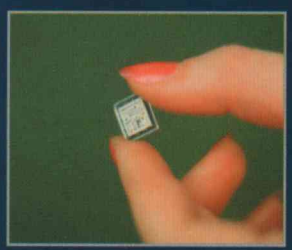
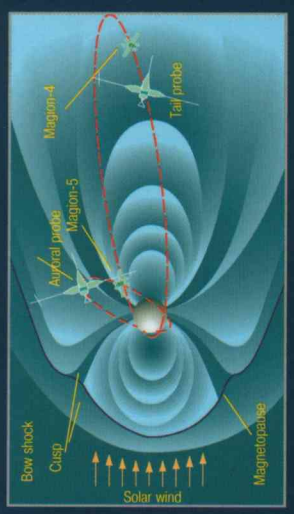
Институт Космических Исследований РАН













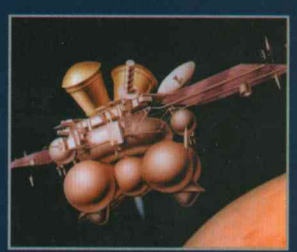






35 лет

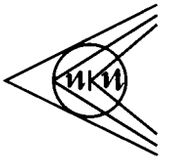






Институт Космических Исследований РАН. 35 лет

Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. The 35th anniversary





Институт Космических Исследований РАН

35 лет

Под общей редакцией
академика А.А.Галеева
и доктора технических наук
Г.М.Тамковича

Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. The 35th anniversary

Edited by Academician A.A. Galeev
and Sci.D. G.M. Tamkovich

Москва
1999

Под общей редакцией академика А.А.Галеева
и доктора технических наук Г.М.Тамковича

авторы: Г.А.Аванесов, В.Н.Ангаров, С.А.Ауст,
В.Б.Баранов, И.В.Баринов, М.Г.Булатов, В.Ф.Бабкин,
О.Л.Вайсберг, А.А.Васильев, Е.М.Василье
М.И.Веригин, В.В.Высоцкий, Е.А.Гаврило
А.Г.Глушенко, А.К.Городецкий, А.А.Гурште
Н.С.Ерохин, Ю.И.Зайцев, Г.И.Зубенко, Я.Л.Зиман,
Ю.А.Кравцов, Р.А.Ковражкин, Л.В.Ксанфомалити,
И.С.Косикова, В.Г.Курт, Е.В.Ларионов, В.М.Линкин,
Г.Г.Манагадзе, В.Е.Марков, И.Г.Митрофанов,
Л.Б.Матвеенко, С.С.Моисеев, В.И.Мороз, Р.Р.Назиров,
А.Д.Новиков, Б.С.Новиков, В.Н.Панков, А.М.Певзнер,
М.Д.Раев, В.Г.Родин, С.Н.Родионов, А.Д.Рябова,
И.А.Струков, В.И.Суслов, Р.А.Сюняев, И.Д.Скобкин,
Г.М.Тамкович, Г.И.Терехин, Ю.Г.Трохимовский,
Н.Г.Хавенсон, Г.Б.Шоломицкий, Т.Л.Шпагина.

Editors-in-Chief Academician A.A. Galeev
and **Sci.D.** G.M. Tamkovich

Authors: G.A. Avanesov, V.N. Angarov, S.A. Aust,
V.B. Baranov, I.V. Barinov, M.G. Bulatov, V.F. Babkin,
O.L. Vaisberg, A.A. Vasiliev, Ye.M.Vasiliev, M.I. Verigin,
V.V. Vysotsky, Ye.A. Gavrilova, A.G. Glushenko,
A.K. Gorodetsky, A.A. Gurshtein, N.S. Yerokhin,
Yu.I. Zaitsev, G.I. Zubenko, Ya.L. Ziman, Yu.A. Kravtsov,
R.A. Kovrazhkin, L.V. Ksanfomality, I.S. Kosikova,
V.G. Kurt, Yr.V. Larionov, V.M. Linkin, G.G. Managadze,
V.Ye. Markov, I.G. Mitrofanov, L.B. Matveenko,
S.S. Moiseev, V.I. Moroz, R.R. Nazirov, A.D. Novikov,
B.S. Novikov, V.N. Pankov, A.M. Pevzner, M.D. Raev,
V.G. Rodin, S.N. Rodionov, A.D. Riabova, I.A. Strukov,
V.I. Suslov, R.A. Syuniaev, I.D. Skobkin,
G.M. Tamkovich, G.I. Terekhin, Yu.G. Trokhimovsky,
N.G. Khavenson, G.B. Sholomitsky, T.L. Shpagina.

В книге использованы фотографии фотохроники
ИТАР-ТАСС, РИА "Новости", ЛАФОКИ РАН, из архива
ИКИ, А.И.Плямоватого, а также личные снимки
сотрудников ИКИ.

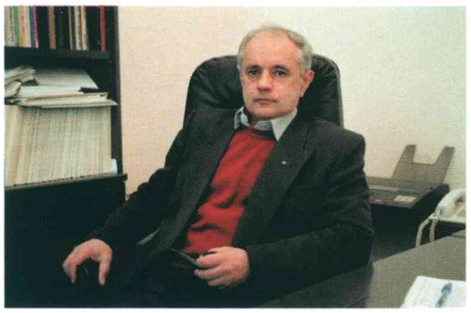
Photos granted by ITAR TASS, RIA Novosti, LAFOKI RAN,
IKI archive, archive of A.I. Plyamovaty and IKI staff
members.

Издание осуществлено при поддержке
компании МосНиКос
"Москва-Никосия-космос".

Edition is sponsored by MosNiCos Company -
"Moscow-Nicosia-Cosmos"

ББК 39.6г
УДК 629.78

© ИКИ РАН, 1999.
© IKI RAN, 1999.



Минуло немногим более сорока лет со дня запуска Первого искусственного спутника Земли. В короткие сроки искусственные спутники и автоматические межпланетные станции привели ко многим выдающимся открытиям, позволили получить поистине уникальные научные материалы, добыть которые другими методами если и было возможно, то очень нескоро.

Космические исследования существенно изменили наши представления об околоземном пространстве, выявили тесную взаимосвязь процессов на Солнце и вблизи Земли. Исследование механизмов этих взаимосвязей привело к созданию многоспутниковой системы в рамках международной кооперации и осознанию необходимости защиты наземных и космических инженерных систем от корональных выбросов плазмы. Ракетно-космическая техника позволила продвинуться в изучении планет Солнечной системы значительно дальше, чем за всю историю человечества. Внеатмосферная астрономия и астрофизика стали мощным инструментом исследования Вселенной. Произошло углубление и переосмысление наших представлений о Вселенной, Галактике, Солнечной системе.

Сегодня отечественная космонавтика, как и вся страна в целом, переживают трудные времена, прежде всего из-за глубокого финансового кризиса. Да, освоение космоса требует больших затрат, но опыт уже давно подтвердил, как высока значимость, экономическая целесообразность и рентабельность этой отрасли человеческой деятельности, насколько жизненно необходима она для решения многих проблем, стоящих и перед страной, и перед человечеством в целом.

Настоящая книга посвящается Институту космических исследований Российской Академии наук – признанному центру российской космической науки. Цель издания – познакомить читателей с историей создания и становления Института, с основными направлениями его научно-технической деятельности, кратко информировать о наиболее интересных работах, полученных результатах, о многогранной творческой деятельности нашего коллектива, своим трудом вносящего скромную лепту в прогресс общества.

А.А.Галеев
Директор ИКИ РАН,
академик

About forty years have passed since the launch of the First artificial satellite of the Earth. Within a short period of time automated satellites and interplanetary stations have brought us many outstanding discoveries and made it possible to obtain unique scientific data. Other techniques have made this possible, but only in the distant future.

Space research has considerably changed our knowledge of near terrestrial space and revealed the close correlation between processes on the Sun and near the Earth. Analysis of these correlation mechanisms has resulted in the creation of a multi-satellite system within the framework of interna-tional cooperation. We have also come to understand the necessity of protecting ground and space-based engineering systems from corona plasma ejection. Due to rocket and space technology the progress made in the study of the Solar system's planets is far greater than that achieved during the whole of human history. Extra-atmospheric astronomy and astrophysics have become powerful tools for studying the Universe. Our idea of the Universe, Galaxy and the Solar system has been deepened and reconsidered.

Today Russian astronautics, together with the country as whole, is experiencing difficulties, first and foremost due to a serious financial crisis. Space exploration is very costly. However expe-rience has confirmed the importance of this activity and its efficiency and profitability as well as its vital necessity for the solution of many problems faced both by Russia and all humankind.

This book is dedicated to the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, the recognized center of Russian space science. The goal of this edition is to present the history of the Institute establishment and the main trends of its research and engineering activity as well as to give brief information about the most interesting projects, the results obtained and about diverse creative activity of our staff as they make their modest contribution to society progress.

Academician A.A. Galeev
Director of IKI RAN





В конце 60-х годов на 14-м километре Старокалужского шоссе, в то время окраине Москвы, выросло новое 12-этажное здание. В нем разместился Институт космических исследований Академии наук СССР (ИКИ АН СССР). Совпадение может быть и случайное, но глубоко символичное: отечественная наука о космосе началась в маленьком российском городке Калуга, которую по праву называют "космической" или городом Циолковского. Великий ученый прожил в Калуге 43 года – самую плодотворную пору своей жизни. Своим фасадом здание Института выходит на площадь, носящую имя выдающегося советского ученого М.В.Келдыша. Академик М.В.Келдыш, внесший значительный вклад в разработку и претворение в жизнь советской космической программы, принимал непосредственное участие в организации и становлении Института космических исследований АН СССР.

ИКИ был создан на основании Постановления Совета Министров СССР от 15 мая 1965 г. как головной академический институт по исследованию и использованию космического пространства в интересах фундаментальных наук. Формировался Институт на базе ряда отделов и лабораторий, работавших ранее по космической тематике в различных институтах Академии наук и других ведомств.

В 1992 году ИКИ АН СССР переименовывается в Институт космических исследований Российской Академии Наук (ИКИ РАН).

Институт выполняет экспериментальные научные работы по таким направлениям космической физики, как астрофизика и физика планет и малых тел Солнечной системы, физика Солнца и солнечно-земных связей, космическая плазма и исследования в области нелинейной геофизики. Ему поручены также подготовка программ научных космических исследований; разработка и испытания комплексов научной аппаратуры по проектам, принятым Российской академией наук и Российским космическим агентством и включенным в Федеральную космическую программу.

Основные научные подразделения Института:

- отдел астрофизики высоких энергий (академик Р.А.Сюняев);
- отдел физики планет и малых тел Солнечной системы (д.ф.-м.н. В.И.Мороз);
- отдел физики космической плазмы (д.ф.-м.н. Л.М.Зеленый);

At the end of the 1960s a new 12-stage building arouse 14 kilometers from the center of Moscow on the Starokaluzhskoye highway, a suburb of Moscow at that time. It was built for the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences (IKI AN USSR). The highway leads to Kaluga. This is deeply symbolic as Russian space science puts down roots in this small Russian town which was rightly called "space Kaluga" or the town of Tsiolkovsky. The outstanding scientist lived for 43 years in Kaluga. These were the most fruitful years of his life. The Institute building's front faces the square named after outstanding Soviet scientist M.V. Keldysh. Academician M.V. Keldysh made a significant contribution to the Soviet space program development and implementa-tion. He participated in the establishment of the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences.

IKI was established by Decree of the USSR Council of Ministers on May 15, 1965 as the main academic institute for space exploration and usage in the interests of the fundamental sciences. The Institute was formed on the basis of several departments and laboratories which worked on space-related topics in academic institutes and other organizations.

In 1992 IKI AN USSR became the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI RAN).

The Institute carries out experimental scientific studies in space physics, including astrophysics and physics of the Solar system's planets and small bodies, solar and solar-terrestrial physics, space plasma and non-linear geophysics. The Institute prepares programs for space research and develops and tests scientific instrumentation for missions approved by the Russian Academy of Sciences and included in the Federal Space Program.

The Institute's main scientific departments are as follows:

- *department for high energy astrophysics (academician R.A. Syuniaev);*
- *department for physics of the Solar system's planets and small bodies (Sci.D. in physics and math V.I. Moroz);*
- *department for space plasma physics (Sci.D. in physics and math L.M. Zeliony);*
- *department for applied millimeter and submillimeter space astronomy (Sci.D. in physics and math I.A. Struckov);*

- отдел прикладной космической миллиметровой и субмиллиметровой астрономии (д.ф.-м.н. И.А.Струков);
- отдел оптико-физических исследований (д.т.н. Г.А.Аванесов);
- отдел космогеофизики (д.ф.-м.н. Н.С.Ерохин);
- отдел космических исследований Земли как экологической системы (д.ф.-м.н. Ю.А.Кравцов);
- отдел космической динамики и математической обработки информации (д.ф.-м.н. Р.Р.Назиров);
- лаборатория сверхдальней радиоинтерферометрии (д.ф.-м.н. Л.И.Матвеенко);
- лаборатория спектрометрии космического гамма-излучения (д.ф.-м.н. И.Г.Митрофанов);
- лаборатория активной диагностики (д.ф.-м.н. Г.Г.Манагадзе);
- лаборатория дистанционных методов зондирования (д.ф.-м.н. А.К.Городецкий);
- отделы научно-технического обеспечения работ (В.Г.Родин, Е.М.Васильев, Б.С.Новиков).

Институт располагает соответствующей вычислительной базой для обработки научной информации, имеет ряд технических и вспомогательных подразделений и технических служб, включая опытное производство, конструкторский, технологический и технических отделы, контрольно-испытательную станцию, отдел научно-технической информации.

Институту было подчинено Особое конструкторское бюро (ОКБ ИКИ) в г. Фрунзе (ныне г. Бишкек) – мощная конструкторская организация со своим опытным производством. После распада СССР оно оказалось за границей. При Центре дальней космической связи в Евпатории (Крым), создана Терминальная станция, обрабатывающая и передающая научную информацию. В связи подчинением Центра Украине в нем образовано официальное представительство ИКИ, в состав которого входит автоматизированный комплекс обработки и передачи информации. В г. Таруса Калужской обл. создано опытное производство научной аппаратуры (СКБ КП ИКИ). В настоящее время оно функционирует на правах приборостроительного отделения ИКИ.

Почти 10 лет Институт возглавлял его первый директор академик Г.И.Петров. С 1973 по 1988 год ИКИ руководил академик Р.З.Сагдеев. С 1988 г. директор Института – академик А.А.Галеев.

В разные годы заместителями директора по науке были: д.ф.-м.н. Г.А.Скуридин, д.т.н. Ю.К. Ходарев, д.ф.-м.н. Г.С.Нариманов, д.т.н. В.Г.Золотухин, к.ф.-м.н. В.М.Балебанов, по общим вопросам: В.Н.Розанов, М.С.Унанян, В.М.Ратнер, А.И.Иванов, К.П.Метелкин, Б.Г.Отхмезури, В.А.Мясников, И.И.Изосимов. Главными инженерами – Б.Н.Пяк, С.В.Лубман.

В настоящее время заместителями директора ИКИ по науке являются д.ф.-м.н. Р.А.Ковражкин, д.т.н. Р.Р.Назиров, д.т.н. Г.М.Тамкович.

Р.А.Ковражкин курирует научные отделы, руководит научным приборостроением. Р.Р.Назиров отвечает за информационное обеспечение проектов и локальные компьютерные сети. Г.М.Тамкович организует работы по испытаниям комплексов научной аппаратуры на космодромах и в полете, исследованиям Земли из космоса и спутниковым телекоммуникационным системам, отвечает за взаимодействие с космодромами, центрами управления космическими средствами и командно-измерительным комплексом. В течение более 15-ти лет Г.М.Тамкович возглавляет Государственные комиссии по испытаниям и управлению космическими аппаратами научного назначения – "Океан-ОЭ", "Интершок", "Астрон", "Реликт", "Гранат", "Интербол" и др. Он сменил на этой должности д.т.н. Г.С.Нариманова.

- department for optico-physical studies (Sci.D. in technology G.A. Avanesov);
- *department for space geophysics (Sci.D. in physics and math N.S. Erokhin);*
- *department for space research of the Earth as an ecological system (Sci.D. in physics and math Yu.A. Kravtsov);*
- *department for space dynamics and data processing (Sci.D. in physics and math R.R. Nazirov);*
- *laboratory for very-long-baseline radio interferometry (Sci.D. in physics and math L.I. Matveenko);*
- *laboratory for cosmic gamma-ray emission spectrometry (Sci.D. in physics and math I.G. Mitrofanov);*
- *laboratory for active diagnostics (Sci.D. in physics and math G.G. Managadze);*
- *laboratory for remote sensing techniques (Sci.D. in physics and math A.K. Gorodetsky); and*
- *departments for scientific and technological support (V.G. Rodin, E.M. Vasiliev, B.S. Novikov).*

The Institute has a powerful computer base for scientific data processing. Additionally there are several engineering and auxiliary subdivisions and technological services. They include experi-mental production facilities, design, engineering and mechanical divisions, verification and testing site and a department for scientific and technological information.

The Special Design Bureau (OKB IKI) in Frunze (Bishkeck, Kirgizia) is part of the Institute. It is a powerful design organization with experimental production facilities. After the collapse of the USSR, OKB IKI suddenly turned out to be in a foreign country. A terminal was created at the Center for Deep Space Communication in Yevpatoriya (the Crimea). It processes and transmits scientific data. An IKI office was established at the Center (now this is the territory of Ukraine). This office includes an automated complex for data processing and transmission. Experimental production facilities for scientific instrumentation (SKB KP IKI) have been created in Tarusa, Kaluga region. At present these facilities have the status of the IKI department for device engineering.

The first director of IKI, academician G.I. Petrov, headed the Institute for almost 10 years. From 1973 to 1988 academician R.Z. Sagdeev was the director. Since 1988 academician A.A. Galeev has held this position.

During this period the following occupied the position of the deputy director for science: Sci.D. in physics and math G.A. Skuridin, Sci.D. in physics and math G.S. Narimanov, Sci.D. in technology V.G. Zolotukhin, Ph.D. in physics and math V.M. Balebanov; for general affairs: V.N. Rozanov, M.S. Unanian, V.M. Rutner, A.I. Ivanov, K.P. Metiolkin, B.G. Otkhmezury, V.A. Myasnikov, I.I. Izosimov. B.N. Pyak and S.V. Lyubman occupied the position of Chief Engineer.

At present Sci.D. in physics and math R.A. Kovrazhkin, Sci.D. in technology R.R. Nazirov and Sci.D. in technology G.M. Tamkovich are IKI deputy directors for science.

R.A. Kovrazhkin supervises scientific departments and heads the direction of the payload en-gineering. R.R. Nazirov is responsible for the information support of missions and local networks. G.M. Tamkovich manages the work on testing scientific instruments at the launch sites and in flight, Earth research from space and satellite telecommunications systems. He is also responsible for interaction with the launch sites, flight control

Заместитель директора В.М.Балебанов курирует внебюджетные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Д.ф.-м.н. А.В.Захаров – ученый секретарь Института.

В.Н.Зиновьев – заместитель директора по общим вопросам.

Б.Ю.Каличев – заместитель директора по финансам.

В.В.Высоцкий – главный инженер Института.

С.В.Верчеба – начальник планово-производственного отдела.

С ИКИ связаны имена таких выдающихся ученых страны, как академик Я.Б.Зельдович и его ученик академик Р.А.Сюняев, член-корреспондент И.С.Шкловский.

Сегодня в Институте работает немногим менее тысячи человек (за последние пять лет его численность сократилась примерно на четверть). Из них около 300 человек – научные сотрудники, в том числе 2 академика Российской академии наук, свыше 40 докторов наук и почти 150 кандидатов наук.

При Институте функционируют специализированные Ученые советы по защите докторских и кандидатских диссертаций. ИКИ является методической базой ряда ведущих вузов страны, в том числе таких, как Московский физико-технических институт и Московский инженерно-физический институт.

Сотрудники ИКИ принимали непосредственное активное участие в подготовке научных экспериментов, получении и обработке научной информации с космических аппаратов, запускаемых по национальной космической программе (автоматов серии "Космос", "Прогноз", "Марс", "Венера", "Луна" и др.; пилотируемых кораблей "Союз" и орбитальных научных станций серии "Салют" и "Мир"), а также в проектах, осуществляемых в рамках международного сотрудничества ("Союз-Аполлон", "Аракс", "Снег", "Радуга", "Интеркосмос", "Ореол", ВЕГА, "Фобос", "Гранат", "Квант", "Гамма", "Интербол" и др.).

В рамках научно-технической и методической работы ИКИ взаимодействует более чем со 100 научными организациями страны и десятками зарубежных научных организаций.

Ученые ИКИ являются членами многих иностранных научных обществ и академий: Международного комитета по космическим исследованиям (КОСПАР), Международной астронавтической федерации (МАФ), Международного астрономического союза (МАС), Международного геофизического союза (МГС), Комиссии по планетным наукам общества М.Планка (Германия), Королевского астрономического общества (Великобритания), Национальной академии наук США и ряда других. Ведущие специалисты Института входят в редколлегию многих отечественных и зарубежных журналов, таких как "Космические исследования", "Исследования Земли из космоса", "Астрономический журнал", "Space Science Instrumentation", "Российский космический бюллетень" и др.

centers and TT&C stations. For more than 15 years G.M. Tamkovich has headed State commissions for the following spacecraft testing and control Okean-OE, Intershock, Astron, Relikt, Granat, Interball and others. He succeeded Sci.D. G.S. Narimanov in this position.

Deputy director V.M. Balebanov supervises non-budget research and design activity.

Sci.D. in physics and math A.V. Zakharov is the Institute's Secretary for scientific affairs.

V.N. Zinoviev is the deputy director for general affairs.

B.Yu. Kalichev heads the planning and financial service.

V.V. Vysotsky is the Chief Engineer.

S.V. Vercheva heads the planning management department.

The names of such outstanding scientists as academician Ya.B. Zeldovich and his follower academician R.A. Syuniaev and a member of the Academy of Sciences I.S. Shklovsky are related to IKI.

At present less than one thousand employees work at the Institute (during the last five years the staff was reduced by 25 percent). The present staff includes 300 researchers including 2 acade-micians of the Russian Academy of Sciences and more than 40 experts with a Sci.D. and almost 150 specialists with a Ph.D.

The Institute has specialized scientific councils for defending Sci.D. and Ph.D. theses. IKI is a methodological base for the leading Russian higher education establishments, including the Moscow Physical and Technological Institute and the Moscow Engineering and Physical Institute.

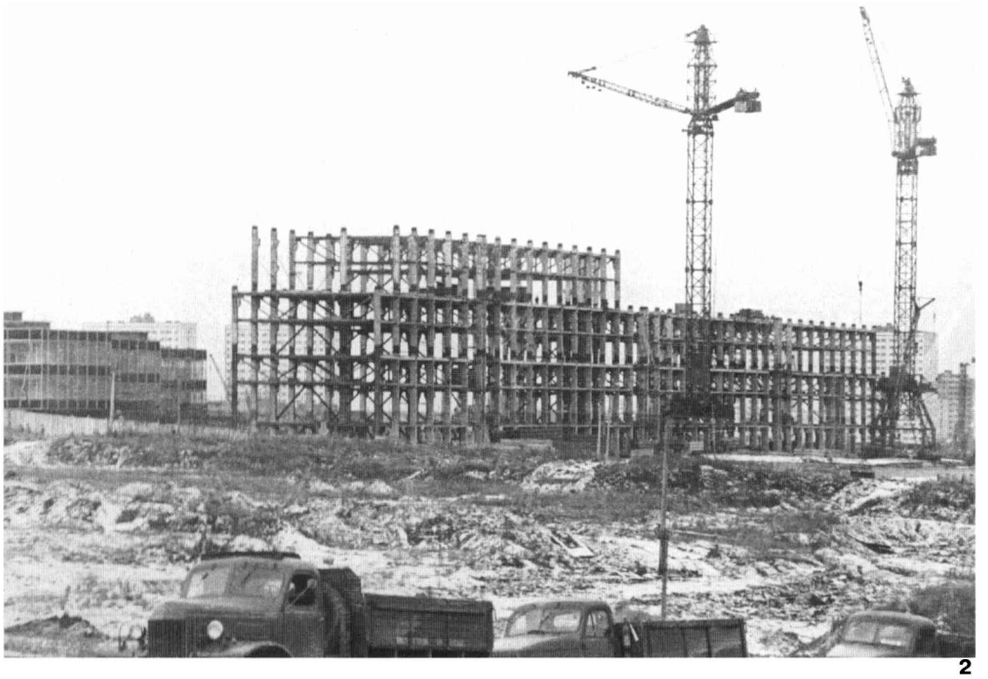
IKI specialists were involved in the preparation of the scientific experiments, receiving and processing of scientific data from spacecraft launched within the framework of the Federal space program (automated spacecraft Kosmos, Prognoz, Mars, Venera, Luna and others; manned space-ships Soyuz and orbital stations Salyut and Mir). They also participated in international projects (Soyuz-Apollo, Araks, Sneg, Raduga, Intercosmos, Aureole, VEGA, Phobos, Granat, Kvant, Gamma, Interball and others).

IKI works together with more than 100 Russian and many foreign scientific institutions.

IKI scientists are members of many foreign scientific societies and academies, including the Committee on Space Research (COSPAR), International Astro-nautics Federation (IAF), Inter-national Astronomical Union (IAU), International Geophysics Union (IGU), Commission on planetary sciences of the Max Planck Society (Germany), Royal Astro-nomy Society (Great Britain), National Academy of Sciences of the USA and some others. The Institute's leading specialists are the members of editorial boards of many Russian and foreign journals, including "Space Research", "Earth Remote Sensing", "Journal of Astronomy", "Space Science Instrumentation", "Russian Space Bulletin" and others.



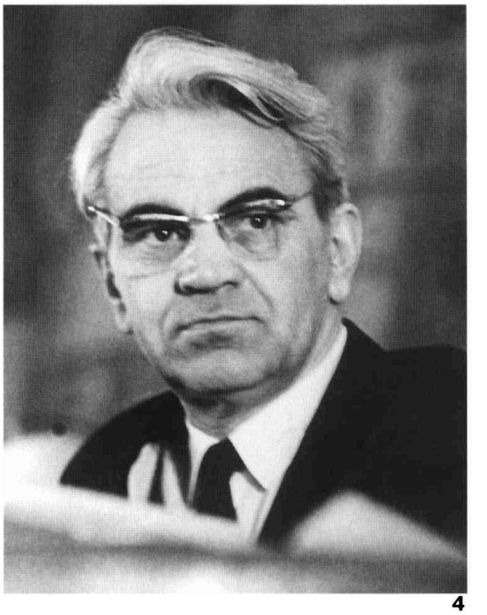
1



2



3



4

1. Заложен фундамент Института
Institute's foundation has been laid

2. Монтаж главного корпуса
Construction of main building

3. Институт космических исследований
Space Research Institute

4. Президент АН СССР М.В.Келдыш
M.V. Keldysh, the President of the USSR Academy of Sciences

5. Г.И.Петров, директор ИКИ 1965–1973
G.I. Petrov, IKI director (1965–1973)

6. Р.З.Сагдеев, директор ИКИ 1973–1988
R.Z.Sagdeev, IKI director (1973–1988)

7. А.А.Галеев, директор ИКИ с 1988 по н.в.
A.A.Galeev, IKI director since 1988 until now

8–9. Г.М.Тамкович (8) и Г.С.Нариманов (9). Председатели Государственной комиссии по испытаниям и управлению КА научного назначения
G.M. Tamkovich and G.S. Narimanov. Chairmen of the State Commission on Scientific Spacecraft Tests and Control

10–13. С ИКИ связаны имена таких выдающихся ученых страны, как академики Я.Б.Зельдович (10), Р.А.Сюняев (11), член-корреспондент И.С.Шкловский (12), академик Н.С.Кардашев (13)
Our outstanding scientists: academicians Ya.B.Zeldovich(10) and R.A.Syuniaev (11), corresponding member I.S. Shklovsky(12), academician N.S.Kardashev (13)



5



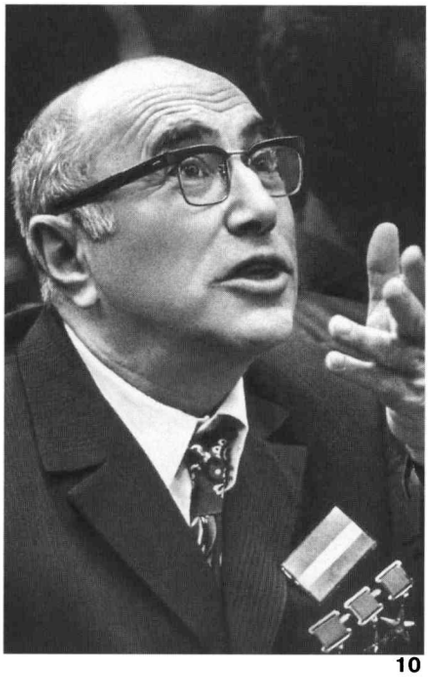
6



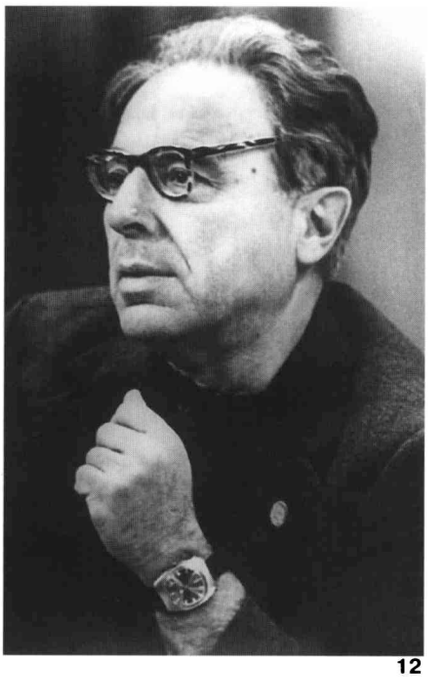
7



8



10



12



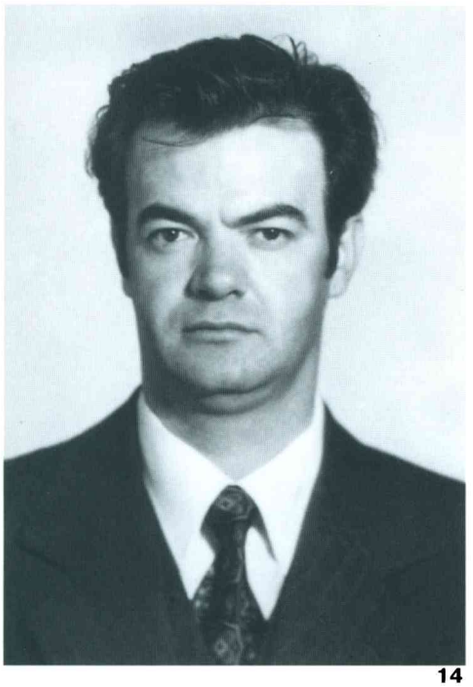
9



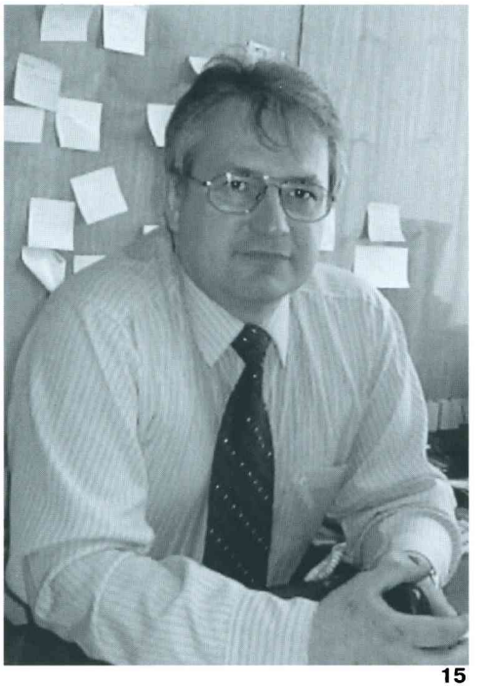
11



13



14



15



16

14,15,16. Заместители директора ИКИ по науке; Р.А.Ковражкин(14), Р.Р.Назиров(15), Г.М.Тамкович(16).
R.A. Kovrazhkin(14), *R.R. Nazirov*(15) *and G.M. Tamkovich*(16). *IKI deputy directors for science*

17. Первый секретарь Московского городского комитета КПСС Б.Н.Ельцин прикрепляет Орден Ленина к знамени ИКИ
B.N. Yeltsin, the First Secretary of the Moscow City Committee of the USSR Communist Party, decorates the IKI banner with the order of Lenin

18. Сотрудники Института, награжденные за исследования, выполненные на космических аппаратах серии „Венера"
The Institute's employees awarded for the studies fulfilled on the Venera series spacecraft

19. Сотрудники Института, награжденные за исследования, выполненные на космических аппаратах ВЕГА. В первом ряду четвертый справа – первый секретарь Московского городского комитета КПСС Б.Н.Ельцин
The Institute's employees awarded for the studies fulfilled on the VEGA series spacecraft. B.N. Yeltsin, the First secretary of the Moscow City Committee of the USSR Communist Party is the fourth from the right in the first row



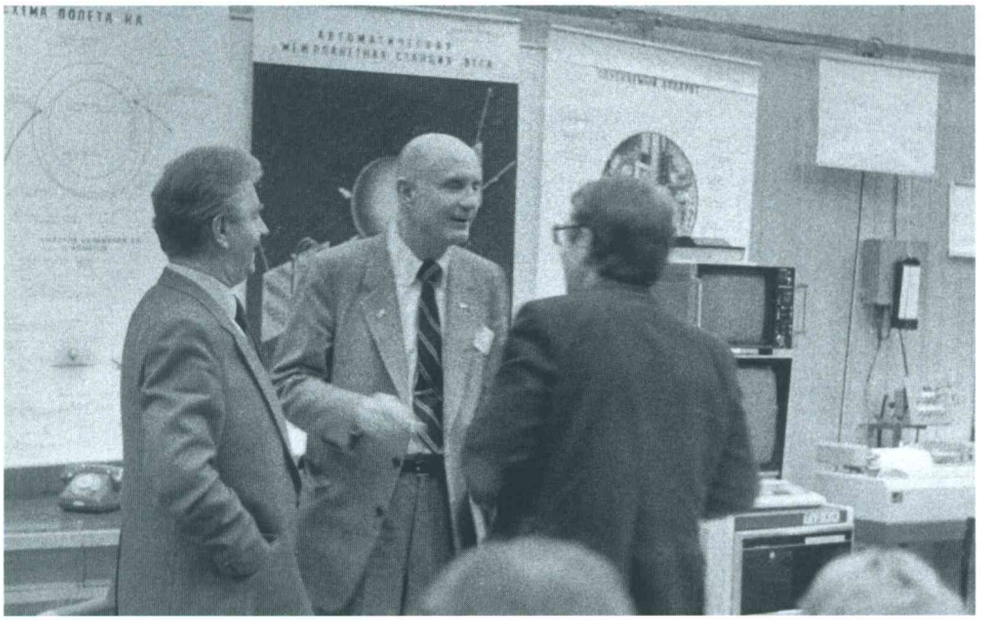
17



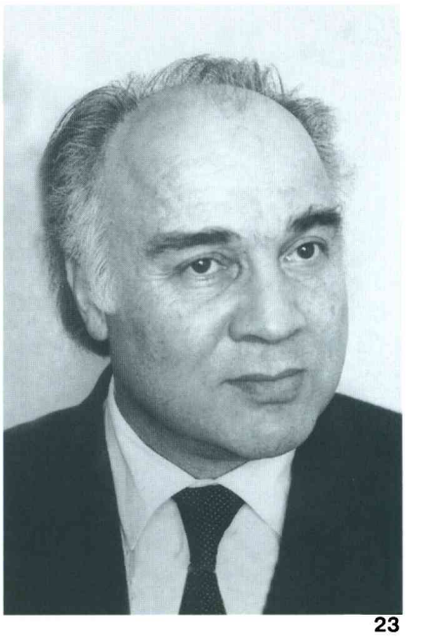
18



19



20



23



21



24



22



25



26 а



26 б



27



28

19. Американский астронавт Томас Стаффорд — гость Института
U.S. astronaut Thomas Stafford visits the Institute

20. Гости Института — делегация Литвы
Lithuanian delegation at the Institute

21. Прием китайских ученых
Reception for Chinese scientists

23–25. Заместители директора ИКИ В.МБалебанов (23), В.Н.Зиновьев (24), Б.Ю.Каличев (25)
V.M.Balebanov (23), *V.N.Zinoviev* (24), *B.Yu.Kalichev* (25), *IKI deputy directors*

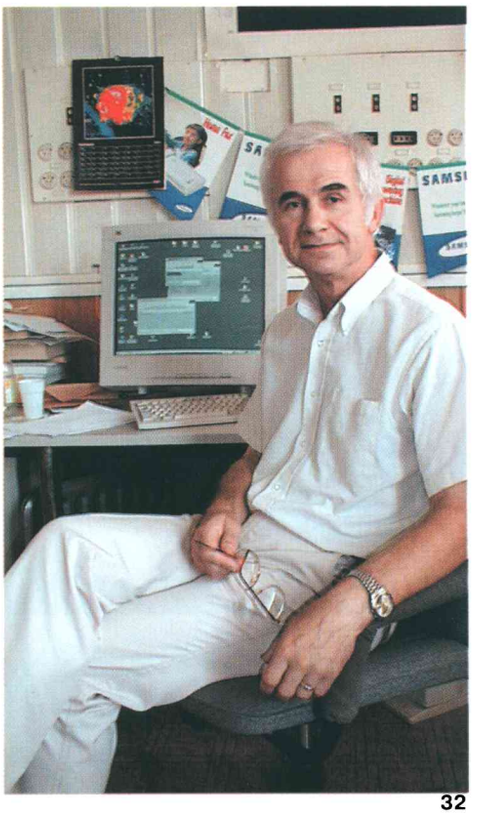
26.(а, б) Американские астронавты — участники программы ЭПАС знакомятся с ходом работы по проекту ВЕГА
U.S. astronauts — participants of the EPAS program are acquainted with the activities on the VEGA mission

27. Интервью для зарубежных журналистов
An interview with foreign journalists

28. Голландскому ученому Корнелиусу Де Ягеру вручается награда Федерации космонавтики
Dutch scientist de Jager is rewarded by the Federation for Astronautics



29



32



30



31



33



34



35

29,30. Президент АН СССР А.П.Александров на стройплощадке СКБ КП в г. Таруса
A.P. Alexandrov, the President of the USSR Academy of Sciences, at the SKB KP building site in Tarusa

31. Два директора: ИКИ АН СССР Р.З.Сагдеев и ИКИ АН ГДР Г.Фишер. В центре В.М.Ратнер
Two directors: R.Z. Sagdeev (IKI, USSR Academy of Sciences) and G. Fischer (IKI, GDR Academy of Sciences). V.M. Ratner at the center

32. А.В.Захаров, ученый секретарь ИКИ
A.V.Zakharov, IKI scientific secretary

33. Справа налево — раместители директора ИКИ Г.П.Чернышев (по спецвопросам), Г.М.Тамкович (по науке) с представителями взаимодействующих организаций
From right to left — IKI deputy directors G.P.Chernyshev (for special problems) and G.M.Tamkovich (for science) with the reperesentatives of special services

34. Р.З.Сагдеев, космонавт О.Г.Макаров и председатель Совета "Интеркосмос" Б.Н.Петров
R.Z. Sagdeev, cosmonaut O.G. Makarov and the Chairman of the Intercosmos Council B.N. Petrov

35. Космонавты Ю.В.Романенко, О.Г.Макаров и В.И.Севастьянов с дирекцией Института.
Cosmonauts Yu.V. Romanenko, O.G. Makarov and V.I. Sevastianov and the IKI Administration.



36



37



38

36. А.Ф.Богомолов и В.М.Ковтуненко в ИКИ на переговорах с делегацией Индии
A.F. Bogomolov and V.M. Kovtunenko at IKI during talks with an Indian delegation

37. Группа сотрудников ИКИ – лауреатов Ленинской и Государственных премий и премии Ленинского комсомола
IKI employees awarded with the State and Lenin prize and the prize of the Young Communist League

38. Делегация ГДР на выставке ИКИ. Пятый слева заместитель директора ИКИ Ю.К.Ходарев, крайний справа – заместитель директора ИКИ Г.С.Нариманов
GDR delegation at the IKI exhibition. Fifth from the left — Yu.K. Khodarev, Deputy Director, on the right — Deputy Director G.S. Narimanov



39

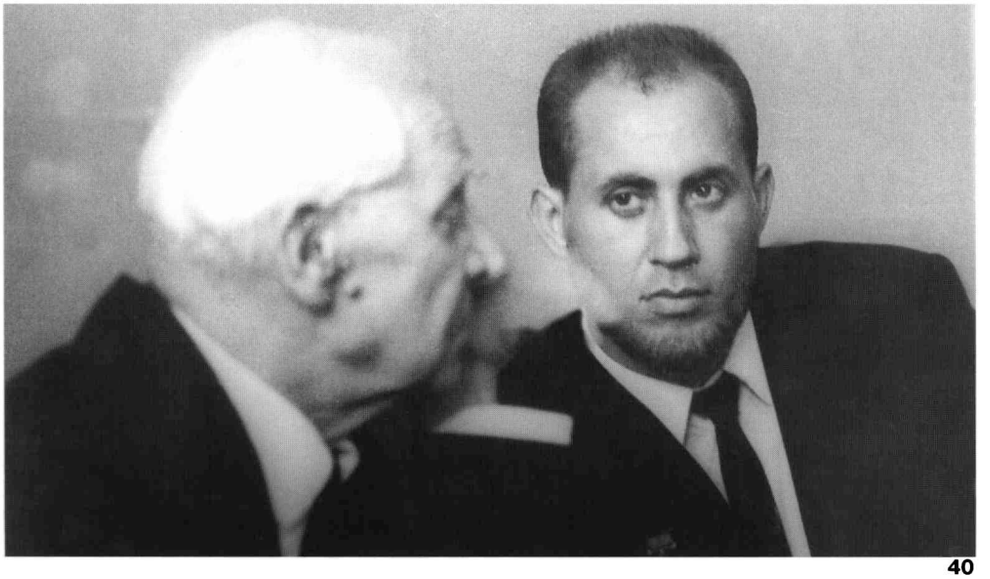
39. Основной и дублирующий экипажи – космонавты СССР и ГДР незадолго до полета знакомятся в ИКИ с методикой экспериментов, которые им предстоит выполнять
Main and backup crews – the USSR and GDR astronauts at IKI just before the flight became acquainted with the techniques of the experiments to be fulfilled in space

40. Академик А.А.Благонравов дает интервью руководителю пресс-службы ИКИ Ю.И.Зайцеву.
Ленинград, сессия КОСПАР
Academician A.A. Blagonravov gives an interview to Yu.I. Zaitsev, the head of the IKI press-service. Leningrad, COSPAR session

41. Проект ВЕГА. В пресс-центре ИКИ
VEGA mission. At the IKI press-center

42. В подшефном совхозе
At the supported collective farm

43. На субботнике
At Subbotnik



40



41



42



43



Основные направления деятельности

Main Fields of Activity

Отдел астрофизики

Department for Astrophysics



Отдел астрофизики ИКИ организуется в 1967 году. Его заведующим со дня основания и до безвременной кончины оставался выдающийся отечественный астрофизик член-корреспондент Академии Наук СССР Иосиф Самуилович Шкловский (1916–1985 гг.). Отдел был создан на базе отдела радиоастрономии Государственного астрономического института им.П.К.Штернберга Физического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова (ГАИШ).

До перехода в ИКИ сотрудники этого подразделения уже имели десятилетний опыт работы в области космической астрономии. Впервые с этой, тогда весьма секретной областью науки, отдел радиоастрономии ГАИШ познакомился в 1956 году благодаря академику А.И.Бергу. Именно он предложил С.П.Королеву поручить ГАИШ разработку методов наблюдений ИСЗ, проект которого уже близился к завершению. Сотрудники отдела (В.В.Есипов, В.Г.Курт, В.И.Мороз и П.В.Щеглов) разработали за год несколько схем проведения таких наблюдений и успешно их реализовали.

Следующей задачей, поставленной С.П.Королевым перед И.С.Шкловским, стала визуализация полета ракеты, запускаемой к Луне (проект Е-6). И.С.Шкловский предложил использовать для этого распыление паров натрия, эффективно рассеивающих солнечное излучение в резонансных линиях с длиной волны λ 5890Å, λ 5896Å. Проект получил название „Искусственная натриевая комета“. Для отработки испарителя натрия использовалась высотная геофизическая ракета 8К51 (знаменитая „пятерка“, Р-5). Испытания испарителей были выполнены на ракетном полигоне Капустин Яр 19 сентября 1958 г. на высоте 430 км. Благодаря этой работе сотрудники отдела получили опыт проведения ракетных астрофизических исследований в верхней атмосфере Земли. На первых этапах это были исследования распределения атомарного водорода и кислорода в линиях λ 1215.7Å и λ 1302Å, 1304Å, 1305Å в атмосфере Земли. С началом запусков космических аппаратов к Венере и Марсу стали проводиться прямые исследования межпланетной среды и атмосфер этих планет. Радиоастрономы отдела Н.С.Кардашев и В.И.Слыш выполнили пионерские наблюдения низкочастотного радиоизлучения на частотах ниже 30 МГц, которое не может регистрироваться с поверхности Земли вследствие его эффективного отражения от ионосферы.

