.* О ракетных исследованиях коротковолновой радиации Солнца // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1959. № 1. С.108–121.
- Истомин В.Г.* Исследования ионного состава атмосферы на ракетах и спутнике // Искусственные спутники Земли. 1958. Вып. 2. С. 32–35.
- Истомин В.Г.* Масс-спектрометрические измерения ионного состава верхней атмосферы Земли на третьем искусствен-

- ном спутнике Земли // Докл. АН СССР. 1959а. Т. 129, № 1. С. 81–84.
- Истомин В.Г.* Радиочастотный масс-спектрометр для исследований ионного состава верхней атмосферы // Искусственные спутники Земли. 1959б. Вып. 3. С. 98–112.
- Истомин В.Г.* Некоторые результаты измерения спектров масс положительных ионов на третьем советском искусственном спутнике Земли // Искусственные спутники Земли. 1960а. Вып. 4. С. 171–183.
- Истомин В.Г.* Ионы магния и кальция в верхней атмосфере Земли // Докл. АН СССР. 1960б. Т. 136, № 5. С. 1066–1089.
- Истомин В.Г.* Исследования ионного состава атмосферы Земли на геофизических ракетах в 1957–1959 гг. // Искусственные спутники Земли. 1961а. Вып. 7. С. 64–77.
- Истомин В.Г.* Абсолютные концентрации ионных компонент атмосферы Земли на высотах от 100 до 200 км // Искусственные спутники Земли. 1961б. Вып. 11. С. 94–97.
- Истомин В.Г.* Ионы внеземного происхождения в ионосфере Земли // Искусственные спутники Земли. 1961в. Вып. 11. С. 98–107.
- Истомин В.Г.* Изменение концентрации положительных ионов с высотой по данным масс-спектрометрических измерений на третьем спутнике // Искусственные спутники Земли. 1961г. Вып. 6. С. 127–131.
- Истомин В.Г.* Масс-спектрометрические измерения газового состава атмосферы на ракетах и спутниках // Геомагнетизм и аэрономия. 1961д. Т. 1, № 3. С. 359–368.
- Комиссаров О.Д., Назарова Т.Н., Неугодов Л.Н., Полосков С.М., Русакова Л.З.* Исследование микрометеоритов на ракетах и спутниках // Искусственные спутники Земли. 1958. Вып. 2. С. 54–58.
- Красовский В.И.* Советские исследования ионосферы при помощи ракет и искусственных спутников Земли // Искусственные спутники Земли. 1958. Вып. 2. С. 36–50.
- Красовский В.И., Кушнир Ю.М., Бордовский Г.А.* Исследование корпускулярного излучения Солнца с помощью искусственного спутника Земли // УФН. 1958а. Т. LXIV, вып. 3. С. 425–434.
- Красовский В.И., Кушнир Ю.М., Бордовский Г.А., Захаров Г.Ф., Светлицкий Е.М.* Обнаружение корпускул при помощи третьего искусственного спутника Земли // Искусственные спутники Земли. 1958б. Вып. 2. С. 59–60.
- Красовский В.И., Шкловский И.С., Гальперин Ю.И., Светлицкий Е.М.* Обнаружение в верхней атмосфере электронов с энергией около 10 кэВ на третьем спутнике // Докл. АН СССР. 1959а. Т. 127, № 1. С. 78–81.
- Красовский В.И., Шкловский И.С., Ю.И. Гальперин, Светлицкий Е.М.* Обнаружение в верхней атмосфере электронов с энергией около 10 кэВ на третьем спутнике // Изв. АН СССР. 1959б. № 8. С. 1157–1173.
- Красовский В.И., Кушнир Ю.М., Бордовский Г.А.* Исследование корпускулярного излучения Солнца с помощью искусственного спутника Земли // УФН. 1960. Т. LXX, вып. 4. С. 425–432.
- Красовский В.И., Шкловский И.С., Гальперин Ю.И., Светлицкий С.М., Кушнир Ю.М., Бордовский Г.А.* Обнаружение в верхней атмосфере электронов с энергией около 10 кэВ // Искусственные спутники Земли. 1961. Вып. 6. С. 113–126.
- Курносова Л.В., Логачев В.И., Разоренов Л.А., Фрадкин М.И.* Исследование космических лучей при полете второй космической ракеты на Луну // Искусственные спутники Земли. 1960. Вып. 5. С. 30–37.
- Курносова Л.В., Разоренов Л.А., Фрадкин М.И.* Кратковременные возрастания интенсивности ядерной компоненты космических лучей, связанные с деятельностью Солнца // Искусственные спутники Земли. 1961. Вып. 6. С. 132–138.
- Логачев Ю.И.* Определение спектра электронов внешнего радиационного пояса при полете второй космической ракеты (12 сентября 1959 г.) // Геомагнетизм и аэрономия. 1961. Т. 1, № 1. С. 30–33.
- Логачев Ю.И.* Исследование космоса в НИИЯФ МГУ. Первые 50 лет космической эры. М.: Кн. дом “Университет”, 2007. С. 1–176.
- Мандельштам С.А., Ефремов А.И.* Исследование коротковолнового УФ излучения Солнца // УФН. 1957. Т. LXIII, вып. 1. С. 163–180.
- Миртов Б.А.* Ракетные исследования состава атмосферы на больших высотах // УФН. 1957. Т. LXIII, вып. 1. С. 181–196.