The department for astrophysics was founded at IKI in 1967. Iosif S. Shklovsky (1916–1985), an outstanding Russian astrophysicist and a corresponding member of the USSR Academy of Sciences was the head of the department from its foundation till his untimely death. The department was created based on the department for radio astronomy of the Sternberg State Astronomical Institute of the Moscow State University's Physical faculty (GAISh).

This department's staff had a ten-year experience in space astronomy before they transferred to IKI. In 1956 academician A.I. Berg involved the department for radio astronomy in this secret for that time field. A.I. Berg proposed S.P. Koroliov to entrust GAISh with the development of a technique for tracking the satellite, which was almost completed. The staff members (V.V. Yesipov, V.G. Kurt, V.I. Moroz and P.V. Shcheglov) developed several scenarios of these observations within a year and successfully implemented them.

Another task set by S.P. Koroliov for I.S. Shklovsky consisted in the flight visualization of the rocket launched to the Moon (E-6 project). For this I.S. Shklovsky offered to evaporate the sodium vapor which effectively scattered solar radiation in the resonance lines at wavelengths of λ 5890Å and λ 5896Å. The project was named "Artificial Sodium Comet". High-altitude geophysical rocket 8K51 (the famous R-5 missile) was used for the sodium vaporizer processing. Evaporators were tested at an altitude of 430 km after the rocket launch from the Kapustin Yar proving range on September 19, 1958. Due to this work the staff members gained an experience in the rocket astrophysical research in the Earth's upper atmosphere. At the first stages the atomic hydrogen and oxygen distribution in the wavelength λ 1215.7Å and λ 1302Å, λ 1304Å, λ 1305Å lines was studied in the Earth's upper atmosphere. With the spacecraft launches towards Venus and Mars studies of their atmospheres and interplanetary medium began. The department's radioastronomers N.S. Kardashev and V.I. Slysh conducted pioneer observations of the low-frequency (less than 30 MHz) radio emission which could not be registered due to its effective reflection from the ionosphere.

pictures see page 166

К 1965 году размах космических исследований в стране существенно увеличивается, и отдел радиоастрономии ГАИШ принимает все более активное участие в них, разрабатывает большую и перспективную астрофизическую программу наблюдений во всем диапазоне длин волн, начиная от рентгена и кончая длинными метровыми и декаметровыми радиоволнами. Естественно, когда было принято решение об объединении всех исследований, проводившихся в стране по космической тематике, в одном мощном Институте, который имел бы фундаментальную проектно-конструкторскую и производственную базу для разработки, проведения испытаний и изготовления летных приборов, сотрудники отдела радиоастрономии ГАИШ МГУ стали одними из первых претендентов на вхождение в его состав.

Пожалуй, самым большим энтузиастом идеи создания ИКИ был тогдашний ученый секретарь Межведомственного научного совета по космическим исследованиям при АН СССР (МНТС по КИ) Геннадий Александрович Скуридин, человек неистощимой энергии, имевший громадные связи в промышленности, Оборонном отделе ЦК КПСС и Военно-промышленной комиссии (ВПК). Именно он отвечал за распределение финансирования по тем или иным проектам, находил заводы, институты и КБ для разработки и изготовления научной аппаратуры, не имевшей аналогов в номенклатуре промышленности. Роль Г.А.Скуридина в первые, самые трудные годы становления Института была чрезвычайно велика. До назначения Г.И.Петрова он фактически исполнял обязанности директора ИКИ.

В числе первых сотрудников отдела астрофизики были переведенные из ГАИШ МГУ на должности заведующих лабораториями Н.С.Кардашев, В.Г.Курт, В.И.Мороз и В.И.Слыш. Для разработки высокочувствительных приемников коротковолнового радиодиапазона для наземной и космической радиоастрономии в отдел был приглашен из Проблемной радио-физической лаборатории (ПРФЛ) Педагогического института им.В.И.Ленина В.С.Эткин с рядом своих ведущих сотрудников.

При организации отдела И.С.Шкловский согласовал с М.В.Келдышем и Г.А.Скуридиным, что значительная часть тематики подразделения должна включать наземные наблюдения в оптическом и радиодиапазоне, проводившиеся на антеннах Центра дальней космической связи (ЦДКС) в Евпатории на 22-х метровой антенне Пущинского филиала ФИАН (антенна РТ-22) и на аналогичной антенне КрАО АН СССР в Симеизе. Для научного и практического руководства и проведения радиоинтерферометрических наблюдений с большой (межконтинентальной) базой приглашается на должность заведующего сектором Л.И.Матвеенко. В ИКИ из ГАИШ МГУ были также переведены В.Ф.Заболотный, Г.Б.Шоломицкий и несколько молодых специалистов.

Во вновь организованном отделе радиоастрономическое направление разделили Н.С.Кардашев и В.И.Слыш, ультрафиолетовая и рентгеновская астрономия были сосредоточены в лаборатории В.Г.Курта, а планетные исследования – в лаборатории В.И.Мороза. Через 1,5 года из лаборатории В.И.Слыша выделился самостоятельный сектор инфракрасной астрономии во главе с Г.Б.Шоломицким. Заместителем заведующего отделом был назначен В.Г.Курт.

Теоретические исследования руководились самим И.С.Шкловским, хотя лаборатория теоретической астрофизики в структуре отдела вначале отсутствовала.

К 1970 году в отделе насчитывалось 32 сотрудника. Отдел состоял из пяти лабораторий (Н.С.Кардашев, В.И.Слыш,

In 1965 space research was significantly widened in Russia, so the GAISh department for radio astronomy more and more actively participated in these studies. It was developing a large-scale promising program for the observations within the whole wavelength range from the X-rays to the long-waves of the meter and decameter radiobands. Naturally a decision was made to join all space studies conducted in Russia in one institute. This institute should have a design and production base for the instruments' flight models development, test and manufacture. The GAISh department for radio astronomy became one of the first candidates to be invited to this institute.

Gennady A. Skuridin was very enthusiastic about the idea of the Space Research Institute establishment. At that time he was the Scientific secretary of the Interdepartmental scientific council for space research of the USSR Academy of Sciences, had connections with industrial enterprises, Defense department of the Central Committee of the USSR Communist Party and the Military Industrial Commission (VPK) and possessed inexhaustible energy. Namely G.A. Skuridin was responsible for the funds allocation to these or those projects. He found plants, institutes and design bureaus for the development and manufacture of the scientific instrumentation which had no analogs in the industrial nomenclature. During the first and the most difficult years of the Institute formation the G.A. Skuridin's contribution was very significant. Before academician G.I. Petrov was appointed the director of the Institute G.A. Skuridin factually hold this position.

N.S. Kardashev, V.G. Kurt, V.I. Moroz and V.I. Slysh were among the first to come to IKI from the GAISh department for radioastronomy. They became the heads of laboratories. V.S. Etkin together with his team working at the Problem radiophysical laboratory of the Moscow Pedagogical Institute was invited to the department for developing highly sensitive short-wave receivers for the ground- and space-based radio astronomy.

While the department was being formed I.S. Shklovsky reached an agreement with academician M.V. Keldysh and G.A. Skuridin that the department had to mainly focus on the ground-based observations at the optical and radio wavelengths. These observations should be conducted from the Deep Space Communications Center (Evpatoria, Crimea), the Pushchino branch of the Lebedev Physical Institute of the USSR Academy of Sciences (RT-22 dish, 22 m in diameter) and the Crimea Astrophysical Observatory of the USSR Academy of Sciences (Simeiz, similar antenna). L.I. Matveenko was invited to head this sector and supervise scientific and practical work targeted at the radiointerference observations with a large (intercontinental) baseline (VLBI). V.F. Zabolotny, G.B. Sholomitsky and several young specialists were also transferred from GAISh to IKI.

In the new department N.S. Kardashev and V.I. Slysh were involved in the radioastronomical studies, V.G. Kurt's laboratory conducted UV and X-ray astronomical studies and the of V.I. Moroz' laboratory – planetary research. After one year and a half an independent sector for infrared astronomy headed by G.B. Sholomitsky was separated from the V.I. Slysh's laboratory. V.G. Kurt was appointed the deputy head of the department.

I.S. Shklovsky supervised theoretical studies though there was no theoretical laboratory in the department's structure at that time.

иллюстрации стр. 166

В.Г.Курт, В.И.Мороз, В.С.Эткин) и двух секторов (Л.И.Матвеенко и Г.Б.Шоломицкий). Поскольку отдел был в основном экспериментальным, с самого начала в нем существовала небольшая, но хорошо по тем временам оборудованная, мастерская для изготовления макетов летных приборов, испытательных стендов и приборов для наземных телескопических наблюдений. Несмотря на организационные трудности, связанные с переходом из ГАИШ в ИКИ, отдел активно проводил бортовые эксперименты на всех станциях, запускаемых к Марсу и Венере. В частности, лабораторией В.Г.Курта обнаружен эффект свечения межпланетной среды в линии водорода Лайман-альфа (L_α λ 1215.7Å). Это излучение, как выяснилось, связано с нейтральными атомами водорода, проникающими из межзвездной среды в Солнечную систему благодаря ее движению относительно межзвездной среды. Открытый эффект получил образное название „межзвездный ветер". При полете межпланетной станции „Венера-4" (первого аппарата, доставившего спускаемый аппарат до высоты 25 км над поверхностью планеты) с орбитального отсека открыт атомарный водород в верхней атмосфере Венеры, и определена его температура. Как оказалось, она составляла всего 350–450 К, т.е. в 2–3 раза меньше температуры экзосферы Земли.

Под руководством Н.С.Кардашева активно велась подготовка интерферометра с базой „Земля–орбитальная станция", на борту которой устанавливалась антенна диаметром 10 м (проект космического радиотелескопа КРТ-10). Это открывало возможность достижения громадного пространственного разрешения вплоть до 10^{-6} угловой секунды в сантиметровом диапазоне длин волн.

В 1972 году расформировывается отдел космических лучей ИКИ, возглавлявшийся внештатно Н.Л.Григоровым из НИИЯФ МГУ, и его сотрудники переводятся в отдел астрофизики. Отдел Н.Л.Григорова состоял из четырех лабораторий во главе с И.В.Эстулиным (1918–1982 гг.), А.С.Мелиоранским, В.Е.Нестеровым и Л.Ф.Калинкиным. В составе отдела были весьма квалифицированные сотрудники (В.В.Акимов, В.Х.Прохин и др.), имевшие за спиной опыт сложных бортовых экспериментов на трех спутниках серии „Протон". В отделе астрофизики лаборатория А.С.Мелиоранского должна была специализироваться на рентгеновских экспериментах, а лаборатория В.Е.Нестерова – на экспериментах в области гамма-астрономии. И.В.Эстулин стал заниматься космическими гамма-всплесками, открытыми в 1972 г. в США на ИСЗ „Вела".

К этому времени у отдела сложилась хорошая кооперация с Союзным научно-исследовательским институтом приборостроения (СНИИП) Министерства среднего машиностроения СССР, опыт и производственная база которого позволяли разрабатывать и изготавливать сложные бортовые приборы для космических экспериментов. Такой ориентации СНИИПа большое содействие оказали академики Ю.Б.Харитон и Я.Б.Зельдович. Отделы ИКИ, занимавшиеся заряженными частицами радиационных поясов Земли, солнечным ветром и солнечными космическим лучами, стали постоянными заказчиками аппаратуры в СНИИПе. Совместно с И.В.Эстулиным там был разработан и прибор для определения координат, кривой блеска и спектра гамма-всплеска с борта одного космического аппарата. Идея такого прибора была высказана А.С.Мелиоранским. В.Г.Курт предложил другой метод определения точных координат всплесков по измерению запаздывания сигнала на нескольких космических аппаратах – „псевдоинтерферометр". По решению руководства отдела „псевдоинтерферометр" было решено вести

In 1970 the department staff included 32 members. It consisted of five laboratories (N.S. Kardashev, V.I. Slysh, V.G. Kurt, V.I. Moroz and V.S. Etkit) and two sectors (L.I. Matveyenko and G.B. Sholomitsky). The department was mainly aimed at the preparation of experiments, so from the very beginning the department's infrastructure included a small but very well equipped for that time workshop. This workshop fabricated mock-ups of flight models, testing benches and instruments for ground-based telescopic observations. In spite of organizational difficulties caused by the department transfer from GAISh its staff actively conducted experiments onboard all the spacecraft launched towards Mars and Venus. In particular, the V.G. Kurt's laboratory discovered an effect of the interplanetary medium luminosity in the Layman-alpha hydrogen line (L_α λ 1215.7Å). As it was found out this radiation was connected with the hydrogen neutral atoms penetrating from the interstellar medium into the Solar system due to its motion relative to the interstellar medium. The discovered effect was named an "interstellar wind". During the Venera-4 interplanetary station flight atomic hydrogen was discovered in the Venus upper atmosphere and its temperature was measured from the orbiter. It turned out to be 350–450 K only, i.e. three times less than the temperature of the terrestrial exosphere. Venera-4 was the first spacecraft, which delivered a landing module to an altitude of 25 km above the planet's surface.

N.S. Kardashev headed the development of an interferometer with a baseline "Earth–orbital station" (a 10-meter antenna was installed onboard this station; the KRT-10 space radio telescope project). This made it possible to achieve a tremendous spatial resolution of up to 10^{-6} arcsec within the cm range.

In 1972 the IKI department for cosmic rays was disbanded. N.L. Grigorov from the Nuclear Physics Institute of Moscow State University was a freelance head of this department. Its staff was transferred to the department for astrophysics. N.L. Grigorov's department consisted of four laboratories headed by I.V. Estulin (1918–1982), A.S. Melioransky, V.Ye. Nesterov and L.F. Kalinkin. Highly skilled specialists (V.V. Akimov, V.Kh. Prokhin and others) experienced in conducting complex onboard experiments on the three satellites of the Proton series worked at the department. A.S. Melioransky's laboratory had to conduct X-ray experiments and V.Ye. Nesterov's – gamma-astronomy experiments. I.V. Estulin studied cosmic gamma-ray bursts discovered by the USA specialists from the Vela satellite.

By this time the department closely cooperated with the All-Union Research Institute for Device Engineering (SNIIP) of the USSR Ministry for Special Machinebuiding. The institute's experience and production facilities made it possible to develop and manufacture sophisticated onboard instruments for space experiments. Academician Yu.B. Khariton and Ya.B. Zeldovich assisted the Institute a lot in this field of activity. The IKI departments involved in the studies of the charged particles in the Earth's radiation belts, of the solar wind and the solar cosmic rays constantly ordered instruments at SNIIP. The instrument for determination of the gamma-ray burst coordinates, light curve and spectrum from onboard a single spacecraft was developed there in cooperation with the I.V. Estulin's team. This instrument idea was offered by A.S. Melioransky. V.G. Kurt proposed another technique for precise determination of the burst coordinates by the measurements of time delay from several spacecraft –

pictures see page 166

в ИКИ в секторе И.В.Эстулина, а идею А.С.Мелиоранского (многодетекторный прибор „Гидра") – передать Г.П.Кахидзе из филиала Абастуманской астрофизической обсерватории Грузинской АН, прикомандированному к ИКИ. Однако Г.П.Кахидзе по каким-то причинам не смог или не захотел взять на себя разработку этого прибора, и работа с общего согласия передается Е.П.Мазецу в Ленинградский физико-технический институт АН СССР, имевшему большой опыт создания бортовых ядерно-физических приборов для поиска „антивещества". С тех пор по настоящее время эта тематика стала основной в отделе Е.П.Мазеца, ныне одного из мировых лидеров в этой актуальной и по сей день проблематике.

В это же время новый директор ИКИ Р.З.Сагдеев предложил вместо прибора, разрабатывавшегося в СНИИП для исследования гамма-всплесков по методу „псевдоинтерферометра", поставить на АМС „Венера" и ИСЗ „Прогноз" аналогичные приборы французского Центра ядерных исследований в Сакле под Парижем (руководитель работ проф. Ж.Ведренн). Это давало большую экономию финансовых средств и времени на подготовку эксперимента. Кроме того, приборы французского изготовления были легче и потребляли меньше энергии. В итоге удалось осуществить несколько весьма успешных экспериментов по определению точных координат примерно 100 гамма-всплесков. В этих работах приняли участие физики из США, что позволило задействовать для проведения исследований одновременно до 8 космических аппаратов, находившихся на орбитах около Земли („Вела", „Прогноз") и в Солнечной системе вдали от Земли („Венера", „Pioneer-Venera", „ISEE-3 HELIOS"). Достигнутая тогда, 25 лет назад, рекордная точность определения координат не улучшена и в настоящее время. Это стало возможным благодаря отлаженной сложной системе сверки часов на всех аппаратах с точностью не хуже 10 мсек и системе траекторных измерений высокой точности (около 100 км). Активное участие в этой пионерской работе принимал отдел баллистики ИКИ во главе с П.Е.Эльясбергом (Г.Мерсов, Н.Г.Хавенсон, Н.А.Эйсмонт).

А.С.Мелиоранский был одним из первооткрывателей вспыхивающих источников рентгеновского излучения (барстеров) – двойных, широко разнесенных систем, в которых одна компонента – красный карлик главной последовательности, а вторая – компактный объект (нейтронная звезда). Под его руководством разработан рентгеновский телескоп на диапазон энергий 30 кэВ – 1 МэВ.

Лаборатория В.Е.Нестерова направила свои усилия на создание специализированного ИСЗ для космического гамма-телескопа „Гамма-1", разрабатываемого в кооперации ряда отечественных академических институтов и ВУЗов и французских специалистов. Сборка, испытания и отладка всего комплекса проводилась в ОКБ ИКИ АН СССР (г. Фрунзе, ведущие конструкторы – С.Р.Табалдыев, М.Б.Добриян, А.С.Белоусов). Основой уникального телескопа стала искровая камера размером 0,5x0,5 м². Специально для гамма-телескопа в ОКБ-1 С.П.Королева (ныне РКК „Энергия") создавался ИСЗ со звездной системой астроориентации и наведения на исследуемые астрофизические объекты.

В 1979 году по предложению заместителя директора института Г.С.Нариманова отдел начал совместно с Крымской астрофизической обсерваторией работу по созданию первого в нашей стране специализированного космического аппарата для астрофизических наблюдений. Аппарат разрабатывался в НПО им.С.А.Лавочкина на базе станции „Венера". Система астро-

"a pseudo interferometer". According to the decision of the department's head the "pseudo-interferometer" should be transferred to the I.V. Estulin's sector. The A.S. Melioransky idea (multidetector Hydra) had to be further developed by G.P. Kakhidze from the subdivision of the Abastuman astrophysical observatory (Georgian Academy of Sciences) who temporally worked at IKI. However G.P. Kakhidze for an unknown reason could not or did not want to develop this instrument. So this work was transferred to Ye.P. Mazets, Leningrad Physical-Technical Institute of the USSR Academy of Sciences. Ye.P. Mazets was very experienced in the creation of onboard nuclear instrumentation for searching for the "antimatter". This became the main field of activity of the department headed by Ye.P. Mazets who was one of the world-wide recognized leaders in this still actual problem.

At the same time academician R.Z. Sagdeev, the IKI new director proposed to equip the Venera interplanetary station and the Prognoz spacecraft with the instruments developed at the French Center for Nuclear Studies in Sacley (J. Vedrenne headed this work) replacing the "pseudo-interferometer" developed at SNIIP for gamma-ray bursts investigation. This should significantly save money and time needed for the experiment preparation. Additionally the French instruments were lighter and consumed less power. A number of rather successful experiments were performed for precise coordinate determination for about 100 gamma-ray bursts. The U.S. physicians participated in this work. This made it possible to conduct studies from up to eight simultaneously operating spacecraft located in the near Earth orbits (Vela, Prognoz) and in the Solar system at a large distance from the Earth (Venera, Pioneer-Venera, ISEE-3 and HELIOS). The record accuracy of the coordinate determination achieved 25 years ago has not been improved until now. This became possible due to the adjustment of clocking system for all the spacecraft with an accuracy of better than 10 msec as well as to a highly precision system for trajectory measurements (about 100 km). The IKI department for ballistics headed by P.Ye. Eliasberg (G. Mersov, N.G. Khavenson and N.A. Eismont) actively participated in this work.

A.S. Melioransky was one of the discoverers of the flaring X-ray sources (bursters) – double and considerably spaced systems where one component was a red dwarf of the main sequence, and another – a compact object (a neutron star). He also supervised the development of the X-ray telescope operating within an energy range from 30 keV to 1 MeV. The V.Ye. Nesterov's laboratory was creating a specialized satellite for the Gamma-1 space-based telescope being developed by a number of Russian academic institutes and higher educational establishments together with the French specialists. The IKI Experimental Design Bureau (OKB IKI, Frunze) fulfilled the telescope and satellite integration, tests and processing. S.R. Tabaldyev, M.B. Dobriyan and A.S. Belousov were the PIs. This unique telescope was based on a spark chamber (0.5x0.5 m²). Especially for this gamma-telescope the Koroliov's Special Design Bureau OKB-1 (now RKK Energiya) developed a satellite with a star tracking system for the attitude determination and pointing to astrophysical targets.

In 1979 the department began to create the first in our country special spacecraft for astrophysical observations in cooperation with the Crimea Astrophysical Observatory. This work was

иллюстрации стр. 166

ориентации, построенная на солнечно-звездных датчиках, позволяла ориентировать продольную ось аппарата, совпадающую с осью телескопов, в любую точку неба с точностью 2–3'. Примерно такой же была и точность стабилизации. На космической обсерватории, получившей наименование „Астрон", было установлено два больших прибора: ультрафиолетовый телескоп Крымской астрофизической обсерватории с диаметром зеркала 90 см (научные руководители эксперимента А.Б.Северный и А.А.Боярчук) и рентгеновский телескоп СКР-02М (научный руководитель В.Г.Курт). Рентгеновский телескоп имел эффективную площадь 1750 см^2, поле зрения 3° и временное разрешение 2,7 мсек. Даже по сегодняшним меркам такое разрешение считается достаточно высоким. 23 марта 1983 года спутник массой 4,5 тонны выводится ракетой-носителем „Протон" на высокоапогейную орбиту с перигеем 200 тыс.км. Обсерватория успешно проработала на орбите свыше 7 лет, установив по тому времени рекорд длительности работы в космосе. На основе „Астрона" через два года создается чисто рентгеновский спутник „Гранат" (научный руководитель Р.А.Сюняев), успешно проработавший в космосе почти 10 лет. В создании и эксплуатации „Астрона" принимали участие сотрудники отдела астрофизики А.С.Смирнов, В.М.Шамолин, Е.Ю.Шафер, Т.А.Мизякина, А.А.Шмелькин, И.М.Голынская, М.И.Калинин и В.И.Афанасьев, большой коллектив баллистиков отдела П.Е.Эльясберга (В.И.Прохоренко, Н.А.Эйсмонт, Н.Г.Хавенсон и др.). Обработка данных велась А.А.Дьячковой, Е.Гернет, Е.Гавриловой и др. сотрудниками отдела В.М.Покраса.

В 1975 г. началась подготовка к эксперименту по измерению рассеянного ультрафиолетового излучения в межпланетной-межзвездной среде в линиях атомарного водорода (λ 1215.7Å), атомарного гелия (λ 584Å) и однократно ионизованного гелия (λ 304Å). Работа велась в кооперации со Службой аэрономии Франции (Париж), где ее возглавляли директор Службы Ж.Э.Бламон и д-р Ж.Л.Берто. Прибор, разработанный и изготовленный во Франции был установлен на двух ИСЗ („Прогноз-5" и „Прогноз-6"), выведенных на орбиту с высотой апогея 200 тыс.км. Работа велась в тесном контакте с НПО им.С.А.Лавочкина. От ИКИ АН СССР научным руководителем был В.Г.Курт, ответственным инженером Е.Н.Миронова. Оба спутника успешно работали в течение нескольких месяцев, что позволило впервые определить все параметры „межзвездного ветра" и межзвездной среды в окрестностях Солнца. Сопоставление измерений в линиях водорода и гелия с развитой к тому времени теорией позволило выяснить плотность водорода и гелия в межзвездной среде, их температуру, направление и скорость движения Солнца относительно межзвездной среды, анизотропию солнечного ветра и ширину эмиссионных солнечных линий водорода и гелия. Важную роль в измерениях сыграла методика использования поглощающих кювет, наполненных молекулярным водородом, термическая диссоциация которого происходила под действием нити накаливания.

Тематика работ отдела астрофизики становится все более широкой, и в 1972 году принимается решение о выделении лабораторий В.И.Мороза и Л.В.Ксанфомалити в самостоятельный отдел физики планет во главе с В.И.Морозом. Вскоре произошло выделение и лаборатории, возглавляемой В.С.Эткиным, в самостоятельный отдел с прикладной тематикой.

Зав. отделом астрофизики И.С.Шкловский стремился сосредоточить усилия отдела на „большой астрономии", т.е. на ис-

proposed by the IKI deputy director G.S. Narimanov. The spacecraft was developed at the Lavochkin Association based on the Venera station design. Star and Sun trackers were used for attitude control what made it possible to point spacecraft's longitudinal axis coinciding with the telescopes' axis to any point of the sky with an accuracy of 2'–3'. The stabilization accuracy was approximately the same. This space observatory was named Astron and included two large instruments – an UV telescope with a mirror diameter of 90 cm from the Crimea Astrophysical Observatory (academicians A.B. Severny and A.A. Boyarchuk, the experiment Principal Investigators) and an X-ray telescope SKR-02M (V.G. Kurt, PI). The X-ray telescope effective area was 1750 cm^2, field of view – 3° and a temporal resolution – 2.7 msec. This resolution is considered very high even for the present standards. On March 23, 1983 a satellite with a mass of 4.5 tons was delivered by the Proton launcher to a high apogee orbit with a perigee of 200,000 km. The observatory successfully operated in orbit for more than seven years. For that times this was a record in space operation duration. Two years later the Granat satellite was created based on Astron (PI – academician R.A. Syuniaev). This satellite was intended for the X-ray studies only. The department's astrophysicians A.S. Smirnov, V.M. Shamolin, Ye.Yu. Shafer, T.A. Mizyakina, A.A. Shmelkin, I.M. Golynskaya, M.I. Kalinin and V.I. Afanasiev as well as scientists from the P.Ye. Eliasberg's department (V.I. Prokhorenko, N.A. Eismont, N.G. Khavenson, et al.) were involved in the Astron development and application. Data processing was fulfilled by the V.M. Pokras' department under the supervision of A.A. Diachkov, Ye. Gernet and Ye. Gavrilova).

In 1975 the preparation for a new experiment began. It was aimed at measuring the scattered UV radiation in the interplanetary-interstellar medium in the lines of the atomic hydrogen (λ 1215.7Å), atomic helium (λ 584Å) and the once ionized helium (λ 304Å). The work was conducted in cooperation with the French Service for Aeronomy (Paris, director prof. J.-E. Blamont and Dr. J.-L. Bertaux) The instrument developed and manufactured in France was installed on two satellites (Prognoz-5 and Prognoz-6). The satellites were injected into an orbit with an apogee of 200,000 km. The Lavochkin Association participated in this work also. From IKI V.G. Kurt was the PI and Ye.N. Mironova – a chief engineer. Both satellites successfully operated during several months. This made it possible to determine all parameters of the "interstellar wind" and interstellar medium in the vicinity of the Sun for the first time. Comparison of the measurements in the hydrogen and helium lines with the theory developed made it possible to determine hydrogen and helium density in the interstellar medium, their temperature as well as the direction and velocity of the Sun motion relative to the interstellar medium, solar wind anisotropy and width of the hydrogen and helium emission solar lines. The usage of absorbing cells filled with the molecular hydrogen which thermally dissociated under the incandescent filament effect turned out very important for these measurements.

The activity of the department for astrophysics covered more and more fields of research. So in 1972 a decision was made to form an independent department for physics of planets headed by prof. V.I. Moroz and to transfer there two laboratories headed by V.I. Moroz and L.V. Ksanfomaliti. Soon the laboratory headed by V.S. Etkin was also re-organized in an independent department for solving applied tasks.

pictures see page 166

следованиях Галактики, ее населения и внегалактических объектов, на вопросах космологии. Ведущие ученые отдела (Н.С.Кардашев, В.И.Слыш, В.Г.Курт, Л.И.Матвеенко, Г.Б.Шоломицкий, М.В.Попов) вполне разделяли эту точку зрения. После реорганизации отдела, руководимого Я.Б.Зельдовичем, в отдел астрофизики была переведена лаборатория И.Д.Новикова. Под его руководством в отделе образована лаборатория теоретической астрофизики, насчитывавшая около 10 сотрудников, включая Г.С.Бисноватого-Когана, Б.В.Комберга, Д.А.Компанейца, А.В.Илларионова и других теоретиков высокой квалификации, вышедших из школы Я.Б.Зельдовича. С этого времени в отделе астрофизики стало развиваться теоретическое направление, охватывающее космологию, эволюцию звезд, галактик и квазаров, теорию компактных источников (черных дыр и нейтронных звезд). Большое внимание уделялось ядрам галактик и черным дырам с большой массой (10^6-10^9 $M_\odot$). Душой этого направления, несомненно, был сам И.С.Шкловский, Н.С.Кардашев и И.Д.Новиков, написавший к тому времени несколько монографий в соавторстве с Я.Б.Зельдовичем. Эти книги сыграли выдающуюся роль в развитии отечественной теории внутреннего строения звезд, их эволюции и космологии. Впоследствии, уже после смерти Я.Б.Зельдовича И.Д.Новиков опубликовал несколько монографий по космологии и физике черных дыр, а также несколько научно-популярных книг. В настоящее время И.Д.Новиков является директором Центра теоретической астрофизики в Копенгагене (Дания). При этом он не порывает связей с родным отделом, часто бывает в ИКИ, выступает с докладами. Почти все сотрудники его лаборатории побывали в его небольшом, но отлично организованном институте в Копенгагене, который хорошо известен во всем „астрофизическом" мире.

В 1980 г. по инициативе Н.С.Кардашева, избранного к тому времени членом-корреспондентом АН СССР, в ИКИ начались работы по созданию собственного крупного наземного радиотелескопа. За основу был взят проект уже построенного радиотелескопа диаметром 70 м, установленного в г. Евпатория в ЦДКС для приема информации от межпланетных станций, запускаемых к Венере и Марсу. В проект были внесены изменения для обеспечения возможности использования телескопа в мм диапазоне длин волн. Для строительства радиотелескопа выбрано место на юге Узбекистана (плато Суфа) вблизи от г. Джизак Самаркандской области с достаточно сухим климатом, что было очень важно, и высотой над уровнем моря около 2000 м. В течение года там работала экспедиция, которая измеряла уровни радиопомех, изучала сейсмику района, облачность и др. метеорологические параметры.

Руководство строительством обсерватории было поручено сотрудникам ИКИ, переведенным из ГАИШ МГУ, во главе с В.Ф.Заболотным и А.Е.Андриевским. Для проведения строительно-монтажных работ при Президиуме РАН организована Дирекция (директор В.Ф.Заболотный, главный конструктор А.Е.Андриевский). Представителем Дирекции в Узбекистане назначен опытный строитель, принимавший непосредственное участие в строительстве космодрома Байконур, Н.Ф.Бородин. Была найдена подрядная организация, выпущена строительная документация, заключены соответствующие договора. Строительство началось и вначале двигалось весьма успешно: возведен пилон радиотелескопа, построены все служебные здания, начался монтаж металлоконструкций самого радиотелескопа. Развал Советского Союза помешал завершить создание уни-

The head of the department for astrophysics I.S. Shklovsky wanted to concentrate all efforts in the "large-scale astronomy", i.e. studies of Galaxy, its population and extragalactic objects as well as in cosmology. The department's leading scientists (N.S. Kardashev, V.I. Slysh, V.G. Kurt, L.I. Matveenko, G.B. Sholomitsky and M.V. Popov) entirely shared this opinion. After the Ya.B. Zeldovich's department re-organization the laboratory headed by I.D. Novikov was transferred to the department for theoretical astrophysics. There the laboratory for theoretical astrophysics was formed which employed ten people including G.S. Bisnovaty-Kogan, B.V. Komberg, D.A. Kompaneits, A.V. Illarionov and other highly qualified theoreticians – pupils of academician Ya.B. Zeldovich. Beginning from this moment the department for astrophysics began theoretical studies in cosmology, evolution of stars, galaxies and quasars and a theory of compact sources (black holes and neutron stars). A special attention was paid to the black holes with a large mass ($10^6-10^9 M_\odot$). I.S. Shklovsky, N.S. Kardashev and I.D. Novikov were the life and soul of these studies. By that time the latter wrote several scientific books in co-authorship with Ya.B. Zeldovich. These books played an outstanding role in the development of a theory for internal structure of stars, their evolution and cosmology. After Ya.B. Zeldovich death I.D. Novikov published several monographs on cosmology and black hole physics as well as a number of scientific popular books. At present I.D. Novikov is the director of the Center for Theoretical Astrophysics in Copenhagen (Denmark). However he does not break off connections with the department, he often visits IKI and makes reports. All employees of his laboratory have visited his small but excellently organized institute in Copenhagen which is well-known in the whole "astrophysical" world.

In 1980 N.S. Kardashev who had become a corresponding member of the USSR Academy of Sciences offered to develop a large ground-based telescope at IKI. Already built telescope with a diameter of 70 m installed in the Deep Space Communications Center in Evpatoria for receiving data from interplanetary stations being launched to Venus and Mars, served as the basis for new instrument. It was modified in order to provide for the telescope operation within the mm wave range. A place in the Southern Uzbekistan (plateau Sufa, near to Dhzizak town of the Samarkand region) was chosen for the telescope building. This place was about 2,000 m above the sea level and had rather dry climate what was of especial importance. An expedition worked there for a year measuring the level of radio noise and studying the region's seismic conditions, cloud cover humidity and other meteorological parameters.

A team of IKI employees transferred from GAISh headed by V.F. Zabolotny and A.Ye. Andrievsky supervised the observatory construction. A Board of directors (director V.F. Zabolotny, chief designer A.Ye. Andrievsky) was created at the Presidium of the USSR Academy of Sciences for supervising construction. N.F. Borodin, an experienced builder who directly participated in the Baikonur launch site construction became the representative of the Board of directors in Uzbekistan. A contractor was found, building documentation was issued and corresponding contracts were concluded. The construction began and firstly developed rather successfully – the radio telescope's tower was made, all service buildings were constructed and the assembly of telescope's metal constructions began. The Soviet Union collapse

иллюстрации стр. 166

кального по своим параметрам инструмента. Планировалось, что одной из его задач станут наблюдения по программе космического интерферометра „Радиоастрон", вторым плечом которого будет космический радиотелескоп с диаметром зеркала 10 м, рассчитанный на работу в 4-х диапазонах длин волн (1,35 см (H_2O), 6 см, 18 см (OH) и 92 см). Радиотелескоп планировалось вывести на орбиту с высотой апогея 80 тыс.км с обеспечением возможности увеличения базы радиоинтерферометра до миллиона км. Это позволило бы достичь рекордного в радиоастрономии углового разрешения, лучше 10^{-7} сек дуги! Создание космического аппарата для этого проекта (включая раскрывающуюся антенну) было поручено НПО им.С.А.Лавочкина. Приемники излучения, атомный стандарт частоты (рубидиевый и водородный), приемная аппаратура и аппаратура для корреляционной обработки принимаемой информации разрабатывались и изготавливались в кооперации с США, Канадой, Австралией, Швейцарией, Финляндией и другими странами созданного для реализации проекта международного консорциума. Для координации работ по проекту в отделе организована специальная лаборатория во главе с В.А.Рудаковым. После выхода В.А.Рудакова на пенсию, лабораторию (ныне – отдел Астрокосмического Центра ФИАН) возглавил В.В.Андреянов. Проект „Радиоастрон" и сегодня является основным космическим проектом коллектива Астрокосмического центра ФИАН.

В 1985 году безвременно скончался, только немного не доживший до своего 70-летия, основатель и заведующий отделом астрофизики И.С.Шкловский. И.о. зав. отделом назначается В.И.Слыш.

В 1990–91 гг. в ИКИ проводится реорганизация. Заместитель директора Института Н.С.Кардашев получил предложение тогдашнего директора ФИАН Л.В.Келдыша перейти с частью лабораторий в Физический институт им.П.Н.Лебедева. К этому времени ФИАН также был реорганизован и состоял из 5 отделений с правами Институтов Академии наук. Переведенный из ИКИ в ФИАН отдел астрофизики получил также статус отделения (Астрокосмический центр ФИАН, АКЦ), и к нему была присоединена Радиоастрономическая станция ФИАН в г. Пущино во главе с Р.Д.Дагкесаманским. Лаборатории Л.И.Матвеенко, Г.Б.Шоломицкого, В.Е.Нестерова, А.С.Мелиоранского и И.А.Струкова остались в ИКИ РАН, а лаборатории во главе со В.И.Слышем, И.Д.Новиковым, В.Г.Куртом. В.В.Андреяновым и М.В.Поповым распоряжением Президиума РАН были переведены во вновь организованное отделение ФИАН. Его директором назначен Н.С.Кардашев, избранный уже от ФИАН в 1994 году действительным членом РАН.

Заместителями директора утверждены В.И.Слыш и В.Г.Курт. Территориально АКЦ ФИАН остался в здании ИКИ, к нему отошла тематика по созданию ультрафиолетового спектрофотометра УФС-М для космического аппарата „Марс-96", проект „Радиоастрон", строительство Радиоастрономической обсерватории на плато Суфа (Узбекистан), а также ряд теоретических тем, проводимых в лаборатории, возглавляемой И.Д.Новиковым. Общая численность АКЦ ФИАН вместе с Пущинской Радиоастрономической станцией и строящейся обсерваторией на плато Суфа, составила около 400 сотрудников.

hindered the completion of this unique instrument. In particular, it was planned to use it for interferometry within the framework of the Radioastron program. The second radio telescope should have a mirror with a diameter of 10 m and operate within four wavelength bands (1.35 cm (H_2O), 6 cm, 18 cm (OH) and 92 cm). The radiotelescope had to be put in an orbit with an apogee of 80,000 km (and more) with a possibility to increase the radiointerferometer's baseline up to 1 mln km. This could make it possible to achieve record for radioastronomy angular resolution of better than 10^{-7} arcsec! Lavochkin Association was entrusted with the creation of the space radiotelescope including the deployable antenna. Radiation receivers, atomic frequency standard (rubidium and hydrogen), devices for data reception and correlation processing were developed and fabricated in cooperation with the USA, Canada, Australia, Switzerland, Finland and other countries of the international consortium created for this project implementation. For project coordination a special laboratory headed by V.A. Rudakov was established at IKI. After V.A. Rudakov retired V.V. Andreyanov became the head of this laboratory (now – the Astrospace Center of the Lebedev Physical institute of the Russian Academy of Sciences). The Radioastron project has been the main space project of the Astrospace Center until now.

In 1985 I.S.Shklovsky the department's founder and the head passed away at the threshold of his 70th anniversary. V.I. Slysh was appointed the head of the department.

In 1990–1991 IKI was re-organized. L.V. Keldysh the director of the Lebedev Physical Institute offered to the IKI deputy director N.S. Kardashev to transfer to the Lebedev Physical Institute together with several laboratories. At that time Lebedev Physical Institute was re-organized also and included five divisions possessing rights of academic institutes. The department for astrophysics transferred to the Lebedev Physical Institute and also got a status of a division (Astrospace Center of the Lebedev Physical Institute, ASC). Then the Lebedev Physical Institute Radioastronomical station in Pushchino headed by R.D. Dagkesmansjky joined this division. Laboratories headed by L.I. Matveenko, G.B. Sholomitsky, V.E. Nesterov, A.S. Melioransky and I.A. Strukov remained at IKI. Laboratories headed by V.I. Slysh, I.D. Novikov, V.G Kurt, V.V. Andreyanov and M.V. Popov were transferred to the newly established division by an order of the Presidium of the Russian Academy of Sciences. N.S. Kardashev was appointed this division's director, and in 1994 he became a member of the Russian Academy of Sciences.

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences V.I. Slysh and V.G. Kurt were appointed deputy directors. ASC of the Lebedev Physical Institute was placed at IKI. Its activity covered creation of the UV spectrophotometer UFS-M for the Mars-96 spacecraft, the Radioastron project, building of the Radioastronomical observatory on the Sufa plateau (Uzbekistan), and a number of theoretical studies conducted by the I.D. Novikov's laboratory. The total number of employees in the ASC of the Lebedev Physical Institute, Pushchino Radioastronomical station and being constructed observatory on the Sufa plateau is 400.

pictures see page 166

Отдел астрофизики высоких энергий



Department for High Energy Astrophysics

Организация и становление отдела астрофизики высоких энергий ИКИ неразрывно связаны с именем Я.Б.Зельдовича. В начале 60-х годов он создает в Отделении прикладной математики МИ АН СССР отдел теоретической астрофизики. За первые десять лет своего существования отдел вырос в основном за счет молодых выпускников МГУ и МФТИ. Талант и энергия Я.Б.Зельдовича позволяли ему найти интересную задачу для каждого сотрудника, и они на глазах становились высококлассными специалистами в релятивистской астрофизике и физической космологии. Школа Я.Б.Зельдовича в ОПМ уже тогда стала одной из лидирующих в этой области науки.

Вскоре после своего назначения директором ИКИ Р.З.Сагдеев обращается к Я.Б.Зельдовичу с полушутливым предложением организовать в Институте отдел теоретической астрофизики. Яков Борисович с уважением относился к Р.З.Сагдееву, ощущал мощь его теоретических работ по бесстолкновительным ударным волнам и нелинейным процессам в плазме и отнесся к этому предложению весьма серьезно. Переговоры шли почти год, и в июле 1974 г. отдел был создан. В его состав вошли два сектора во главе с И.Д.Новиковым и Р.А.Сюняевым. Я.Б.Зельдович принял на себя руководство отделом и вошел в состав Ученого совета ИКИ. Основной костяк отдела составили сотрудники Я.Б.Зельдовича из Института прикладной математики АН СССР.

Через несколько лет в результате реорганизации сектор И.Д.Новикова переходит в отдел астрофизики И.С.Шкловского. Оставшиеся продолжали в тесном контакте с Я.Б.Зельдовичем теоретические исследования по космологии, наблюдаемым проявлениям горячего газа в скоплениях галактик и процессам формирования спектров излучения в аккрецирующих дисках вокруг черных дыр и нейтронных звезд. Не прерывалось активное сотрудничество с ИПМ (И.М.Соболь и его коллеги) в части расчетов комптонизации методом Монте-Карло. Аналитические методы теории комптонизации развивались в сотрудничестве с Л.Г.Титарчуком из МИИТ. С Ю.Н.Гнединым (ЛФТИ) велись работы по спектрам излучения замагниченных аккрецирующих нейтронных звезд. Продолжались работы по теории аккреции с Н.И.Шакурой из ГАИШ, по рентгеновской спектроскопии с Л.А.Вайнштейном из ФИАН. Совместно с Я.Б.Зельдовичем исследовался рост возмущений плотности во Вселенной с нейт-

иллюстрации стр. 169

The history of the department for high energy astrophysics is associated with the name of Ya.B. Zeldovich. In the early 1960s he created a department for theoretical astrophysics at the division for applied mathematics of the Mathematical Institute of the USSR Academy of Sciences. During the first ten years the department was growing mainly due to the graduates from Moscow State University and the Moscow Physical and Technological Institute (MFTI). Talent and energy of Ya.B. Zeldovich advanced him in finding an interesting task for each staff member, and they were becoming highly qualified specialists in the relativistic astrophysics and physical cosmology. The Ya.B. Zeldovich's school at the Division for applied mathematics became one of the leaders in this field.

Soon after R.Z. Sagdeev's appointing the IKI director, he half-jokingly offered Ya.B. Zeldovich to establish a department for theoretical astrophysics at IKI. Zeldovich respected Sagdeev and highly appreciated his theoretical studies in collisionless shock waves and non-linear processes in plasma. So he accepted this proposal. Discussions continued for almost a year, and in July 1974 the department was formed. It joined two sectors headed by I.D. Novikov and R.A. Syuniaev. Ya.B. Zeldovich became head of the department and a member of the IKI Scientific Council. His team from the Institute for Applied Mathematics of the USSR Academy of Sciences formed the department's core.

In several years after the re-organization the Novikov's sector transferred to the department for astrophysics headed by I.S. Shklovsky. The rest in close cooperation with Ya.B. Zeldovich continued theoretical studies on cosmology, observed manifestations of hot gas in the galaxies' accumulations and processes of the radiation spectra formation in the accreting disks around black holes and neutron stars. Compton losses calculations were made by the Monte-Carlo method in cooperation with the Institute for Applied Mathematics (I.M. Sobol and his colleagues). Analytical methods of the comptonization theory were developed in cooperation with L.G. Titarchuk from Moscow Institute of Transportation Engineers. The studies of the radiation spectra of the magnetized accreting neutron stars were conducted together with Yu.N. Gnedin (Leningrad

рино конечной массы. Ряд интересных задач по теории взаимодействия вещества и излучения в ранней Вселенной, рентгеновских источниках и квазарах был решен в те годы аспирантами П.И.Колыхаловым и Ю.Э.Любарским. В.А.Королев и Л.А.Якубцев первыми проанализировали задачу о микроволновом излучении скоплений галактик при больших красных смещениях.

В 1982 г. лаборатория рентгеновской астрономии А.С.Мелиоранского выразила желание перейти от И.С.Шкловского в отдел теоретической астрофизики. Это было неожиданно, но после нескольких дней переговоров Я.Б.Зельдович дал согласие на преобразование отдела теоретической астрофизики в отдел астрофизики высоких энергий во главе с Р.А.Сюняевым. Научное руководство отделом Я.Б.Зельдович оставил за собой. Вместе с ближайшими сотрудниками А.С.Мелиоранского во вновь созданный отдел перешли Н.С.Ямбуренко, который занимался созданием многопроволочных позиционно-чувствительных камер и приборами с кодирующей маской, а также А.В.Кузнецов, имевший большой опыт работы с гамма-всплесковой аппаратурой.

Тем не менее, было совершенно очевидным, что силами небольшого числа теоретиков и сотрудников лаборатории А.С.Мелиоранского решить все возникающие перед отделом задачи будет очень трудно. И тогда Я.Б.Зельдович договорился с Министром среднего машиностроения Е.П.Славским о передаче в Академию наук (конкретно в ИКИ для отдела астрофизики высоких энергий) десяти весьма полновесных по зарплате ставок с целью развертывания работ по космической рентгеновской астрономии. В результате в ИКИ пришли 10 молодых выпускников МИФИ, ставших в дальнейшем ядром экспериментального отдела. В их числе были и ныне заведующие лабораториями О.В.Терехов, М.Н.Павлинский и И.В.Чулков.

Я.Б.Зельдович также договорился о квоте на создание приборов в СНИИПе – приборостроительном институте Минсредмаша и в НПО „Буревестник" (г. Ленинград).

Входить в экспериментальную рентгеновскую астрономию было очень непросто – отечественное космическое приборостроение находилось далеко не в лучшем состоянии. С другой стороны, страна обладала колоссальными возможностями для вывода на орбиту тяжелых спутников. Продолжалось и усиление собственной приборостроительной базы ИКИ в г. Фрунзе, а затем в подмосковной Тарусе и на базе производства в ИКИ. Большое значение имело и расширение международного сотрудничества в космических исследованиях, позволявшее осуществлять совместные эксперименты на советских космических аппаратах с использованием возможностей западного приборостроения. Молодые сотрудники отдела прошли хорошую школу в подготовке к запуску и обработке данных советско-французского эксперимента СНЕГ-2МП9 по детектированию гамма-всплесков на спутнике „Прогноз-9". Это были первые экспериментальные результаты, полученные отделом.

В начале 80-х годов принимается решение об установке на одном из модулей космической станции „Мир", рентгеновской аппаратуры из СССР, Англии, Голландии и Европейского КА. За создание жесткого рентгеновского телескопа „Пульсар Х-1" отвечала лаборатория А.С.Мелиоранского. Детекторы изготавливались в Баку на базе кристаллов из Усолья-Сибирского, анализаторы и другая электроника в ОКБ ИКИ во Фрунзе. Отдел астрофизики высоких энергий вместе с комплексным отделом О.Ф.Прилуцкого и В.Г.Родина отвечал за подготовку к запуску обсерватории, которая вскоре получила название „Рентген", на астрофизическом модуле „Квант" орбитального комплекса

Physical-technological Institute, LFTI), in the accretion theory – with N.I. Shakura (Sternberg State Asstronomical Institute) and in the X-ray spectroscopy – with L.A. Vainshtein (Physical Institute of the USSR Academy of Sciences). Growth of the density's disturbances in the Universe with the final mass neutrino was studied together with Ya.B. Zeldovich. Post-graduate students – P.I. Kolykhanov and Yu.E. Lyubarsky, solved a number of interesting tasks on the theory of the interaction of matter and radiation in the early Universe, X-ray sources and quasars. V.A. Koroliov and L.A. Yakubtsev were the first to analyze the problem of the microwave radiation of the galaxies' accumulations for the large red shifts.

In 1982 the laboratory for X-ray astronomy headed by A.S. Melioransky decided to transfer from I.S. Shklovsky to the department for theoretical astrophysics. This was quite unexpected but after several day discussions Ya.B. Zeldovich agreed to transform the department for theoretical astrophysics into the department for high energy astrophysics headed by R.A. Syuniaev. In the new department Ya.B. Zeldovich remained the scientific supervisor. N.S. Yamburenko creating multi-wire positioning sensitive cameras and instruments with a coding mask and A.V. Kuznetsov possessing large experience in a work with the gamma-ray burst instrumentation transferred to the new department together with the A.S. Melioransky's team.

Nevertheless it was obvious that this team and the limited number of theoreticians could not solve all the tasks put for the department. Then Ya.B. Zeldovich agreed with the Minister for Atomic Machinebuilding, Ye.P. Slavskiy, the creation of ten jobs with rather high salary at the Academy of Sciences (directly at IKI for the department for high energy astrophysics). This was necessary to develop space-based X-ray astronomy. Thus ten young specialists from the Moscow Engineering-Technological Institute came to IKI and formed the department's core. Present heads of the laboratories – O.V. Terekhov, M.N. Pavlinsky and I.V. Chulkov, were among them.

Ya.B. Zeldovich also agreed upon a quota on the instrumentation creation at the All-Union Research Institute for Device Engineering (Ministry for Atomic Machinebuilding) and the Research Production Association Burevestnik (Leningrad).

It was not an easy task to begin studies in the experimental X-ray astronomy as the national space device engineering was far from being the best. On the other hand, the country possessed great possibilities for launching heavy satellites. The IKI device engineering base was also being developed in Frunze, then in Tarusa (Moscow region) and at the IKI production facilities. Intensification of the international cooperation in space research played an important role also. This enabled joint experiments on the Soviet spacecraft using Western devices. Preparation for a launch and the data processing within the framework of the Soviet-French SNEG-2MP9 experiment on the gamma-ray bursts determination from the Prognoz-9 satellite became a good scholarship for young scientists. This was the first experimental data obtained by the department.

In the early 1980s a decision was made to equip one of the modules of the orbital station Mir then being prepared for launch, with the X-ray instruments from the USSR, Great Britain, The Netherlands and the European Space Agency. The A.S. Melioransky's laboratory was responsible for the creation of the hard X-ray telescope Pulsar-X-1. The detectors were manufactured in

pictures see page 169

„Мир". Отдел отвечал также за создание программного обеспечения и обработку данных. Обсерватория успешно работает в космосе, начиная с 1987 г. Продолжает давать прекрасные данные прибор с кодированной апертурой и позиционно-чувствительным детектором ТТМ, разработанный в Утрехте (Голландия) и Бирмингаме (Англия), жесткий рентгеновский спектрометр ГЕКСЕ, созданный группами в Гархинге и Тюбингене (ФРГ). До сих пор работоспособен прибор „Пульсар Х-1", разработанный под руководством А.С.Мелиоранского. Техническое курирование обсерватории „Рентген" все эти годы осуществляет комплексный отдел под руководством О.Ф.Прилуцкого и В.Г.Родина. В создании программного обеспечения колоссальную роль сыграли программисты отдела баллистики П.Е.Эльясберга, а после его смерти – Р.Р.Назирова и, в первую очередь, Е.А.Гаврилова.

Модуль „Квант" был запущен в марте 1987 г., вскоре после того, как 23 февраля 1987 года в ближайшей галактике Большое Магелланово Облако вспыхнула Сверхновая 1987А – ярчайшая за последние 400 лет. Сразу стало очевидным, что модуль „Квант" может дать уникальные данные о ее природе.

Теоретики отдела начали интенсивные расчеты методом Монте-Карло ожидаемого потока рентгеновских лучей от Сверхновой. Воспитанные яркими докладами В.Л.Гинзбурга и И.С.Шкловского, они ожидали появления в Сверхновой мощнейших ударных волн, ускорения космических лучей, теплового и нетеплового рентгеновского излучения, бурных проявлений молодого быстровращающегося пульсара или черной дыры, аккрецирующей ошметки сброшенной оболочки. Аспирант С.А.Гребенев (ученик известного специалиста по методу Монте-Карло И.М.Соболя из ИПМ) провел расчеты и построил приближенную теорию спектра излучения, выходящего из оболочки, предполагая, что первичным источником излучения являются гамма-лучи, рождающиеся при распаде радиоактивного ^{56}Co, синтезированного перед гибелью звезды и превращающегося в железо. Расчеты показали, что комптонизация жестких фотонов на холодных электронах разлетающейся оболочки Сверхновой и фотопоглощение на атомах тяжелых элементов не позволят жесткому излучению выйти из оболочки в течение первых месяцев после взрыва, и появления потока излучения на наблюдаемом уровне можно ожидать лишь через полгода после взрыва. В своих расчетах теоретики отдела опирались на численную гидродинамическую модель взрыва, созданную в группе В.С.Имшенника в ИТЭФ.

В середине июня 1987 г. начались практически ежедневные наблюдения Сверхновой. Руководство НПО „Энергия" и, в первую очередь, Ю.П.Семенов, осознавали важность наблюдений и делали все для того, чтобы помочь ученым. Обработку и анализ данных прибора ТТМ вели молодые теоретики М.Р.Гильфанов и Е.М.Чуразов. Данные жестких рентгеновских приборов ГЕКСЕ и „Пульсар Х-1" обрабатывали выпускники МИФИ В.В.Ефремов и МФТИ А.С.Каниовский. Всем участникам наблюдений запомнился тот счастливый вечер за дисплеем СВИТа (создание Л.С.Чесалина), когда А.С.Каниовский показал Р.А.Сюняеву первое слабое превышение сигнала над фоном в данных прибора ГЕКСЕ. Телескоп ТТМ, работавший в более мягком диапазоне энергий, ничего не показывал. Этого можно было ожидать лишь в модели радиоактивного распада. Ни ударные волны, ни обратное комптоновское излучение релятивистских электронов не могли произвести столь жесткий спектр излучения.

Сигнал в данных ГЕКСЕ нарастал. Через несколько дней он был зафиксирован в еще более жестких лучах (выше 50 кэВ) „Пульсаром Х-1".

иллюстрации стр. 169

Baku based on the crystals from Usolie-Sibirskoye, analyzers and other electronics – at OKB IKI, Frunze. The department for high energy astrophysics shared the responsibility for the observatory preparation for the launch with the O.F. Prilutsky's and V.G. Rodin's complex department. This observatory was soon named Roentgen and has been efficiently operating on the Kvant module of the orbital station Mir since 1987. The department was also responsible for the software development and data processing. An instrument with a coded aperture and a position sensitive detector TTM designed at Utrecht (The Netherlands) and Birmingham (Great Britain) as well as the HEXE X-ray spectrometer developed by the teams from Garching and Tubingen (FRG) are still providing perfect data. The Pulsar-X-1 instrument designed by A.S. Melioransky is still operating. The complex department headed by O.F. Prilutsky and V.G. Rodin has been maintaining the Roentgen observatory over all these years. Specialists from the department for ballistics headed by P.Ye. Eliasberg and after his death – by R.R. Nazirov, made a great contribution to the software development. First and foremost this was Ye.A. Gavrilova.

The Kvant module was launched in March 1987 soon after the Supernova 1987A flare in the Large Magellanic Cloud on February 23, 1987. This was the brightest Supernova over the last 400 years. It became evident that the Kvant module could provide unique data on its nature.

While preparing for the observations the department's theoreticians began to intensively calculate the expected X-ray flux from the Supernova applying the Monte-Carlo method. Brought up on the bright presentations by V.L. Ginzburg and I.S. Shklovsky they expected that in the Supernova there would be very strong shock waves, cosmic ray acceleration, thermal and non-thermal X-ray radiation, strong manifestations of the young rapidly spinning pulsar or a black hole accreting lumps of the thrown envelope. In parallel , S.A. Grebenev a post-graduate student of I.M. Sobol from the Institute for Applied Mathematics who was a well-known specialist in the Monte Carlo technique, made calculations and created an approximate theory of the spectrum of the radiation outgoing off the envelope. He assumed that gamma-rays originating during a decay of the ^{56}Co which had been synthesized before the star loss and was transforming into the iron were the radiation primary sources. The calculations showed that the comptonization of the hard photons on the cold electrons of the Supernova's envelope together with the photo absorption on the heavy elements' atoms would not allow the hard radiation to leave the envelope during the first months after the burst. Appearance of the observable radiation flux could be expected in half a year after the explosion only. The department's theoreticians used the numerical hydrodynamic model of the burst created by the V.S. Imshennik's team (Institute for Experimental and Theoretical Physics) in their calculations.

In the middle of June 1987 the Supernova was observed almost every day. Leaders of the Energiya Research and Production Association and first and foremost Yu.P. Semionov realized the importance of these observations and did their best to assist the scientists. Young theoreticians M.R. Gilfanov and Ye.M. Churazov were processing and analyzing the TTM data. Graduate of the Moscow Engineering Physical Institute V.V. Yefremov and MFTI graduate A.S. Kaniovsky processed the data from the hard X-ray telescopes HEXE and Pulsar-X-1. All the

Наблюдения Сверхновой продолжались в течение нескольких месяцев в том же темпе и гораздо реже в течение последующих двух с половиной лет. По данным „Кванта" вырисовывалась ее кривая блеска в жестких рентгеновских лучах, определялась степень перемешивания радиоактивных элементов по оболочке, и были поставлены жесткие верхние пределы на отношение долгоживущего изотопа ^{57}Co к изотопу ^{56}Co. Оставалась надежда зафиксировать излучение центрального пульсара или черной дыры, возникших после коллапса ядра звезды, но ничего сверхинтересного не появилось в рентгеновских лучах и не наблюдается на ожидавшемся уровне и по сей день, через 12 лет после взрыва. Оболочка Сверхновой представляет сегодня облако холодного молекулярного газа, медленно расширяющегося до тех пор, пока не произойдет его столкновение с плотным звездным ветром красного сверхгиганта, существовавшего на стадии, которая предшествовала образованию взорвавшегося голубого сверхгиганта.

Успех наблюдений Сверхновой прибавил сил молодым ученым, аспирантам и студентам-дипломникам отдела. Они поверили в себя, поняли, что модуль „Квант" дает им возможность делать первоклассную науку. Началась многолетняя охота за рентгеновскими новыми. Первым стал источник в созвездии Лисички, для которого И.Ю.Лапшов, С.А.Гребенев и А.С.Каниовский получили прекрасный широкополосный спектр от 2 до 200 кэВ, затем самая массивная черная дыра (как это известно сегодня) – источник GS 2023+338 и многие, многие другие. М.Р.Гильфанов и Е.М.Чуразов открыли барстер KS 1731–260, у которого недавно со спутника RXTE обнаружены периодические осцилляции во время прохождения ядерного пламени по поверхности звезды.

После запуска обсерватории „Гранат" эстафету успешной работы с прибором ТТМ приняли К.Н.Бороздин и его группа.

Новая космическая обсерватория „Гранат" была выведена на орбиту в декабре 1989 г. В ее создании активную помощь отделу астрофизики высоких энергий оказывал отдел Б.С.Новикова, ответственный за стыковку научной аппаратуры со спутником, и отдел П.Е.Эльясберга и Р.Р.Назирова, ответственный за баллистическое обеспечение и предварительную обработку данных (Н.Г.Хавенсон и группа А.В.Дьячкова). Важным для успеха „Граната" стало внимание к нему генерального конструктора НПО им.С.А.Лавочкина В.М.Ковтуненко и его ведущих сотрудников Р.С.Кремнева, К.Д.Суханова, И.Д.Церенина, Ю.Н.Глинкина, В.Е.Бабышкина и многих других. В ОКБ ИКИ для обсерватории были созданы электроника и позиционно чувствительные многопроволочные камеры четырех независимых модулей телескопа АРТ-П.

Кроме отечественных приборов на „Гранате" был установлен французский телескоп „Сигма" с кодированной маской, позволяющий строить изображения избранных участков небесной сферы в жестких рентгеновских и мягких гамма-лучах. Он изготовлен в Ядерном Центре Франции в Сакле и Космическом центре в Тулузе. Главную роль в привязке этого крупнейшего прибора к спутнику сыграл Жак Шен. За создание приборов отвечали Жильбер Ведрен, Катрин Цезарски, Жак Поль и Пьер Мандру. Большую поддержку проекту в КНЕС оказывала Женевьев Де Бузи. На „Гранате" установлен также монитор гамма-всплесков „Фебус", изготовленный в группе Клода Бара в Институте исследования космического излучения в Тулузе, и монитор всего неба ВОТЧ, созданный в Институте космических исследований Дании Нильсом Лундом и его коллегами. Подготовка к запуску, запуск и работа обсерватории в течение 9 лет курировались Государственной Комиссией во главе с Г.М.Тамковичем.

participants remembered that happy evening in front of the SVIT display (created by L.S. Chesalin) when A.S. Kaniovsky showed R.A. Syuniaev the first weak signal exceeding the background in the HEXE data. The TTM telescope operating in the less hard range showed nothing. This could be expected for the radioactive decay model only. Neither shock waves nor inverse Compton radiation of the relativistic electrons could generate so hard emission spectrum.

The HEXE signal was increasing. In several days Pulsar-X-1 registered this signal in hard rays ofmore than 50 keV.

The Supernova observations continued for several months with the same frequency but became rarer within the next two and a half years. The Kvant data on the Supernova made it possible to draw a luminosity curve in the hard X-rays, calculate the mixture level for the radioactive elements over the envelope and to determine the fixed upper limits for the ratio of the ^{57}Co long-lived isotope to the ^{56}Co isotope. There was a hope to register radiation of the central pulsar or a black hole which originated after the star's nucleus collapse. However nothing super-interesting has been observed in the X-rays until now – 12 years after the burst. The Supernova's envelope is a cloud of the cold molecular gas which is slowly expanding till it collides with the dense star wind of the red super-giant having existed at the stage preceding to the origin of the burst blue super-giant.

Success in the Supernova observations inspired young scientists and post-graduate students and students working at the department. They believed in themselves and understood that the Kvant module provided a possibility of making the top-level science. A multi-year hunt for the X-ray Novas began. The first source was detected at the Vulpecula constellation for which I.Yu. Lapshov, S.A. Grebenev and A.S. Kaniovsky obtained an excellent wideband spectrum from 2 to 200 keV. Then there was the GS 2023+338 source which is the heaviest known black hole and many, many others. M.R. Gilfanov and Ye.M. Churazov discovered the KS 1731-260 barster. For this body the RXTE satellite detected periodical oscillations when the nuclear flame covered the star's surface.

After the Granat observatory was launched K.N. Borodin and his team took up the race of the successful work with the TTM instrument.

The new space observatory Granat was delivered to orbit in December 1989. The department headed by B.S. Novikov assisted the department for high energy astrophysics being responsible for the payload integration with the satellite. The department headed by P.Ye. Eliasberg and R.R. Nazirov also helped a lot being responsible for the ballistics and the data preliminary processing (N.G. Khavenson and the A.V. Diachkov's team). An attention of the NPOL Designer General V.M. Kovtunenko and the leading specialists R.S. Kremniov, K.D. Sukhanov, I.D. Tserenin, Yu.N. Glinkin, V.Ye. Babyshkin and many others advanced the Granat's success. OKB IKI created electronics and position sensitive multiwire chambers for the four independent modules of the ART-P telescope.

In addition to the Russian instruments, the Granat platform carried the French telescope Sigma with a coded mask which retrieved images of the particular parts of the celestial sphere in the hard X-rays and soft gamma-rays. This telescope was manufactured at CESR in Saklay and at CNES in Toulouse. Jacques Chene played the main role in this instrument integration with a

pictures see page 169

Контроль полета и прием данных осуществлялся Центром дальней космической связи в Евпатории. Неизвестно, нужна ли была в действительности для работы с „Гранатом" гигантская 70-метровая антенна Центра, но со своими задачами она справилась блестяще, качество получаемой информации было очень высоким. Удалось наладить оперативную передачу данных из Евпатории в ИКИ и планирование наблюдений, программа которых быстро согласовывалась с французскими специалистами в Тулузе и Сакле благодаря электронной почте, факсам и выделенной телефонной линии. Работать с таким хорошо отлаженным спутником и командой истинных мастеров своего дела из НПО им.С.А.Лавочкина, группой Б.С.Новикова из ИКИ и специалистами из Евпатории было легко и приятно.

С самого начала интересные результаты давал телескоп АРТ-П. На отладку телескопа „Сигма" ушло несколько месяцев, но затем и этот телескоп стал работать качественно. Отличные данные давали приборы ВОТЧ и „Фебус".

До сих пор с сожалением вспоминается неудача, постигшая прибор „Подсолнух". Идея прибора была удивительно красивой. Гамма-всплесковые детекторы „Конус" группы ЛФТИ должны были фиксировать яркие гамма-всплески и локализовывать их с точностью несколько градусов. Поворотная платформа, созданная в ОКБ Фрунзе и СКБ КП в Тарусе, должна была разворачиваться за считанные секунды в направлении всплеска и наводить на него рентгеновский прибор и маленький оптический телескоп. В.Г.Родин и его отдел вложили много усилий, чтобы сделать этот прибор работоспособным. Известно, что по командам с Земли платформа действительно могла разворачиваться в космосе на большие углы, но, к сожалению, из-за ряда проблем данные на землю не передавались. Это было, пожалуй, самой большой неудачей „Граната", поскольку имелся шанс получить интересную информацию о гамма-всплесках и их послесвечениях в рентгеновском и оптическом диапазонах намного раньше, чем это сделал итальянский спутник SAX.

Для обработки данных, поступающих с телескопа АРТ-П, и создания математического обеспечения к Н.С.Ямбуренко и М.Н.Павлинскому подключился С.А.Гребенев. Ядром группы, работающей с телескопом „Сигма", стали М.Р.Гильфанов и Е.М.Чуразов. Вокруг них выросли серьезные исследователи – бывшие студенты и аспиранты. Заметный вклад в интерпретацию данных АРТ-П внес М.Л.Маркевич, а в успех „Сигмы" – А.В.Вихлинин. Первый смог построить карту диффузного рентгеновского излучения зоны центра Галактики, второй под руководством чуть старших коллег обнаружил квазипериодические осцилляции рентгеновского излучения ряда кандидатов в черные дыры. Замечательные результаты по прибору ВОТЧ получили И.Ю.Лапшов и С.Ю.Сазонов, по прибору „Фебус" – О.В.Терехов и его студенты и аспиранты.

Одним из главных результатов наблюдений с помощью АРТ-П стало получение четкого доказательства, что центр Галактики очень слаб в рентгеновских лучах – его светимость оказалась на 8 порядков меньше критической эддингтоновской светимости для черной дыры с массой 2 млн солнечных масс. Было, однако, хорошо известно, что большинство ядер активных галактик и квазаров излучают на уровне, близком к эддингтоновскому пределу светимости. Эта проблема привлекла интерес теоретиков всего мира. Ученых, обрабатывающих данные „Граната", приглашали в то время на все ведущие конференции мира с обзорными докладами.

По данным телескопа „Сигма" на спутнике „Гранат" получено первое изображение зоны центра Галактики в жестких рент-

spacecraft. Gilbert Vedrenne, Katrin Cezarsky, Jacques Paul and Pierre Mandrou were responsible for the instrumentation development. Genevieve de Bousie (CNES) supported this project also. The Granat observatory carried the gamma-ray-burst monitor Phebus manufactured by Claude Barat at the Cosmic Radiation Research Institute, Toulouse, and the WATCH monitor designed at the Dutch Space Research Institute by Niels Lund and his colleagues. The State Commission headed by G.M. Tamkovich was controlling the preparation for the launch, the launch and the observatory operation for nine years.

The Deep Space Communications Center (Evpatoria) performed flight control and data reception. It is not evident whether the giant 70-m antenna of the Center was necessary but it operated perfectly and the data quality was high. The data was operatively transmitted from Evpatoria to IKI. The observation schedule planning was quickly agreed with the French specialists from Toulouse and Saklay by e-mail, fax and the allotted telephone channel. It was a pleasure to work with this perfectly operating satellite and the team of real past masters from the Lavochkin Association as well as with the team headed by B.S. Novikov (IKI) and specialists from Evpatoria.

From the very beginning the ART-P telescope provided interesting data. The Sigma telescope was adjusted for several months but then it worked perfectly. The WATCH and Phebus instruments also provided for perfect data. Until today the Podsolnukh (Sunflower) instrument failure is recollected with regret. Its idea was surprisingly beautiful. The Konus (Cone) gamma-ray burst detectors (LFTI team) had to register bright gamma-ray bursts and localize them with an accuracy of several degrees. The rotating platform developed at OKB (Frunze) and SKB-KP (Tarusa) had to turn during several seconds in the burst's direction and to point the X-ray telescope and the small optical instrument. V.G. Rodin and his department made many efforts to force the instrument's operation. It is known that the platform could turn al large angles in space but unfortunately the data was not transmitted to Earth due to certain problems. This was the most serious failure of the Granat observatory since there was a chance of obtaining an interesting data on the gamma-ray bursts and their afterglow in the X-rays and the optical band much earlier than from the Italian satellite SAX.

S.A. Grebenev joined N.S. Yamburenko and M.N. Pavlisky in processing the ART-P telescope's data and software development. M.R. Gilfanov and Ye.M. Churazov were the core of the team working with the Sigma telescope. The former students and post-graduates working with them became serious researchers. M.L. Markevich made a considerable contribution to the ART-P data interpretation and A.V. Vikhlinin – to the Sigma telescope successful operation. The former compiled the map of a diffused X-ray radiation of the Galaxy's Center, the latter discovered quasi-periodical X-ray oscillations of several black hole candidates with the help of a bit elder colleagues. I.Yu. Lapshov and S.Yu. Sazonov obtained remarkable results from the WATCH instrument and O.V. Terekhov together with his students and post-graduates – from the Phebus instrument.

One of the main results obtained by the ART-P instrument consisted in proving that the galaxy's center had weak X-ray radiation as its luminosity was 8 orders less than the critical Eddington luminosity for a black hole with a mass of 2 mln solar masses. However it was known that almost all the nuclei of the

иллюстрации стр. 169

геновских и мягких гамма лучах (в широчайшем диапазоне – от 35 до 600 кэВ). Наблюдения привели к открытию неизвестного ранее источника с аномально жестким спектром Srg-A 1758-258, который был сразу идентифицирован как весьма вероятный кандидат в черные дыры. С тех пор этот источник активно исследуется другими рентгеновскими спутниками, наземными радио- и инфракрасными обсерваториями. Телескоп „Сигма" не смог зафиксировать жестких рентгеновских лучей от источника Srg-A, но получил интереснейшие пределы на его светимость, которые оказались близкими к точкам АРТ-П в стандартном диапазоне рентгеновских лучей от 2 до 30 кэВ.

Природа преподнесла „Гранату" необычайный сюрприз. 13 октября 1990 г. телескоп „Сигма" зафиксировал сильнейшую вспышку известного источника 1E 1740-2942 в диапазоне 400–600 кэВ. Полученные данные были интерпретированы как свидетельство аннигиляции электронно-позитронной плазмы вблизи черной дыры. Последовавшие радионаблюдения на крупнейшем телескопе апертурного синтеза VLA в США привели к обнаружению радиовыбросов у этого источника. Он был назван Великим Аннигилятором. Детальные исследования источника продолжаются по сей день. Приборы „Сигма" и АРТ-П получили уникальную информацию о переменности этого объекта во времени в течение многих лет.

Значительный интерес представляют регулярные наблюдения зоны центра Галактики телескопом „Сигма" весной и осенью в течение 9 лет, которые привели к открытию нескольких новых рентгеновских источников, но главное, показали, что два кандидата в черные дыры: Srg-A 1758-258 и 1E 1740-2942 дают основной вклад в излучение центральной зоны Галактики в жестких рентгеновских лучах. Открыты жесткие хвосты излучения, появляющиеся время от времени у источников рентгеновских всплесков – барстеров. Обнаружено, что в диапазоне выше 35 кэВ в зоне самой большой концентрации массы в нашей Галактике наблюдается лишь один рентгеновский пульсар – GX 1+4, а все остальные объекты либо рентгеновские барстеры, либо черные дыры.

Пожалуй, наиболее значимым открытием „Граната", с помощью прибора ВОТЧ, стало в августе 1992 г. источника GRS 1915+105 – самого мощного в Галактике. ВОТЧ следил за переменностью этого объекта и в марте 1994 г. зафиксировал сильное увеличение потока от него. Инициированные этим событием наблюдения Мирабеля и Родригеса на американской решетке апертурного синтеза VLA позволили обнаружить два релятивистских выброса, один из которых перемещался в картинной плоскости неба со скоростью, превышающей скорость света. Так был открыт первый в Галактике источник „со сверхсветовым" разлетом радиокомпонент. До этого такие объекты наблюдались лишь в ярчайших внегалактических радиоисточниках, связанных с активностью сверхмассивных черных дыр. Объект, невидимый до 1992 г., с тех пор проявляет себя на разных уровнях активности уже 7 лет. Он наблюдается как активный радиоисточник, выбрасывающий квазирегулярно облака релятивистских электронов, излучающих в радиолучах, а также как активный и сильно переменный инфракрасный источник. Во всей Галактике мы имеем сегодня пока лишь 3 рентгеновских источника со сверхсветовыми скоростями радиоджетов.

Широкий энергетический диапазон чувствительности, большие поля зрения, способность приборов „Граната" и „Кванта" строить изображения в рентгеновских лучах, наличие монитора всего неба ВОТЧ, позволили этим двум миссиям обнаружить немало неизвестных ранее рентгеновских источников. В частности,

active galaxies and quasars radiated at a level close the Eddington luminosity limit. This problem attracted attention of theoreticians from all over the world. Scientists processing the Granat data were invited to almost all the leading world conferences to present the reviews.

The first image of the Galaxy's center in the hard X-rays and soft gamma-rays within a very wide range from 35 to 600 keV was obtained by the Sigma telescope of the Granat satellite. The observations led to a discovery of a previously unknown radio source with an abnormally hard spectrum Srg-A 1758-258. This source was identified as a highly probable black hole candidate. Since that the source was actively studied by other X-ray satellites and ground-based radio and infrared observatories. The Sigma telescope could not register hard X-rays from the Srg-A source, but obtained interesting luminosity limits. These values were very close to those obtained from the ART-P data within the standard X-ray range from 2 to 30 keV.

The nature gave a surprise to the Granat observatory. On October 13, 1990 the Sigma telescope registered the strongest burst of a known source 1E 1740-2942 within a range of 400–600 kev. This data was interpreted as a manifestation of the electron-positron plasma annihilation in the vicinity of the black hole. Subsequent radio observations by the largest synthetic aperture telescope VLA (USA) discovered the radio bursts from this source. It was named the Great Annihilator. Detailed studies of the source are being continued. The Sigma and ART-P telescopes provided for unique data on this source temporal variability over many years.

Nine-year regular observations of the Galaxy's center with the Sigma telescope during spring and autumn are of top interest. This data made it possible to discover several new X-ray sources and what was the most important showed that two black hole candidates – Srg-A 1758-258 and 1E 1740-2942, made the main contribution to the Galaxy's center radiation in the hard X-rays. Hard radiation tails appearing from time to time from the X-ray bursts – bursters, were discovered. It was also discovered that only one X-ray pulsar GX 1+4 was observed within a range above 35 keV in the region of the highest mass concentration in our Galaxy. The other objects were either X-ray bursters or black holes.

The Srg-A 1915+105 source discovery by the WATCH instrument in August 1992 became possibly the most significant discovery made by the Granat observatory. This was the strongest source in the Galaxy. The WATCH instrument monitored the object's variability and in March 1994 it fixed strong flux intensification. The observations by Mirabel and Rodrigues using the U.S. VLA antenna initiated by this event made it possible to determine two relativistic outbursts . One of them was moving in the sky plane with a velocity exceeding the velocity of light. In this way the first in the Galaxy source with the superluminal velocity of the flying off radio components was discovered. Earlier these sources were only observed in the brightest extragalactic radio sources caused by the activity of the super massive black holes. For this object being invisible till 1992 various activity levels have been observed for already 7 years. This is an active radio source which quasi periodically ejects clouds of relativistic electrons emitting in the radio band. At the same time it is an active and strongly variable infrared source. At present in our Galaxy we have only three X-ray sources with the radio jets moving with speeds higher than the light speed.

pictures see page 169

оказалось, что черные дыры легче всего искать по их проявлениям в жестких рентгеновских лучах. „Гранат" и „Квант" открыли 7 рентгеновских новых и приняли активное участие в исследовании еще нескольких источников такого типа, обнаруженных другими спутниками. „Гранат" и „Квант" наблюдали за этими объектами и смогли получить немало уникальной информации об их свойствах. Были построены кривые блеска наблюдавшихся вспышек, но главное, обнаружены переходы из мягкого спектрального состояния в жесткое, подобные наблюдавшимся ранее у известнейшего кандидата в черные дыры – источника Лебедь X-1. Этот источник продемонстрировал в один из дней в своем спектре яркую линию вблизи 470 кэВ, которую можно было интерпретировать либо как сдвинутую гравитационным красным смещением линию аннигиляции электронов и позитронов, либо как линию синтеза лития или бериллия при столкновении быстрой альфа-частицы с ядром гелия в плазме аккреционного диска. Большой интерес представляли данные наблюдений Рентгеновской Новой в созвездии Муха. Интересно, что детальная оптическая спектроскопия звезд в двойных системах с рентгеновскими новыми показала необыкновенно высокое содержание лития на этих звездах. Такой результат получен и для Новой в Мухе.

„Гранатом" обнаружены квазипериодические осцилляции рентгеновского излучения от ряда общепризнанных кандидатов в черные дыры. Телескопом АРТ-П открыты низкочастотные (с частотой менее одного герца) квазипериодические осцилляции у источника GX 339-4, а затем телескопом „Сигма" – и у других источников. Сегодня эти данные, наряду с данными японского спутника GINGA, прибора BATSE и американского Rossi X-ray Timing Explorer, не оставляют сомнения в том, что квазипериодические осцилляции являются следствием гидродинамических процессов в аккреционном диске и несут информацию о физических условиях в потоках плазмы вблизи черных дыр.

Среди важнейших результатов „Граната" и „Кванта" открытие вспыхивающего рентгеновского пульсара Srg-A 0834-430, слежение за изменением периодов вращения дюжины рентгеновских пульсаров, обнаружение многих десятков рентгеновских всплесков от нейтронных звезд-барстеров, являющихся следствием ядерного пламени, пробегающего по поверхности аккрецирующей нейтронной звезды. Приборы ВОТЧ и „Фебус" позволили выполнить исследования гамма-всплесков в широчайшем диапазоне энергий от 8 кэВ до 100 МэВ. „Фебус" зафиксировал 208 космических гамма-всплесков. С помощью прибора ВОТЧ локализовано 47 источников с точностью порядка 0,5 °.

Очень интересными оказались и наблюдения солнечных вспышек прибором „Фебус". Начальная стадия работы „Граната" пришлась на максимум солнечной активности, в результате удалось наблюдать вспышки с ярчайшей линией 2,2 МэВ синтеза дейтерия. В каждой из таких вспышек на поверхности Солнца синтезировано несколько тонн дейтерия. Очевидно, затем этот дейтерий был вынесен солнечным ветром в межпланетное и межзвездное пространство. Данные „Граната" свидетельствуют о возможности синтеза в заметных количествах дейтерия, а также лития на поверхности вспыхивающих звезд.

В середине 80-х годов в отдел астрофизики высоких энергий влилась лаборатория гамма-астрономии, работавшая над проектом „Гамма-1". Опытные экспериментаторы В.А.Акимов, В.Е.Нестеров, Л.Ф.Калинкин и их коллеги отдавали все силы подготовке этого проекта, который из-за досадной неисправности дал гораздо меньше научных результатов, чем мог бы.

иллюстрации стр. 169

These two missions discovered many previously unknown X-ray sources due to the Granat and Kvant platforms' wide energy range, wide fields of view and their ability to reconstruct images in X-rays as well as their operation together with the all sky monitor WATCH. In particular it turned out that it was easier to search for black holes by their manifestations in the hard X-rays. Granat and Kvant discovered seven X-ray Novas and studied several other sources of that type discovered by other satellites. While observing these objects Granat and Kvant derived a large amount of the unique data on their properties. Light curves were plotted for the bursts observed. And what was the most important transfers from the soft spectral state into the hard one were detected. Earlier this was observed for the most well-known black hole candidate – the Cygnus X-1 source. The data on the X-ray Nova in the Musca constellation was also of interest. Once a bright line was observed in this source spectrum at about 470 keV. It could be interpreted as either the electron and positron annihilation line shifted by the gravitational red shift or a line of the lithium and beryllium synthesis during collisions of a fast alpha-particle with the helium nucleus in the accretion disk's plasma. Observations of the X-ray Nova in the Musca constellation were of top significance. It is interesting that the detailed optical spectroscopy for the stars in the double systems with X-ray Novas showed an extremely high lithium contents in these stars. Similar result was obtained for the Nova in the Musca constellation.

Granat discovered quasi periodical X-ray oscillations for a number of universally recognized black hole candidates. The ART-P telescope discovered low frequency (less than 1 Hz) quasi-periodical oscillations of the GX 339-4 source. Then the Sigma telescope detected similar variations for other sources. At present this data together with the data from the Japanese satellite GINGA, the BATSE instrument and the U.S. Rossi X-ray Timing Explorer leave no doubts for the fact that the quasi-periodical oscillations were caused by the hydrodynamic processes in the accretion disk and carried information on the physical conditions in the plasma flows near the black holes.

The other important results obtained by Granat and Kvant are as follows: discovery of the flaring X-ray pulsar GRS-0834-430, monitoring of changes in the rotation periods for a dozen of X-ray pulsars, detection of several dozens of the X-ray bursts from the neutron star-barsters caused by the nuclear flame running over the accreting neutron star's surface. The WATCH and Phebus instruments studied gamma-ray bursts within a wide energy range from 8 keV to 100 MeV. Phebus registered 208 cosmic gamma-ray bursts. The WATCH instrument enabled location of 47 sources with an accuracy of about 0.5°.

The data on the solar flares obtained by the Phebus instrument was also interesting. At the first stage of the Granat observatory operation the solar activity was maximal. Thus flares with the deuterium synthesis brightest line at 2.2 MeV were observed. Several tons of deuterium were synthesized on the Sun's surface during each flare. Then this deuterium was obviously carried into the interplanetary and interstellar space by the solar wind. The Granat data proved the possibility of the deuterium and lithium synthesis on a considerable amount on the surfaces of the flaring stars.

In the middle of the 1980s the laboratory for gamma-ray astronomy then developing the Gamma-1 project joined the department for high energy astrophysics. Experienced experi-

К этому времени астрофизики стали осознавать необходимость перехода к новым проектам, в которых использовались бы рентгеновская оптика косого падения, позволяющая в сотни раз увеличить чувствительность телескопов по сравнению с приборами с кодирующей апертурой. Во время празднования 30-летия запуска первого спутника в Москве состоялся большой международный симпозиум, на котором ученые из Англии, Дании, Финляндии, Италии, ГДР и России, предложили концепцию международной высокоапогейной рентгеновской обсерватории с телескопами косого падения и рядом других приборов. Проект, названый „Спектр-Рентген-Гамма", получил широкую поддержку многих научных групп. Сейчас, имея за спиной заметную долю летных приборов и весь технологический комплект аппаратуры, совершенно очевидно, как важно было в то время, пока страна еще выделяла достаточные деньги на научный космос, двигаться вперед с этим проектом. К сожалению однако, уже тогда многое было упущено. Долгое время не могли решить вопрос, какому проекту быть первым – „Спектр-Радиоастрон" или „Спектр-Рентген-Гамма". Если бы удалось сразу прийти к компромиссу: делается астрофизический модуль под более тяжелую нагрузку, а окончательное решение о приборном составе принимается позже, то „Спектр-Рентген-Гамма", а возможно и „Радиоастрон", уже находились бы на орбите и давали полезнейшую информацию. К сожалению, и сегодня, через 12 лет после утверждения проекта, продолжают тратиться громадные силы, используются значительные ресурсы для доведения его до запуска.

Вспоминается обсуждение в это же время полезной научной нагрузки для ракеты „Энергия". Советы „Интеркосмос" и по внеатмосферной астрономии АН СССР выступили с инициативой вывода на этом мощнейшем советском носителе астрофизических приборов из европейских стран. При этом было очевидно, что разумную обсерваторию в странах Европы можно создать лишь под ракету „Протон". В конечном итоге были предложены 3 проекта: запуск гигантской радиоантенны на носителе „Энергия", гамма-обсерватории на „Протоне" и инфракрасной обсерватории также на „Протоне". Запуск гамма-обсерватории воплотился в проект „Интеграл" Европейского космического агентства. Отбор аппаратурных предложений в ЕКА проходил уже после распада Советского Союза, но Российское правительство, космическое агентство и Академия наук поддержали участие России в проекте, и он, благодаря этому, был одобрен.

Опыт „Граната" показал привлекательность работы астрофизической обсерватории за пределами радиационных поясов Земли. И именно на такую орбиту „Интеграл" может быть выведен ракетой-носителем „Протон". Основными задачами проекта станут наблюдения источников излучения в ядерных гамма-линиях и электронно-позитронной аннигиляционной линии, поиск новых черных дыр в Галактике и детальные исследования гамма-блазаров – релятивистских выбросов во внегалактических объектах, сопровождающихся сильными вспышками в диапазоне гамма-лучей. Для исследования процессов нуклеосинтеза при взрывах сверхновых будут использовать охлаждаемые германиевые детекторы, позволяющие производить тонкую спектроскопию в области жестких рентгеновских и гамма-лучей вплоть до энергий 10 МэВ. Приличное угловое разрешение основных приборов должно обеспечиваться использованием кодирующей апертуры и позиционно-чувствительных детекторов.

В рамках проекта „Спектр-Рентген-Гамма" предполагается, что Россия получит 50 процентов данных со всех приборов обсер-

menters V.A. Akimov, V.Ye. Nesterov, L.F. Kalinkin and their colleagues did their best for this mission preparation. However the scientific output was less than could be expected due to a malfunction.

By that time the need in a transfer to new projects with the X-ray oblique optics was evident. This optics could increase the telescope's sensitivity hundred times compared to the instruments based on the coding aperture. During the celebration of the 30th anniversary of the first artificial satellite launch a representative international symposium took place in Moscow. At this symposium scientists from Great Britain, Denmark, Finland, Italy, GDR and Russia proposed a concept for an international high-apogee observatory with the oblique telescopes and some other instruments. Many research teams in the former Soviet Union and abroad supported the mission named Spectrum-Roentgen-Gamma. At present having created almost all the flight models of the scientific payload as well as the housekeeping systems, we understand that it was important to advance the mission at that time when the country was allotting sufficient financing for the scientific space research. Unfortunately much was missed even at that time. The question about the priority distribution between the Spektr-Radioastron project of the department for astrophysics and Spektr-Roentgen-Gamma project of the department for high energies was not solved for a long time. The best decision could be a compromise – an astro-physical module should be created for a heavier payload and a final decision about its configuration should be made at the later stages. In this case the Spectrum-Roentgen-Gamma and possibly Radioastron could be already in orbit and transmit the data. Unfortunately this was not done and now, twelve years later the project has been approved but enormous efforts are still made to prepare the instruments for the launch.

A discussion of the payload configuration for the Energiya rocket is recollected. The Intercosmos Council and the Council for extra-atmosphere astronomy of the USSR Academy of Sciences proposed to use this heaviest launcher for the European astrophysical instruments delivery to orbit. At that time everybody realized that the European countries could create a reasonable design observatory for the Proton launch vehicle only. Finally three missions were proposed including launch of a giant radio antenna by the Energiya launch vehicle, of the gamma-ray observatory by the Proton launcher and the infrared observatory also by Proton. The gamma-ray observatory mission was transformed into the Integral mission of the European Space Agency. ESA selected the proposals for the payload after the USSR collapse. However The Russian Government, the Russian Space Agency and the Academy of Sciences supported Russia's participation in the mission and due to this support the project was approved.

The Granat experience showed the expediency of the astrophysical observatory operation beyond the terrestrial radiation belts. Namely to this orbit Proton can deliver the Integral observatory. The project's main tasks will include observations of the radiation sources in the nuclear gamma-ray lines and electron-positron annihilation line, search for new black holes in the Galaxy and detailed studies of the gamma-blazars. The latter are the relativistic outbursts of the extra-galactic objects accompanied with strong bursts in the gamma-ray range. In order to study the nucleosynthesis during Supernova flares cooled germanium detectors will be used. These detectors fulfill fine spectroscopy in the hard X-rays and gamma-rays up to the energies

pictures see page 169

ватории за создание космического аппарата, его запуск, сброс и прием данных в течение первых 3 гарантированных лет работы обсерватории. Страны, поставляющие приборы, включая Россию, делят между собой оставшееся наблюдательное время пропорционально их вкладу в создание того или иного телескопа. В соответствии с подписанными соглашениями Россия будет иметь от 56 (телескоп JET-X) до 100 процентов наблюдательного времени на различных приборах обсерватории. На крупнейшем телескопе „Содарт" российская квота составляет 73 процента.