- Миртов Б.А., Истомин В.Г.* Исследование ионного состава ионизированных слоев атмосферы // УФН. 1957. Т. LXIII, вып. 1. С.227-238.
- Михневич В.В.* Предварительные результаты определения плотности атмосферы выше 100 км // Искусственные спутники Земли. 1958. Вып. 2. С. 26–31.
- Михневич В.В., Данилин Б.С., Репнев А.И., Соколов В.А.* Некоторые результаты определения структурных параметров атмосферы с помощью третьего советского искусственного спутника Земли // Искусственные спутники Земли. 1959. Вып. 3. С. 84–97.
- Назарова Т.Н.* Результаты исследования метеорного вещества с помощью приборов, установленных на космических ракетах // Искусственные спутники Земли. 1960а. Вып. 5. С. 38–40.
- Назарова Т.Н.* Исследование метеорных частиц на третьем советском искусственном спутнике Земли // Искусственные спутники Земли. 1960б. Вып. 4. С. 165–170.
- Назарова Т.Н.* Исследования метеорной пыли на ракетах и искусственных спутниках Земли // Искусственные спутники Земли. 1962. Вып. 12. С.141–144.
- Освоение космического пространства в СССР. М.: Наука, 1971. 555 с.
- Пушков Н.В., Долгинов С.Ш.* Исследование магнитного поля Земли на искусственных спутниках и ракетах // УФН. 1957. Т. LXIII, вып. 4. С. 645–656.
- Распопов О.М., Кузьмин И.А., Харин Е.П.* К 50-летию Международного геофизического года (1957–1958 гг.): от I Международного полярного года (1882–1883 гг.) до Международного гелиофизического года (2007–2008 гг.) и Международного полярного года (2007–2009 гг.) // Геомагнетизм и аэрономия. 2007. Т. 47, № 1. С. 3–10.
- Рудаков В.А.* Некоторые результаты ракетных измерений электронной концентрации в ионосфере до высот 200 км, проведенных в 1959–1960 гг. // Искусственные спутники Земли. 1961. Вып. 10. С. 102–103.
- Троицкая В.А.* О Международном геофизическом годе // Изв. АН СССР. 1955. № 4. С. 397–399.
- Успехи СССР в исследовании космического пространства. М.: Наука, 1968. 555 с.
- Хргиан А.Х., Бритаев А.С.* Международный геофизический год // УФН. 1957. Т. LXII, вып. 4.
- Черток Б.Е.* Ракеты и люди. В 4 т. М.: Машиностроение, 1995–2007.
- Шафер Ю.Г., Ярыгин А.В.* Измерение космических лучей на геофизических ракетах // Искусственные спутники Земли. 1960. Вып. 4. С. 184–194.
- Шкловский И.С.* Оптические методы наблюдения искусственных спутников Земли // Искусственные спутники Земли. 1958. Вып. 1. С. 44–49.
- Шкловский И.С.* Искусственная комета как метод оптических наблюдений космических ракет // Искусственные спутники Земли. 1960. Вып. 4. С. 195–204.
- Шкловский И.С., Щеглов П.В.* Оптические наблюдения искусственных спутников Земли // УФН. 1958. Т. LXIV, вып. 3.
- Шкловский И.С., Красовский В.И., Гальперин Ю.И.* О природе корпускулярной радиации в верхней атмосфере // Изв. АН СССР. 1959. № 2. С. 1799–1806.
- Энциклопедия космонавтики. М.: Сов. энциклопедия, 1985. 526 с.
- Advances of the USSR in space research for 1957-1967. Moscow: Nauka, 1968.
- Gringauz K.I.* Some results of experiments in interplanetary space by means of charged particle traps on Soviet space probes // Space Research II Proceedings of the second international space science symposium, Florence, April 10-14. 1961a. P. 339–553.
- Gringauz K.I.* The structure of the Earth's ionized envelope based on local charged particle concentrations measured in the USSR // Space Research II Proceedings of the second international space science symposium, Florence, April 10-14. 1961b. P. 574–596.
- Gringauz K.I., Rudakov V.A.* Measurements of electron concentration in the ionosphere up to altitudes of 420-470, carried out during the international geophysical year by means of radio wave transmissions from the geophysical rockets of the Academy of Sciences USSR // Planet. Space Sci. 1961. V. 8, N 3/4. P. 183–194.
- Dolginov Sh. Sh.* The First magnetometer in Space // 40 years of COSPAR. Noordwijk, The Netherlands: ESA Publ. Division, ESTEC, 1998. P.55–63.