Иначе обстоит дело с проектом „Интеграл". Российская сторона предложила, чтобы все дополнительное наблюдательное время, которое даст вывод спутника на орбиту ракетой „Протон" по сравнению с запуском американским носителем, должно принадлежать России. При этом европейским ученым не нужно будет оплачивать сам запуск, и им гарантируется тот же объем наблюдательного времени, как и в случае использования американского носителя. Предварительные прикидки, сделанные Н.А.Эйсмонтом, показали, что орбита, обеспечиваемая „Протоном", дает в 1,5 раза больше полезного времени, чем при запуске американским носителем. Это означало, что Россия должна будет получить более трети всего наблюдательного времени миссии. Естественно, сразу же возникли аргументы об относительной дешевизне „Протона" по сравнению с полной стоимостью миссии и, как следствие, предложение согласиться на 10–12 процентов и на том успокоиться. Тем не менее, все хорошо понимали и преимущества „Протона", насколько он важен для успеха проекта. В результате принимается компромиссное решение – Россия получает 25 процентов наблюдательного времени проекта, не вкладывая ни одного рубля в создание космического аппарата и научных приборов, общая стоимость которых превышает 500 млн долларов. В ходе дальнейших переговоров РКА и промышленность смогли добиться дополнительных контрактов на „адаптацию спутника к носителю" в размере около 10 млн долларов.

Отдел астрофизики высоких энергий предложил также использовать обе обсерватории („Спектр-РГ" и „Интеграл") как „национальные". Это означает, что любой сотрудник любого научного или учебного учреждения России может подать заявку на наблюдение того или иного объекта любым инструментом обсерватории в рамках национальной квоты наблюдательного времени. Техническая группа проекта должна оценить реальность наблюдений и лучшее календарное время для их осуществления, проверить реальность оценок требуемого наблюдательного времени и возможность получения ожидаемых результатов (не с научной, а лишь с технической точки зрения!). На подготовку и отладку приборов отводится в среднем 25 процентов российской квоты наблюдательного времени. Российский научный комитет по распределению наблюдательного времени, состоящий из представителей головных университетов страны и научных учреждений РАН, ведущих активные исследования в области астрофизики высоких энергий, проводит конкурс полученных заявок и отбирает наиболее интересные из них, заполняя оставшиеся 75% в национальной квоты (по требованию группы ФТИ им.А.Ф.Иоффе и Лос-Аламосской Национальной Обсерватории данные всенаправленных приборов обсерватории „Спектр-Рентген-Гамма" – монитора всего неба МОХЕ и гамма-всплеского комплекса СПИН, останутся в собственности лишь создающих их групп).

Данные будут принадлежать ученому, выигравшему конкурс, лишь в течение одного года после их получения. За это время он должен обработать информацию, получить результат и написать

of 10 MeV. The coding aperture and the positioning sensitive detectors should provide for the good angular resolution of the main instruments.

The Spectrum-Roentgen-Gamma mission plans that Russia will acquire 50 percent of the data transmitted by all instruments of the observatory. This is the compensation for the spacecraft creation, launch, data up- and downlinking during the first three guaranteed years of the spacecraft operation. The countries delivering instruments, including Russia, share the rest observation time proportionally to their contribution to the creation of any of the telescopes. According to the signed contracts Russia owns 56 (JET-X telescope) to 100 percent of the observation time for the observatory's various instruments. Russia's quota is 73 percent for the largest telescope Sodart.

The situation with the Integral project is different. Russian side proposed that all the additional observation time gained due to the satellite launch by Proton in contrast to the U.S. launch vehicle should belong to Russia. In this situation the European scientists would not pay for the launch, they would have the same guaranteed observation interval as for the U.S. launcher. Preliminary estimates made by N.A. Eismont showed that the Proton's orbit provides for 1.5 times more observation time in contrast to the U.S. launcher. This meant that Russia had to own more than one third of the mission observation time. Naturally the question about the Proton relative cheapness in contrast to the whole mission cost immediately arose. Consequently Russia was proposed to own 10–12 percent. Nevertheless everybody understood the Proton advantages and its importance for the mission success. A compromise was the final decision. According to this Russia had 25 percent of the observation time paying nothing for the spacecraft and the payload whose total cost exceeded U.S. $500 mln. After discussion the Russian Space Agency and the industry got additional contracts for the payload adaptation to the launcher costing of about U.S. $10 mln.

The department for high energy astrophysics proposed to use two observatories (SRG and Integral) as the „national" ones. This meant that any member of any research or educational institution in Russia could place a request to observe any space body with any instrument carried by the observatory within the framework of the observation time quota. The mission's technical team had to assess the observation feasibility and the best time for the observations as well as to verify the reality of the assessments of the required observation time and the possibility of obtaining the expected results (considering not scientific but engineering capability only). In average 25 percent of Russia's quota was allotted for the instruments' preparation and adjustment. The Russian scientific committee on the distribution of the observation time includes representatives of the leading universities and the academic institutions which conduct active studies in the field of high energy astrophysics. This committee analyzes the most interesting requests filling the rest 75 percent of the national quota (on a request of a team from the Ioffe Physical Technological Institute and the Los Alamos National Observatory the data of the Spectrum-Roentgen-Gamma omnidirectional instruments – all sky monitor MOXE and the SPIN gamma-ray burst detector – belongs to their designers only).

The data shall belong to a scientist who wins the competition, during only a year after the data obtaining. He has to process the data, to obtain a result and prepare an article. After a

иллюстрации стр. 169

статью. По истечении года данные открываются для всего сообщества российских ученых. В ИКИ будут созданы архивы обоих миссий с целью дальнейшего обеспечения доступа к ним всем заинтересованным российским ученым. На выработку такой концепции ушло около 10 лет. Сегодня в отделе астрофизики высоких энергий создана первая очередь архива данных испытаний и калибровок приборов „Спектр-Рентген-Гамма". Начинается работа по созданию Российского центра данных проекта „Интеграл".

До планируемой даты запуска обсерватории „Интеграл" осталось два года. Сроки выведения на орбиту обсерватории „Спектр-Рентген-Гамма" зависят от выделяемого финансирования. Начинаются стыковки технологического комплекса научной аппаратуры с космическим аппаратом. Многое будет зависеть от слаженности работы ведущих по приборам из отдела астрофизики высоких энергий с сотрудниками НПО им.С.А.Лавочкина, РНИИКП, ХАРТРОНа, комплексного отдела Б.С.Новикова. Значительные организационные усилия потребует эта работа и от руководства отдела – О.В.Терехова, М.Н.Павлинского, Е.Б.Цукермана.

Интерпретация данных экспериментальных наблюдений невозможна без глубокого понимания и развития теории релятивистской астрофизики и космологии. Поэтому отдел активно сотрудничает в этой области с теоретическим Институтом астрофизики общества Макса Планка в Германии, с Институтом теоретической физики им.Л.Д.Ландау, с мехматом МГУ, с отделом теоретической астрофизики ГАИШ, с ФТИ им.А.Ф.Иоффе и ИПФ в Нижнем Новгороде.

Сотрудники отдела хотели бы иметь также возможность идентифицировать в оптических и инфракрасных лучах открываемые ими новые источники. Для этого последние четыре года совместно с Казанским университетом и Средневосточным университетом в Анкаре ведутся работы по отладке и оснащению научными инструментами полутораметрового телескопа Казанского университета на горе Бакырлы-Тепе в 60 км к северу от Антальи (Турция). Квота отдела в наблюдательном времени этого телескопа составляет 15 процентов, но по договоренности с другими участниками он будет иметь преимущество в случае появления на небе новых интересных объектов.

Отдел готовится также к активному использованию открытых данных американской обсерватории CHANDRA, европейской XMM и японской ASTRO-E. Следующее десятилетие обещает быть замечательным временем для астрофизики высоких энергий. Никогда в космосе не было такого количества уникальных рентгеновских телескопов, решающих различные задачи наблюдательной рентгеновской астрономии. Достойное место среди них по праву будет принадлежать обсерватории „Спектр-Рентген-Гамма" с ее уникальными поляриметром и Брегговским спектрометром телескопа „Содарт" с высокой чувствительностью до энергий 15 кэВ, замечательными свойствами объединенного европейского рентгеновского телескопа JET-X и ультрафиолетового телескопа TAUVEX. Ни одна другая обсерватория начала следующего тысячелетия не сможет конкурировать и с проектом „Интеграл". Отдел надеется на поддержку других подразделений ИКИ в решении тяжелейших задач по работе над этими крупнейшими проектами современной астрофизики высоких энергий.

В июле 1999 года исполнилось 25 лет, как Я.Б.Зельдович перевел часть своих сотрудников в ИКИ. Все это время отдел считался молодым. Хочется верить, что он останется таким и дальше, что молодежь будет продолжать приходить в отдел и работать в нем во имя будущего науки.

year the data is open for the whole Russian scientific community. IKI will create archives of the both missions to provide an access to the data for all the interested Russian scientists. This concept development took 10 years. At present the department for high energy astrophysics created the first level archive for the data obtained during the Spectrum-Roentgen-Gamma instrumentation tests and calibrations. The Russian Center for the Integral mission data is being created.

Two years are left till the Integral observatory planned launch. The terms of the Spectrum-Roentgen-Gamma delivery to orbit depend on the allotted funding. Integration of the scientific payload with the spacecraft begins. The coordinated work of specialists from the department for high energy astrophysics responsible for the instrumentation development and those from the Lavochkin Association, the Russian Institute for Space Device Engineering, Khartron and from the IKI department for scientific-engineering support headed by B.S. Novikov is very important. Many efforts should be made by the department's leaders – O.V. Terekhov, M.N. Pavlinsky and Ye.B. Tsukerman.

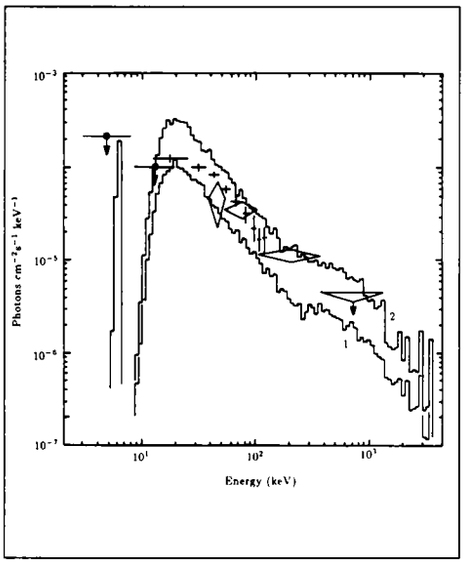
Experimental data interpretation is impossible without deep understanding and development of a theory of the relativistic astrophysics and cosmology. That is why the department works in cooperation with the theoretical Institute for Astrophysics of the Max Planck Society in Germany, Landau Institute for Theoretical Physics, Mechanical and Mathematical faculty of Moscow State University, the department for theoretical astrophysics of the Sternberg State Astrophysical Institute, Ioffe Physical Technological Institute and the Institute for Applied Physics in Nizhny Novgorod.

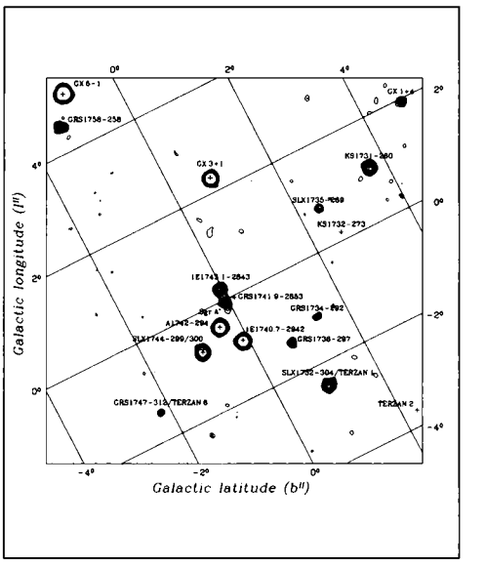
The department staff would like to have an opportunity to identify the discovered sources in optical and infrared rays. For this the 1.5 m telescope of the Kazan university on the Bakyrly-Tepe mountain 60 km North from Antalia (Turkey) is being adjusted and equipped with scientific instruments. The department's quota in this telescope observation time is 15 percent. However in accordance with the agreement with the other participants the department will have an advantage in case if new interesting objects appear in the sky.

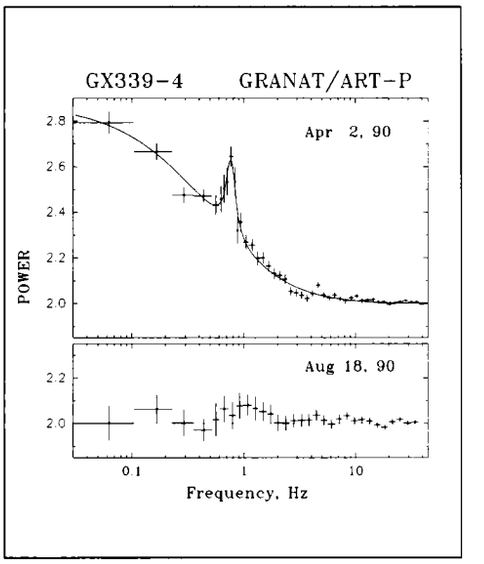
The department is preparing for efficient processing of the open data of the U.S. observatory CHANDRA, European XMM and Japanese ASTRO-E. The next decade promises to be the excellent time for the high energy astrophysics. So many unique X-ray telescopes solving various X-ray astronomy tasks have never operated in space simultaneously. The Spectrum-Roentgen-Gamma observatory with its unique polarimeter and the Sodart telescope's Bregg spectrometer, with a high sensitivity of up to 15 keV, perfect properties of the joint European X-ray telescope JET-X and UV telescope TAUVEX, will occupy the worthy place among the X-ray telescopes. In the beginning of the next millenium there will be no any other observatory to compete with the Integral project. The department hopes that other IKI subdivisions will support them in solving hard tasks arising during the development of these largest-scale projects in the modern high energy astrophysics.

In July 1999 there will be the 25th anniversary of Ya.B. Zeldovich and his team transfer to IKI. All this time the department was considered to be young. We hope that it remains young and that young people come to the department and work there in the name of the science's future.

pictures see page 169







Спектр жесткого рентгеновского и гамма-излучения Сверхновой 1987A, зарегистрированный приборами обсерватории „Рентген" на модуле „Квант" в конце августа 1987 года, и его сравнение с результатами расчетов методом Монте-Карло, выполненных в предположении, что жесткое излучение формируется при радиоактивном распаде ^{56}Co в оболочке Сверхновой на 180 (1) и 210 (2) дни после взрыва в результате многократных комптоновских рассеяний и действия фотопоглощения

Hard X-ray and gamma-ray spectrum of the Supernova 1987A registered by the instruments of the Roentgen observatory of the Kvant module at the end of August 1987. Its correlation with the calculated estimates obtained by the Mote-Carlo method made with the assumption that the hard radiation was formed during the ^{56}Co decay in the Supernova envelope on the 180th (1) and 210th (2) days after the burst as a result of multiple Compton scattering and photo absorption

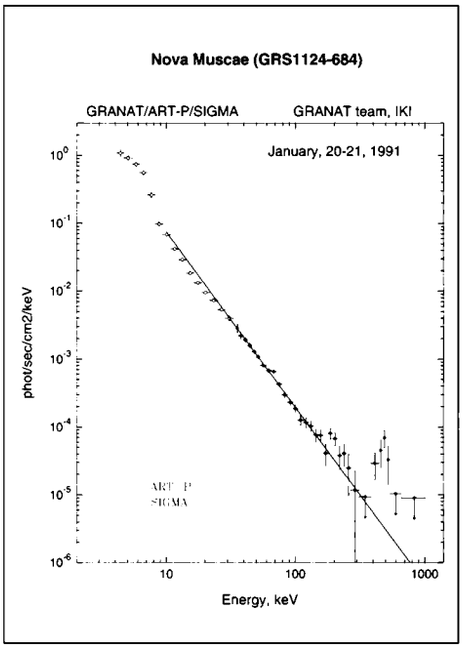
Рентгеновское изображение поля Галактического центра размером 8°x8° в диапазоне энергий 3–17 кэВ, полученное телескопом АРТ-П обсерватории „Гранат" в сентябре–октябре 1990 г. Во время этих наблюдений были открыты сразу три ранее неизвестных рентгеновских источника: GRS1734-292, GRS1736-297 и GRS1747-312. Диффузная компонента излучения была удалена из изображения в процессе обработки

. X-ray image of the Galaxy's center with a dimension of 8°x8° within the energy range of 3 to 17 keV obtained by the ART-P telescope of the Granat observatory in September-October 1990. Three new X-ray sources were discovered: Sgr-A 1734-292, Srg-A 1736-297 and Srg-A 1747-312. The radiation diffusive component was removed from the image during processing

Спектры мощности рентгеновского излучения GX339-4 в диапазоне энергий 3–25 кэВ, полученные в 1990 г. во время наблюдений этого источника телескопом АРТ-П „жестком" (верхняя панель) и „мягком" (нижняя панель) состоянии. Уровень „белого" шума показан пунктиром. Пик вблизи 0,8 Гц в спектре мощности на верхней панели свидетельствует о квазипериодических осцилляциях потока рентгеновского излучения GX339–4 во время его „жесткого" спектрального состояния

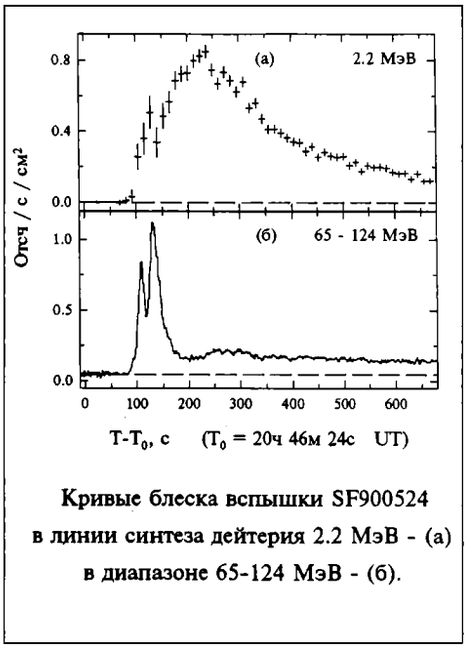
GX 339-4 X-ray intensity spectra within an energy range of 3–25 keV obtained in 1990 by the ART-P telescope for the hard (upper panel) and soft (lower panel) state. The white noise level is shown with a dashed line. The peak at 0.8 Hz in the intensity spectrum on the upper panel gives evidence about the quasi-periodical oscillations of the X-ray flux of GX 339-4 for its hard spectral state

иллюстрации стр. 169



Спектр рентгеновского излучения Новой в созвездии Мухи (GRS1124-68), зарегистрированный телескопами АРТ-П и „Сигма" в январе 1991 года

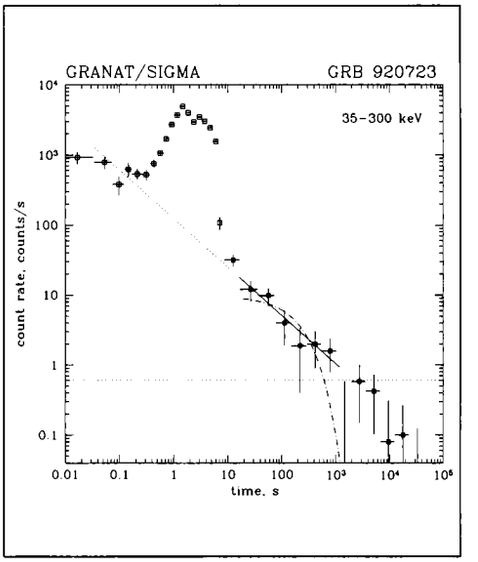
X-ray spectrum of the Supernova in the Musca constellation (Sgr-A 1124-68) registered by the ART-P and Sigma telescopes in January 1991



Кривые блеска вспышки SF900524 в линии синтеза дейтерия 2.2 МэВ - (а) в диапазоне 65-124 МэВ - (б).

Линия излучения дейтерия, синтезированного во время мощной вспышки на Солнце

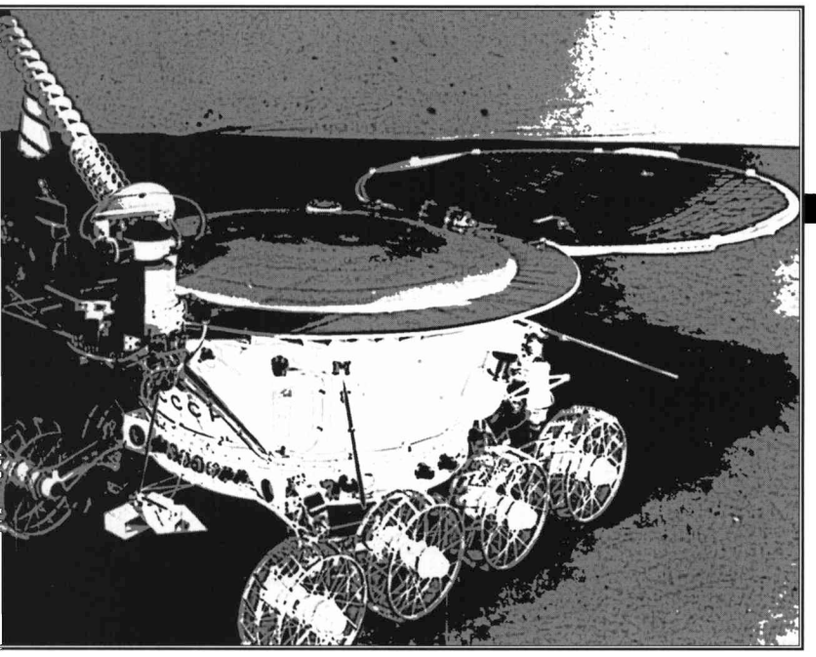
The emission line of deuterium synthesized during a strong solar flare



Первое наблюдение мягкого гамма послесвечения яркого космического гамма-всплеска 23 июля 1992 г., оказавшегося в поле зрения вторичной оптики телескопа „Сигма" обсерватории „Гранат". Кривая блеска основного события плавно переходит в послесвечение, в котором поток спадает по степенному закону с показателем -0.7

The first observation of the soft gamma-ray afterglow of the bright cosmic gamma-ray burst on July 23, 1992. The signal was registered by the secondary optics of the Sigma telescope of the Granat observatory. The light curve of the main event smoothly transfers into an afterglow in which the flux reduces according to the degree law with an index of -0.7

pictures see page 169



Отдел Луны и планет

Department for studying the Moon and planets

Научное руководство формированием планетного направления во вновь организуемом Институте космических исследовании его первый директор академик Г.И.Петров передал в руки вице-президента Академии наук, курировавшего Секцию наук о Земле, директора Института геохимии и аналитической химии им.В.И.Вернадского, многоопытного академика А.П.Виноградова.

Практическое руководство созданием отдела Луны и планет в ИКИ А.П.Виноградов возложил на своего сотрудника по ГЕОХИ АН СССР К.П.Флоренского, широко известного тогда в научном мире преимущественно по экспедициям в район падения Тунгусского метеорита. Человек с необыкновенной биографией, достойный наследник двух выдающихся учителей – своего отца, великого русского религиозного мыслителя, ученого и инженера Павла Александровича Флоренского, и академика Владимира Ивановича Вернадского, К.П.Флоренский был на редкость вдумчивым и глубоким исследователем. А.П.Виноградов безгранично доверял ему, если не в практическом, то в научном отношении.

К.П.Флоренский убедил А.П.Виноградова отказаться от мысли привлекать в новый отдел уже сложившихся зрелых ученых с устоявшимися исследовательскими приоритетами. Ставка была сделана на создание, по возможности, сплоченного коллектива на основе способной молодежи из числа кандидатов наук, аспирантов и молодых специалистов. Один за другим в отдел приходили впоследствии хорошо зарекомендовавшие себя на исследовательской работе А.Т.Базилевский, Г.А.Бурба, Н.Н.Гребенник, А.В.Иванов, А.А.Конопихин, А.И.Косолапов, Р.Г.Кузмин, В.П.Полосухин, А.А.Пронин, О.Д.Роде, Н.П.Словохотова, К.Б.Шингарева и многие другие.

По своим специализациям они представляли широкий спектр научных и инженерных дисциплин: общую и инженерную геологию, геохимию, геоморфологию, астрометрию и астрономо-геодезию, картографию. В таком необычном подборе кадров заключалась суть замысла А.П.Виноградова и К.П.Флоренского: собрать в головном Институте по космическим исследованиям Академии наук не еще одну узкопрофильную лабораторию, а междисциплинарный коллектив, способный без ежедневных обращений к другим научным организациям самостоятельно и комплексно решать насущные задачи, диктуемые развитием планетных космических исследований.

иллюстрации стр. 171

The first director of the newly established Space Research Institute academician G.I. Petrov devolved scientific supervision of the planetary research division upon the Vice-President of the Academy of Sciences highly experienced scientist, academician A.P. Vinogradov. At that time he was the director of the Vernadsky Institute for Geochemistry and Analytical Chemistry of the USSR Academy of Sciences and supervised the Section of Earth sciences.

A.P. Vinogradov entrusted his colleague in the Vernadsky institute to administrate the formation of the department for studying the Moon and the planets. K.P.Florensky was well-known in the scientific circles mainly for his expeditions to the region of the Tunguss meteorite fall. The man with exceptional biography was a worthy successor of the two outstanding teachers. One of them was his farther Pavel A. Florensky, a great Russian religious thinker, scientist and engineer, the other – academician Vladimir I. Vernadsky. K.P. Florensky was a person of an uncommon ability to contemplate and deeply research the scientific problems. A.P. Vinogradov boundlessly trusted him in the scientific aspects.

K.P. Florensky convinced A.P. Vinogradov to give up the idea of involving mature scientists with the fixed research priorities. He proposed to create a team of gifted young people, including scientists with a Ph.D., post-graduate students and young specialists. The following specialists joined the departments one by one: A.T. Bazilevsky, G.A. Burba, N.N. Grebennik, A.V. Ivanov, A.A. Konopikhin, A.I. Kosolapov, R.G.Kuzmin, V.P.Polosukhin, A.A. Pronin, O.D. Rode, N.P. Slovokhotova, K.B. Shingariova and many others. Afterwards they proved to be good as researches.

These new employees had the most various specialties both in scientific and engineering applications, including general and engineering geology, geochemistry, geomorphology, astrometry, astronomic geodesy and cartography. This was an unusual idea of A.P. Vinogradov and K.P. Florensky – to gather in the leading space institute of the Academy of Sciences not a highly specialized laboratory but an interdisciplinary team capable to independently solve the planetary research problems without addressing other institutes every day.

По мере развития отдела, сосредоточенного вначале исключительно на практических запросах космонавтики, его ведущей научной проблемой становится сравнительное изучение эндогенных (внутренних) и экзогенных (внешних) факторов формирования поверхности Луны и планет. Космические фотографии Луны, Марса, Меркурия открывали для решения этой проблемы совершенно новые возможности. К исследованиям привлекались, разумеется, и данные по земным кратерам как естественного (вулканизм, метеоритные удары), так и искусственного (взрывного) происхождения. По этой проблеме было налажено сотрудничество с польскими учеными из Познани.

Указанная тематика в дальнейшем органично включала исследования, связанные с анализом образцов грунта, доставленных на Землю из нескольких, различных по своему геологическому строению, регионов Луны. В целом, работы по анализу лунного грунта координировались ГЕОХИ АН СССР, где была развернута соответствующая приемная лаборатория (Ю.А.Сурков). Вместе с тем, сотрудники отдела Луны и планет ИКИ (К.П.Флоренский, А.В.Иванов, О.Д.Роде и другие) принимали активное участие как в разработке самой приемной лаборатории, так и в изучении образцов.

При участии Казанского университета (Ш.Т.Хабибуллин и Н.Г.Ризванов) и Пулковской обсерватории (Х.И.Поттер) в отделе велись интенсивные работы по сравнительному анализу точности существующих селенодезических координатных систем и созданию новой абсолютной системы. На далекую перспективу разрабатывался сложный эксперимент по изучению движения оси вращения Луны в ее теле, имеющий принципиальное геофизическое значение для суждения об особенностях внутреннего строения Луны (А.А.Гурштейн, А.А.Конопихин и А.Н.Санович).

И все-таки на первом месте в деятельности отдела – не столько может быть по значимости, сколько по трудоемкости – всегда стояли прикладные работы по обеспечению полетов космических аппаратов, прежде всего, к Луне. Начиная с первого аппарата бабакинской лунной серии, получившего официальное название „Луна-15“, и до завершения программы, отдел Луны и планет готовил к каждому полету всю необходимую документацию по выбору места посадки и исходные селенодезические данные, необходимые для управления космическим аппаратом на этапе схода с окололунной орбиты и мягкой посадки, карты, а когда было возможно – фотопленки. Этим занимались в той или иной степени практически все сотрудники отдела.

Совместно с ОПМ МИ АН СССР (отдел академика Д.Е.Охоцимского) и КБ во главе с Г.Н.Бабакиным (О.Г.Ивановский и другие) в отделе был разработан и внедрен в практику защищенный авторским свидетельством специальный метод определения координат лунного аппарата после его мягкой посадки без установки дополнительной измерительной бортовой аппаратуры. Впервые метод был реализован при отождествлении точки посадки „Лунохода-2“ и применялся в последующих полетах лунных автоматов. В итоге, при определении места забора образцов лунного грунта счет шел уже не на километры, как в первых экспериментах, а на метры, а научная программа движения „Лунохода-2“ на поверхности Луны могла планироваться в соответствии с реальной геоморфологической обстановкой. В совокупности с подготавливаемыми в отделе картографическими документами с их специальной морфологической и геологической нагрузкой все это создавало прочную основу успешного решения разнообразных научных задач.

At first the department dealt exclusively with the astronautics' applied problems. With years to pass the department's scientific goal shifted towards the comparative study of the endogenic (internal) and exogenic (external) factors of the Moon's and the planets' surface formation. Space photos of the Moon, Mars and Mercury opened absolutely new opportunities for this problem solution. Naturally the data on the terrestrial craters of both natural (volcanism, meteorite impacts) and artificial (explosive) origin was used in the studies. This problem was solved in cooperation with Polish scientists from Poznan.

Later on this research organically combined the analysis of the soil samples delivered to Earth from several differing in geology lunar regions. Vernadsky Institute coordinated the lunar soil analysis. A receiving laboratory (Yu.A. Surkov) was specially established at this Institute. At the same time the specialists from the IKI department for the Moon and planetary studies (K.P. Florensky, A.V. Ivanov, O.D. Rode and others) actively participated in both this receiving laboratory development and sample examination.

The department intensively worked on a comparative analysis of the accuracy of the existing selenodetic coordinate systems and a new absolute system development. This study was fulfilled in cooperation with the Kazan university (Sh.T. Khabibullin and N.G. Rizvanov) and the Pulkovo observatory (Kh.I. Potter). For the remote future this joint team was developing a sophisticated experiment on studying the motion of the Moon's revolution axis in its body. This study was of a principle importance for the geophysical understanding of the Moon's internal structure (A.A. Gurshtein, A.A. Konopikhin and A.N. Sanovich).

Nevertheless applied works on supporting spacecraft flights towards first and foremost the Moon had the top priority in the department's activity. This concerned not significance but the efforts contributed. The department prepared all the necessary documentation for the landing site choice and the initial selenodetic data required for spacecraft control at the stage of leaving the circumllunar orbit and soft landing, maps and when possible photo films. This was done beginning from the first spacecraft of the Babakin lunar series, officially called Luna-15 until the program completion. Almost all the staff was more or less involved in this program.

In cooperation with the department for applied mathematics (headed by academician D.Ye. Okhotsimsky) of the Mathematical Institute of the USSR Academy of Sciences and the Lavochkin Design Bureau headed by G.N. Babakin (O.G. Ivanovsky and others) the department developed and introduced into practice a special technique for the lunar spacecraft positioning after its soft landing without additional measuring onboard equipment. The technique got a certificate. For the first time this technique was tested for the identification of the Lunokhod-2 landing site, and was used for the subsequent lunar spacecraft. As a result the site for the lunar soil sampling was defined with an accuracy of not kilometers as in the first experiments but meters. In addition the research program of the Lunokhod-2 motion on the Moon's surface could be planned taking into account the real geomorphological situation. This, together with the prepared by the department cartographic documents and their special morphological and geological contents, provided for a good basis for an efficient solution of various scientific tasks.

pictures see page 171

Сегодня трудно даже представить, сколько сил и времени было затрачено сотрудниками отдела на подготовку множества технических заданий на все системы и узлы космических аппаратов, так или иначе взаимодействующие с поверхностью Луны: посадочные устройства, ходовые шасси, радиолокационные системы управления снижением и посадкой. В отделе разрабатывались макеты и стенды, подбирались полигоны для натурных испытаний, моделирования посадки, испытаний научных приборов и инструментов. Вместе с разработчиками отдел активно участвовал в натурных испытаниях шасси будущих планетоходов в условиях Камчатки. Как уже отмечалось, именно в отделе выбирались районы посадок и работы лунных космических аппаратов, готовились исходные данные для их управления, намечались маршруты луноходов и конкретные места выполнения научных экспериментов, создавались необходимые картографические документы. Заметим, что требования по многим космическим экспериментам зачастую противоречили друг другу, и составление графиков работы на Луне было задачей не только неблагодарной, но еще и связанной с разрешением неизбежно возникавших между экспериментаторами конфликтов.

Огромный объем выполненных в отделе работ относился к разработке предложений по пилотируемой экспедиции на Луну, инициированных академиком В.П.Глушко. Это была работа, что называется „на износ", требовавшая полной отдачи сил и выполнявшаяся в предельно сжатые сроки. Были сформулированы цели и задачи лунной экспедиции, определен комплекс экспериментов и необходимого научного оборудования, выбраны места посадок серии экспедиций и, в сотрудничестве с кооперацией соответствующих картографических организаций, подготовлено надлежащее картографическое обеспечение. Наконец, в отделе была разработана перспективная взаимоувязанная программа изучения Луны космическими автоматами в сочетании с кратковременными пилотируемыми экспедициями и последующим переходом к созданию долговременной геофизической лунной базы.

Нет вины сотрудников отдела в том, что многие их перспективные проработки вскоре легли в архивы до лучших времен. Вместе с тем, без этой кропотливой работы не была бы столь успешно реализована программа исследования Луны космическими автоматами, которая на сегодня составляет одну из значительных и славных страниц истории отечественной космонавтики. Следует так же заметить, что многие научные заделы, созданные в то время, были в дальнейшем успешно завершены бывшими сотрудниками отдела Луны и планет ИКИ уже в других научных учреждениях.

Наряду с коллективом К.П.Флоренского в области исследований Луны и планет в ИКИ независимо работали сложившиеся коллективы В.В.Андреянова, Л.Л.Ваньяна, В.И.Мороза, Л.М.Мухина, Е.И.Попова, Б.Н.Родионова и ряд других, включая лабораторию самого директора Института акад. Г.И.Петрова, который, будучи газодинамиком, интересовался природой комет.

На последнем этапе своей деятельности на посту директора Института Г.И.Петров предпринял попытку радикальной реорганизации планетной тематики ИКИ, объединив несколько научных групп в ранге лабораторий в составе единого лунно-планетного отдела под своим личным руководством. Исключение составляла лишь лаборатория В.И.Мороза, продолжавшая работать в составе астрофизического отдела И.С.Шкловского. Это, по-видимому, запоздалое решение мало что изменило, а вскоре и сам Г.И.Петров ушел с поста директора Института.

иллюстрации стр. 171

At present it is hard to imagine how much efforts and time the department's staff spent to prepare numerous engineering instructions for all the spacecraft systems and units interacting with the lunar surface, including landing systems, chassis, radar systems for controlling the descent and landing. The department developed mock-ups and benches, chose sites for full-scale tests, landing simulation and the payload tests. The department actively participated in the full-scale tests of the chassis of the future planet rovers at the Kamchatka peninsula together with designers. As it was mentioned namely the department staff chose the sites for landing and operation of the lunar spacecraft, prepared the data for their control, planned the routes for the lunar rovers and particular sites for scientific experiments and produced the necessary cartographic documentation. It should be noted that the requirements for many space experiments rather often were contradictive. Therefore preparation of the operation cyclogram for the lunar rovers was not only thankless but also connected with the resolution of unavoidable conflicts between the experimentalists.

A tremendous amount of the works fulfilled by the department concerned the development of proposals for the manned mission to the Moon initiated by academician V.P. Glushko. This was an exhausting job which had to be fulfilled within the ultimately short terms. Goals and tasks of the lunar mission were specified, including the definition of the experiments' list and the required scientific instrumentation and the choice of the landing sites for a series of missions. The needed cartographic support was prepared in cooperation with relative cartographic organizations. Finally the department developed a perspective coordinated program for studying the Moon by automated spacecraft in combination with short-term manned missions and subsequent transfer to the creation of a long-term geophysical lunar base.

It was not the department's fault that many promising developments were soon archived till better times. At the same time the program of studying the Moon with automated spacecraft would not be so successful without this painstaking work. This program is one of important and famous pages of the national astronautics history. It should be also noted that many developments begun at that time were afterwards completed by the former employees of the department for Moon and planets at other research institutions.

The teams headed by V.V. Andreyanov, L.L. Vanian, V.I. Moroz, L.M. Mukhin, Ye.I. Popov, B.N. Rodionov and some others, including the laboratory headed by the IKI director, academician G.I. Petrov who was an expert in gas dynamics but was much interested in the comets' nature, were involved in the Moon and planetary research, together with the K.P. Florensky's team.

G.I. Petrov made an attempt to radically restructure the IKI planetary research division at the last stage of his holding the position of the IKI director. He wanted to join several scientific laboratories in a common lunar-planetary department under his supervision. The laboratory headed by V.I. Moroz was the only exclusion still working at the department for astrophysics headed by I.S. Shklovsky. This possibly belated decision made few changes, and soon G.I. Petrov left the position of the IKI director.

IKI new director, academician R.Z. Sagdeev was not understanding about K.P. Florensky's idea on the importance of a complex subdivision which could be a real coordinator and unbi-

Мысль К.П.Флоренского о важности существования комплексного подразделения, на практике осуществляющего роль координатора и беспристрастного арбитра в развитии космических лунно-планетных исследований, не нашла понимания и у нового директора ИКИ Р.З.Сагдеева. Ряд лабораторий лунно-планетного профиля был вскоре ликвидирован, отдел Луны и планет К.П.Флоренского, еще ранее переименованный в лабораторию сравнительной планетологии, со всей тематикой и оборудованием переводится в ГЕОХИ АН СССР. Под этим новым названием он продолжает успешно работать в ГЕОХИ и поныне.

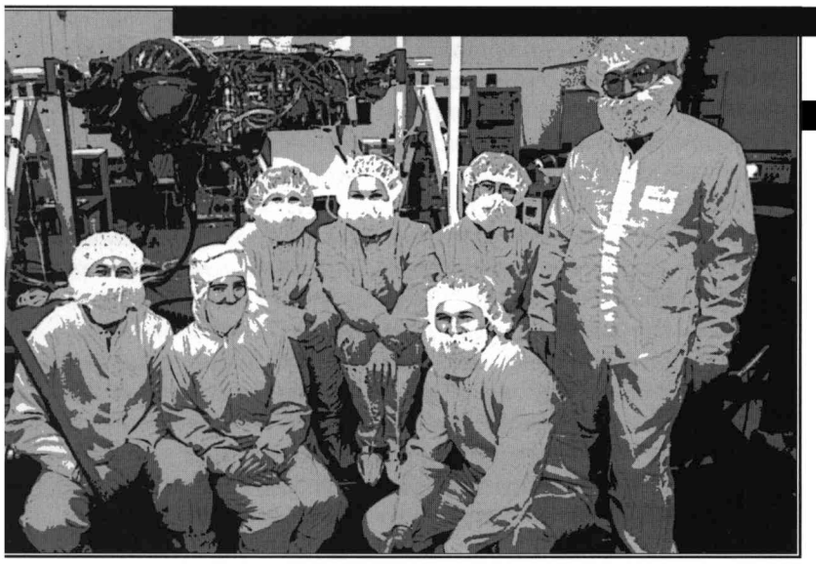
После перевода коллектива К.П.Флоренского в ГЕОХИ ряд сотрудников, особенно далеких от профиля этого института, остался в ИКИ под руководством А.А.Гурштейна в рамках отдела перспективного планирования и координации текущих космических программ. Они продолжали заниматься лунной тематикой и даже подготовили крупное научное совещание по перспективам изучения Луны с участием человека. Но оно так и не состоялось. Вскоре произошло резкое сворачивание лунных программ – как пилотируемых, так и с помощью автоматических космических средств, а к началу восьмидесятых годов лунная тематика в ИКИ практически ликвидируется.

ased arbitrator in the space lunar-planetary studies. Several lunar-planetary oriented laboratories were soon dismissed. The department for the Moon and planets headed by K.P. Florensky previously renamed for a laboratory for comparative planetology was transferred to the Vernadsky Institute with its equipment. This laboratory continues lunar-planetary studies at the Vernadsky Institute until now.

After the K.P. Florensky's team transfer to the Vernadsky Institute several employees whose interests differed from this institute tasks stayed at IKI. This group headed by A.A. Gurshtein worked at the department for planning and coordination of the current space programs. They continued the lunar studies and even prepared a meeting to discuss scientific aspects on the Moon studies by a man. However this meeting did not take place. Soon the Moon research program was curtailed, including studies from both the manned and automated spacecraft. In the early 1980s IKI almost stopped any activity in this field.

pictures see page 171

Отдел физики планет и малых тел солнечной системы



Department for Physics of the Solar System's Planets and Small Bodies

Исследования планет и малых тел Солнечной системы считались одним из главных научных направлений ИКИ со времени его основания. Однако в первые годы объединить их в рамках единого планетного отдела не удавалось, работы были рассредоточены по разным подразделениям.

Между тем, полеты космических аппаратов к Луне, Венере и Марсу всегда были элементом соревнования двух сверхдержав, на них не жалели средств. Выполнение программ находилось под контролем высших партийных и правительственных органов. На формирование программ влиял „главный теоретик советской космонавтики" – президент Академии наук М.В.Келдыш, директор ГЕОХИ А.П.Виноградов, директор ИКИ Г.И.Петров и, позднее, Р.З.Сагдеев, но более их всех вместе взятых два главных конструктора – С.П.Королев и Г.Н.Бабакин. Первые космические аппараты для исследований Луны, Венеры и Марса были разработаны и изготовлены в королевском ОКБ-1, однако в середине 60-х гг. эта тематика передается НПО им.С.А.Лавочкина (часто используют сокращение НПОЛ), где развивалась под руководством Г.Н.Бабакина.

Для иллюстрации того, насколько определяющими были инициатива и воля главного конструктора в ту эпоху, можно привести пример создания второго поколения космических аппаратов для исследования Венеры: запуск на ракете „Протон", посадочный модуль отделяется от основного аппарата, выводимого затем на орбиту искусственного спутника планеты. Спутник используется в качестве ретранслятора, что позволяет на два порядка увеличить объем информации, передаваемой с посадочного модуля. Естественно, что на самом спутнике надо поставить научные приборы. Сотрудники НПОЛ по поручению Г.Н.Бабакина обратились в ИКИ к В.И.Морозу с просьбой – неофициально, от себя, подготовить справку – какие задачи могли бы решаться на искусственном спутнике Венеры, каким может быть состав научной аппаратуры, что он и сделал и тем самым вызвал нарекания со стороны академика М.В.Келдыша. В чем была причина недовольства Президента, так и осталось неизвестным. Важно другое – работа над проектом развернулась. Он был блестяще реализован в 1975 г. – запущены два космических аппарата „Венера-9" и „Венера-10". За несколько дней до подхода к планете от станций отделились посадочные ап-

иллюстрации стр. 172

Studies of the Solar system's planets and small bodies have been considered one of the principal trends of the IKI scientific activity since its foundation. However during the first years it was difficult to integrate these studies within the framework of a single department's activity, and the works were dispersed among different divisions.

Meanwhile the flights towards the Moon, Venus and Mars have always been a subject of the competition between two super-powers. Each state spared no money for this competition. These works were under control of the high level bodies of the Government and the Communist party. President of the Academy of Sciences M.V. Keldysh, the „chief theoretician of the Soviet cosmonautics", GEOKhI director A.P. Vinogradov, IKI director G.I. Petrov and later R.Z. Sagdeev, but mostly two chief designers S.P. Koroliov and G.N. Babakin effected the programs formation. The first spacecraft for studying the Moon, Venus and Mars were developed and manufactured at the Koroliov's OKB-1. However in the middle of the 1960s these works were transferred to the Lavochkin Association (NPOL) where G.N. Babakin supervised these developments.

An example of the creation of the second generation spacecraft for studying Venus well illustrates the decisive role of the Chief designer's initiative and will at that time. So the Proton launcher delivers spacecraft to orbit, the landing probe is separated from the spacecraft which is put into the circumvenus orbit. The orbiter serves as a retransmitter, and this makes it possible to increase the data amount uplinked from the landing probe by two orders. Naturally scientific payload had to be installed on the satellite. NPOL staff informally asked IKI and namely V.I. Moroz to prepare a report concerning tasks which could be solved on the Venus artificial satellite and what instruments could be included in the scientific payload. Moroz fulfilled their request and was censured for this by academician M.V. Keldysh. The reason for the President's discontent remained unknown. However the work began. In 1975 the mission was brilliantly implemented – two spacecraft Venera-9 and Venera-10 were launched. Several days before approaching the planet the landing probes separated from the spacecraft which occupied the circumvenus orbit. The landing probes transmitted the first panoramas of the Venus sur-

параты, а сами они перешли на орбиту искусственных спутников планеты. На посадочных аппаратах впервые получены панорамные изображения поверхности Венеры. „Мы не думали, что это возможно", – сказал тогда известный американский ученый И.Ресул. Искусственные спутники Венеры были также первыми в мире.

Г.И.Петров незадолго до своего ухода с поста директора ИКИ назначил В.И.Мороза научным руководителем этого проекта. До того в отечественных планетных миссиях научный руководитель вообще не определялся. На самом деле права и обязанности В.И.Мороза, как научного руководителя, были ограниченными, они, примерно, соответствовали тому, что в НАСА называется „Project Scientist" – руководитель научной группы проекта, отвечающий за координацию и оптимизацию требований разных экспериментов (иногда почти несовместимых). В позднейшие времена, когда проекты уже не шли „на автопилоте", стало требоваться большее – понадобилась пробивная сила, влияние в Академии и т.д. – тогда научными руководителями становились уже, как правило, академики и директора институтов.

В 1973 г. директором ИКИ становится Р.З.Сагдеев. Новый директор предложил В.И.Морозу возглавить отдел планетных исследований, и он согласился с условием, что тематика отдела должна быть ограничена физическими исследованиями атмосферы и поверхности планетных тел. Предполагалось, что геологи и специалисты по ТВ-съемке будут выделены в другие самостоятельные структурные подразделения. Это направление возродилось в рамках другого подразделения – отдела оптико-физических исследований (Г.А.Аванесов).

Итак, отдел физики планет и малых тел Солнечной системы в 1974 г. был сформирован. В.И.Мороз прошел по конкурсу на должность заведующего и перешел в ИКИ на основную работу, оставшись в МГУ, где проработал до того 18 лет, профессором по совместительству. В отдел вошли четыре лаборатории: спектроскопии (В.И.Мороз); фотометрии и ИК-радиометрии (Л.В.Ксанфомалити); масс-спектрометрии (В.Г.Истомин); физико-химических исследований планет (Л.М.Мухин).

Некоторое время оставалась в отделе и лаборатория планетной геологии (К.П. Флоренский). Все лаборатории, кроме этой, были нацелены строго на подготовку и проведение научных экспериментов на космических аппаратах и специализированы, как видно из их названий, по методическому принципу.

Лаборатория спектроскопии была до того в отделе астрофизики, фотометрии и радиометрии, входила в нее на правах сектора (одно время в ИКИ была трехступенчатая структура). Л.В. Ксанфомалити был приглашен в ИКИ в 1969 г. Он работал до того в Абастуманской обсерватории, занимаясь там поляриметрией Луны. Вскоре в лабораторию спектрометрии перешел А.М.Касаткин, один из пионеров космических исследований. Вместе с ним пришла группа хороших инженеров, особенно выделялся Б.Н.Кунашев.

Первые результаты были получены на АМС „Марс-3 и -5" – это были ИК-радиометрия, CO_2-альтиметрия, фотометрия планеты Марс. Кроме того, на этих аппаратах совместно с ГАИШ (А.Э.Наджип) проводился эксперимент по дистанционному измерению содержания водяного пара в атмосфере Марса.

Очень трудно было организовать производство приборов, одно время ситуация казалась катастрофической, но потом удалось подключить ГИПО (Государственный институт прикладной оптики, г. Казань) и КОМЗ (Казанский оптико-механический завод), часть электроники делалась в ОКБ ИКИ (г. Фрунзе, ныне Бишкек). К сожалению, искусственные спутники Марса работа-

face. „We did not think that it is possible", so the well-known U.S. scientist I. Resul said. Artificial satellites of Venus were the first in the world.

G.I. Petrov not long before he left the position of the IKI director appointed V.I. Moroz the scientific supervisor of this mission. Previously there was no position of a mission scientific supervisor. In reality the rights and responsibilities of V.I. Moroz as a scientific leader were limited. They corresponded to the NASA's position of a Project Scientist who headed the scientific team and was responsible for coordination and optimization of the various experiments requirements which sometimes were contradicting. Later when projects differed one from another it became necessary to possess certain weight, including the pushing force, influence at the Academy of Sciences etc. Thus mainly academicians and directors of the Institutes were appointed mission scientific supervisors.

In 1973 R.Z. Sagdeev became IKI director. The new director offered V.I. Moroz to head the department for planetary studies. He agreed but on the condition that the department activity should be limited with the physical studies of the planets' atmospheres and surfaces. It was planned that geologists and specialists in TV-imaging would work in other subdivisions. This field of activity was re-born within the framework of another department, the department for optico-physical studies (G.A. Avanesov).

Thus the department for physics of the Solar system's planets and small bodies was formed in 1974. V.I. Moroz won a competition for the head of the department and changed for IKI as for the full-time job. He still had a second job at Moscow State University where he had been working for 18 years. The department joined four laboratories: for spectroscopy (V.I. Moroz); for photometry and IR-radiometry (L.V. Ksanfomality); for mass-spectrometry (V.G. Istomin) and for physical and chemical studies of planets (L.M. Mukhin).

The laboratory for planetary geology (K.P. Florensky) was included in the department for a certain period. All the laboratories except this were strictly aimed at the preparation and implementation of scientific experiments on spacecraft. As it is seen from the laboratory's names they were specialized according to a methodological principle.

Previously the laboratory for spectroscopy was a sector at the department for astrophysics, photometry and radiometry. L.V. Ksanfomality was invited to IKI in 1969. He was working at the Abastuman observatory dealing with the Moon's polarimetry. Soon A.M. Kasatkin came to this laboratory. He was one of the pioneers in the space research. A team of experienced engineers came with him. B.N. Kunashev especially distinguished from the rest.

The first results in IR-radiometry, CO_2 altimetry and photometry of Mars were obtained by the interplanetary automatic stations Mars-3 and Mars-5. In addition on these spacecraft an experiment on remote measurement of the water vapor contents in the Martian atmosphere was conducted by IKI together with GAISh (A.E. Nadzhip).

It was very difficult to provide for instrumentation manufacture. For a certain period of time the situation seemed to be catastrophic. Then the State Institute for Applied Optics (GIPO, Kazan) and the Kazan Optico-Mechanical Plant (KOMZ) were involved. OKB IKI (Frunze, now Bishckeck) fabricated part of the electronics. Unfortunately the Martian artificial satellites operated for short and contributed few to the

pictures see page 172

ли на орбите лишь короткое время, вклад этих работ в марсианскую науку был очень небольшим и не стоил, по-видимому, затраченных сил и средств.

Лаборатория масс-спектрометрии имела большой опыт масс-спектрометрических исследований земной верхней атмосферы. За эти работы В.Г.Истомин еще до прихода в ИКИ был удостоен Ленинской премии и получил степень доктора наук. Первая попытка применить масс-спетрометрию для исследования атмосфер других планет была сделана на АМС „Марс-6". К сожалению, в работе прибора были неполадки, и эксперимент привел к сильно завышенной оценке содержания аргона в атмосфере Марса. Зато более поздние эксперименты, проведенные в атмосфере Венеры, прошли безупречно и дали приоритетные результаты. В них использовалась оригинальная схема забора пробы. В состав лаборатории входили не только масс-спектрометристы, там были еще две сильные группы: В.М.Линкина (экспериментальная планетная метеорология) и М.Н.Изакова (теоретическое моделирование динамики и фотохимии верхних атмосфер планет).

Лаборатория физико-химических методов вела исследования по трем направлениям: разработка новой модели предбиологического синтеза, ранняя эволюция планетных атмосфер и создание газовых хроматографов для изучения состава планетных атмосфер. Л.М.Мухин предложил новую схему предбиологического синтеза, в которой в качестве источника энергии и химического исходного материала рассматривались извержения подводных вулканов. Гипотеза о роли подводных вулканов в зарождении жизни на Земле получила в дальнейшем большое развитие. Л.М.Мухин предложил новую тогда идею о роли парникового эффекта с участием CO_2 в ранней эволюции атмосфер Земли и Марса, В.И.Мороз „обсчитал" ее количественно. Позднее эта модель развивалась в США Джеймсом Кастингсом. В лаборатории начались исследования по лазерному моделированию процессов формирования планетной атмосферы при ударной дегазации, эти работы и сейчас продолжает М.В.Герасимов.

Важной задачей отдела стала разработка инженерных моделей планетных атмосфер для НПОЛ. Сначала это были справочные материалы небольшого объема, но постепенно требования к детальности возрастали, и к их подготовке подключалось все большее число ученых отдела.

Возвращаясь к истории отечественных планетных космических экспериментов, можно сказать, что сам факт получения какой-то научной информации от приборов, стоящих на искусственных спутниках Марса, вызывал в первое время прямо-таки детский восторг. Но на фоне научных результатов американских миссий („Маринер-9" и „Викинг") отечественные выглядели слабо. Настоящая наука началась для планетологов ИКИ с исследований Венеры. Прежде чем перейти к ним, несколько слов об эволюции лабораторий в первые годы существования отдела. Сильное пополнение влилось тогда в лабораторию спектроскопии: В.А.Краснопольский, Б.Е.Мошкин, А.П.Экономов (все три пришли кандидатами, но В.А.Краснопольский вскоре стал доктором), Ю.М.Головин, Н.А.Парфентьев, Л.В.Засова, Н.Ф.Санько и А.А.Крысько. Среди других сотрудников, пришедших тогда в отдел, отметим В.А.Бондарева и Е.В.Петрову.

Итак, „Венера-9 и -10", год 1975. Упомянем три самых ярких работы отдела, тогда выполненных:

- вертикальный профиль интенсивности рассеянного солнечного излучения в атмосфере Венеры от 60 км до поверхности, не-

Martian science. Apparently the mission cost was incomparable with the miserable results obtained.

Laboratory for mass-spectrometry had a large experience in mass-spectrometry of the terrestrial upper atmosphere. V.G. Istomin became the Lenin prize winner and got Sci.D. before coming to IKI. The first attempt to use mass-spectrometry for studying atmospheres of other planets was made from the interplanetary automated station Mars-6. Unfortunately there was a malfunction in the instrument operation and the argon content in the Martian atmosphere was strongly overestimated. The sampling tool design was original and surpassed foreign analogs. The laboratory joined not only specialists in mass-spectrometry but also two teams headed by V.M. Linkin (experimental planetary meteorology) and M.N. Izakov (theoretical simulation of the dynamics and photochemical processes in the planetary upper atmospheres).

Laboratory for physical-chemical techniques conducted studies in three directions, including the development of a new model of the pre-biological synthesis, early evolution of the planetary atmospheres and creation of gas chromatographs for studying planetary atmospheres. L.M. Mukhin proposed a new scenario of a pre-biological synthesis which was based on the submerged volcano eruption as a source of energy and chemical primary matter. A hypothesis on the role of the submerged volcanoes in the life origin on the Earth was further developed. L.M. Mukhin proposed a new idea on the role of the greenhouse and CO_2 effect in the early stage evolution of the terrestrial and Martian atmospheres. V.I. Moroz provided quantitative estimates. Afterwards James Castings (U.S.) developed the model. Now M.V. Gerasimov continues this work.

Development of the planetary atmospheres' engineering models for NPOL became an important task of the department. At first these were reference materials of small scope. However requirements for the detailness were gradually increasing, and more and more staff members were involved in the work.

Reconsidering the history of the Soviet planetary space experiments it is possible to note that at first even the fact of obtaining any scientific information from the scientific instruments of the Martian artificial satellites aroused almost a childish enthusiasm. This looked very poor against the background of those obtained from the U.S. missions Mariner-9 and Viking. The real science for the planetologists at IKI began from the studies of Venus. But firstly we would like to say several words about the department evolution during the first years of its history. The laboratory for spectroscopy was reinforced with new members: V.A. Krasnopolsky, B.Ye. Moshkin, A.P. Ekonomov (they had Ph.D. but V.A. Krasnopolsky soon got Sci.D.), Yu.M. Golovin, N.A. Parfentiev, L.V. Zasova, N.F. Sanko and A.A. Krysko. V.A. Bondarev and Ye.V. Petrova also worth mentioning among those who joined the department at that time.

So Venera-9 and -10, the year of 1975. These are the brightest developments then carried out in the department:

- *a vertical profile of the scattered solar radiation intensity in the Venus atmosphere from an altitude of 60 km down to the surface at several wavelengths (landing probes, B.Ye. Moshkin, A.P. Ekonomov et al.);*
- *spectrum of the night sky glowing (orbiters, V.A. Krasnopolsky et al.); and*
- *IR-radiometry of Venus (orbiters, L.V. Ksanfomality).*

иллюстрации стр. 172

сколько избранных длин волн (посадочные аппараты, Б.Е.Мошкин, А.П.Экономов и др.),
- спектр свечения ночного неба Венеры (спутники, В.А.Краснопольский и др.),
- ИК-радиометрия Венеры (спутники, Л.В.Ксанфомалити).

В следующих двух экспедициях („Венера-11 и -12", 1978 г, „Венера-13 и -14", 1982 г.) спутников не было, исследования выполнялись только на посадочных аппаратах. Снова новые интересные результаты:
- изотопный состав инертных газов (В.Г.Истомин и др.),
- содержание CO и SO_2 под облачным слоем (Л.М.Мухин и др.),
- вертикальный профиль интенсивности рассеянного солнечного излучения в атмосфере Венеры от 60 км до поверхности, полный спектр в диапазоне 0,4–1,2 мкм с высотной эволюцией полос H_2O и CO_2 (посадочные аппараты, В.И.Мороз, Б.Е.Мошкин, А.П.Экономов и др.);
- обнаружение низкочастотного спорадического радиоизлучения в нижней атмосфере (посадочные аппараты, Л.В.Ксанфомалити); возможный источник этого излучения – грозовые разряды. Это открытие дало импульс разработке – с привлечением многих других экспериментальных данных – гипотезы о современном вулканизме на Венере.

НАСА в 1978 г. отправила к Венере экспедицию „Пионер-Венера", состоявшую из спутника и четырех атмосферных зондов. Сравнивая отечественные результаты с американскими, можно сказать, что отечественные были либо на том же уровне (масс-спектрометрия и газовая хроматография), либо вообще уникальными (оптическая спектроскопия и грозы). Эти исследования внесли значительный вклад в современную картину сложных процессов в атмосфере Венеры, включая сильный парниковый эффект, формирование многослойной аэрозольной среды, химические превращения, динамику и даже раннюю эволюцию. Советские ученые участвовали в создании обзорной книги „Венера" из многотомной Аризонской серии, издаваемой в США.

В первой половине 80-х гг. в отдел пришли В.В.Кержанович, Б.М.Андрейчиков и Л.С. Марочник. В.В.Кержанович еще в период своей работы в промышленности предложил метод определения скорости ветра в атмосфере Венеры по доплеровскому сдвигу радиосигнала, применял его для всех советских аппаратов и, будучи уже в ИКИ, защитил на эту тему докторскую диссертацию. Б.М.Андрейчиков пришел из ГЕОХИ, там он вел эксперименты по измерению газового химического состава атмосферы Венеры (с использованием специально подобранных реакций) на аппаратах „Венера-4, -5, -6, -8", а в ИКИ занялся подготовкой к измерениям химического состава аэрозольных частиц. Изменилась структура отдела, были сформированы две новые лаборатории: метеорологии планет – В.М.Линкина, и спектроскопии верхних атмосфер планет – В.А.Краснопольского. Четыре сотрудника отдела (В.И.Мороз, В.В.Кержанович, Л.М.Мухин и В.А.Краснопольский) были удостоены Государственной премии СССР за результаты исследований Венеры, а Л.В.Ксанфомалити – Государственной премии УССР.

Сотрудниками отдела были написаны три монографии: „Физика планеты Марс" (В.И.Мороз, 1978 г.), „Фотохимия атмосфер Марса и Венеры" (В.А.Краснопольский, 1982 г., вышел также ее английский перевод в 1986 г.), „Планета Венера" (Л.В.Ксанфомалити, 1985 г.). Три научно-популярных книги написал Л.М.Мухин, одну Л.С. Марочник и три Л.В.Ксанфомалити (последняя – „Парад планет" вышла из печати в 1998 г.).

The next two missions (Venera-11 and -12, 1978 and Venera-13 and -14, 1982) had no orbiters, and studies were conducted from the landing probes only. And again new interesting results were obtained, including:
- *isotopic composition of the noble gases (V.G. Istomin et al.);*
- *CO and SO_2 contents under the clouds (L.M. Mukhin et al.);*
- *vertical profile of the scattered solar radiation intensity in the Venus atmosphere from an altitude of 60 km down to the surface within the whole spectrum from 0.4 to 1.2 μm with the altitudinal evolution of the H_2O and CO_2 lines (landing probes, V.I. Moroz, B.Ye. Moshkin and A.P. Ekonomov); and*
- *detection of the low frequency sporadic radiation in the lower atmosphere (landing probes, L.V. Ksanfomality); storm was considered as a possible source. This discovery together with many other experimental data gave an impetus to the development of the hypothesis on the present volcanic activity on Venus.*

In 1978 NASA sent the Pioneer-Venus to Venus. The mission consisted of a satellite and four atmospheric probes. Comparison of the Soviet and U.S. results showed their similar level in mass-spectrometry and gas chromatography and uniqueness of the Soviet results in optical spectroscopy and thunderstorms. These studies contributed a lot to the understanding of the complex processes in the Venus atmosphere, including strong greenhouse effect, formation of a multi-layer aerosol medium, chemical transformations, dynamics and even early evolution. The Soviet scientists participated in the preparation of a review „Venus" of a multi-volume Arizona series published in the USA.

In the early 1980s V.V. Kerzhanovich, B.M. Andreichikov and L.S. Marochnik came to the department. While working at the industrial enterprise V.V. Kerzhanovich proposed a technique for determining the wind velocity in the Venus atmosphere based on the radio signal Doppler shift. The technique was used on all the Soviet spacecraft. At IKI he defended his results as the Sci.D thesis. B.M. Andreichikov came from GEOKhI where he conducted experiments on measuring the gas chemical composition of the Venus atmosphere (using specific chemical reactions) on the Venera-4, -5, -6, -7 -8 spacecraft. At IKI he was preparing experiments on the measurement of the aerosol particles' chemical composition. The department's structure changed. Two new laboratories were formed: for meteorology headed by V.M. Linkin and for spectrometry of the planets' upper atmospheres headed by V.A. Krasnopolsky. For the Venus studies four scientists became the USSR State prize winners (V.I. Moroz, V.V. Kerzhanovich, L.M. Mukhin and V.A. Krasnopolsky) and L.V. Ksanfomality won the Ukrainian State prize.

The department's scientists wrote three monographs: Physics of the Planet Mars (V.I. Moroz, 1978), Photochemistry of the Martian and Venus atmospheres (V.A. Krasnopolsky, 1982, and its English version, 1986) and Planet Venus (L.V. Ksanfomality, 1985). Three popular scientific books were written by L.M. Mukhin, one – by L.S. Marochnik, and three – by L.V. Ksanfomality (the last book Parade of Planets was issued in 1998).

In the mid of the 1970s the department began to prepare experiments for studying planets in cooperation with foreign scientists. The first joint project covered infrared spectrometry (6–35 μm) of the Venus outgoing atmospheric radiation (Venera-15, 1983). Fourier spectrometer FS-1/4 was designed and manufactured by the institutes of the GDR Academy of Sciences with the participation of the IKI specialists and basing

pictures see page 172

Со второй половины 70-х гг. в отделе стали готовиться планетные эксперименты с участием иностранных ученых. Первой ласточкой стала инфракрасная (диапазон 6–35 мкм) спектрометрия уходящего излучения атмосферы Венеры („Венера-15", 1983 г.). Прибор (Фурье-спектрометр ФС-1/4) был разработан и изготовлен кооперацией институтов Академии наук ГДР по исходным данным и ИКИ. Для увеличения объема научной информации от прибора специалисты ИКИ показали необходимость передачи на Землю не интерферограмм, а спектров. Для этого в приборе использовался микропроцессорный блок, впервые в практике космической Фурье-спектрометрии осуществлявший обратное Фурье-преобразование на борту. Специалисты ИКИ отвечали также за квалификационные испытания прибора и за поставку в ГДР некоторых специфических комплектующих элементов.

Общее научное руководство со стороны ИКИ осуществлял В.И.Мороз, научным со-руководителем по динамике атмосферы и техническим руководителем был В.М.Линкин. В испытаниях на заводе и космодроме, в управлении прибором из Евпатории немецкие коллеги не участвовали, иностранцев туда еще не пускали. На этих последних этапах много сделал И.А.Мацыгорин, всесторонне освоивший сложный прибор. Над подготовкой эксперимента ученые ИКИ работали вместе с немецкими коллегами 7 лет. Атмосфера была благожелательная, понимали друг друга с полуслова. ФС-1/4 проработал на орбите недолго, около 2 месяцев, однако результаты были очень хорошие: около 2000 спектров на разных широтах, в разное время суток. Интерпретация велась одновременно в обеих странах, в ИКИ продолжается и сейчас. Это уникальный материал, ни у кого в мире такого нет. Среди новых данных об атмосфере Венеры, полученных в результате его анализа, отметим трехмерные распределения температуры, ветра, плотности аэрозольной среды на высотах 55–90 км, широтные и другие вариации содержания водяного пара и двуокиси серы в зоне верхнего облачного слоя. Особенно большой вклад внесла в работы по интерпретации данных ФС-1/4 Л.В.Засова.

В 1975 г. началась большая совместная работа с Францией по подготовке к совместной миссии на Венеру. Жак Бламон, много сделавший для развития советско-французского сотрудничества в космосе, еще в 60-х гг. предложил академику М.В.Келдышу идею запуска аэростата в атмосферу Венеры. Прошло много времени, прежде чем ее стали воплощать в конкретный проект. Экспедиция должна была состоять из аэростатного зонда и искусственного спутника планеты. Началась разработка совместных научных приборов. Однако CNES затягивал дело, и тогда Р.З.Сагдеев, заручившись поддержкой еще двух влиятельных лиц – Г.И.Марчука (президента Академии) и директора ГЕОХИ В.Л.Барсукова, этот проект остановил, предложив взамен другой, более амбициозный: космический аппарат доставляет к Венере посадочный и аэростатный модуль, совершает около нее гравитационный маневр и отправляется к комете Галлея, чтобы встретить ее вблизи точки пересечения с плоскостью эклиптики. Реакция французских коллег была поначалу кислой, но обида быстро прошла и сменилась энтузиазмом. С научной точки зрения задача стала более интересной, а техническую ответственность за аэростат они с себя сняли, перевалив ее на НПОЛ и ИКИ. Проект получил звучное имя ВЕГА (Венера–комета Галлея). Нетривиальная идея полета к комете Галлея с использованием гравитационного поля Венеры принадлежит В.Г.Курту. Он рассказал о ней П.Е.Эльясбергу, тот сделал более точный расчет, подтвердивший такую возможность.

иллюстрации стр. 172

on the specifications developed by them. It was shown that transmission to Earth of spectra and not interferograms increased the scientific data scope. For this the spectrometer was upgraded with a microprocessor which for the first time in the Fourier-spectrometry development fulfilled reverse Fourier-transform onboard a spacecraft. IKI specialists were also responsible for the instrument qualification tests and delivery of specific components to GDR.

V.I. Moroz Co-PI from IKI and V.M. Linkin was co-supervisor in the atmosphere dynamics and technical aspects. German specialists did not participate in the tests at the plant and the launch site as well as in the flight control from Evpatoria. At the same time these were sites „closed" for the foreigners. At these last stages I.A. Matsygorin contributed a lot as he mastered the sophisticated system. The IKI scientists were preparing the experiment together with German colleagues during seven years. The atmosphere was favorable, people understood each other in an instant. FS-1/4 was operating for a short period of time. It failed in about 2 months but showed good results having transmitted about 2,000 spectra at different latitudes and at different day time. The data was interpreted simultaneously in the Soviet Union and in Germany. IKI is still conducting this interpretation. The material is unique and nobody else in the world possesses something similar. The analysis provided some new knowledge on the Venus atmosphere, including three-dimensional distribution of temperature, wind and water vapor density at an altitude of 55–90 km, latitudinal and other variations of the contents of the water vapor and sulfur dioxide in the clouds' upper layer. L.V. Zasova contributed a lot in the FS-1/4 data interpretation.

In 1975 IKI was preparing a mission to Venus in cooperation with France. Jacques Blamont worked a lot to develop the Soviet-French cooperation in space. In the 1960s he proposed to academician M.V. Keldysh to put a balloon in the Venus atmosphere. But a long time passed before this idea was implemented. The mission had to include a balloon and an orbiter. Joint development of the scientific payload began. However CNES was protracting the mission promotion. Then R.Z. Sagdeev supported by two influential persons – G.I. Marchuk (the president of the Academy of Sciences) and V.L. Barsukov (GEOKhI director) – ceased this mission and proposed another one, more ambitious. This new mission planned that the spacecraft would deliver a landing probe and a balloon to Venus, make a gravitational maneuver and fly to Halley's comet to rendezvous with it in the vicinity of its trajectory and the ecliptics intersection point. At first the French colleagues were rather disappointed but then enthusiasm replaced the offence. From the scientific point of view the task became more interesting and they were no more responsible for the balloon which they transferred to NPOL and IKI. The project was named VEGA (Venus–Halley's comet). This non-trivial idea of a flight to Halley's comet due to the Venus gravity belonged to V.G. Kurt who told about it to P.Ye. Eliasberg. The latter made precise calculation which proved the possibility of this scenario.

This super-mission required for a strong will, persistence and ability of solving non-trivial problems. The mission became a reality due to R.Z. Sagdeev who became its scientific supervisor. The old spacecraft (which visited Venus many times) had to carry three-fold a loading and solve many new tasks in VEGA mission. This mission fascinated everybody at the Institute and

Осуществление подобного супер-проекта требовало огромной воли, настойчивости, способности к нестандартным решениям. Оно стал возможным благодаря Р.З.Сагдееву, ставшему его научным руководителем. На старый аппарат, летавший раз за разом к Венере, ложилась теперь тройная нагрузка, целый букет новых задач. Проект увлек и всех сотрудников института, и их коллег в НПОЛ. В.Л.Барсуков руководил научной программой посадочного аппарата для Венеры. Научное руководство аэростатным зондом было за ИКИ, на него переключилась лаборатория В.М.Линкина; большой вклад в работу над зондом внесли сотрудники лаборатории В.В.Кержанович, А.Н.Липатов, Л.И.Хлюстова, С.П.Игнатова.

В июле 1985 г. в атмосфере Венеры развернулись аэростатные зонды и успешно отработали положенные 48 часов, пройдя около 11500 км по горизонтальной трассе на высоте 53–54 км. Впервые были измерены тонкие характеристики атмосферной суперротации. В.М.Линкин был удостоен за эту работу звания лауреата Ленинской премии.

Аэростатный зонд в атмосфере Венеры служил радиометкой в атмосфере, координаты и скорость которой измерялись наземными радиотелескопами методом дифференциальной радиоинтерферометрии с большой базой. Идея таких наблюдений была предложена В.М.Линкиным совместно с Л.Н.Матвеенко и Л.Коганом. Слежение за подобной радиометкой на большом интервале пути позволяло полностью исключить все сомнения относительно суперротации атмосферы Венеры, а измерения локальных параметров атмосферы с борта аэростатного зонда давали уникальную информацию для объяснения механизмов суперротации. О сложности эксперимента можно судить по тому, что за полетом аэростатных зондов следила сеть из двадцати наземных радиотелескопов, включавшая все крупнейшие антенны мира.

Посадочные аппараты также сработали успешно и принесли ряд интересных находок. Особо отметим среди них обнаружение фосфора в частицах облачного слоя (Б.М.Андрейчиков и др.).

К сожалению, проект ВЕГА поставил последнюю точку в истории отечественных исследований Венеры. По-видимому, „расставание“ с этой планетой было ошибкой, в результате которой потеряна одна из немногих областей, где советские/российские ученые были впереди многие годы, и не только в изучении планет, но и в фундаментальных космических исследованиях вообще.

Космические аппараты ВЕГА-1 и -2, развернувшись около Венеры, направились к комете Галлея. Они были не в одиночестве, туда же двигался европейский „Джотто“ и два небольших японских аппарата („Суиссеи“ и „Сакигаке“). Очередное прохождение кометы Галлея через перигелий оказалось мощным стимулом развертывания международной кооперации в космической науке. Внутри самого проекта ВЕГА она выразилась в участии научных организаций и специалистов 9 стран в научных экспериментах. Но этим дело не ограничивалось. ВЕГА-1 и -2 пролетали вблизи ядра раньше „Джотто“, и можно было использовать их данные для корректировки его траектории. На деле это было не простой задачей, но она была решена. Таким образом, возник еще один уровень сотрудничества – одна миссия помогает другой.

Рискованной была задача пролета через кому кометы Галлея и фотографирования ее ядра: не скрыто ли оно кометной пылью, насколько интенсивной и опасной будет бомбардировка аппарата пылинками? Снова понадобилась инженерная модель. Ее первый вариант подготовил В.И.Мороз, но позднее потребовалось много уточнений, и в работу были вовлечены другие специалисты.

their colleagues at NPOL. V.L. Barsukov headed the scientific program for the landing probe. IKI was responsible for the scientific aspects of the balloon (V.M. Linkin's laboratory). The laboratory employees V.V. Kerzhanovich, A.N. Lipatov, L.I. Khlyustova and S.P. Ignatova made a great contribution to the balloon implementation.

In July 1985 balloons were deployed in the Venus atmosphere and nominally operated for 48 hours passing about 11,500 km along the horizontal path at an altitude of 53–54 km. For the first time fine structure of the atmospheric superrotation was measured. V.M. Linkin became the Lenin prize laureate for this job.

The ballon in the Venus atmosphere served as a radio marker. Its coordinates and velocity were measured from Earth applying the technique of the differential long-baseline interferometry. The idea of these observations was proposed by V.M. Linkin, L.N. Matveyenko and L. Kogan. Tracking this radio marker within an extended range made it possible to completely sweep aside all the doubts on the Venus atmosphere superrotation. In addition the measurements of the atmosphere's local parameters made by the balloon provided for unique data on the superrotation mechanism. We can judge on the experiment complexity by the fact that a network of twenty ground-based radio telescopes integrating the largest in the world antennas tracked the balloons.

The landing probes operated perfectly and brought several interesting discoveries. Detection of phosphorus in the clouds' particles was of particular interest (B.M. Andeichikov and others).

To our regret the VEGA mission put the dot over „i“ in the history of studying Venus. Apparently „saying goodbye“ to this planet was a mistake. It was a loss of one of the few fields in which Soviet/Russian scientists were in vanguard of not only planetary research but of fundamental studies as a whole for many years.

The VEGA-1 and -2 spacecraft flew towards Halley's comet after the maneuver near Venus. They were not alone as the European Giotto and two small Japanese spacecraft Suisei and Sakigake had the same target. This comet's passing of perihelium strongly stimulated the international cooperation development in space reasearch. Scientific institutions and specialists from 9 countries participated in the scientific program of the VEGA mission. Moreover, VEGA-1 and -2 passed the comet's nucleus earlier than Giotto and their data could be used for its trajectory correction. This task was not simple but it was solved. Thus one more cooperative level appeared when one mission assisted the other.

A task of crossing the comet's coma and imaging its nucleus was rather risky as nobody knew whether the nucleus was screened by the comet dust and how intensive and dangerous the spacecraft bombardment with dust particles could be. Again there was a need in an engineering model. V.I. Moroz prepared the first version but later many specialists were involved in this work.

A rotational platform with automatic pointing was developed and manufactured for imaging the nucleus. The platform was manufactured at the Czech Academy of Sciences, IKI and the Hungarian Academy of Sciences manufactured the TV-system. The department for physics of the Solar system's planets and small bodies did not participate in this activity as it had other tasks, including studies of the chemical composition of inner coma using two instruments – the infrared spectrometer (IKS) and a three-band spectrometer (TKS). They were installed on

pictures see page 172

Для съемки ядра была разработана и изготовлена поворотная платформа с автоматическим наведением на него. Платформу сделали в АН ЧССР, саму ТВ-систему в АН ВНР с участием ИКИ. Отдел физики планет и малых тел Солнечной системы в этом не принимал участия, у него были другие задачи, в частности, исследование химического состава внутренней комы при помощи двух приборов: ИКС (инфракрасный спектрометр) и ТКС (трехканальный спектрометр). Они вместе с ТВ-камерой стояли на платформе. Оба эксперимента были советско-французскими, научный руководитель ИКС со стороны ИКИ – В.И.Мороз, ТКС – В.А.Краснопольский. В результате измерений прибором ИКС открыты кометная полоса излучения органического вещества около 3,4 мкм, полосы „родительских" молекул CO_2, CO, COOH, измерена температура кометного ядра. При помощи прибора ДУСМА проводились измерения потоков и физических характеристик кометной пыли (эксперимент совместный с Чикагским университетом, научный руководитель со стороны ИКИ – Л.В.Ксанфомалити).

Советские ученые не смогли бы своими силами поставить столько интересных экспериментов, как это было в проекте ВЕГА. Не хватило бы ни средств, ни приборостроительной базы, ни собственной „рабочей силы". Прямые рабочие контакты с иностранными специалистами позволяли быть в курсе современных тенденций в развитии техники космического эксперимента на Западе.

Международное сотрудничество стало еще более широким в проекте „Фобос". Работа над ним началась с предложения В.Д.Давыдова использовать Фобос в качестве базы для дистанционных исследований Марса. Но это не очень хорошая наблюдательная точка – расстояние до Марса большое, и для измерений открыты только его экваториальная область и средние широты. Интереснее сам Фобос, как наиболее доступный образец тела, подобного астероиду. Рассматривались разные варианты проекта. Вначале это была доставка вещества Фобоса на Землю, затем посадка на его поверхность с прямыми исследованиями на месте. В конечном счете, пришли к пролету над Фобосом на очень малой высоте (50 м). Основной эксперимент для этой геометрии предложил Р.З.Сагдеев и Г.Г.Манагадзе: вещество поверхностного слоя испаряется лазерной пушкой, его состав измеряется при помощи масс-спектрометра. Позднее было решено также высадить на поверхность Фобоса две малые станции. За одну из них (ДАС) взялась лаборатория В.М.Линкина. Другим вкладом отдела в работу над проектом стал эксперимент КРФМ (Л.В. Ксанфомалити и др.) для дистанционных исследований Фобоса и Марса (фотометрия и ИК-радиометрия). Конструктивно отечественный прибор был объединен с французским картирующим спектрометром на диапазон 0,8–3,2 мкм (ИСМ, Ж.П.Бибринг и др.)

Научным руководителем проекта „Фобос" стал Р.З.Сагдеев.

Космический аппарат для экспедиции разрабатывался под руководством Главного Конструктора НПОЛ В.М.Ковтуненко. Старая добрая „Венера" уже себя исчерпала, сменились подсистемы, конструкция и даже элементная база. Новый космический аппарат должен был стать аппаратом для исследований Солнечной системы на следующие 20 лет. Но жизнь распорядилась иначе.

В ходе работ по проекту неоднократно возникали большие технические трудности, связанные отчасти с новизной аппарата. Запуск был намечен на 1988 г., но когда подошло время принимать решение, стало ясно, что полет будет связан с риском. Тем не менее, „Фобос-1 и -2" стартовали в намеченные даты. „Фобос-1" прекратил связь с Землей в сентябре 1988 г. из-за оши-

the platform together with the TV-camera. The both experiments were conducted within the framework of Soviet-French cooperation. V.I. Moroz Co-PI in the IKS experiment and V.A. Krasnopolsky – in the TKS spectrometer. Bands of the comet's organic matter radiation at about 3.4 μm of the „parental" molecules CO_2, CO, COOH were discovered in the IKS experiment and the comet nucleus temperature was measured. The DUSMA instrument measured the flows and physical characteristics of the comet dust. This experiment was conducted in cooperation with the Chicago University and L.V. Ksanfomality was responsible for the scientific aspects from IKI.

Soviet scientists could not implement so many interesting experiments by themselves. They had neither sufficient funding, nor the device engineering base and enough staff. Direct contacts with the foreign specialists allowed to follow the modern tendencies in the experimental space technology development in the West.

International cooperation widened in the Phobos mission. The work on the project began after V.D. Davydov proposed to use Phobos as a base for Mars remote sensing. However Phobos is not a very good observation point for studying Mars as its equatorial region and mean latitudes are only seen. Phobos itself is more interesting as this is a body similar to an asteroid with the easiest access to it. Several mission scenarios were considered. At first soil sample return from Phobos was discussed, then landing to its surface and direct studies. Finally the decision was fly above its surface at a very low altitude of 50 m. R.Z. Sagdeev and G.G. Managadze proposed the main experiment for this mission geometry. A laser gun had to evaporate the surface layer matter and a mass-spectrometer should measure the matter's composition. Later on it was decided to land two small stations on the Phobos surface. V.M. Linkin's laboratory was responsible for one of them. The KRFM experiment (L.V. Ksanfomality and others) was the other department's contribution to this mission. It consisted in Phobos and Mars remote studies (photometry and IR-radiometry). Our instrument was united with the French mapping spectrometer for 0.8–3.2 μm (ISM, J.P. Bibring and others).

R.Z. Sagdeev was the Phobos mission scientific supervisor.

NPOL Chief designer V.M. Kovtunenko headed the spacecraft development. The Venera spacecraft design was obsolete, there were new subsystems, design and even components. The new spacecraft had to be the baseline design for studying the Solar system for the next 20 years. However the life introduced changes.

During the project implementation technical difficulties occurred not once because of the spacecraft design novelty. The launch was planned for 1988 but when the time for decision making came it became obvious that the risk of the flight was high. Nevertheless the Phobos-1 and -2 spacecraft were launched on the fixed dates. Communications with the first spacecraft failed in September 1988 because of a false command. Phobos-2 successfully approached Mars at the end of January 1989 firstly occupying the elliptical orbit, then transferring to a circular orbit gradually approaching Phobos. It became its artificial satellite at the end of March. Remote studies of Mars and Phobos were conducted during two months but the most ambitious part of the mission was ahead. The spacecraft had to flyby Phobos at the minimal distance and descent a small station onto its surface. This was planned for the end of March – the beginning of April. However the communications was lost.

иллюстрации стр. 172

бочно поданной команды. „Фобос-2" благополучно достиг Марса в конце января 1989 г., вышел сначала на эллиптическую орбиту, потом перешел на круговую, постепенно сближаясь с Фобосом, а в конце марта стал его искусственным спутником. В течение двух месяцев успешно проводились дистанционные исследования Марса и Фобоса, но впереди оставалась наиболее амбициозная часть экспедиции: пролет на минимальном расстоянии от Фобоса и десантирование на его поверхность малой станции. Оно было запланировано на конец марта—начало апреля. Однако связь с аппаратом была потеряна.

Экспедиция „Фобос" часто оценивается как неудачная. Но это неправильно. За два месяца было получено гораздо больше данных, чем во всех других советских марсианских экспедициях. И дело не в объеме, а в качественном уровне исследований. Успешно проведен целый ряд новых экспериментов, какие на американских миссиях не ставились. Если говорить о вкладе отдела, то это прежде всего измерение вертикального распределения содержания водяного пара и аэрозолей в атмосфере Марса (В.А.Краснопольский и др.) и получение спектра отражения Фобоса (Л.В.Ксанфомалити и др.). Последний опроверг ранее господствовавшие представления о составе вещества Фобоса.

Проект имел в своем составе автономную станцию – ДАС – для работы в течение не менее года на поверхности Фобоса. Станция должна была провести измерения элементного состава поверхности, исследовать внутреннее строение марсианского спутника по сейсмическим измерениям и по параметрам либрации. С помощью радиосистемы станции планировались прецизионные траекторные измерения, по которым должны были уточняться параметры орбитального движения Фобоса и Марса и некоторые фундаментальные параметры Солнечной системы. Впервые в мире была создана мини-станция, массой всего около 50 кг, для автономной работы на поверхности малого тела Солнечной системы. Специалисты ИКИ отвечали за все измерительные средства и математическое обеспечение станции, служебное и научное, НПОЛ – за конструкцию ДАС, посадку на Фобос, системы электропитания и терморегулирования. К сожалению, из-за потери связи с космическим аппаратом не удалось реализовать операции его приближения к поверхности Фобоса и десантирования ДАС. Но все необходимые для этого средства были созданы и испытаны.

В конце 80-х гг. отдел достиг пика в своем развитии. В нем в этот период насчитывалось 9 докторов наук и 6 лауреатов Ленинской и Государственной премий при общей численности около 70 сотрудников. Было широкое международное признание. Оно, в каком-то смысле, и подрубило отдел. Прошло несколько лет, и началась „утечка мозгов": уехали работать за границу Л.М.Мухин, В.А.Краснопольский, В.В.Кержанович и Л.С.Марочник. Первые три были ключевыми фигурами в проекте „Марс-94/96", но их это не остановило.

После отъезда Л.М.Мухина его лабораторию возглавил Б.М.Андрейчиков, В.А.Краснопольского заменил его ученик О.И.Кораблев. В.Г.Истомин продолжает работать в отделе, но на посту руководителя лаборатории его сменил В.А.Кочнев. Последние эксперименты этой группы были посвящены исследованиям земной ионосферы. Сравнительно недавно в отдел перешла еще одна лаборатория, работающая в области космической масс-спектрометрии (Е.Н.Евланов). Она участвовала ранее в разработке приборов для миссий ВЕГА и „Фобос". Лаборатория В.М.Линкина, сформированная вначале под флагом планетной метеорологии, расширила профиль, теперь ее направление фор-

The Phobos mission is usually considered as a failure. However this is not true. Much more data was obtained within two month than during all the other Soviet missions to Mars. The matter is not in the scope but in the quality of investigation. Several new experiments were successfully completed. U.S. missions did not plan anything similar. As for the department's contribution these were first and foremost measurements of the vertical distribution of the water vapor and aerosols in the Martian atmosphere (V.A. Krasnopolsky and others) and the reflection spectrum of Phobos (L.V Ksanfomality et al.). The latter refuted the previous ideas on the Phobos matter composition.

The mission planned operation of an autonomous station DAS on the Phobos' surface within a year. The station had to measure the surface layer element composition and to study the internal structure of the Martian moon based on seismic measurements and libration parameters. The station's radio system should to conduct precision trajectory measurements in order to define more precisely the orbital motion of Phobos and Mars and certain basic parameters of the Solar system. For the first time in the world the mass of the station intended for an autonomous operation on the Solar system's small body, was about 50 kg only. IKI was responsible for the DAS measuring systems and the software for both the housekeeping systems and the payload. NPOL was responsible for the DAS design, landing on Phobos and the power supply and temperature control systems. Unfortunately it was impossible to approach Phobos and descent DAS because of the communications failure though all the necessary systems were created and tested.

At the end of the 1980s the department was flourishing. The staff included 70 people including 9 scientists with Sci.D. and 6 laureates of the Lenin and State prizes. The department got a world recognition what to a certain extent ruined it. Several years later „brain drain" began. L.M. Mukhin, V.A. Krasnopolsky, V.V. Kerzhanovich and L.S. Marochnik left abroad. The first three were the key persons in the Mars-94/96 mission but this did not stop them.

When L.M. Mukhin left B.M. Andreichikov headed the laboratory. O.I. Korabliov occupied the position of his teacher V.A. Krasnopolsky. V.G. Istomin is still at the department but V.A. Kochnev replaced him at the position of the laboratory's head. The last experiments of this team were aimed at the terrestrial ionosphere studies. Relatively recently a laboratory for space mass-spectrometry (Ye.N. Yevlanov) joined the department. This team participated in designing instruments for the VEGA and Phobos missions. V.M. Linkin's laboratory was concentrated on the planetary meteorology at the beginning, and later was targeted at the more wide studies of the Solar system's bodies from small spacecraft. New members have joined this laboratory (V.M. Gotlib, radiophysical experiments and T.K. Breus, models of the planetsary ionospheres).

There are relatively few young people at the laboratory. A.V. Rodin and N.I. Ignatiev are among them. The latter applied new approaches to the optical spectra analysis (Venera-11, -13 and -14 data) and showed that the water vapor vertical distribution in the Venus atmosphere strongly differed from that derived during the earlier done interpretation. Reconsideration of the data from the previous missions for this data thorough analysis is natural under the present situation since there has been no new experimental data after the Phobos mission.

pictures see page 172

мулируется более широко: исследования тел Солнечной системы на малых космических аппаратах. Туда пришли новые сотрудники – В.М.Готлиб (радиофизические эксперименты) и Т.К.Бреус (модели ионосфер планет).

Молодых сотрудников сегодня в отделе сравнительно мало. Среди них А.В.Родин и Н.И.Игнатьев. Последний, используя новые подходы в анализе измерений оптических спектров на посадочных аппаратах „Венера-11, -13 и -14", показал, что вертикальное распределение водяного пара в атмосфере Венеры заметно отличается от полученного на основе первоначальной интерпретации. Обращение к данным прежних миссий с целью их нового, более глубокого анализа, является естественным в нынешних условиях: ведь после экспедиции „Фобос" не было нового экспериментального материала.