- Dolginov Sh.Sh., Zhuzgov L.N., Pushkov N.V.* Preliminary report on geomagnetic measurements on the third soviet artificial Earth satellite // *Planet. Space Sci.* 1961. V. 5. P. 244–247.
- Istomin V.G.* Variation in the positive ion concentration with altitude from data of mass spectrometry measurements on the third satellite // *Planet. Space Sci.* 1960. V. 8, N 3/4. P. 179–182.
- Krasovski V.I.* Some results of investigations of auroras and night airglow during IGI and IGC // *Planet. Space Sci.* 1961a. V. 8, N 3. P. 125–141.
- Krasovski V.I.* Soviet investigations on the ionosphere employing rocket and artificial Earth satellites // *Planet. Space Sci.* 1961b. V. 5, N 3. P. 223–232.
- Nicolet H.* Historical aspects of IGY / *History of Geophysics* // AGU. 1984. V. 1. Washington, DC. P. 49–50.
- Singer S.F.* The primary cosmic radiation and its time variations // *Progress in elementary particle and cosmic ray physics* / Eds J.G. Wilson, S.A. Wouthusen. Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1958.
- Stern D.P.* A brief history of magnetospheric physics before the spaceflight era // *Rev. Geophys.* 1989. V. 27. P. 103–114.
- Stern D.P.* A brief history of magnetospheric physics during the space age // *Rev. Geophys.* 1996. V. 34. P. 1–31.
- Van Allen J.A.* Genesis of the international Geophysical Year / *History of Geophysics* // AGU. 1984. V. 1. Washington, DC. P. 44–46.
- Van Allen J., Ludwig J.H., Rey E.K., Mc Ilwain K.E.* *Jet Propulsion.* 1958. V. 28, N 9. P. 588.
- Verigin M.I., Axford W.I.* Konstantin Gringauz 1918-1993: Approach to scientific biography // *Phys. Chem. Earth (C)*. 2000. V. 25, N 1/2. P. 3–8.

ПЕТРУКОВИЧ Анатолий Алексеевич – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, ИКИ РАН. 117997, Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, д. 84/32. Тел.: (495) 333-32-67. E-mail: apetruko@iki.rssi.ru

**СВЕДЕНИЯ
ОБ АВТОРАХ**

МУЛЯРЧИК Татьяна Макаровна – кандидат физико-математических наук, инженер, ИКИ РАН. 117997, Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, д. 84/32. Тел.: (495) 333-11-22.

ВАСЮКОВ Сергей Васильевич – главный специалист, ИКИ РАН. 117997, Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, д. 84/32. Тел.: (495)-333-35-00.

ВЕРИГИН Михаил Иванович – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, ИКИ РАН. 117997, Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, д. 84/32. Тел.: (495) 333-32-33. E-mail: verigin@iki.rssi.ru

КОТОВА Галина Аврамовна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ИКИ РАН. 117997, Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, д. 84/32. Тел.: (495) 333-32-89. E-mail: kotova@iki.rssi.ru

СТЯЖКИН Валерий Андреевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, ИЗМИРАН. 142190, г. Троицк Московской области. E-mail: sva@izmiran.ru

THE FIRST SOVIET SPACE EXPERIMENTS IN 1957–1959: HISTORY AND RESULTS

A.A.PETUKOVICH¹,
T.M.MULIARCHIK¹,
S.V.VASYUKOV¹, M.I.VERIGIN¹,
G.A.KOTOVA¹, V.A.STYAZHKIN²

¹*Space Research Institute, Russian
Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*IZMIRAN, Russian Academy of
Sciences, Troitsk, Moscow region, Russia*

Abstract. This paper describes the history of first soviet space experiments. It gives a short description of the state of the science in the 50-ties, of the first space launches (3 satellites and 2 Moon rockets). Detailed descriptions of the four most successful experiments are given: measurements of space radiation fluxes, of

Earth's magnetic field, of plasma density, and of ion species in the upper ionosphere. The report also contains a list of first scientific publications as well as references to the sources of more detailed original information.

Keywords: space research, history.