Еще не ушли в полет „Фобос-1 и -2", как начались обсуждения, что должно стать следующим шагом. Они велись с участием зарубежных коллег по проекту „Фобос". Все настроились на суперпроект, нацеленный на исследования Марса: спутник, малые станции, марсоход, аэростаты, пенетраторы. Сначала говорили о старте в 1992 г., но это было нереально. Всерьез готовились к 1994 г., но и этот срок пришлось перенести. Научным руководителем проекта был А.А.Галеев, его заместителем от ИКИ – В.И.Мороз. Всеми работами по космическому аппарату руководил В.М.Ковтуненко, по малым станциям – В.М.Линкин. Кооперация по научной аппаратуре охватывала специалистов 20 стран.

Проблем возникало много, и, по предложению В.М.Ковтуненко, проект упрощается: оставлены только спутник, малые станции и пенетраторы, отказались от традиционной двухпусковой схемы. Российское космическое агентство (РКА) финансировало проект как приоритетный, но денег все равно не хватало, и приходили они с опозданием. Результат был трагическим. 17 ноября 1996 г. состоялся запуск – неудачный, станция не вышла на траекторию полета к Марсу. И этому не приходится удивляться: проект был начат в одной стране, а завершен (если это можно так называть) совсем в другой.

Прекращение холодной войны и установление „партнерских отношений" между Россией и США имело последствия и для отдела. Начались обсуждения возможных совместных полетов к Марсу, и даже к Плутону. Американцы полагали, что смогут сэкономить на этом свои средства, и рассчитывали, что для совместных проектов будут использоваться замечательные российские „Протоны". Но РКА вскоре дало понять, что эти мощные и дорогие ракеты больше не будут предоставляться для планетных исследований – ни национальных, ни совместных с США. После неудачного запуска КА „Марс-96" резко упало доверие к НПОЛ. В результате концепция „Вместе к Марсу" свелась к небольшому российскому участию в научных экспериментах на американских космических аппаратах. Изготовленные в России зеркала стоят в инфракрасном радиометре ПМИРР, который улетел 11 декабря 1998 г. на американском космическом аппарате „Марс Клаймет Орбитер". Эксперимент имеет научного соруководителя с российской стороны (В.И.Мороз). 3 января 1999 г. ушел к Марсу посадочный аппарат „Марс Полар Лэндер", на борту которого находится прибор (лидар), разработанный и полностью изготовленный в ИКИ (научный руководитель В.М.Линкин).

В отделе продолжается разработка новых экспериментов и концепций будущих планетных миссий.

иллюстрации стр. 172

Phobos-1 and -2 spacecraft were still on Earth when discussions of the next step began. Foreign co-participants of the Phobos mission also took part in these discussions. Everybody was disposed towards a super-mission aimed at studying Mars, including a satellite, small stations, a Mars rover, balloons and penetrators. At first the launch was planned for 1992, but this was not realistic. A serious preparation was conducted for 1994 however this term was also shifted. A.A. Galeev was responsible for scientific aspects (IKI) and V.I. Moroz was his deputy. V.M. Kovtunenko headed the works on the spacecraft and V.M. Linkin – on the small stations. Specialists from 20 countries participated in the scientific payload development.

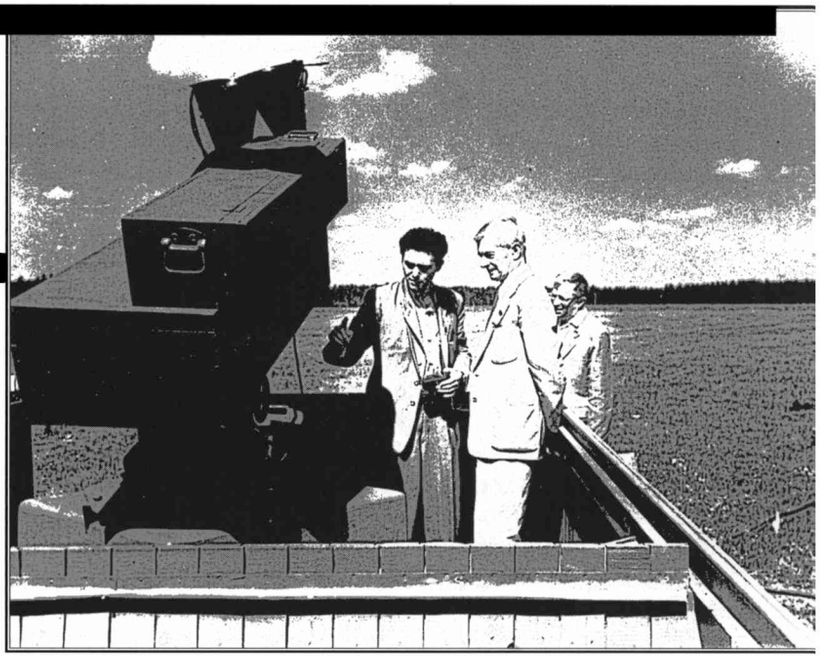
There were many problems and V.M. Kovtunenko proposed to simplify the mission. Thus only the satellite, small stations and the penetrator were left. The traditional double launch scenario was also rejected. The Russian Space Agency allotted funding for the mission as a top priority project. However there was insufficient money and it was transferred with a delay. The result was tragic. On November 17, 1996 the spacecraft was launched and failed – it did not occupy the flight trajectory towards Mars. That was not a surprise as the work began in one country and was completed in absolutely another one.

End of the cold war and improvement of relations between Russia and the USA led to certain changes in the department activity also. The discussions of possible joint flights towards Mars and even Pluto began. The Americans hoped to save money due to the use of the remarkable Russian Protons for joint missions. But the Russian Space Agency let them know that these capacious and expensive launch vehicles would not be used for planetary studies neither national nor joint with the U.S. After the failure launch of the Mars-96 spacecraft the Lavochkin Association sharply lost the confidence. Thus the Mars Together mission was reduced for Russia to its limited participation in the scientific experiments on the U.S. spacecraft. The manufactured in Russia mirrors are on the infrared radiometer PMIRR of the U.S. spacecraft Mars Climate Orbiter which was launched on December 11, 1998. V.I. Moroz is the joint PI of the PMIRR experiment. On January, 1999 the landing probe Mars Polar Lander left to Mars. It carries the lidar developed and completely manufactured at IKI (V.M Linkin is PI).

The department is preparing new experiments and developing concepts for the future missions.

Отдел геофизики – физики космической плазмы

Department for Geophysics and Space Plasma Physics



Одним из первых научных подразделений, сформированных в ИКИ, стал отдел геофизики, в задачу которого входило изучение плазмы в космосе. В дальнейшем отдел неоднократно реорганизовывался, менялось и его название. Само же направление исследований космической плазмы в Институте складывалось на основе коллективов, занимавшихся ранее этой тематикой в других академических и ведомственных организациях, а затем перешедших в ИКИ. В 1972 г. на их базе создается „плазменное" отделение. Правда, просуществовало оно недолго, и затем было реорганизовано в отдел физики космической плазмы, возглавляемый в настоящее время Л.М.Зеленым.

Первым заведующим отделом геофизики назначается Г.А.Скуридин, который одновременно выполнял функции заместителя директора ИКИ. До Института Г.А.Скуридин являлся заместителем академика М.В.Келдыша по Межведомственному научно-техническому Совету по космическим исследованиям при АН СССР (МНТС по КИ), в котором он курировал научные исследования и возглавлял аппарат Совета.

Г.А.Скуридин остро чувствовал новое в науке и научно-технической политике, был талантливым менеджером, как сказали бы о нем сегодня. Он пользовался большим авторитетом у М.В.Келдыша – тогда Президента АН СССР и основного руководителя программы научных исследований в космосе. Это создавало определенную специфику в положении Г.А.Скуридина в ИКИ. Разумеется, в оценках его как научного руководителя и просто ученого далеко не все единодушны. Многие расходились с ним во мнениях и по организационным вопросам жизни Института. Тем не менее, можно сказать, что Г.А.Скуридин был человеком академических традиций, с четкими представлениями о творческой свободе. Он ценил самостоятельность и уважал чужие мнения, в том числе, совсем молодых завлабов с небольшим опытом не только в организации науки, но и в самой науке.

Аппарат МНТС по КИ формально представлял собой один из отделов отделения прикладной математики МИ АН СССР. Г.А.Скуридин одновременно являлся заведующим этим отделом. Его личные научные интересы в то время лежали в области физики магнитосферы. В отделе была небольшая группа теоретиков (В.Д.Плетнев, А.И.Ершкович, И.Н.Швачунов, В.П.Шалимов – в дальнейшем ставший ученым секретарем ИКИ, Л.С.Чесалин –

The department for geophysics was one of the first IKI subdivisions targeted on studying space plasma. Then the department was several times restructured and renamed. Several teams from the academic and other institutes came to IKI and contributed to the formation of the space plasma studies. In 1972 these teams united in a „plasma" division. It existed for a short period and was transformed into the department for space plasma physics. At present, L.M. Zelenyi heads this department.

G.A. Skuridin was the first head of the department for geophysics. In parallel, he was the IKI deputy director. In the past, Skuridin was deputy of academician M.V. Keldysh in the Interdepartmental Scientific Technological Council on Space Research of the USSR Academy of Sciences (MNTS KI). He supervised scientific studies and was the head of the Council administration.

G.A. Skuridin was highly sensitive to the novelty in science and scientific and technological policy like a gifted manager. He enjoyed authority of M.V. Keldysh who at that time was the President of the USSR Academy of Sciences and the chief supervisor of the programs for space research. Thus Skuridin's position at IKI was rather specific. Naturally there was not unanimity in his assessing as a science manager and a scientist. Many diverged with him in opinions about the Institute's activity management. Nevertheless G.A. Skuridin followed the academic traditions and had a strictly defined notion on the creative freedom. He highly appreciated independence and respected other opinions including those of young heads of laboratories weakly experienced not only in science management but sometimes in scientific problems solution also.

MNTS KI formally was one of the departments of the Division for Applied Mathematics of the Mathematical Institute of the USSR Academy of Sciences. G.A. Skuridin's own scientific interests lied in magnetosphere physics. A small team of theoreticians was directly engaged in the problems being of interest for G.A. Skuridin. They were V.D. Pletnev, A.I. Ershkovich, I.N. Shvachunov, V.P. Shalimov (further became IKI Scientific secretary) and L.S. Chesalin (later created the department for the development of ground and onboard devices for scientific data collection and processing and became the head of it). In particular,

pictures see pages 175

позднее создавший и возглавивший в ИКИ отдел по разработке наземных и бортовых средств сбора и обработки научной информации), работавших непосредственно над проблемами, интересовавшими Г.А.Скуридина. В частности, он был первым или одним из первых, кто пришел к выводу о важной роли прорыва горячей солнечной плазмы из магнитослоя в магнитосферу в нейтральных точках на дневной магнитопаузе, т.е. по современной терминологии – в полярных каспах. В.Д.Плетнев и другие теоретики развивали это направление. Для изучения явлений „прорыва плазмы", а также возникающих при этом взрывных эффектов в околоземной части хвоста магнитосферы Г.А.Скуридиным была предложена трехспутниковая система – по одному спутнику в северный и южный каспы, и третий – в околоземную часть хвоста магнитосферы. Этот проект назвали „Рой" (больше был известен под именем „Русская тройка"), и хотя он не был реализован, идея таких многоспутниковых исследований заметно повлияла на последующее развитие представлений о путях экспериментального изучения магнитосферы. Из этого проекта в какой-то степени родилась программа спутников „Прогноз", а почти через 30 лет осуществлен в чем-то сходный проект „Интербол".

Группа теоретиков Г.А.Скуридина вместе с ним перешла в ИКИ и на правах лаборатории была включена в отдел геофизики.

Вторым коллективом, вошедшим в состав отдела, была лаборатория полярных сияний (впоследствии лаборатория физики магнитосферных процессов) во главе с Ю.И.Гальпериным. Этот коллектив состоял из исследователей, работавших ранее в Институте физики атмосферы АН СССР в отделе физики верхней атмосферы под руководством профессора В.И.Красовского. В этом отделе уже с середины 50-х годов велись наземные исследования полярных сияний и свечения ночного неба в средних и высоких широтах с использованием весьма совершенных спектрографов, созданных в ГОИ им.С.И.Вавилова. В отделе сотрудничал (на половинной ставке) и И.С.Шкловский. Многие сотрудники отдела ранее учились у него в МГУ. В.И.Красовский был очень энергичным человеком и увлеченным исследователем, и эта энергия и энтузиазм передавались его сотрудникам. Такой „тандем" двух крупных ученых во многом определил выбор направлений исследований, быстрый анализ лавины новых экспериментальных данных и теоретических результатов, обеспечил воспитание плеяды молодых специалистов для новой бурно развивающейся области исследований.

Первым космическим экспериментом В.И.Красовского и И.С.Шкловского (в нем также участвовали Ю.И.Гальперин и Е.М.Светлицкий) стало измерение „частиц с энергией 10 кэВ" на Третьем спутнике – по существу, первой настоящей космической лаборатории. Главным результатом этого пионерского эксперимента стало выявление высокой интенсивности частиц малых энергий и углового распределения, свидетельствующего об их захвате в геомагнитную ловушку. По современным представлениям это были частицы кольцевого тока.

Исследования частиц малых энергий затем продолжались под руководством В.И.Красовского на спутниках „Космос-3" и „Космос-5" и первых системах высотных магнитосферных спутников „Электрон-1 и -3" и „Электрон-2 и -4".

Среди результатов исследований, выполненных на „Космосе-5", следует отметить регистрацию эффектов, связанных с американским термоядерным взрывом над о.Джонстона. Радиоактивный распад выброшенной вверх в магнитосферу горячей плазмы создал мощный искусственный радиационный пояс высокоэнер-

G.A. Skuridin was the first or one of the firsts to make a conclusion on the importance of the hot solar plasma penetration from the magnetosheath into the magnetosphere in the neutral points on the day-side magnetopause, i.e. according to modern terminology – in polar cusps. V.D. Pletnev and other theoreticians developed this trend. In order to study the plasma „intrusion" phenomenon together with accompanying explosive effects in the near-terrestrial region of the magnetosphere's tail, G.A. Skuridin proposed a three-satellite system. One satellite's apogee should be placed in the northern cusp, while for the other satellite – in the southern cusp, and for the third satellite – in the near-Earth region of the magnetosphere's tail. This was the Roy (Swarm) project. Its more famous name given later was Russkaya Troika. Though the project was not implemented, the idea of multi-satellite studies considerably influenced the further development of the notion about the ways of magnetosphere experimental studies. To a certain degree this project gave birth to the Prognoz satellite series. More or less similar project Interball was implemented in 30 years.

The team of theoreticians headed by G.A. Skuridin transferred to IKI and became a laboratory of the department for geophysics.

The laboratory for auroral physics (then the laboratory for physics of magnetospheric processes) headed by Yu.I. Galperin became the second group which joined the department. This team included researchers who worked at the Institute for the atmospheric physics, USSR Academy of Sciences in the department for the upper atmosphere physics headed by professor V.I. Krassovsky. In the mid 1950s this department began ground-based studies of the auroral and airglow physical processes at middle and high latitudes. They used rather advanced optical spectrometers created at the Vavilov State Optical Institute (St.-Petersburg). I.S. Shklovsky was a half-paid employee of this department. Many department's employees before were his students at Moscow State University. V.I. Krassovsky was an energetic person and enthusiastic researcher. His energy and enthusiasm communicated to his pupils and employees. The tandem of these two outstanding scientists specified the research field choice. A quick analysis of the avalanche of new experimental data and theoretical calculations served as a base for bringing up a galaxy of young scientists for the new rapidly developing research field.

V.I. Krassovsky and I.S. Shklovsky aimed their first space experiment at the measurement of particles with an energy of 10 keV on the Third satellite („Sputnik Three") – the first real space laboratory. Yu.I. Galperin and E.M. Svetlitsky also participated in this work. The main result of this pilot experiment consisted in the discovery of high intensity of trapped low-energy particles and determination of their angular distribution confirming their trapping in the geomagnetic trap. According to the contemporary ideas these were particles of the ring current.

V.I. Krassovsky continued studies of the low-energy auroral particles and photoelectrones from the Cosmos-3 and Cosmos-5 satellites launched in 1962, as well as from onboard the first high-altitude magnetosphere satellites Electron-1 and -3 (a lower-altitude pair – to ~1 R_E apogee) and Electron-2 and -4 satellites (a higher-apogee pair – ~10 R_E) launched in 1964.

Registration of the effects caused by the U.S. thermonuclear explosion in space above the Johnston Island was the most remarkable experiment fulfilled on Cosmos-5 spacecraft. Radioactive decay of the hot plasma ejected into the magnetos-

иллюстрации стр. 175

гичных электронов. На основе проведенных с „Космоса-5" измерений формирование искусственного пояса и ряд других связанных с этим радиационных эффектов получило количественное объяснение в работах Ю.И.Гальперина и А.Д.Болюновой (1964–1967 гг.). Из этих данных следовало, в частности, что высотный ядерный взрыв значительно и надолго засоряет своими радиоактивными продуктами околоземное пространство. При этом выявилась некоторая аналогия с процессами формирования пояса кольцевого тока в магнитосфере во время магнитной бури.

Обнаружение со спутников поясов захваченных энергичных частиц стало крупной научной сенсацией, бурно обсуждалось и в научных кругах, и в прессе. Это направление исследований, во главе которого стоял С.Н.Вернов (НИИЯФ МГУ), полностью доминировало в первое десятилетие космической эры при формировании научной программы исследований околоземного космоса отчасти из-за прикладных аспектов (радиационные дозы для космических аппаратов, вопросы контроля высотных ядерных взрывов), но, главным образом, из-за высокого научного авторитета исследователей радиационных поясов, их опыта в создании миниатюрных и экономичных приборов, накопленного при исследованиях космических лучей с аэростатов. Эти ученые считали роль космических лучей и частиц высоких энергий определяющей не только в формировании радиационных поясов, но и в энергетике основных магнитосферных процессов.

В.И.Красовский, И.С.Шкловский, их коллеги и ученики придерживались противоположной точки зрения на природу и энергетику основных факторов, определяющих физику процессов в околоземной плазме. На основании исследований полярных сияний и магнитных бурь они полагали, что главную роль играют частицы небольших энергий, ~10 кэВ, проникающие в магнитосферу из плазмы солнечного ветра.

К середине 60-х годов стала очевидной справедливость представлений о доминировании частиц килоэлектронвольтных энергий во внешней магнитосфере и, в особенности, в ее основном плазменном резервуаре – хвосте магнитосферы. Поэтому акценты в формировании программ измерений со спутников начали меняться. Предполагалось, что весь отдел В.И.Красовского войдет в ИКИ. Однако что-то помешало этому, и по его настоянию в ИКИ в мае 1967 г. перешла лишь группа сотрудников, возглавляемая Ю.И.Гальпериным, в которую входили А.Д.Болюнова, Н.В.Джорджио, Т.М.Мулярчик, В.В.Темный, Н.И.Федорова, Ф.К.Шуйская и ряд других с почти готовым большим экспериментом на будущем спутнике „Космос-261".

Одновременно из отдела В.И.Красовского в ИКИ в отдел комплексных программ перешел О.Л.Вайсберг, который еще в ИФА начал готовить эксперимент по исследованию солнечного ветра. В конце 1967 г. в отделе геофизики был образован сектор космической плазмы, который он возглавил. Первыми сотрудниками сектора стали С.И.Климов, А.В.Богданов, А.А.Зерцалов, В.Н.Смирнов и С.А.Романов.

В 1967 г. в ИКИ был также организован отдел космических лучей, в который вошла группа сотрудников из НИИЯФ МГУ, и которым руководил Н.Л.Григоров. У самого Н.Л.Григорова и его сотрудников (А.С.Мелиоранский, В.Е.Нестеров, Н.Ф.Писаренко, Л.Ф.Калинкин, В.П.Акимов) уже был опыт работы на космических аппаратах. Сектор этого отдела во главе с Н.Ф.Писаренко (В.Н.Луценко, О.Б.Ликин, Е.И.Морозова и др.) работал в области солнечных космических лучей и был наиболее близок по тематике к отделу геофизики. Одно время в этот коллектив

phere created a strong artificial radiation belt of high-energy electrons. Yu.I. Galperin and A.D. Bolyunova gave quantitative explanation (papers of 1964–1967) to this artificial belt origin and several other accompanying radiation effects based on the measurements from the Cosmos-5 as well as from Cosmos-3, Cosmos-6 and some foreign spacecraft. In particular, this data showed that the high-altitude nuclear explosion caused a considerable pollution of the near-terrestrial space for a long period of time. They also revealed a certain analogy with the processes of the ring current formation in the magnetosphere during a magnetic storm.

The powerful natural belts of trapped energetic particles discovered from satellites became a great scientific sensation which was discussed by both scientists and mass media. This research field headed by S.N. Vernov (Nuclear Physics Institute of Moscow State University) predominated in the near-terrestrial space research program formation in the first decade of the space era. This was partially due to applied aspects (radiation danger for spacecraft and manned flights, and the problems of high-altitude nuclear explosions control), but mainly due to high scientific authority of radiation belt researchers and their experience in the creation of light-weight and economical instruments gained during cosmic ray studies from balloons. These scientists considered that cosmic rays and high-energy particles played decisive role not only in the formation of the radiation belts but also in the energy balance of main magnetospheric processes.

V.I. Krassovsky, I.S. Shklovsky and their colleagues and followers held the opposite opinion about the nature and energy balance of the main factors defining the physics of the processes in the near-terrestrial plasma. Based on studies of the aurora and magnetic storms these scientists supposed that low-energy particles of 10 keV penetrating into the magnetosphere from the solar wind plasma played the most important role in these processes.

In the mid 1960s the predominance of the kiloelectronvolt energy particles in the outer magnetosphere and especially in its main plasma reservoir – the magnetosphere's tail, became obvious. Thus accents were changing in the program for satellite measurements. A transfer of the department headed by V.I. Krassovsky to IKI was planned. However there were some obstacles. So in May 1967 Krassovsky insisted on a transfer of the team headed by Yu.I. Galperin and including A.D. Bolyunova, N.V. Djordjio, T.M. Mularchik, V.V. Temny, N.I. Fedorova, F.K. Shuiskaya and others. This team had almost completed the preparation of a large experiment for the next satellite which was later named Cosmos-261.

At the same time O.L. Vaisberg came to the IKI department for complex programs from the department headed by V.I. Krassovsky. While working at the Institute for Atmosphere Physics he began to prepare an experiment on studying the solar wind. At the end of 1967 a sector for studying space plasma which he headed was formed at the department for geophysics. S.I. Klimov, A.V. Bogdanov, A.A. Zertsalov, V.N. Smirnov and S.A. Romanov were the first employees of the sector.

In 1967 the department for cosmic rays headed by N.L. Grigorov was also formed at IKI. It incorporated a team of specialists from NIIYaF MGU (Nuclear Physics Institute of Moscow State University). Grigorov and his colleagues A.S. Melioransky, V.E. Nesterov, N.F. Pissarenko, L.F. Kalinkin and V.P. Akimov had already a certain experience in preparing space-based experiments. A sector of this department headed by N.F. Pissarenko (V.N. Lutsenko, O.B. Likin, E.I. Morozova and others) studied

pictures see page 175

входил и А.В.Захаров, ставший затем ученым секретарем ИКИ и защитивший докторскую диссертацию по исследованиям пограничных слоев магнитосферы Земли и магнитосферы Марса.

Еще один отдел, в котором велись исследования космической плазмы, возглавлялся первым директором ИКИ академиком Г.И.Петровым. В него входила теоретическая лаборатория во главе с В.Б.Барановым и экспериментальная – во главе с В.Б.Леонасом.

В 1971 г. в ИКИ переводится из Радиотехнического института АН СССР большой коллектив ученых, возглавляемый К.И.Грингаузом. Этому коллективу принадлежали пионерские работы на первых геофизических ракетах, первых спутниках, первых автоматических межпланетных станциях. До Радиотехнического института К.И.Грингауз и его сотрудники работали в НИИ-885, где в 1950 г. создается руководимая им лаборатория радиотехнологии. В экспериментах на геофизических ракетах принимали участие Г.Л.Гдалевич, В.А.Рудаков, Г.К.Новожилов. Для Первого спутника сотрудниками лаборатории (В.А.Рудаков, В.Д.Озеров) разработаны и построены бортовые радиопередатчики – знаменитые „бип-бип", которые кроме информации о движении спутника передавали данные о температуре и давлении внутри герметичного корпуса. На Третьем спутнике выполнен эксперимент по измерению концентрации и температуры ионосферных ионов (М.Х.Зеликман, В.В.Безруких, А.Е.Альперина, В.Д.Озеров, Ю.В.Гавашвили). В экспериментах на первых лунных и межпланетных аппаратах открыта ранее неизвестная граница в плазменной оболочке Земли, называемая сегодня плазмопаузой (К.И.Грингауз, В.В.Безруких, В.Д.Озеров). Открыто существование, и впервые измерены потоки ионов корпускулярного излучения Солнца – солнечного ветра. Наконец, с помощью установленных на этих аппаратах сферических ловушек впервые проведены измерения электронных потоков в плазменном слое геомагнитного хвоста и в переходной области между магнитопаузой и околоземной ударной волной. Из-за несовершенства существовавших в то время представлений об околоземном пространстве эти измерения были не вполне корректно интерпретированы как обнаружение третьего, самого внешнего радиационного пояса.

Плазменные эксперименты в космосе не вписывались в тематику работ НИИ-885, и в 1959 г. лаборатория К.И.Грингауза переводится в Радиотехнический институт, где вскоре преобразуется в отдел космических исследований. Сотрудниками отдела проводятся плазменные эксперименты на высотных ракетах „Вертикаль", спутниках „Космос", „Интеркосмос", „Электрон", автоматических межпланетных станциях. Исследования, выполненные ими на „Космосе-2", показали отсутствие термодинамического равновесия ионов и электронов в слое F2 земной ионосферы. Измерения на станции „Луна-4" доказали, что геомагнитный хвост простирается и далее орбиты Луны. С помощью приборов, установленных на „Венере-4", обнаружена стоячая ударная волна, образующаяся при взаимодействии солнечного ветра с Венерой. На спутниках „Электрон-2 и -4" были начаты детальные исследования плазмосферы с помощью новых широкоугольных плазменных ловушек, которые давали информацию о распределении концентрации заряженных частиц и динамике плазмопаузы в зависимости от местного времени и уровня геомагнитной активности. Измерения на спутнике „Интеркосмос-2" позволили получить распределение максимумов и минимумов экваториальной аномалии ионосферной плазмы в дневное и ночное время. С помощью созданной в отделе аппаратуры для спутника „Космос-378" впервые проведены исследования внешней ионосферы в области

solar cosmic rays and had the closest subject to the department for geophysics. A.V. Zakharov was an employee of this department for a certain period of time. Then he became the IKI Scientific secretary and got Sci.D. in studies of boundary layers of the terrestrial and Martian magnetospheres.

Academician G.I. Petrov, the first IKI director, headed one more department dealing with space plasma studies. This department joined a laboratory for theoretical studies headed by V.B. Baranov and a laboratory for experimental studies headed by V.B. Leonas.

In 1971 a large team headed by K.I. Gringauz came to IKI from the Radiotechnical Institute of the USSR Academy of Sciences. This team conducted pilot experiments on the first geophysical rockets, first satellites and first automated interplanetary stations. Previously K.I. Gringauz and his team worked at NII-885 (a research institution) where in 1950 he created a laboratory for radiotechnology. G.L. Gdalevich, V.A. Rudakov and G.K. Novozhilov participated in the first plasma experiments on geophysical rockets. V.A. Rudakov and V.D. Ozerov, the department's employees, developed and built onboard radio transmitter for the First satellite („Sputnik One"). It was the famous „beep-beep" which transmitted in addition to the information on the satellite motion the data on temperature and pressure inside the pressurized s/c body. Experiment on measuring the concentration and temperature of the ionospheric ions was carried out by this group on the Third satellite (M.Kh. Zelikman, V.V. Bezrukikh, A.E. Alperina, V.D. Ozerov and Yu.V. Gavashvili). In the experiments conducted on the first lunar and other interplanetary stations previously unknown boundary in the terrestrial plasma envelope, presently called plasmapause, was discovered (K.I. Gringauz, V.V. Bezrukikh and V.D. Ozerov). Ion fluxes of the solar corpuscular radiation – the solar wind, were discovered and measured for the first time. Finally electron fluxes in the geomagnetic tail's plasma sheet and in the transition region between the magnetopause and near-terrestrial shock wave (magnetosheath) were measured for the first time by spherical traps installed on these satellites. At first these measurements were non-correctly interpreted as the discovery of outermost radiation belt because of insufficient knowledge about the near-terrestrial space.

Plasma experiments in space were beyond the subject of the NII-885 studies. So in 1959 the laboratory headed by K.I. Gringauz came to the Radiotechnical Institute where it was transformed into the department for space research. The department conducted plasma experiments on the high-altitude rockets Vertical, satellites Cosmos, Intercosmos, Electron and automated interplanetary stations. The measurements made on Cosmos-2 showed that there was no thermodynamic equilibrium between the ions and electrons in the F2 layer of the terrestrial ionosphere. The Luna-4 measurements proved that the geomagnetic tail extends beyond the Moon's orbit. The instruments of the Venera-4 discovered a bow-shock originating from the solar wind interaction with Venus. The Electron-2 and -4 satellites began detailed studies of the plasmasphere using new wide-angle plasma traps which gave information on the charged particles concentration distribution and the plasmapause dynamics depending on the local time and the geomagnetic activity level. The Intercosmos-2 measurements made it possible to determine the distribution of the maxima and minima for the equatorial anomaly of the ionospheric plasma during day and night time. Studies of the outer ionosphere near to the day-side cusp were fulfilled for

иллюстрации стр. 175

дневного каспа, где обнаружились значительные неоднородности концентрации плазмы и температуры заряженных частиц.

К моменту перехода в ИКИ отдел состоял из трех лабораторий: исследований межпланетной и околопланетной плазмы (заведующий – К.И.Грингауз, сотрудники О.С.Акеньтиева, В.В.Афонин, В.В.Безруких, Т.К.Бреус, М.И.Веригин, Г.Н.Застенкер, Г.А.Владимирова, Л.С.Мусатов, А.П.Ремизов, Г.Ф.Слученков, М.З.Хохлов, Н.М.Шютте), исследований ионосферы Земли зондовыми методами (заведующий – Г.Л.Гдалевич, сотрудники Б.Н.Горожанкин, В.Ф.Губский, В.И.Жданов, Г.Г.Каплин, В.Д.Озеров, Г.Ф.Слученков, Л.П.Смирнова, С.М.Шеронова) и исследований ионосферы радиофизическими методами (заведующий – В.А.Рудаков, сотрудники – А.В.Бирюков, И.А.Кнорин, Л.А.Шнырева). Отдел имел свое конструкторское бюро (А.В.Воробьев, И.П.Бабанов) и мастерскую во главе с Г.К.Новожиловым (рабочие Н.Е.Филин, В.А.Сигачев). Заместителем заведующего отделом по хозяйственной части был К.Г.Захаров. В этом составе со всем оборудованием и обязательствами по выполнению ранее начатых работ отдел К.И.Грингауза и перешел в ИКИ.

В 1971 г. в ИКИ переводится из Курчатовского института группа сотрудников во главе с И.М.Подгорным (Г.Г.Манагадзе, Э.М.Дубинин, Е.Н.Евланов). Они вошли в состав отдела Г.И.Петрова на правах лаборатории и занимались лабораторным моделированием взаимодействия солнечного ветра с магнитным полем Земли и атмосферами планет, а также участвовали в интерпретации данных некоторых космических экспериментов.

К этому времени отдел геофизики, возглавляемый Г.А.Скуридиным, был расформирован, и на его базе создается отдел физики космической плазмы во главе с Л.Л.Ваньяном, ранее работавшим в Институте физики Земли АН СССР. В состав отдела вошли лаборатория Ю.И.Гальперина, теоретическая лаборатория самого Л.Л.Ваньяна и секторы О.Л.Вайсберга и Н.Ф.Писаренко. Вскоре, по инициативе заместителя директора ИКИ Ю.К.Ходарева эти секторы были упразднены, но сохранились как самостоятельные научные коллективы. Они были воссозданы уже как лаборатории новым директором ИКИ Р.З.Сагдеевым в 1976 г. В теоретической лаборатории Л.Л.Ваньяна работали В.П.Шалимов, А.И.Ершкович, Л.С.Чесалин, И.Н.Швачунов, и начинал свою научную карьеру сегодняшний заведующий отделом физики космической плазмы Л.М.Зеленый.

Коллектив К.И.Грингауза оставался самостоятельным отделом экспериментальных исследований космической плазмы.

В 1972 г. в ИКИ организуется нештатное плазменное отделение. Его руководителем „на общественных началах" становится недавно пришедший в Институт Р.З.Сагдеев, а его заместителями К.И.Грингауз и Л.Л.Ваньян. После назначения Р.З.Сагдеева директором ИКИ он некоторое время продолжает руководить и плазменным отделением, а затем приглашает в Институт своего ученика А.А.Галеева, уже хорошо известного к тому времени теоретика в области космической плазмы, который возглавляет плазменное отделение. В 1973 г. отделение преобразуется в отдел физики космической плазмы. Помимо теоретической лаборатории заведующего отделом А.А.Галеева, в состав отдела вошли лаборатории полярных сияний (затем физики магнитосферных процессов – Ю.И.Гальперин), околопланетной плазмы – реорганизованная из отдела экспериментальных исследований космической плазмы (К.И.Грингауз) и моделирования (И.М.Подгорный), а также группы космической плазмы (О.Л.Вайсберг) и солнечных космических лучей (Н.Ф.Писаренко), ставшие позднее лабораториями.

the first time by Cosmos-378 instrumentation developed at the department. Considerable non-uniformity in the charged particles' temperature and plasma were determined.

By the moment of joining IKI the department consisted of three laboratories, including: laboratory for interplanetary and near-planetary plasma studies headed by K.I. Gringauz (O.S. Akentieva, V.V. Afonin, V.V. Bezrukikh, T.K. Breus, M.I. Verigin, G.N. Zastenker, G.A. Vladimirova, L.S. Musatov, A.P. Remizov, G.F. Sluchenkov, M.Z. Khokhlov and N.M. Shutte); laboratory for Earth ionosphere sounding headed by G.L. Gdalevich (B.N. Gorozhankin, V.F. Gubsky, V.I. Zhdanov, G.G. Kaplin, V.D. Ozerov, G.F. Sluchenkov, L.P. Smirnov and S.M. Sheronova) and laboratory for studying the ionosphere by radiophysical techniques headed by V.A. Rudakov (A.V. Biryukov, I.A. Knorin, L.A. Shnyreva). The department included a design bureau (A.V. Vorobiov and I.P. Babanov) and a workshop headed by G.K. Novozhilov (workers: N.E. Filin and V.A. Sigachev). K.G. Zakharov was a quartermaster. K.I. Gringauz's department together with its equipment and commitments to complete already started work, transferred to IKI.

In 1971 a team headed by I.M. Podgorny (G.G. Managadze, E.M. Dubinin, Ye.N. Yevlanov) came from the Kurchatov Institute to IKI. They joined the department headed by G.I. Petrov as a laboratory. The laboratory's task was to simulate the solar wind interaction with the Earth's magnetic field and the atmospheres of other planets. They also participated in data interpretation for certain space experiments.

By that time the department for geophysics headed by G.A. Skuridin was disbanded, and a department for space plasma headed by L.L. Vanian was established. L.L. Vanian worked at the Institute for Earth's Physics of the USSR Academy of Sciences before transfer to IKI. This department united the Yu.I. Galperin's laboratory, the L.L. Vanian's theoretical laboratory and the sectors headed by O.L. Vaisberg and N.F. Pissarenko. Soon IKI deputy director Yu.K. Khodyrev initiated abolishment of these sectors however preserving them as independent research teams. A new IKI director R.Z. Sagdeev re-established these structures in 1976. V.P. Shalimov, A.I Ershkovich, L.S. Chesalin, I.N. Shva-chunov worked at the laboratory for theoretical studies headed by L.L. Vanian. The present head of department for space plasma physics, L.M. Zelenyi began his scientific carrier at this laboratory also.

The team headed by K.I. Gringauz remained to be an independent department for the space plasma experimental studies.

In 1972 IKI established a freelance division for plasma studies. R.Z. Sagdeev who had recently come to IKI, headed it on a „public" basis. K.I. Gringauz and L.L. Vanian became his deputies. After the appointment of R.Z. Sagdeev as the IKI director he was supervising the division for plasma studies over a certain period of time. Then he invited A.A. Galeev, his pupil and follower, who by that time became a well-known theoretician in plasma physics. Then A.A. Galeev headed the division. In 1973 the division was transformed into the department for space plasma physics. In this new department the theoretical laboratory headed by A.A. Galeev united with the laboratories for auroral physics (afterwards the laboratory for magnetosphere physical processes, headed by Yu.I. Galperin), for near-planetary plasma which was re-organized from the department for space plasma experimental studies (headed by K.I. Gringauz), and for simulation (headed by I.M. Podgorny). Groups for studying space plas-

pictures see page 175

Отдел во главе с А.А.Галеевым работал очень активно. Впервые в практике Института в отделе было введено конкурсное участие в будущих проектах, эксперименты и научные результаты отдельных лабораторий подвергались общему обсуждению всего научного коллектива.

Тем не менее, структура ИКИ, по выражению его нового директора Р.З.Сагдеева, продолжала совершенствоваться. В 1976 г. создается теоретический отдел во главе с А.А.Галеевым. Новым заведующим отделом физики космической плазмы назначается Ю.И.Гальперин, а с 1978 г. – И.М.Подгорный. В 1983 г. образуется отдел солнечно-земных связей во главе с Г.А.Скуридиным, в который переходит лаборатория, возглавляемая К.И.Грингаузом. После избрания А.А.Галеева в 1988 г. директором ИКИ заведующим отделом физики космической плазмы становится Л.М.Зеленый.

Первой практической работой институтских плазмофизиков, проведенной тогда еще отделом геофизики, стала реализация в 1968 г. эксперимента на спутнике „Космос-261", положившего начало программе „Интеркосмос".

Подготовка к эксперименту включала участие ученых геофизиков других стран, вошедших в международную программу сотрудничества „Интеркосмос", в координированных наземных измерениях характеристик ионосферы и магнитосферы. В странах-участницах программы организуются наземные измерения характеристик ионосферы и термосферы, синхронные со спутниковыми; затем бортовые и наземные измерения совместно анализировались. При этом был получен ряд новых научных результатов, в частности, в 1971 г. обнаружена диффузная авроральная зона к экватору от овала дискретных полярных сияний.

Одновременно велась подготовка очередных спутников программы „Интеркосмос", и в технической документации в КБ Южмаша в Днепропетровске на эти космические аппараты были заложены названия „Интеркосмос-1, -2" и т.д. И, хотя „Космос-261" официально открыл программу „Интеркосмос", его название согласились не менять, чтобы не создавать путаницы в чертежах.

В декабре 1971 г. началась реализация советско-французского проекта ARCAD (сокращение от ARC Aurorale et Densite, т.е. „дуга полярного сияния и плотность (плазмы)") по исследованию взаимодействия магнитосферы и ионосферы. Предполагалось, что и спутник, открывший сотрудничество с Францией в космосе, будет назван так же. Однако через час после запуска он по указанию „свыше" переименовывается в „Ореол", поскольку название АРКАД было бы „непонятно советскому налогоплательщику". Но латинское написание его названия AUREOL, т.е. „Аврора и Эол", метафорически сохранило смысл научного направления проекта. Спустя ровно два года исследования были продолжены на аналогичном спутнике „Ореол-2". Измерения на этих спутниках дали важные новые научные результаты: обнаружена пятнообразная форма дневного каспа, выяснена планетарная картина спектров протонов в полярных сияниях, показано, что экваториальная граница диффузной зоны является границей конвекции, и построена ее модель, и др. Важнейшую роль в становлении советско-французского сотрудничества в космосе и, в частности, в программе АРКАД сыграл видный французский ученый профессор Франсис Камбу.

Между тем, в КБ „Южное" в Днепропетровске разрабатывается более совершенный космический аппарат для исследований в околоземном космосе – автоматическая универсальная орбитальная станция (АУОС). Активное участие в проведении исследований с их помощью приняли сотрудники лаборатории К.И.Грингауза. На „Космосе-900", „Интеркосмосах-17, -18, -19"

ma (O.L. Vaisberg) and solar cosmic rays (N.F. Pissarenko) also joined this new department. Later these groups got the status of laboratories. The department headed by A.A. Galeev worked very efficiently. For the first time at the Institute the department introduced a competition for participation in future missions. Experiments and scientific results obtained by the laboratories were discussed by the whole scientific team.

Nevertheless according to IKI new director R.Z. Sagdeev words, the Institute's structure „was further improving". In 1976 a theoretical department headed by A.A. Galeev was established. Yu.I. Galperin was appointed the new head of the department for space plasma physics. In 1978 I.M. Podgorny replaced him in this position. In 1983 the department for solar-terrestrial physics headed by G.A. Skuridin was formed. The K.I. Gringauz's laboratory joined this new department. In 1988 A.A. Galeev was elected a director, and L.M. Zelenyi became the head of the department for space plasma.

A wide experiment on the Cosmos-261 satellite performed in 1968 was the first applied task being solved by plasmaphysicians from the newly born department for geophysics. This experiment made a start on the Intercosmos program.

During the experiment geophysicians from other countries – participants of the Intercosmos program, took part in the coordinated ground measurements of the ionosphere and magnetosphere characteristics. The countries participating in the experiment measured the ionosphere characteristics from ground-based stations synchronously to the satellite observations. Then the onboard and ground-based data was jointly analyzed. A number of new scientific results were obtained. In particular, in 1971 a diffuse auroral zone was discovered. It extended equatorward from the border of the oval of discrete auroral forms.

In parallel next satellites of the Intercosmos program were prepared. In the documents, drawings and specifications of the Yuzhmash Design Bureau (Dnepropetrovsk) they were named Intercosmos-1 and -2, etc. Though Cosmos-261 officially opened the Intercosmos program the decision was made to retain its original name in order to avoid a mess in the drawings.

In December 1971 the implementation of the Soviet-French mission ARCAD (ARC Aurorale et Densite, i.e. „Auroral/Arc and Density (of the plasma)") began. The experiment was aimed at studying magnetosphere and ionosphere interaction. It was also planned to give the same name to the satellite from which the cooperation with France in space started. However an hour after the launch the satellite was named Oreol by an order „from above". The explanation was that the ARCAD would sound strange for the Soviet tax-payers. However its transliteration in Latin as AUREOL, i.e. AURora and EOLus metaphorically retained the project's research trend meaning. Two years later the AUREOL-2 satellite continued these studies. Measurements from these satellites provided for new important scientific results – spot-type shape of the day-side cusp was discovered, global picture of the proton spectra in the aurora was clarified, it was shown that the diffuse auroral zone's equatorial boundary was the convection boundary. Using this data a convection boundary model was constructed. Prominent French scientist, professor Francis Cambou played an important role in the establishment of the Soviet-French cooperation in space and in particular, in the ARCAD program.

Meanwhile the Design Bureau Yuzhnoye in Dnepropetrovsk was developing a new generation spacecraft for studying near-terrestrial space. It was named an Automated Universal Orbital

иллюстрации стр. 175

и других аппаратах из серии АУОС ими были продолжены ранее начатые на малых спутниках („Интеркосмос-8, -10, -12 и -14") многочисленные ионосферные эксперименты. Анализ полученных результатов позволил обнаружить пять широтных зон различных неоднородностей ионосферной плазмы для спокойных и возмущенных периодов и выявить ранее неизвестные ее особенности во время магнитосферных возмущений (Г.Л.Гдалевич, В.Д.Озеров, В.Ф.Губский, В.В.Афонин). Был создан уникальный банк экспериментальных данных по концентрации и электронной температуре ионосферы (В.В.Афонин, О.С.Акеньтиева).

Не вдаваясь в подробности всех научных исследований на спутниках серии АУОС, в которых принимал участие отдел, имеет смысл кратко остановиться на нескольких наиболее успешных. К ним можно отнести „Интеркосмос-19" – „Ионозонд". Научным руководителем проекта был В.В.Мигулин – директор ИЗМИР АН СССР, вели проект сотрудники этого института, но ряд экспериментов, а также предстартовые испытания научной аппаратуры выполнялись ИКИ. Спутник работал три года и впервые позволил получить планетарную картину распределения ионизации в верхней ионосфере.

На спутнике выполнялся эксперимент ИКИ (научный руководитель Ф.К.Шуйская) по измерениям электронов малых энергий. При этом обнаружено новое явление – краткая вспышка сильной турбулентности плазмы вокруг спутника, когда частота его довольно мощного передатчика совпадала с собственной частотой окружающей плазмы. Были также выявлены кратковременные всплески интенсивности ускоренных электронов ионосферы с температурой ~100 эВ, их зависимость от характеристик окружающей ионосферной плазмы и другие свойства.

Через 2–3 года специально для исследований этого явления на следующем советском „Ионозонде" – спутнике „Космос-1809" (также из серии АУОС) специально устанавливается прибор для измерений электронов и ионов и их быстрых вариаций в миллисекундном диапазоне времени сразу же после окончания зондирующего радиоимпульса. Прибор создавался в ОКБ ИКИ в г. Фрунзе (научный руководитель В.А.Гладышев, участники – Т.М.Мулярчик, Ф.К.Шуйская, Н.В.Баранец). Более детальные измерения подтвердили ранее полученные данные и обнаружили ряд новых сторон этого интересного явления.

Еще один проект на спутнике серии АУОС стал продолжением и развитием уже упомянутой советско-французской программы АРКАД. Этот единый комплекс советско-французских приборов (АРКАД-3) включал измерения тепловых, авроральных и энергичных частиц, квазипостоянных и переменных магнитных и электрических полей и спектрофотометрию полярных сияний со спутника.

Приборы ИКИ создавались в Союзном научно-исследовательском институте приборостроения (СНИИП) под руководством Б.И.Хазанова и Л.С.Горна и в ОКБ, г. Фрунзе под руководством В.А.Гладышева (ИКИ) и С.Р.Табалдыева (ОКБ, г. Фрунзе). В создании французского комплекса приборов принимал участие Центр исследований космических излучений (CESR) в Тулузе – измерения заряженных частиц (Ж.-М.Боске),Центр исследований физики космоса (CRPE), теперь Центр исследований Земли и планет (CETP) в Сен-Море под Парижем – измерение ионного состава тепловой плазмы (Ж.-Ж.Бертелье), Лаборатория физики и химии окружающего пространства (LPCE) в Орлеане – радиочастотные измерения концентрации и температуры электронов с миллисекундным временным разрешением и измерения электрических и магнитных полей (К.Беген, Ф.Лефевр), а также

Station (AUOS). The laboratory headed by K.I. Gringauz actively participated in the missions involving these type spacecraft. The studies of the ionosphere which have begun on the small satellites Intercosmos-8, -10, -12 and -14 were continued on the Cosmos-900, Intercosmos-17, -18, -19 and other spacecraft of these series. The analysis of the obtained data resulted in the discovery of five latitudinal zones of various plasma inhomogeneties in the ionosphere's plasma during quiet and disturbed periods. This data also allowed to reveal unknown features of the ionospheric plasma appearing during magnetosphere's disturbances (G.L. Gdalevich, V.D. Ozerov, V.F. Gubsky and V.V. Afonin). V.V. Afonin and O.S. Akentieva created a unique experimental data base on the ionosphere's concentration and electron temperature.

Not going to the details of all the scientific experiments conducted on the AUOS series spacecraft with the department participation, we will briefly describe the most successful experiments. Intercosmos-19 – Ionozond (topside ionospheric sounder) is one of them. Scientists from IZMIRAN (Institute for Earth Magnetism, Ionosphere and Radio Waves Propagation of the USSR Academy of Sciences) implemented the project and V.V. Migulin, the Institute director, was its scientific supervisor. IKI was responsible for several experiments and the scientific instrumentation pre-launch tests. The satellite operated for three years and its data provided for a global picture of the ionization distribution in the upper ionosphere.

F.K. Shuiskaya was the PI of the IKI experiment on measuring low-energy electrons on the Intercosmos-19. A new phenomenon was discovered – a short-time enhancement of strong plasma turbulence around the satellite when the frequency of its fairly powerful transmitter fell in resonance with the resonance frequency of ambient ionospheric plasma. Short-time intensity bursts of the ionosphere's electrons heated to a temperature of about 100 eV, their dependence on the ambient ionosphere plasma's characteristic and other properties were revealed.

In 2–3 years a special instrument was developed for measuring these accelerated electrons, ions and their millisecond time variations immediately after the end of sounding radio pulse. This instrument was installed on the next Soviet topside ionospheric sounder (Cosmos-1809 of the AUOS series). The instrument was designed by the Special Design Bureau, Frunze (V.A. Gladyshev supervised the work, T.M. Mularchik, F.K. Shuiskaya and N.V. Baranets were involved in this work). More detailed measurements confirmed the earlier obtained data and revealed some new aspects of this interesting phenomenon.

The above-mentioned Soviet-French program ARCAD was continued and further developed within the framework of another project implemented on the AUOS series spacecraft. ARCAD-3 included a unique unified complex of the Soviet and French instruments conducting measurements of the thermal, auroral and high energy particles, quasi-constant and AC magnetic and electric fields and spectrophotometry of the aurora.

IKI instruments were developed at the All-Union Research Institute for Device Engineering (SNIIP) under the supervision of B.I. Khazanov and L.S. Gorn, and at the Specialized Design Bureau (Frunze) under the supervision of V.A. Gladyshev (IKI) and S.R. Tabaldyev. The French instrumentation was developed by the Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (CESR), Toulouse (charged particles registration, J.M. Bosqued), the Centre de Recherche de Physique de l'Environnement (CRPE),

pictures see page 175

группа из Космического центра Франции (CNES) в Тулузе – бортовая ЭВМ, управлявшая в режиме реального времени измерениями научных приборов (Г.Амери, Ж.Шен), причем в ее программировании, предстартовых испытаниях и анализе полетных данных участвовал и Ю.Н.Пономарев (ИКИ).

Спутник „Ореол-3" по составу и уровню научной аппаратуры и по широте научных задач превосходил ранее запущенные на околоземные орбиты спутники научного назначения. Поэтому в стандартной схеме базового аппарата АУОС многое пришлось пересматривать. Неоценимую помощь в сложных переговорах постановщиков экспериментов с промышленными и военными организациями, от которых зависели необходимые решения и усовершенствования, постоянно оказывали заместители директора ИКИ Г.С.Нариманов, В.М.Балебанов и Г.М.Тамкович.

В частности, понадобилась полная переработка солнечных батарей с целью устранения поверхностных электрических разрядов и резкого снижения уровня магнитных помех, излучаемых в окружающую спутник плазму, чтобы обеспечить низкий уровень бортовых шумов для многокомпонентных волновых измерений.

На спутнике была установлена новая значительно более информативная командная радиолиния, что позволило перепрограммировать бортовую ЭВМ в полете и резко расширило возможности выполнения научных измерений. Наконец, для вывеления „Ореола-3" на орбиту впервые использовалась более мощная ракета-носитель, чем в предыдущих запусках АУОС.

Исследования проводились, начиная с запуска спутника в сентябре 1981 г., до середины 1986 г. Особая ценность выполненных на „Ореоле-3" экспериментов в том, что они были скоординированы с наземными и ракетными измерениями. Получены принципиальные научные результаты, ставшие крупной вехой в изучении околоземной плазмы. Так, были обнаружены и исследованы эффекты воздействия на магнитосферную плазму мощного низкочастотного передатчика, расположенного в субавроральной зоне России, а также низкочастотных излучений в магнитосферной плазме, вызываемых мощными коротковолновыми передатчиками в Тромсе, Норвегия и на Дальнем Востоке России; магнитосферные эффекты наземных промышленных химических взрывов в Средней Азии; МГД-волны от плазменной струи, испускаемой с вращающейся ракеты, запущенной с исследовательского корабля в Северной Атлантике. Обнаружен ряд новых явлений в дугах полярных сияний, в каспе, в субавроральной зоне и др.; они продолжают анализироваться. Проект был удостоен Государственной Премии СССР „за создание спутника нового поколения".

Большая группа ученых ИКИ принимала участие в подготовке и реализации советско-болгарского проекта „Интеркосмос-Болгария-1300". Научная программа проекта и основная часть научной аппаратуры создавались в Болгарии под руководством К.Б.Серафимова. С советской стороны руководителем проекта был В.М.Балебанов, его заместителем был назначен И.М.Подгорный, ведущим по научной аппаратуре Г.Л.Гдалевич.

Под руководством Р.З.Сагдеева была реализована программа активных ракетных и спутниковых экспериментов – „Зарница", АРАКС, „Активный", в которых исследовались плазменные процессы, вызываемые инжекцией пучков энергичных частиц, плазменных струй и низкочастотных волн. В них участвовал ряд лабораторий ИКИ и ИЗМИРАН.

Заметную роль в программе плазменных исследований, выполнявшихся учеными отдела, играли эксперименты на борту автоматических межпланетных станций. Зачастую „планетчики"

иллюстрации стр. 175

now Centre d'Etude des Environnements Terrestre et Planetaires (CETP), Saint-Maur, near Paris (measurements of the thermal plasma ion composition, J.-J. Berthelier), and the Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE), Orleans (precise radio frequency measurements of the electron concentration and temperature with the millisecond time resolution, measurements of the electromagnetic fields, C. Beghin, F. Lefeuvre). O.A. Molchanov, Yu.I. Galperin and M.M. Mogilevsky participated in the wave measurements. A group from CNES, Toulouse was responsible for manufacturing the onboard computer controlling the scientific instruments in real time (G. Hameury and J. Chene). Yu. Ponomarev (IKI) was also involved in programming, prelaunch tests and analysis of the onboard computer data.

The AUREOL-3 satellite surpassed the scientific satellites earlier launched into near-Earth orbits in the scientific instrumentation coverage of plasma characteristics, its quality and the scope of scientific problems involved. That is why the nominal AUOS baseline design had to be reconsidered. IKI deputy directors G.S. Narimanov, V.M. Balebanov and G.M. Tamkovich provided invaluable assistance in uneasy negotiations between the scientists and the industrial and military organizations. The required changes could be made by their decisions only.

In particular, the solar arrays had to be completely redesigned due to efforts by A.I. Kozlov (NPO Kvant) in order to eliminate the surface electric discharges and to sharply reduce the level of magnetic noise emitted into the ambient plasma. This was necessary to achieve a sufficiently low onboard noise level for multicomponent wave measurements.

The satellite was upgraded with a command radio line of considerably higher data throughput capacity. This allowed for the onboard computer re-programming in flight and significantly widened possibilities for scientific measurements. Finally a new, more powerful launch vehicle delivered the AUREOL-3 to orbit.

Studies were carried out from the satellite launch in September 1981 to the middle of 1986. Main value of the AUREOL-3 experiments consisted in their coordination with various ground and rocket measurements. Principal scientific results which became a milestone in the near-terrestrial plasma studies were obtained. The following phenomena were discovered and investigated: the effects of the magnetosphere's response to powerful waves emitted by a low frequency transmitter located in Russia's subauroral zone, low-frequency emissions induced in ionosphere by modulated signals of powerful short-wave transmitters at Tromse, Norway and in the Far East of Russia; the response of magnetosphere to the ground industrial chemical explosions in the Middle Asia; MHD waves from the plasma jet ejected from a spinning rocket launched from a research sea vehicle in the North Atlantic, etc. A number of new phenomena were observed in the auroral arcs, in the cusp, in the subauroral zone, and several others. This data is still being analyzed. The project was honored by the USSR State prize for „the creation of new generation satellite ".

A large team of the IKI scientists participated in the preparation and implementation of the Soviet-Bulgarian project Intercosmos-Bulgaria-1300. K.B. Serafimov from Bulgaria was responsible for the mission research program and for the development of majority of the instrumentation. V.M. Balebanov was the head of the mission on the Russian side, I.M. Podgorny was nominated to look for research aspects and G.L. Gdalevich – for the scientific instrumentation development.

возражали против включения в программу плазменных экспериментов, заботясь в основном об исследованиях атмосферы планеты и ее поверхности. „Марс-69" стал первым планетным проектом, в который были включены приборы для исследования околомарсианской плазмы и магнитных полей: ионный энерго-масс-спетрометр (О.Л.Вайсберг), ловушки заряженных частиц Д-127 (К.И.Грингауз) и магнитометр (Ш.Ш.Долгинов – ИЗМИРАН). К сожалению, запуски космических аппаратов по этому проекту были аварийными, и исследования провести не удалось.

В состав аппаратуры проекта „Марс-71" вошел многоканальный спектрометр плазмы РИЭП-2801 с первыми отечественными каналовыми электронными умножителями (О.Л.Вайсберг) и те же, что и на „Марсе-69", ловушки К.И.Грингауза и магнитометр Ш.Ш.Долгинова. Несмотря на относительную простоту плазменной аппаратуры и небольшой объем измерений, были получены практически первые данные о взаимодействии солнечного ветра с Марсом. Установлено существование ударной волны у Марса, несколько увеличенного размера препятствия потоку солнечного ветра на дневной стороне планеты и плазменно-магнитного хвоста Марса. Побочным результатом исследований стало обнаружение хвоста земной магнитосферы на рекордно большом для того времени расстоянии в 3 млн км.

С этого проекта начался многолетний научный спор между К.И.Грингаузом и Ш.Ш.Долгиновым, защищавшими концепцию собственного крупномасштабного магнитного поля Марса, и О.Л.Вайсбергом, отстаивавшим атмосферный, индуцированный характер этого взаимодействия. Проблема была окончательно снята лишь недавно, после измерений на американском искусственном спутнике Марса, обнаружившем магнитные поля на Марсе только в локальных аномалиях.

Усовершенствованные варианты приборов РИЭП-2801 и Д-127, а также магнитометров устанавливались и на последующих станциях, запускаемых к Марсу, а после приостановки марсианской программы они стали размещаться на венерианских автоматических станциях, начиная с „Венеры-9 и -10". Уже в результате первых экспериментов были получены основы знаний о взаимодействии солнечного ветра с немагнитной планетой, исследован плазменно-магнитный хвост Венеры. По результатам этих исследований разработана модель индуцированной магнитосферы планеты (О.Л.Вайсберг, Л.М.Зеленый).

Плазменные исследования проводились и в ходе реализации проекта ВЕГА (К.И.Грингауз, С.И.Климов и группы ученых ИЗМИРАН, среди которых был и М.М.Могилевский – сейчас работает в лаборатории физики магнитосферных процессов ИКИ). Кометные ионы, подхваченные солнечным ветром, были зарегистрированы приборами „Тюнде" (А.Шомоди, К.И.Грингауз, К.Сеге и др.) и „Плазмаг" (К.И.Грингауз, Т.Гомбоши, А.П.Ремизов и др.) на расстоянии 10^7 км от кометы. Пролет КА ВЕГА-1 и -2 вблизи кометы Галлея показал, что целый ряд явлений не был предсказан существующими теориями, основанными на магнитогидродинамическом описании взаимодействия солнечного ветра с космической плазмой. Так, кометные ионы, дрейфующие поперек магнитного поля в самосогласованном электрическом поле, формируют пучок в плазме солнечного ветра с очень малой начальной скоростью ~1 км/с вдоль магнитного поля, тем самым, генерируя Альвеновские волны вследствие ионно-циклотронной неустойчивости (Р.З.Сагдеев, В.Д.Шапиро, В.И.Шевченко, К.Сеге). В процессе релаксации пучка кометные ионы распределяются по бисферической оболочке в пространстве скоростей (А.А.Галеев, Р.З.Сагдеев). Альвеновские волны с частотами ~10^{-2} Гц,

R.Z. Sagdeev headed the program of the active rocket and satellite experiments – Zarnitsa, ARAKS and Aktivny. Within the framework of these experiments plasma processes caused by the injection of the energetic particles fluxes, plasma jets and low-frequency waves were investigated. Several laboratories from IKI and IZMIRAN participated in these studies.

Experiments onboard the automated interplanetary stations played an important role in the plasma research program fulfilled by the department. It should be noted that rather often planet researchers were against the inclusion of plasma experiments into the program being interested in studies of planetary atmospheres and surfaces only. Mars-69 became the first planetary mission which included the instruments for studying near-Martian plasma and magnetic fields. These were an ion energy-mass-spectrometer (O.L. Vaisberg), traps for the charged particles D-127 (K.I. Gringauz) and magnetometer (Sh.Sh. Dolginov, IZMIRAN). To our regret both launches of this project failed, and consequently the studies were not conducted.

The Mars-71 mission included multichannel plasma spectrometer RIEP-2801 equipped with the first Russian channel electron multipliers (O.L. Vaisberg) and the K.I. Gringauz's traps and Sh.Sh. Dolginov's magnetometer similar to that of the Mars-69 mission. Despite the relatively simple design and small amount of measurements obtained, the plasma instruments provided for almost the first data on the solar wind interaction with Mars. A shock wave was discovered near to Mars. This was caused by the obstacle of a bit increased dimension (in respect to the planetary size) to the solar wind on the planet's day-side hemisphere. The Martian plasma-magnetic tail was also discovered. A side result of these studies was the discovery of the terrestrial magnetosphere's tail at a distance of 3 mln km from the Earth which was large for that time.

This project opened a long scientific dispute between K.I. Gringauz and Sh.Sh. Dolginov on the one hand who defended the concept of the Martian own large-scale magnetic field, and O.L. Vaisberg on the other hand who considered that this interaction is induced . The problem has been resolved relatively recently when the U.S. satellite orbiting Mars detected magnetic fields at local anomalies only.

The modified RIEP-2801 and D-127 as well as magnetometers were installed on the next stations launched towards Mars. After the Martian program was suspended these instruments were installed on the Venus stations beginning from Venera-9 and -10. The first experiments provided for new knowledge on the solar wind interaction with the non-magnetic planets. The Venus plasma-magnetic tail was also studied. O.L. Vaisberg and L.M. Zelenyi developed a model of the planet's induced magnetosphere based on this experimental data.

Plasma studies were also conducted within the VEGA mission (K.I. Gringauz, S.I, Klimov and a group of researchers from IZMIRAN including M.M. Mogilevsky). The instruments Tunde (A. Shomodi, K.I. Gringauz, K. Sege and others) and Plasmag (K.I. Gringauz, T. Gomboshi, A.P. Remizov and others) registered the comet ions picked-up by the solar wind at a distance of 10^7 km off the comet. The VEGA-1 and -2 spacecraft flyby the Halley comet showed that certain phenomena had not been predicted by the existing theories based on the magnetohydrodynamic description of the solar wind interaction with the space plasma. The comet ions drifting across the magnetic fields in the self-consistent electric field formed a beam in the solar wind plasma. The

pictures see page 175

возбуждаемые подхваченными ионами, были зарегистрированы магнитометром МИША, начиная с расстояния $3-3{,}5x10^6$ км от кометы (В.Ридлер, К.Швингеншу, Е.Г.Ерошенко и др.).

Пересечения ударной волны КА ВЕГА-1 и -2 на расстоянии ~10^6 км от кометы были зарегистрированы плазменными (К.И.Грингауз и др.), низкочастотными волновыми (С.И.Климов, С.П.Савин, Я.Алесевич) и магнитометрическими (В.Ридлер и др.) экспериментами. При этом положение ударной волны согласуется с теоретическими оценками.

Что касается профиля кометной ударной волны, он был получен с помощью численного моделирования еще до полета космических аппаратов вблизи кометы Галлея (А.А.Галеев, А.С.Липатов и Р.З.Сагдеев). Измерения с „Джотто" подтвердили существование скачка уплотнения электрон-протонной компоненты плазмы, перед которым имеется „подножие", связанное с выходом части кометных ионов в область перед фронтом ударной волны (А.Дж.Коатс и др.; М.Нойгебауэр и др.).

Плазменные измерения при помощи прибора „Плазмаг-1" в окрестности кометы Галлея на КА ВЕГА обнаружили за фронтом ударной волны на расстояниях ~$1{,}6x10^5$ км от ядра кометопаузу – резкую границу, отделяющую область, контролируемую потоком протонов солнечного ветра, от области кометной плазмы с преобладанием медленно движущихся тяжелых кометных ионов (К.И.Грингауз и др.). Существование этой границы в околокометном пространстве подтверждено как данными волнового эксперимента АПВ-Н на КА ВЕГА-1 и -2 (С.П.Савин и др.), так и в экспериментах на КА „Джотто".

Продолжающееся нагружение солнечного ветра кометными ионами за ударной волной приводит к постепенному торможению плазменного потока и усилению магнитного поля. ВЕГА-1 и ВЕГА-2 достигли внешнего края толстого магнитного барьера, отделяющего нагруженный поток солнечного ветра от области незамагниченного растекания кометной плазмы. Зарегистрированное обоими КА максимальное магнитное поле достигало ~75 нТ.

Сразу после ВЕГИ началась подготовка к проведению комплексного проекта „Фобос". В его научную программу включаются эксперименты по изучению плазмы (К.И.Грингауз), магнитного поля (ИЗМИРАН) и плазменных волн (С.И.Климов). Хотя основную научную задачу проекта – планетную – выполнить полностью не удалось, были проведены детальные исследования взаимодействия солнечного ветра с Марсом. Новая бортовая научная аппаратура позволила не только подтвердить результаты ранее выполненных экспериментов на „Марсе-2, -3, и -5", но и существенно уточнить их, значительно расширив знания об околомарсианском пространстве. В частности, обнаружен необычный, сформированный тяжелыми ионами плазменный слой в хвосте марсианской магнитосферы, перед которой атмосфера планеты ежесекундно теряет порядка 15 г своих составляющих.

Уникальные эксперименты по изучению околомарсианского пространства планировалось затем продолжить в международном проекте „Марс-94/96". В состав бортовой аппаратуры станции был включен ионосферный масс-спектрометр ДИМИО (Ж.Бертелье (СЕТР, Франция), О.Л.Вайсберг и В.Н.Смирнов (ИКИ), спектрометр электронов (М.М.Веригин – ИКИ и Х.Розенбауэр, МРАЕ, Германия), ионный энерго-масс-спектрометр с высоким временным разрешением ФОНЕМА (О.Л.Вайсберг, А.О.Федоров и А.Д.Джонстон, MSSL, Великобритания), оригинальный низкочастотный ионозонд (Т.К.Бреус) и ряд других (всего семь приборов). Таким образом, „Марс-96" имел наиболее полный

beam had a very low initial velocity of about 1 km/s across the magnetic field thus generating Alfven waves due to ion-cyclotron instability (R.Z. Sagdeev, V.D. Shapiro, V.I. Shevchenko and K. Sege). During beam relaxation the comet ions are distributed along the bispherical envelope within the velocity space (A.A. Galeev, R.Z. Sagdeev). MISHA magnetometer registered the Alfven waves with the frequencies of about 10^{-2} Hz excited by the pick-up ions at a distance of $3-3.5x10^6$ km off the comet (W. Riedler, K. Shvingenshuh, Ye.G. Yeroshchenko and others).

Shock wave crossings by the VEGA-1 and -2 spacecraft at a distance of about 10^6 km off the comet were registered by the plasma (K.I. Gringauz and others), low-frequency wave (S.I. Klimov, S.P. Savin, Ya. Alesevich) and magnetometer (W.Riedler and others) experiments. The shock wave position agreed well with the theoretical estimates.

The comet shock wave profile was obtained by numerical simulation before the spacecraft flyby the Halley comet (A.A. Galeev, A.S. Lipatov and R.Z. Sagdeev). Giotto spacecraft measurements proved the existence of a density jump in the plasma electron-proton component. In front of it there was a „foot" due to a partial ejection of the comet ions into the foreshock region (A.J. Coats et al., M. Neuegebauer et al.).

Plasma measurements made by the Plasmag-1 instrument (VEGA spacecraft) in the proximity of Halley comet showed a cometopause at a distance of about $1.6x10^5$ km from the comet nuclei. This was a sharp boundary separating the region controlled by the solar wind protons from the comet plasma region with the prevailing slowly moving heavy comet ions (K.I. Grin-gauz and others). The wave experiment APV-N on the VEGA-1 and -2 spacecraft (S.P. Savin and others) and the Giotto spacecraft measurements proved this boundary existence in the near-comet space.

Solar wind enrichment with the comet ions behind the shock wave causes gradual braking of the plasma flow together with the magnetic field enhancement. The VEGA-1 and VEGA-2 spacecraft reached the outer edge of the thick magnetic barrier separating the enriched solar wind flow from the region of the cometary plasma non-magnetized spreading. Both the VEGA spacecraft registered maximum magnetic field of up to 75 nT.

Immediately after the VEGA mission, preparations for the Phobos complex mission began. The scientific program included experiments on plasma studies (K.I. Gringauz), magnetic field (IZMIRAN) and plasma waves (S.I. Klimov). The main scientific task of the project – the planetary research – was not resolved completely. However solar wind interaction with Mars was studied in detail. New scientific payload made it possible not only to confirm the results from the earlier experiments on the Mars-2, -3 and -5 spacecraft, but to make this data much more precise. This in its turn widened the knowledge on the near-Mars environment. In particular, an unusual plasma sheet formed by the heavy ions was detected in the Martian magnetosphere tail in front of which the planet's atmosphere lost about 15 g of its components per second.

Unique experiments on studying the near-Mars space were also planned for the international mission Mars-94/96. The payload included ionosphere mass-spectrometer DYMIO (J.-J. Berthelier, CETP, France, O.L. Vaisberg and V.N. Smirnov, IKI), an electron spectrometer (M.M. Verigin, IKI and H. Rosenbauer, MPAE, Germany), an ion energy-mass-spectrometer with high temporal resolution FONEMA (O.L. Vaisberg, A.O. Fedorov and

иллюстрации стр. 175

комплекс плазменных приборов из всех ранее запущенных межпланетных станций. К сожалению, запланированные эксперименты не удалось осуществить из-за невыхода станции на траекторию полета к Марсу.

Особое место в исследованиях физики космической плазмы занимает программа высокоапогейных спутников серии „Прогноз".

Еще в 1966 г. начались обсуждения проекта высокоапогейного спутника „Плазма", разрабатываемого в НПО им.С.А.Лавочкина. Этот проект потом перерос в спутники серии „Прогноз" и проект „Рой", продвигавшийся Г.А.Скуридиным. После бурных обсуждений, в том числе на комиссии АН СССР во главе с вице-президентом Б.П.Константиновым, утверждается научная программа, в которую вошли плазменные эксперименты, предложенные К.И.Грингаузом (ловушки заряженных частиц) и О.Л.Вайсбергом (два прибора, включая энерго-масс-спектрометр с „Марса-69"), а также эксперимент по изучению солнечных космических лучей (Н.Ф.Писаренко). Технический облик спутника „Прогноз" формировался под большим влиянием заведующего отделом комплексных программ ИКИ С.И.Карманова. В частности, он настоял на стабилизации спутника вокруг оси, направленной на Солнце, что вначале принималось исследователями неоднозначно, но в дальнейшем оказалось весьма полезным для многих экспериментов, хотя и ограничило возможности других.

После освобождения Г.А.Скуридина от обязанностей заведующего отделом геофизики реализация спутников „Прогноз" оказалась под угрозой. В определенной степени их сохранению помогло включение в научную программу исследований франко-советских экспериментов „Каллипсо" (руководитель от ИКИ О.Л.Вайсберг) и „Жемо" (руководитель от ИКИ Н.Ф.Писаренко). Однако противоречивые интересы участников программы привели к тому, что проект одновременного запуска сразу трех „Прогнозов" („Рой") не состоялся, и с интервалом в полгода запускаются „Прогноз" и „Прогноз-2". Их работа в космосе оказалась довольно успешной. Из полученных результатов можно отметить регистрацию и исследования необычных межпланетных явлений после серии гигантских солнечных вспышек в августе 1972 г. („Жемо" и „Каллипсо") и независимые измерения потоков протонов и альфа-частиц в солнечном ветре и вблизи околоземной ударной волны с помощью энерго-масс-спектрометра РИП-803.

Всего было запущено 10 спутников „Прогноз". Основными научными задачами этой программы стали исследования солнечно-земных связей, солнечной активности, ионосферы и магнитосферы Земли. ИКИ был ведущей организацией по этой программе. На „Прогнозе-7" в ходе советско-шведского эксперимента ПРОМИКС (Р.Лундин, Н.Ф.Писаренко) и эксперимента СКС-04 (О.Л.Вайсберг, А.Н.Омельченко) получены интересные данные о высокоширотной магнитопаузе.

Измерения с помощью советско-чехословацкого спектрометра ионов „Монитор" (Г.Н.Застенкер, О.Л.Вайсберг, А.О.Федоров – ИКИ, Я.Шафранкова, З.Немечек – Карлов университет, Прага) и детектора плазменных волн БУД (С.И.Климов) показали важную роль КНЧ-волн в образовании бесстолкновительных ударных волн в космической плазме и позволили исследовать тонкую структуру функции распределения за фронтом ударной волны. Обнаружена зона „горячей" плазмы на периферии плазмосферы, и выявлена полуденно-полуночная асимметрия плазмосферы в геомагнитно-спокойные периоды (К.И.Грингауз и др., „Прогноз-4,-5,-6"). Необычно высокая орбита спутника „Прогноз-9", почти достигавшая точки либрации в хвосте магнито-

A.D. Johnston, MSSL, Great Britain), an original low frequency ion probe (T.K. Breus) and some other plasma instruments (in total seven). Thus Mars-96 carried the most complete complex of the plasma instruments as compared to all the previously launched interplanetary stations. Unfortunately the planned experiments were not accomplished because of the station launch failure to the flight trajectory towards Mars.

The program of high-apogee Earth's satellites of the Progoz series occupied a particular place in the space plasma physics.

Still in 1966 a design for the high apogee satellite Plasma to be developed by the Lavochkin Association was under consideration. Then the project transformed into a series of Prognoz satellites and of the above mentioned Roy project promoted by G.A. Skuridin. After wild debates including those at the Commission of the USSR Academy of Sciences headed by Vice-President B.P. Konstantinov the research program was approved. It included plasma experiments proposed by K.I. Gringauz (charged particles traps) and by O.L. Vaisberg (two instruments including the energy-mass spectrometer from the Mars-69 spacecraft). N.F. Pissarenko proposed an experiment to study solar cosmic rays. The Prognoz technical appearance was strongly influenced by S.I. Karmanov who headed the department for complex programs at IKI. In particular he insisted on the satellite spin-stabilization around the axis in the Sunward direction. At first there was different attitude to this idea among the scientists. In future it turned out fairly useful for many experiments though narrowed the possibilities of the others.

After G.A. Skuridin was dismissed off the head of department for geophysics, the Progoz program could be ceased. To a certain degree it was retained due to its inclusion into the Soviet-French experiment program Calypso (O.L. Vaisberg headed the project from IKI) and Gemeaux (N.F. Pissarenko was a supervisor from IKI). However contradicting interests of the participants resulted in the termination of a simultaneous launch of three Prognoz satellites (the Roy project). Prognoz and Prognoz-2 were launched with a half-year interval. They operated rather successfully. Among the results obtained especially to be noted are the registration and studies of unusual interplanetary phenomena after a series of gigantic solar outbursts in August 1972 (Gemeaux and Calypso), as well as independent measurements of the proton and α-particle fluxes in the solar wind and in the near-terrestrial shock wave. The measurements were conducted by the energy-mass-spectrometer RIP-803.

In total 10 Prognoz satellites were launched. This program's main scientific tasks were as follows: solar-terrestrial physics, studies of the solar activity, of the terrestrial ionosphere and magnetosphere. IKI was responsible for this program. Prognoz-7 spacecraft provided for interesting data on the high-latitude magnetopause within the framework of the Soviet-Swedish experiment PROMICS (R. Lundin, N.F. Pissarenko) and the SKS-04 experiment (O.L. Vaisberg, A.N. Omelchenko).

The data obtained from the Soviet-Czech ion spectrometer Monitor (G.N. Zastenker, O.L Vaisberg, A.O. Fedorov – IKI; Ya. Shafrankova, Z. Nemecheck, Karlov University, Prague) and plasma wave detector BUD (S.I. Klimov) showed an important role of very low frequency waves in the formation of collisionless shock waves in space plasma. This data also made it possible to study fine structure of the distribution function behind the shock wave front. In addition a zone of „hot" plasma was discovered in

pictures see page 175

сферы, помимо основной задачи – исследований микроволнового реликтового излучения, позволила получить и результаты по физике солнечного ветра. В частности, обнаружено предсказанное теорией возобновление регулярной структуры высокоскоростных потоков солнечного ветра на фоне спада в цикле солнечной активности, получены данные о зависимости скорости солнечного ветра от углового расстояния до гелиосферного (межпланетного) токового слоя (К.И.Грингауз, М.И.Веригин, Г.А.Котова, Л.А.Лежен).

В ходе реализации советско-чехословацкого проекта „Интершок" (научный руководитель А.А.Галеев) на спутнике „Прогноз-10" получены более полные данные о возможности термализации ионов на фронте сверхкритических ударных волн за счет неустойчивости фронта ударной волны.

Затем на двух существенно модернизированных спутниках типа „Прогноз", названных „Прогноз-М", реализуются многоспутниковый проект „Интербол".

В самом названии – „Интербол" отразилась главная задача проекта – поиск в магнитосферной плазме „огненных шаров" – „файрболов" и исследование взрывных процессов нагрева и ускорения в них плазмы, приводящих к вспышкам полярных сияний и магнитным бурям. Руководителем проекта становится А.А.Галеев, работу по координации измерений в рамках проекта и с другими миссиями (*Geotail, WIND, POLAR*) ведет его заместитель Л.М.Зеленый.

Проект включал две пары „спутник-субспутник", из которых первая с апогеем на высоте 200 000 км была нацелена на измерения в хвосте магнитосферы, в каспах, вблизи магнитопаузы, в магнитослое и солнечном ветре, а вторая с апогеем 20 000 км – на изучение магнитосферной плазмы над овалом полярных сияний, полярной шапкой и в каспе на средних высотах. Основные спутники значительно усовершенствовали по сравнению с предыдущими „Прогнозами", а новые субспутники созданы в Чехословакии группой П.Триски и Я.Войты в сотрудничестве с ИКИ (Ю.Н.Агафонов и др.) и рядом других стран-участниц. Техническим руководителем проекта был назначен Л.В.Песоцкий, который с небольшой группой опытных инженеров сумел организовать и провести первые предварительные испытания сложных спутниковых научных комплексов, впервые содержавших большое число процессоров, с переплетением взаимосвязей между различными приборами. Члены этой группы Т.П.Лесина и Ж.В.Дикарева после завершения испытаний и пуска возглавили оперативные группы управления спутниками в полете.

Орбитальные расчеты для оптимального выбора орбит, включавшие учет их устойчивости, моделей различных областей околоземной плазмы, а также возможностей ракетной техники для запуска на соответствующие орбиты, были выполнены В.И.Прохоренко.

Трудно описать бесчисленные технические и организационные проблемы, которые пришлось решать руководителям и участникам проекта и, прежде всего, заместителям директора ИКИ Г.М.Тамковичу и Р.А.Ковражкину. Тяжелым ударом был срыв ОКБ МЭИ создания летного образца блока ССНИ (система сбора научной информации), предназначавшегося для сбора информации со всех приборов и преобразования ее в единый формат для передачи по радиоканалу на Землю. Узнав об этом, некоторые страны-участницы проекта даже прекратили его финансирование, считая ситуацию безнадежной. Однако заведующий отделом микропроцессорной техники ИКИ Л.С.Чесалин со

the plasmasphere periphery and the plasmasphere's midday/midnight asymmetry was detected during geomagnetically quiet periods (K.I. Gringauz et al., Prognoz-4, -5, -6 spacecraft).

Unusually high orbit of the Prognoz-9 satellite almost reached the libration point in the magnetosphere's tail. This provided data on the solar wind physics in addition to the main task of the project – the investigation of microwave relict radiation. In particular the theoretically predicted restoration of the regular structure of the solar wind high velocity fluxes which occurred during a descending phase of solar activity cycle was discovered. The data on the correlation between the solar wind velocity and the angular distance to the heliospheric (interplanetary) current sheet (K.I. Gringauz, M.I. Verigin, G.A. Kotova, L.A. Lezhen) was also obtained.

The Intershock Soviet-Czech mission (A.A. Galeev was the scientific supervisor) based on the Prognoz-10 satellite gave more complete data on the possibility of the ion thermalization on the front of supercritical shock waves due to the shock wave's front instability.

Then the multi-satellite project Interball was implemented on two radically modified satellites of the Prognoz type, further named Prognoz-M spacecraft.

The Interball name represented the project's main task – the search for turbulent hot „fireballs" in the magnetospheric plasma and studies of explosive processes of plasma heating and acceleration leading to auroral bursts and magnetic storms. A.A. Galeev became the project supervisor, and his deputy L.M. Zelenyi coordinated observations within the framework of the Interball project and other international missions (Geotail, WIND and POLAR).

The project was implemented on two pairs „satellite-subsatellite". The first pair occupied an orbit with an apogee at 200,000 km and had to conduct measurements in the magnetosphere's tail, in cusps close to the magnetopause, in the magnetosheath and the solar wind. The second pair with an orbit apogee of 20,000 km had to study the magnetospheric plasma above the auroral oval, the polar cap and the cusp at mid-altitudes. The main satellites' design was seriously improved in respect to the previous Prognoz series spacecraft. The new subsatellites were created in Czech by the team headed by P. Triska and J. Voita in cooperation with IKI (Yu.N. Agafonov et al.) and some other countries-participants of the project. L.V. Pesotsky was the project supervisor for technology. With a small team of experienced engineers he conducted the first preliminary tests of the most sophisticated satellite scientific instrumentation which integrated for the first time a lot of processors with numerous interconnections between different instruments. T.P. Lesina and Zh.V. Dikareva, the members of this team, after the tests were completed and the spacecraft were launched, headed the groups for controlling scientific complexes on the satellites in flight.

The orbits chosen for both launches were taking into account the orbit stability, models for various regions of the near-terrestrial plasma as well as the capabilities of the launch vehicles to optimize the coverage of the magnetospheric regions important for the scientific aims of the project. This was done by V.I. Prokhorenko.

It's hard to describe endless engineering and administrative problems which the project supervisors and participants had to solve. First and foremost they were for the IKI deputy directors G.M. Tamkovich and R.A. Kovrazhkin. Special Design Bureau of the Moscow State Energy Institute (OKB MEI) frustrated the terms for the delivery of the flight model of the system for scien-

иллюстрации стр. 175

своими сотрудниками (А.О.Ляховец, Е.С.Парфенова, Е.В.Лакутина, Е.В.Круковская, А.А.Озолин, Э.А.Цэвээний и др.) в короткий срок создал сначала технологический, а затем и летный блоки ССНИ на совершенно новой основе. Блок был полностью программируемым, его запоминающее устройство базировалось на надежной дисковой системе с емкостью в десятки раз большей, чем была стандартной для спутников „Прогноз". Уже в ходе полета в программы блоков ССНИ и на „Интербол-1", и на „Интербол-2" неоднократно вносились изменения, адаптирующие их к новой ситуации на борту. Л.С.Чесалиным был также разработан и внесен в бортовую программу ССНИ уникальный код защиты от радиационных сбоев, что позволило избежать потерь информации и трудностей при ее обработке.

Другим несомненным техническим и организационным достижением этого многопланового космического проекта стала реализация нового подхода к управлению бортовыми экспериментами, включающего программирование работы многих приборов в ходе полета экспериментальными группами в нескольких странах, их автоматизированное объединение в единую проверенную последовательность цифровых команд для передачи на борт, разработка уникальной системы передачи принятых массивов измерений соответствующим экспериментальным группам, создание архива данных в ИКИ и рациональной системы доступа к нему, учитывающей авторские права.

Нет никакой возможности даже перечислить огромное и все возрастающее количество новых результатов проекта. Поэтому кратко остановимся только на трех из них.

Пересмотрены представления о процессах в плазменном слое хвоста магнитосферы. Детальные измерения (В.Н.Луценко и др.) спектров электронов и ионов больших энергий в области нейтрального слоя (центральная плоскость плазменного слоя, где магнитное поле минимально, и его составляющая вдоль хвоста меняет направление от Земли на направление к Земле) показали, что форма энергетических спектров электронов с энергиями более ~30 кэВ отличается от классической степенной формы спектра, характерной для протонов таких же энергий. Спектры электронов, полученные с высоким временным разрешением со спутника „Интербол-1" в нейтральном слое, часто имеют экспоненциальную форму, а не степенную, что соответствует представлениям об их кратковременном ускорении в сильно флуктуирующем электрическом поле. Однако, если осреднить наблюдаемые спектры за значительный интервал времени, то полученная форма спектра также оказывается степенной в согласии с предшествующими измерениями с других спутников при невысоком временном разрешении. Это означает, что в области нейтрального слоя присутствуют многочисленные, но мелкомасштабные области вспышечного ускорения частиц, так что каждый протон при своем движении в нейтральном слое много раз пересекает такие области ускорения, и в результате усредненный спектр протонов приобретает степенную форму. Однако электроны из-за их большой скорости могут выйти из плазменного слоя после пересечения области ускорения всего один раз, тогда спектр их может иметь экспоненциальную форму (А.Л.Тактакишвили и др.). Таким образом, на смену представлениям о сглаженном, ламинарном нейтральном слое с упорядоченной структурой приходят представления о вспышечной, динамичной и стохастичной его природе. Эта новая концепция вызывает сейчас бурные споры, она взламывает устоявшиеся взгляды и модели хвоста магнитосферы, и процессов ускорения в нем энергичных частиц.

tific data collection. This was a hard blow. The system was destined for data sampling from all the instruments and its transformation into a common format for downlinking via a radio channel. Several countries participating in the project even stopped its financing as they considered the situation hopeless. However the head of the IKI department for microprocessors L.S. Chesalin and his colleagues (A.O. Lyakhovets, E.S. Parfenova, E.V. Lakutina, E.V. Krukovskaya, A.A. Ozolin, E.A. Tseveanyi et al.) created engineering and then flight models of the data collection system within a very short period of time. They based on a principally new approach. Their device was completely programmable, its memory was based on a reliable disk system with a capacity ten times exceeding the nominal capacity of the Prognoz series satellites. Already in flight the software for the data collection system was updated by reprogramming not once for both the Interball-1 and -2 missions. The changes were made in order to adapt to a new situation onboard the spacecraft. L.S. Chesalin developed and introduced inflight a unique code for protection of his system from radiation failures. This made it possible to avoid data losses and difficulties in data processing.

The other engineering and management achievement of this multi-aspect space project consisted in a quite new approach to payload inflight control, including instrumentation programming by several teams from different countries, their automated integration in a single checked subsequence of numerical commands for uplinking. A unique system was developed at IKI for the measured data transmission to corresponding scientific teams, data archiving and rational access to the archive with due consideration to the authors rights and it proved to be reliable and convenient.

We are out of space even to list the large and still increasing quantity of the project's new results. Thus we will briefly present only three of them.

Our notion on the processes in the plasma sheet of the magnetosphere's tail was reconsidered. Detailed measurements (V.N. Lutsenko et al.) of the high energy electrons and ions spectra in the neutral sheet were performed. They showed that the shape of the energy spectra for the electrons with energy exceeding 30 keV differed from the classic power law shape of the spectrum typical for the protons of the same energy. The Interball-1 satellite registered electron spectra in the neutral sheet with high temporal resolution, which often followed the exponential, not a power law. This corresponds to their short time acceleration in a strongly fluctuating electric field. However if to average the observed spectra over a rather long period of time, the resulting spectrum shape follows the power law and agree with the previous low time resolution measurements from other satellites. This means that in the neutral sheet there were many small-scale regions of bursty particle acceleration. Thus each proton while moving in the neutral sheet crossed these acceleration regions many times, and as a result the averaged spectrum for the protons followed the power law. However electrons due to their high velocity can leave the plasma sheet after crossing the acceleration region only once. In this case their spectrum has an exponential shape (A.L. Taktakishvili et al.). Therefore the widespread belief on a smoothed laminar neutral sheet with an ordered structure changes for the new concept of bursty, dynamic and stochastic nature of this layer. This new concept calls for wild debates, breaks the existed views and the models for the magnetosphere's tail and the particles acceleration processes in it.

pictures see page 175

Непосредственно связаны с этой концепцией и теоретические результаты Л.М.Зеленого и А.В.Милованова о филаментарной, фрактальной структуре электрических токов, протекающих в плазменном слое хвоста. На это указывают частотные спектры флуктуаций магнитного поля, полученные со спутника „Интербол-1", когда он подолгу находился в плазменном слое. Теория позволяет объяснить не только наклон спектра, но и положение его излома, связанное с геометрическими размерами филаментарных структур тока внутри плазменного слоя.

Несомненно, эти новые взгляды, опирающиеся на результаты измерений в проекте „Интербол", окажут существенное влияние на представления о физике магнитосфер больших планет, где также имеются огромные плазменные хвосты, и наблюдаются большие интенсивности частиц высокой энергии, а также на теорию процессов в других аналогичных астрофизических объектах.

Одновременные измерения с „Интербола-1" и японского спутника „Geotail" в магнитослое и в солнечном ветре указали на необходимость радикального пересмотра представлений о характеристиках той плазмы солнечного ветра, которая, пройдя околоземную ударную волну и магнитослой, непосредственно взаимодействует с магнитосферой Земли. Оказалось (Г.Н.Застенкер и др.), что реально наблюдаемые флуктуации давления в плазме магнитослоя бывают в несколько раз большими, чем можно ожидать на основе общепринятых гидродинамических моделей обтекания магнитосферы солнечной плазмой, а ведь на этих моделях сейчас строится оперативный прогноз „космической погоды" – геомагнитных бурь и вспышечных ионосферных токов, эффекты которых приводят к нарушениям радиосвязи, помехам на радиолокаторах, токам и искрению на трубопроводах в Арктике и проч. Значит, существуют какие-то пока не выявленные, но мощные процессы в плазме магнитослоя, которые способны приводить к значительным, но локальным вариациям давления в магнитослое, а следовательно, и формы магнитопаузы и связанных с ней токов в полярной ионосфере.

Детальные измерения спектров и угловых распределений тепловых и сверхтепловых ионов со спутника „Интербол-2" на высотах 2–3 радиуса Земли над овалом полярных сияний и, особенно, в силовых трубках дневного каспа, также привели к необходимости радикального пересмотра сложившихся представлений. При анализе плазменных процессов в магнитосфере традиционно предполагалось, что тепловая плазма является достаточно однородной и может быть принята в качестве пассивного фона, сквозь который проходят пучки энергичных частиц, распространяются волны и колебания плазмы. Но оказалось (Ю.И.Гальперин, ИКИ, Н.Дюбулоз, CETP, Франция, и др.), что наблюдаемые распределения тепловых и сверхтепловых частиц с энергиями в десятки эВ и ниже на больших высотах над полярными сияниями столь же неоднородны, как и сами полярные сияния, включают в себя взаимопроникающие пучки ионов различных масс, движущиеся с различной скоростью вдоль магнитного поля, а порой и в противоположных направлениях. Они обладают огромной свободной энергией, которая в определенных условиях может привести к значительным изменениям в картине взаимодействия частиц и волн в магнитосферной плазме. Во многих случаях и на сверхтепловых, и на значительно больших энергиях ионов наблюдаются вспышечные инжекции частиц (Р.А.Ковражкин, ИКИ, Ж.А.Сово, CESR, Франция, и др.), причем такие инжекции часто сопровождают быстрые вариации крупномасштабных характеристик и электрических токов магнитосферной плазмы. Опять же,

иллюстрации стр. 175

Theoretical conclusions by L.M. Zelenyi and A.V. Milovanov on the filamentary fractal structure of the electric current in the tail's plasma sheet are directly connected with this concept. This is indicated by the frequency spectra of the magnetic field fluctuations obtained from the Interball-1 satellite while it was in the plasma sheet for a long time. The theory explains not only the spectrum slope but also the location of its break correlated with the geometrical dimensions of the filamentary structures of the current inside the plasma sheet.

Undoubtedly this new vision based on the Interball measurements will considerably influence the notion about the physics of the magnetospheres of the majority of the gigantic planets with huge plasma tails and high energy particles of high intensity, as well as the processes on similar astrophysical bodies.

Simultaneous measurements from the Interball-1 and the Japanese satellite Geotail in the magnetosheath and in the solar wind showed the need in a radical reconsideration of the characteristics of the solar wind plasma which, after passing the near-terrestrial shock wave and magnetosheath, directly interacts with the Earth's magnetosphere. It turned out (G.N. Zastenker et al.) that the really observed pressure fluctuations in the magnetosheath plasma were several times higher than it could be expected from the standard hydrodynamic models for the solar plasma flow around the magnetosphere. Thus there exist some unknown strong processes in the magnetosheath plasma which may lead to considerable but local pressure variations in the magnetosheath and consequently, in the magnetopause shape and resulting currents in the polar ionosphere. However the respective models are the basis for the timely space weather forecasting, including geomagnetic storms and bursts of ionospheric currents. In the Arctic these storms cause breakdowns in radio communications, excessive noise on radars, electric currents and arcing in pipelines, etc., so their prediction is important.

Detailed measurements of the spectra and angular distributions for the thermal and superthermal ions from Interball-2 at the altitudes of 2–3 Earth's radii above the auroral oval (and especially in the plasma flux tubes of the day-side cusp) have also called for a cardinal reconsideration of the existed ideas. While analyzing the plasma processes in the magnetosphere it was traditionally supposed that the thermal plasma was fairly uniform and could be considered a passive media through which beams of energetic particles pass, waves and charged particles oscillations propagate. However it turned out (Yu.I. Galperin, IKI; N. Dubouloz, CETP, France, et al.) that the observed distributions of the thermal and superthermal particles with the energies of tens eV and lower are as non-uniform at high altitudes as the aurora below. They include beams of ions of various masses moving with different velocity along the magnetic field. Sometimes these ion beams move in the opposite directions. They possess high free energy which under certain conditions may cause significant changes in the wave-particle interactions in the magnetospheric plasma. In many cases bursty particle injections (R.A. Kovrazhkin, IKI; J.A. Sauvaud, CESR, France, et al.) are observed for superthermal ions as well as for ions with significantly higher energies. These injections are often accompanied by short-time variations of large-scale plasma characteristics and magnetospheric currents. Thus again the existed ideas about comparatively smooth large-scale processes in the magnetosphere are changing for the notion of its bursty nature, small-scale fluctuations and filamentary structure similar to that seen in the auroral phenomena.

на смену устоявшимся представлениям о сравнительно гладкой, крупномасштабной картине процессов в магнитосферной плазме приходят представления о такой же ее вспышечной природе, мелкомасштабных флуктуациях, филаментарной, струйчатой структуре, как и наблюдаемая в полярных сияниях.

В результате бурного прогресса в понимании физики околоземной плазмы, в котором важную роль сыграли результаты проекта „Интербол", представления о характере плазменных процессов в околоземном космосе сегодня заметно изменились. Стало ясно, что физика мелкомасштабных вспышечных процессов в магнитосферной плазме, в особенности, в ее критических областях – на дневной магнитопаузе, в каспах, в околоземном плазменном слое, является определяющим фактором в динамике магнитосферы.

Но физические процессы в сильно турбулентной плазме, которые приводят к этим мелкомасштабным вспышкам, остаются недостаточно ясными. Дело, в частности, в том, что вспышечные явления развиваются в широком спектре масштабов. Именно поэтому они более характерны для упоминавшихся выше критических областей магнитосферы, в которых концентрируются мощные электрические токи, и возникают тонкие токовые слои, а последние, в свою очередь, определяются крупномасштабной и среднемасштабной структурой магнитосферы. Но если крупномасштабная структура магнитосферы уже в заметной степени прояснилась, то для изучения мелкомасштабных вспышек нагрева и ускорения плазмы нужна многоспутниковая система на малых расстояниях между спутниками – от десятка до сотен километров. Раньше это было технически почти неосуществимо из-за трудностей в определении взаимного положения спутников и управления ими в полете, но теперь такие возможности появились, получила значительное развитие и техника диагностики плазмы.

Ю.И.Гальпериным и Л.М.Зеленым предложен и развивается проект такой перспективной системы для детального анализа мелкомасштабных вспышечных процессов в околоземной плазме. Ее назвали „Рой" в честь передового для своего времени, но неосуществленного многоспутникового проекта исследования критических областей магнитосферы. Система „Рой" должна состоять из 3–4 субспутников и большого спутника класса „Интербол", что даст возможность определить характер сильных флуктуаций в горячей плазме, приводящих к преобразованию ее магнитной энергии в нагрев и ускорение частиц. При этом большой спутник – „База", будет осуществлять еще и роль ретранслятора на Землю высокоопросных телеметрических измерений со всей группы близких субспутников по единому радиоканалу, что позволит значительно экономить ресурсы наземных приемных систем, реализовать весьма точную синхронизацию по времени измерений со всей группы спутников, применить новые экспериментальные методы бортовой обработки измерений.

Контуры этого перспективного проекта, идеи и наработки которого могут найти последующее развитие в многоспутниковых планетных исследованиях, уже определены. В работы включаются ученые из других стран, проводится машинное моделирование оригинальных методов и решений, составляющих основу этого будущего проекта. В отделе физики космической плазмы ИКИ есть и другие интересные разработки и идеи по дальнейшему изучению околоземного космоса.

The concepts on the nature of the plasma processes in the near-terrestrial space has significantly changed due to the rapid progress in understanding the near-Earth plasma physics. The Interball project played an important role in this progress. It has become clear that the physics of the small-scale bursty processes in the magnetospheric plasma and especially in its critical regions, including the day-side magnetopause, in cusps and in the near-terrestrial plasma sheet, is the key factor in the magnetosphere dynamics.

However physical processes in a strongly turbulent plasma which cause the small-scale plasma bursts are still insufficiently clear. In particular it may be due to the fact that bursty phenomena develop within a wide spectra of scales. Consequently they are more typical for the above mentioned magnetosphere's critical regions where strong electric currents concentrate and thin current sheets arise. The former in their turn are defined by the magnetosphere's large-scale structure. However if this large-scale structure is already clear, study of small-scale bursts of plasma heating and acceleration needs a multisatellite system with small distances in-between the satellites (from ten to hundreds of kilometers). In the past it was almost impossible to implement this because of difficulties in determination of the spacecraft mutual positioning and their proper control in flight. Today there appeared new possibilities and plasma diagnostics technique is much progressed.

Yu.I. Galperin and L.M. Zelenyi proposed and developed a perspective project of such a future space system intended for a detailed analysis of small-scale bursty processes in the near-Earth plasma. This system was called Roy in honor of the first national multi-satellite project aimed at studying the critical regions of the magnetosphere which was advanced long ago (see above) but not implemented. The system has to consist of three to four sub-satellites and a large BASE satellite of the Interball class. This will make it possible to determine the character of strong fluctuations in the hot plasma causing its magnetic energy conversion into heat and particle acceleration. The BASE satellite will in addition re-transmit to the Earth the high rate telemetry sampled from all the nearby subsatellites. The data will be downlinked via single radio channel in order to save the ground segment resources, to precisely synchronize the measurements from all the satellites, and to apply new experimental techniques to onboard data processing for the measurements stored in BASE satellite.

The project design guidelines are already defined. Its ideas and already fulfilled studies will probably be developed in multi-satellite planetary research. Scientists from other countries join the project; the original techniques and solutions are simulated on computers. The IKI department for space plasma physics has other interesting developments and ideas on studying the near-terrestrial space.

pictures see page 175



Отдел космической газовой динамики

Department for Space Gas Dynamics

Практически сразу после своего назначения директором ИКИ академик Г.И.Петров создает в качестве самостоятельного структурного подразделения отдел космической газовой динамики: Г.И.Петрову был необходим, особенно на первом этапе, научный коллектив людей, на которых он мог бы опереться при выработке программы исследований нового академического института, тем более, что до своего назначения на пост директора Г.И.Петров возглавлял лабораторию отраслевого Научно-исследовательского института тепловых процессов (НИИТП). Не желая разорять свою лабораторию, интеллигентный Георгий Иванович привел с собой в новый академический институт только своего ученика, окончившего возглавляемую им кафедру аэромеханики и газовой динамики механико-математического факультета МГУ, В.Б.Баранова. В течение длительного времени В.Б.Баранов и выполнял функции внештатного заведующего созданного при Георгии Ивановиче отдела.

Первоначальный бесструктурный состав отдела выглядел довольно разношерстным, хотя и состоял из одних кандидатов физико-математических наук. Приглашенным в отдел геофизику М.Н.Изакову, физику-экспериментатору В.Б.Леонасу и занимавшемуся определением плотности атмосферы Земли по орбитальным расчетам движения спутников М.Я.Марову, ставшему впоследствии Ученым секретарем МНТС по космическим исследованиям, трудно было вначале найти общий научный язык и с В.Б.Барановым, и с И.М.Яворской, которые окончили мехмат МГУ и в научных исследованиях исходили из дифференциальных уравнений, описывающих то или иное физическое явление, а не из общих физических представлений. Но желание помочь Г.И.Петрову в становлении нового института и общность в оценках жизненных позиций позволили быстро наладить тесные контакты. Этому в большой степени помогал отдельский научный семинар, который под руководством Георгия Ивановича быстро перерос в общеинститутский.

Отдел пополнялся новыми сотрудниками, но начались и „потери". М.Я.Маров возвратился в Институт прикладной математики, где возглавил отдел, а М.Н.Изаков несколько позже перешел в отдел планетных исследований ИКИ.

Основное пополнение молодыми кадрами ученых отдел космической газовой динамики должен был получать с возглавляе-

Academician G.I. Petrov almost immediately after his appointment the IKI director created an independent subdivision - a department for space gas dynamics. At least at the first stage G.I. Petrov needed a scientific team, which could support him in the development of a research program for the new academic institute. It should be taken into account that previously he headed a laboratory at the Research Institute for Thermal Processes (NIITP). Georgy I. Petrov did not want to ruin the laboratory and invited only one of his followers V.B. Baranov. The latter graduated from Moscow State University, chamber of aero- and gas-dynamics of the mechanics-math faculty. G.I. Petrov headed this chamber. V.B. Baranov was a free-lance head of the department created by Geogy I. Petrov for a long time.

Initially the department looked rather mixed although only scientists having Ph.D. in physics and math worked there. Geophysicist M.N. Isakov, physicist-experimentalist V.B. Leonas and M.Ya. Marov who became later a Scientific Secretary of the Inter-Branch Scientific and Research Council for Space Research, could not find the common language with V.B. Baranov and I.M. Yavorskaya who graduated from Moscow State University, mechanics-math faculty. The latters conducted research based on differential equations describing physical phenomena but not on general physical ideas. However their eagerness to help Petrov in establishing the new Institute and the same philosophy of life made it possible to quickly establish close contacts. Scientific workshop which took place in the department and later became the Institute's workshop headed by Georgy I. Petrov also promoted these contacts to a large degree.

New specialists came to the department but there were also „losses". M.Ya. Marov returned to the Institute for Applied Mathematics where he headed a department. M.N. Izakov transferred to the IKI department for planetary research a bit later.

Young scientists came to the department for space gas dynamics from the chamber headed by G.I. Petrov. Later they formed the department's backbone. Young generation naturally had all feathers of the mechanics-math faculty mentality mentioned above.

In 1970 V.B. Baranov and K.V. Krasnobaev together with A.G. Kulikovsky offered a simplified gas dynamic model of the solar wind interaction with the interstellar supersonic flow. They

иллюстрации стр. 178

мой Г.И.Петровым кафедры. Эти кадры и составят в дальнейшем костяк отдела.

Естественно, новому пополнению были присущи все особенности мехматовского мышления, упомянутого выше.

В 1970 году В.Б.Барановым и К.В.Краснобаевым совместно с А.Г.Куликовским была предложена упрощенная газодинамическая модель взаимодействия солнечного ветра со сверхзвуковым потоком межзвездной среды. Опубликованная на эту тему статья (Доклады АН СССР, 1970, т.194, стр.41) носила чисто теоретический характер: ее основной целью было „сшить" решение для солнечного ветра с решением для межзвездной среды. Однако уже на следующий год измерения на космическом аппарате OGO-5 рассеянного солнечного излучения на длине волны 1216 Å привели к экспериментальному открытию сверхзвукового потока межзвездного газа относительно солнечной системы, а в середине 70-х годов в США были запущены космические аппараты „Voyager 1/2" и „Pioneer 10/11", основной целью которых было исследование внешних областей солнечной системы . В результате, предложенная сотрудниками отдела модель оказалась чрезвычайно актуальной, а ее развитие в соответствии с получаемыми до сих пор все новыми экспериментальными данными на многие годы стало одним из главных направлений работы отдела. Интересно, что предложенная модель сложного течения, возникающего при взаимодействии солнечного ветра с межзвездным газом, в дальнейшем послужила источником ряда идей в таких астрофизических проблемах, как обтекание межзвездных глобул межзвездной средой, взаимодействие звездных ветров в двойных системах, межзвездные пузыри и др.

Измерения на различных космических аппаратах, включая советские космические аппараты, например „Прогнозы", параметров атомов водорода и гелия, проникающих из межзвездной среды в Солнечную систему, потребовали теоретического анализа условий их проникновения сквозь сложную структуру области, образованной вследствие взаимодействия двух сверхзвуковых потоков (солнечного ветра и плазменной компоненты межзвездной среды). При этом оказалось, что процессы резонансной перезарядки создавали своеобразный „фильтр" для проникновения в солнечный ветер атомов водорода. Кроме того, плазменная структура течения должна была приводить к эффекту сильной модуляции галактических космических лучей. Все эти вопросы требовали серьезного развития предложенной в отделе модели. В конце 70-х годов к этим работам активно подключились молодые сотрудники и выпускники кафедры аэромеханики и газовой динамики механико-математического факультета МГУ М.С.Рудерман и С.В.Чалов, впоследствии ставшие видными учеными в соответствующих областях космической газовой динамики.

Разработанная в отделе модель до сих пор является основой для интерпретации экспериментов, выполняемых на космических аппаратах, изучающих внешние области солнечной системы, включая сравнительно новые аппараты, такие как Hubble Space Telescope, Ulysses, SOHO и др. Многие ее предсказания подтвердились данными наблюдений.

В 1977 году в издательстве „Наука" вышла монография В.Б.Баранова и К.В.Краснобаева „Гидродинамическая теория космической плазмы", в которой авторы подвели итоги своей почти 10-летней работы в Институте космических исследований АН СССР в составе отдела космической газовой динамики. Монография была удостоена премии АН СССР им.С.А.Чаплыгина за 1982 год.

published a theoretical paper (Doklady AN SSSR, 1970, v. 194, p. 41) on this topic in order to „stitch" the solution for the solar wind and the interstellar medium parameters. However a year later measurements of the scattered solar radiation at 1216 Å made from the OGO-5 spacecraft led to an experimental discovery of an interstellar gas flow with a supersonic velocity relative to the Solar system. In the mid of the 1970s the USA launched Voyager 1/2 and Pioneer 10/11 spacecraft for the exploration of the Solar system's distant regions. As a result the model proposed by the department turned out extremely actual and its development based on the experimental data obtained up to that moment became one of the main research directions of the department for many years. It is interesting that the model developed for the complicated flow appearing due to the solar wind interaction with the interstellar gas became a source for a number of ideas in such astrophysical problems as interstellar gas flow around the globules, interaction of the stellar winds in double systems, interstellar bubbles, and others.

Measurements of parameters of the hydrogen and helium atoms penetrating from the interstellar medium into the Solar system were carried out from various spacecraft including the Soviet spacecraft, e.g. Prognoz. These measurements required theoretical analysis of the conditions for their penetration through a region with a complex structure formed due to the interaction of two supersonic flows (the solar wind and the interstellar plasma component). It turned out that the resonance charge exchange provided for a some kind of a filter for the hydrogen atoms penetrating into the solar wind. In addition the plasma structure of the interface should cause a strong modulation of the galactic cosmic rays. All these questions required a fundamental development of the model proposed in the department. At the end of the 1970s young people M.S. Ruderman and S.V. Chalov who graduated from Moscow State University, chamber for aero- and gas-dynamics in space joined this work. Later they became prominent scientists in the corresponding fields of the gas dynamics.

The model developed at the department has become the basis for the interpretation of space-borne experiments carried out from relatively new spacecraft such as the Hubble Space Telescope, Ulysses, SOHO and others and aimed at the exploration of the Solar system's distant regions.

In 1977 the Nauka Publishing House published the V.B. Baranov's and K.V. Krasnobaev's study „Space Plasma Hydrodynamic Theory". The book summed up their almost ten-year work at the department for space gas dynamics of the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences. In 1982 it won the Chaplygin prize of the USSR Academy of Sciences.

In the beginning of 1972 the department for space gas dynamics was divided into two laboratories – an experimental laboratory which consisted of two independent subdivisions headed by V.B. Leonas and I.M. Podgorny and a theoretical laboratory for magnetic gas dynamics headed by V.B. Baranov. New IKI director R.Z. Sagdeev appointed V.B. Leonas the head of the experimental laboratory subordinated in the department for space gas dynamics and made the Podgorny laboratory independent.

The physicist-experimentalist V.B. Leonas highly skilled in molecular collisions came to IKI together with several followers from the molecular physics chamber of the faculty for molecular physics of Moscow State University. By that time his scientific

pictures see page 178

В начале 1972 года отдел космической газовой динамики разделился на две лаборатории: экспериментальную, которая состояла из двух по сути самостоятельных подразделений В.Б.Леонаса и И.М.Подгорного, и теоретическую – магнитной газовой динамики – В.Б.Баранова. Новый директор ИКИ Р.З.Сагдеев назначил В.Б.Леонаса заведующим экспериментальной лаборатории в составе отдела космической газовой динамики, а И.М.Подгорного выделил в отдельную лабораторию.

Высококвалифицированный физик-экспериментатор в области молекулярных столкновений В.Б.Леонас вместе с несколькими своими учениками пришел в ИКИ АН СССР с кафедры молекулярной физики физического факультета МГУ. К моменту перехода его научная группа имела уникальные экспериментальные результаты по определению потенциалов взаимодействия атомов и молекул при малых сближениях. Уже в 60-х годах эти результаты вошли в справочники по атомной физике и широко использовались специалистами. В отделе космической газовой динамики ИКИ под его руководством была создана великолепная экспериментальная база для изучения фундаментальных проблем, связанных с определением эффективных сечений столкновений пар молекул, наиболее часто встречающихся в атмосферах планет и Земли. После преждевременной кончины В.Б.Леонаса в октябре 1992 года эти исследования продолжаются в Институте проблем механики РАН под руководством его ученика А.П.Калинина.

В начале 80-х г.г. В.Б.Леонасом вместе с аспирантом Физико-технического института М.С.Грунтманом была предложена оригинальная идея прямой регистрации на космических аппаратах высокоэнергичных (с энергией порядка килоэлектронвольт) нейтральных атомов водорода и гелия в солнечном ветре. Высокоэнергичные атомы водорода могли быть, в частности, результатом перезарядки протонов солнечного ветра на атомах водорода межзвездного происхождения. Был создан лабораторный вариант прибора и проведена его калибровка. К сожалению, эти эксперименты так и не были проведены в условиях космоса, и не по вине создателей установки: в проекте „Фобос", в котором первоначально предполагались такие измерения на трассе полета, в последний момент не оказалось места для соответствующего прибора на борту космического аппарата. Пока еще остаются какие-то надежды на реализацию этих экспериментов в рамках проекта „Реликт".

Будучи директором ИКИ, академик Г.И.Петров принимал активное участие в разработке программ исследований планет, комет и других тел Солнечной системы. В частности, его чрезвычайно волновала проблема кратерообразования на некоторых планетах, а также на Луне. С целью исследования этой проблемы он создает в отделе специальный сектор во главе с Л.В.Леонтьевым для организации экспериментов по высокоскоростному удару. Для проведения расчетов в сектор приглашается Ю.Г.Малама, ставшим одним из ведущих сотрудников теоретической лаборатории В.Б.Баранова.

Приятным сюрпризом для теоретической лаборатории был приход в нее уже сформировавшегося ученого в области теоретической физики Ю.А.Рылова, который к тому времени имел ряд фундаментальных работ, одна из которых цитируется, например, в книге Л.Д.Ландау и И.М.Лифшица „Теория поля". В лаборатории он в течение многих лет развивал теорию, связанную со структурой магнитосферы пульсаров, предпринимал попытки на ее основе объяснить их радиоизлучение. Будучи чрезвычайно щепетильным и скромным человеком, он считал себя просто обязанным работать в лаборатории и над проблема-

group had obtained unique experimental results in determining the potential of interaction between the atoms and molecules at small distances. In the 1960s these results were included in the references for nuclear physics and were widely used by specialists. At the IKI department for space gas dynamics V.B. Leonas supervised the creation of excellent experimental facilities for studying fundamental problems of determination of the effective sections for the molecule pairs collisions which were met most often in the planets' and Earth's atmospheres. After V.B. Leonas untimely died in 1992 these studies were continued at the Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences under the supervision of his follower A.P. Kalinin.

In the early 1980s V.B. Leonas together with M.S. Gruntman, a post-graduate student of the Moscow Physical-Technological Institute proposed an original idea for space-borne direct registration of the high-energy (about several keV) neutral hydrogen and helium atoms in the solar wind. In particular high-energy hydrogen atoms could originate from charge exchange between the solar wind protons and the interstellar hydrogen atoms. Unfortunately these experiments have not been carried out in space and this was not the guilt of the developers. Initially these measurements were planned for the Phobos mission along the flight trajectory. However at the last moment there was no place for the instrument onboard the spacecraft. There are still some hopes for these experiments implementation within the framework of the Relict mission.

G.I. Petrov as the IKI director actively participated in the development of the programs for the exploration of planets, comets and other Solar system's bodies. In particular, the problem of crater formation on some planets and on the Moon was very attractive for him. In order to investigate this problem within the department's infrastructure he created a special sector headed by L.V. Leontiev for conducting experiments on high velocity impact. Yu.G. Malama was invited to the sector for for the theoretical studies. Later he became one of the leading scientists of the Baranov's theoretical laboratory.

When Yu.A. Rylov, a specialist in theoretical physics joined their team, it was a pleasant surprise for the theoretical laboratory. Yu.A. Rylov was an author of a number of fundamental studies one of which was cited in the „Field Theory" by L.D. Landau and I.M. Livshits. While working in the laboratory he was developing a theory connected with a structure of the pulsar magnetosphere, made attempts to explain their radio-frequency radiation based on this theory. Being an extremely scrupulous and modest person he considered himself obliged to work on the problems of space gas dynamics though his scientific interests lied in the quantum mechanics and the relativity theory.

At the beginning of the 1970s I.M. Yavorskaya, the theoretical laboratory's employee, together with her scientific group offered an idea of studying the problem of the flow stability in the spherical layers, which were very often met in space. She did not limit her work with the theoretical studies only. On her initiative an experimental plant consisting of two concentric glass spheres between which the liquid was poured was created at OKB IKI (Frunze). Spheres could rotate relative to each other at various angular velocities relative to a certain axis thus creating a so called spherical Kuette flow in the liquid. Fundamental problems of this flow stability, formation of the secondary flows and their multiplicity, transfer to the turbulent flow, etc. were studied.

иллюстрации стр. 178

ми космической газовой динамики, хотя его научные интересы лежали в области квантовой теории и теории относительности.

В начале 70-х годов сотрудница теоретической лаборатории И.М.Яворская вместе со своей научной группой предложила идею изучения проблем устойчивости течений в сферических слоях, так часто встречавшихся в космических условиях. Она не ограничилась только теоретическими исследованиями. По ее инициативе в ОКБ ИКИ (г. Фрунзе) была создана экспериментальная установка, состоящая из двух концентрических стеклянных сфер, между которыми заливалась жидкость. Сферы могли вращаться друг относительно друга с различной угловой скоростью вокруг некоторой оси, создавая в исследуемой жидкости так называемое сферическое течение Куэтта. Предметом изучения стали фундаментальные проблемы, связанные с устойчивостью такого течения, возникновение вторичных течений, их неединственность, переход к турбулентным режимам и т.п. Экспериментальные работы по этой тематике принял на себя Институт механики МГУ, где они выполнялись под руководством ученика В.Б.Леонаса, физика-экспериментатора Ю.Н.Беляева. Теоретические работы в этой области велись в лаборатории В.Б.Баранова под руководством И.М.Яворской, в научной группе которой активно работали Н.М.Астафьева, Н.И.Фомина, А.Б.Богоявленский.

Для обеспечения чистоты трактовки получаемых результатов применительно к планетам солнечной системы И.М.Яворской совместно с Ю.Н.Беляевым и Н.И.Фоминой была предложена оригинальная идея проведения аналогичного эксперимента на борту спутника Земли. Это позволяло избавиться от влияния такого фактора как земная гравитация. Для моделирования сферически-симметричного поля гравитации планеты предлагалось использовать радиальное электрическое поле, которое должно было воздействовать на соответствующую жидкость-диэлектрик. К сожалению, преждевременная кончина в 1991 году не позволила И.М.Яворской осуществить такой эксперимент.

Примерно в 1982 г. в ИКИ началась активная подготовка к исследованиям кометы Галлея с борта автоматических межпланетных станций. В числе других научных приборов на борту станций планировалось установить пылеударный масс-анализатор (ПУМА), который позволил бы выполнить анализ пылевых частиц, истекающих из кометы. Дирекция ИКИ поручила В.Б.Леонасу калибровку этого прибора, а также проведение вместе с учеными из Германии лабораторных экспериментов по высокоскоростному удару. Теоретическая проработка проблемы была возложена на Ю.Г.Маламу, который имел богатый опыт расчетов соударения твердых частиц с мишенью, связанный с проблемами кратерообразования на лунной поверхности.

Кинетическая энергия пылевых частиц в немецкой лабораторной установке была существенно меньше энергии пылевых частиц, которые должны были попадать в прибор ПУМА в космическом эксперименте. Поэтому Ю.Г.Малама провел детальные расчеты соударений при ожидаемых в действительности энергиях, что должно было привести к принципиально другим физическим явлениям. К сожалению, примерно за год до запусков станций ВЕГА лабораторная установка вместе с частью сотрудников была переподчинена другому научному отделу.

Трудоемкие и чистые по исполнению расчеты Ю.Г.Маламы использовались для интерпретации результатов экспериментов. В дальнейшем Ю.Г.Малама начал заниматься проблемами, связанными с взаимодействием солнечного ветра с межзвездной средой и, в частности, с использованием метода Монте Карло

Experimental works were carried out at the Institute for Mechanics of Moscow State University under the supervision of the physicist-experimentalist Yu.N. Belyaev, a follower of V.B. Leonas. N.M. Astafieva, N.I. Fomina, A.B. Bogoyavlensky and others conducted theoretical studies under the supervision of I.M. Yavorskaya at the Baranov's laboratory.

In order to provide a correct explanation of the results obtained for the Solar system's planets I.M.Yavorskaya together with Yu.N. Belyaev and N.I. Fomina proposed an original idea for this experiment performance onboard the Earth artificial satellite. This made it possible to eliminate the terrestrial gravity. The radial electric field was proposed for the simulation of the spherically symmetrical gravity field of the planets. This field should effect the corresponding liquid-dielectric. Unfortunately the untimely death of I.M. Yavorskaya in 1991 stopped the experiment.

In 1982 IKI began an active preparation for the Halley's comet study from interplanetary stations. It was planned to install the dust-impact mass-analyzer (PUMA) and other instrumentation onboard the stations. PUMA should carry out the analysis of the dust particles ejected from the comet. IKI directors entrusted V.B. Leonas to calibrate the instrument and to carry out the lab experiments on high velocity shock in cooperation with German specialists. Yu.G. Malama who had a rich experience in making calculations for the shock of solid particles with a target gained in studying the problems of crater formation on the lunar surface studied theoretical questions.

Dust particles' kinetic energy registered in the German laboratory plant was considerably less than that to be observed during the PUMA space experiment. That is why Yu.G. Malama made detailed calculations of the collisions for the expected actual energies. This should lead to principally other physical phenomena. To our regret the laboratory plant and some employees were transferred to another scientific department a year before the VEGA spacecraft launch.

Laborious and correct calculations made by Yu.G. Malama were used for the experiment results interpretation. Further Yu.G. Malama was involved in the studies of the solar wind interaction with the interstellar medium. In particular he applied the Monte Carlo technique to describe the interstellar atoms motion and their influence on the gas flow dynamics. A paper on this topic by Yu.G. Malama and V.B. Baranov was published in J. Geophys. Res. in 1993. This paper became one of the basic works in this field. However it was fulfilled in the new department of the Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences.

The laboratory participation in the VEGA project was not limited by Yu.G. Malama's calculations for the PUMA experiment only. About half a year before the results of the Halley's comet study were obtained an axis-symmetrical model of the solar wind interaction with the comets' atmospheres was simulated at the laboratory (V.B. Baranov and Moscow State University employee M.G. Lebedev). In essence this model was a complete numerical solution of the gas dynamics problem which was set but not solved by Birmann, Brosovsky and Schmidt (Solar Physics, 1967). The quantitative two-dimensional model which turned out predictive (the first two papers describing the model were published in the „Astronomical Journal", January, and in the „Letters to the Astronomical Journal", July, 1986) was cre-

pictures see page 178

для описания движения межзвездных атомов водорода и их влияния на газодинамическую картину течения. По этой проблеме в 1993 году им была опубликована в J.Geophys.Res. совместная с В.Б.Барановым статья, которая стала одной из основополагающих работ в этой области исследований. Но выполнена она была уже в новом для отдела Институте проблем механики РАН.

Участие теоретической лаборатории отдела в проекте ВЕГА не ограничивалось только расчетами Ю.Г.Маламы по эксперименту ПУМА. Примерно за полгода до получения научных результатов исследований кометы Галлея в лаборатории была построена осесимметричная модель взаимодействия солнечного ветра с кометными атмосферами (В.Б.Баранов совместно с сотрудником МГУ М.Г.Лебедевым). По существу эта модель представляла собой полное численное решение газодинамической проблемы, поставленной, но не решенной Бирманом, Бросовским и Шмидтом (Solar Physics, 1967). Впервые была создана количественная двумерная модель, которая имела предсказательную ценность (первые две статьи по модели были опубликованы в январском номере „Астрономического журнала" и в июльском номере журнала „Письма в АЖ" за 1986 год), а многие ее предсказания подтвердились в дальнейшем экспериментами, например, наличие сильного замедления солнечного ветра около кометной ионопаузы вследствие эффекта „нагружения", которое в работе названо „сдвиговым слоем", форма и положение головной ударной волны, распределение плазменных параметров солнечного ветра вдоль траектории японского аппарата „Suissei", распределение плотности тяжелых ионов, измеренное на аппаратах ВЕГА и т.д. (детальное сравнение теории и эксперимента по исследованию кометы Галлея в марте 1986 года опубликовано В.Б.Барановым и М.Г.Лебедевым в журнале „Astron. Astrophys.", v.273, p.695, 1993). Эта работа широко цитировалась в иностранной научной литературе.

В конце 1986 года руководство отдела вместе с его сотрудниками принимает предложение академика А.Ю.Ишлинского о переходе в Институт проблем механики АН СССР, который и состоялся в январе 1987 года.

Переход отдела в другой Институт был осуществлен самым цивилизованным путем. Учитывая трудности, связанные с переводом лабораторных установок, руководство ИКИ АН СССР разрешило не переводить сразу экспериментальную базу В.Б.Леонаса, и в течение почти двух лет она продолжала функционировать на производственных площадях Института космических исследований. Сотрудникам отдела были сохранены пропуска, а желающие смогли остаться работать в ИКИ в других его подразделениях.

В настоящее время ученые бывшего отдела космической газовой динамики продолжают развивать модель взаимодействия солнечного ветра с межзвездной средой в свете новых экспериментальных данных. До настоящего времени эта модель является основой для интерпретации экспериментальных данных, получаемых на космических аппаратах, изучающих внешние области солнечной системы. Начата активная теоретическая работа в области других астрофизических приложений, например, в исследовании взаимодействия звездных ветров. Продолжены работы по высокоскоростному удару твердых частиц по мишени: опыт и пунктуальность работы Ю.Г.Маламы в этой области через много лет после осуществления проекта ВЕГА были затребованы немецкими учеными из Мюнхена.

иллюстрации стр. 178

ated for the first time. Many of the predictions were proved in further experiments, for example, a considerable solar wind deceleration near the comet ionopause due to the „loading" effect (called a „shift layer"), shape and position of the bow shock, solar wind parameters distribution along the trajectory of the Japanese spacecraft Suissei, heavy ion density distribution measured from the VEGA stations, etc. (a detailed comparison of the theory and the experiment on Halley's comet study carried out in March 1986 was published by V.B. Baranov and M.G. Lebedev in „Astron. Astrophys.", v. 273, p. 695, 1993). This paper was often cited in foreign scientific publications.

At the end of 1986 the department head and its staff accepted the offer made by academician A.Yu. Ishlinsky to transfer to the Institute for Problems in Mechanics of the USSR Academy of Sciences. They transferred to the Institute in January 1987.

The department transferred to another institute in a very civilized way. Taking into account the difficulties connected with the transfer of the laboratory plants, the IKI administration permitted not to immediately transfer the V.B. Leonas' experimental facilities. They were used at IKI for more than about two years. This department's employees could work in another IKI subdivisions.

At present scientists of the former department for space gas dynamics continue to develop the model of the solar wind interaction with the interstellar medium based on experimental data. This model remains the basic one for the interpretation of the experimental data obtained from the spacecraft studying the Solar system's distant regions up until now. Other astrophysical applications, e.g. studies of the stellar winds interaction are actively being theoretically developed. Work on high velocity solid particle shock with a target is continued. Many years after the VEGA project was completed Yu.G. Malama was invited to work together with German specialists from Munich.

Отдел прикладной астрофизики и миллиметровой, субмиллиметровой и инфракрасной техники

Department for Applied Millimeter and Submillimeter Space Astronomy and Infrared Technology



В 1967 г. в ИКИ переходит из Проблемной радиофизической лаборатории (ПРФЛ) МГПИ часть ее сотрудников во главе с В.С.Эткиным. В ИКИ он формирует отдел радиофизических приборов, в составе которого организуется лаборатория радиометрических систем во главе с И.А.Струковым, до этого возглавлявшим сектор малошумящих приемных СВЧ устройств в ПРФЛ. С 1972 г. лаборатория входит в состав отдела астрофизики, а в 1985 г. на ее базе создается самостоятельный отдел космической миллиметровой и субмиллиметровой астрономии и инфракрасной техники. Заведующим отделом назначается И.А.Струков. Большую помощь отделу в прикладных исследованиях оказал заместитель директора ИКИ Г.М.Тамкович, курировавший это направление работ в ИКИ.

История становления лаборатории, а затем и отдела, неразрывно связана с историей развития отечественной твердотельной электроники. Еще в период пребывания в составе ПРФЛ сотрудниками отдела были разработаны основы теоретических и экспериментальных исследований многочастотных параметрических систем. Созданные ими в то время параметрические усилители обладали рекордными параметрами и нашли широкое применение в радиолокационных системах и радиоастрономической аппаратуре.

Вскоре после перехода в ИКИ в лаборатории И.А.Струкова разрабатывается малошумящий приемник на волну 18 см с балансным параметрическим усилителем на входе, предназначенный для интерферометра Земля-Луна. (И.А.Струков, Б.З.Каневский, Ю.А.Немлихер, В.Э.Бекер). И.А.Струков совместно с М.Пащенко и Е.Лехтом (ГАИШ) сопрягает этот приемник с многоканальным спектрометром и антенной системой радиоастрономической обсерватории г. Нансе (Франция) для наблюдений радиоастрономических объектов.

В дальнейшем выяснилось, что для интерферометрических исследований предпочтительней длина волны 1,35 см, и наблюдения должны проводиться с борта космического аппарата. Перед лабораторией была поставлена задача создания радиометрических приемников для наземных и бортовых наблюдений в широком частотном диапазоне. Задача усложнялась тем, что для фундаментальных исследований требовалась предельная чувствительность, а охлаждение приемников – до температур жидкого гелия; это приводило к резкому удорожанию научной аппаратуры и уменьшению ресурса ее работы.

In 1967 a team headed by V.S. Etkin transferred from the Problem Radiophysical Laboratory (PRFL) of the Moscow State Pedagogical Institute to IKI. At IKI Etkin founded a department for radiophysical instrumentation, including a laboratory for radiometrical systems headed by I.A. Strukov. Previously Strukov headed a sector of low-noise receiving microwave systems in the laboratory for radiophysical problems. In 1972 the laboratory became a part of the department for astrophysics, and in 1985 an independent department for applied millimeter and submillimeter space astronomy and infrared technology was created on its basis. I.A. Strukov was appointed the head of the department. IKI Deputy Director G.M. Tamkovich who supervised this Institute's activity direction gave considerable help to this department in the applied studies.

The history of the laboratory and department formation is inseparably connected with the history of the Russian solid-state electronics development. While working in the laboratory for radiophysical problems the department employees developed theoretical foundations and fulfilled experimental studies for multi-frequency parametric systems. Then created parametric amplifiers possessed record parameters and were widely used in radar systems and radioastronomic instrumentation.

Soon after a transfer to IKI the Strukov's laboratory developed a low-noise 18 cm receiver with a balanced parametric amplifier at the head end for the Earth-Moon interferometer (I.A. Strukov, B.Z. Kanevsky, Yu.A. Nemlikher and V.E. Becker). I.A. Strukov together with M. Pashchenko and E. Lekht (Sternberg State Astronomical Institute) conjoined this receiver with a multichannel spectrometer and an antenna system of the Nancy radioastronomic observatory (France) for radioastronomic observations.

Then it was found out that the wavelength of 1.35 cm and spaceborne observations were preferable for interferometry. A task to create radiometric receivers for the ground and onboard observations within a wind frequency range was put for the laboratory. The task was more complicated because fundamental studies needed extreme sensitivity and the receivers had to be cooled down to the liquid helium temperature. This resulted in the cost sharp rise and the scientific instrumentation lifetime decrease.

pictures see page 179

Сложной проблемой стало размещение заказов на предприятиях Министерства электронной промышленности по причине уникальности аппаратурного комплекса и больших сроков внедрения новейших разработок. Производственная база самого ИКИ и его ОКБ в г. Фрунзе не отвечала требованиям изготовления систем мм диапазона длин волн. Поэтому было решено основные усилия направить на исследования, которые позволили бы опереться на кооперацию с организациями, обладающими подобной технологией. Одним из таких направлений стали исследования физических процессов в полупроводниковых устройствах с целью оптимизации приемных СВЧ устройств, что не только обеспечивало возможность применения полупроводниковых элементов, находившихся в стадии разработки, но и оказывало положительное влияние на развитие ряда перспективных областей электроники. Эти исследования в значительной степени способствовали появлению в отечественной промышленности GaAs-диодных структур с барьером Шоттки, диодных структур с балочными выводами и т.д. Исследования проводились в НИИ „Сапфир", Москва (В.С.Коломейцев, А.С.Берлин), НИИ „Салют", Н.Новгород (В.Оболенский, Павельев), ОКБ „Эра", Москва (Н.В.Будилович, М.Е.Лисогорский), Томск (Тевелевич).

Другим направлением работ стало создание приемных модулей для космических радиоинтерферометрических комплексов и разработка приемных и приемо-передающих устройств миллиметрового и сантиметрового диапазонов длин волн, а также их внедрение в радиоастрономию, народное хозяйство и прикладные исследования.

Для ускорения освоения мм диапазона Министерство радиоэлектронной промышленности в 1985 г. передает АН СССР 10 ставок для создания Межотраслевой лаборатории мм техники, возглавляемой И.А.Струковым. Коллективом лаборатории разрабатывается лабораторный макет приемника с параметрическим усилителем на входе с температурой шума 200 К для космического радиоинтерферометра КРТ-3 (Б.З.Каневский, Ю.А.Немлихер) и радиометры в см диапазоне длин волн для космического радиоинтерферометра интенсивности, который по мнению Н.С.Кардашева был более перспективным по сравнению с фазовым интерферометром. Велись также разработки радиометров мм диапазона длин волн для радиоастрономических исследований на РАТАН-600 и других наземных радиотелескопах. Однако, основное внимание уделяется развитию элементной базы. Успехи лаборатории в этих направлениях позволили в конечном итоге реализовать эксперимент по исследованию с борта космического аппарата анизотропии реликтового излучения.

Впервые исследования анизотропии реликтового фона с ИСЗ были предложены Н.С.Кардашевым, и вначале разработка бортового радиометра на 14 ГГц велась в его лаборатории А.И.Андриевским. Однако, к моменту поставки аппаратуры оказалось, что из-за технических трудностей система не реализована. Положение было критическим, и принимается решение об установке на борту КА радиометрического комплекса на частоту 37 ГГц, который разрабатывался в лаборатории на базе радиометра вначале для РАТАН-600, а затем – как запасной канал на спутнике. После длительных колебаний Р.З.Сагдеев даст согласие на включение радиометрического комплекса лаборатории в состав научной аппаратуры КА „Прогноз-9".

Первоначально в разработке параметрического усилителя принимали участие Ю.А.Милицкий и Е.А.Шарков, а затем ее продолжил В.В.Корогод. Необходимо было решить несколько

Another difficulty consisted in placing orders to the enterprises of the Ministry for Electronic Industry. This was caused by the instrumentation uniqueness and a long period was required for the introduction of the latest developments. The production facilities of IKI and its Experimental Design Bureau at Frunze did not meet the requirements for the millimeter-band instrumentation manufacture. That is why a decision was made to put the main efforts in the studies, which could afford a cooperation with the organizations possessing similar technologies. Studies of physical processes in the semiconductors in order to optimize the microwave devices became one of these trends. These studies not only made it possible to apply semiconductors being developed but also positively influenced on the development of several promising fields of the electronics. These studies to a considerable degree advanced the production of the GaAs Schottky diodes, diodes with bridge outputs and other elements by the national industry. The studies were conducted at the Sapphir Research institute (Moscow; V.S. Kolomeitsev and A.S. Berlin), the Salyut Research Institute (N. Novgorod; V. Obolensky and Paveliev) and the Era Experimental Design Bureau (Moscow; N.V. Budilovich and M.E. Lisogorsky) Tomsk (Tevelevich).

The other trend of the activity consisted in the creation of receivers for space radiointerferometric systems and the development of the receivers and receivers/retransmitters of the millimeter- and centimeter-bands as well their introduction into the economy and applied studies.

In 1985 in order to speed up the development of the millimeter-band instrumentation the Ministry for Radioelectronic Industry allocated its 10 job positions for the USSR Academy of Sciences in order to form the Interdepartmental laboratory of the millimeter-band technology. This laboratory headed by I.A. Struckov developed mock-up of a receiver with a parametric amplifier at the head end and a noise temperature of 200 K for the space radiointerferometer KRT-3 (B.Z. Kanevsky and Yu.A. Nemlikher). The laboratory also developed centimeter-band radiointerferometers for the space intensity radiointerferometer, which in opinion of N.S. Kardashev, showed more advantages in contrast to the phase interferometers. Millimeter-band radiometers for radioastronomic studies by RATAN-600 and other ground radiotelescopes were also developed. Successes in these fields made it possible to implement an experiment on studying the relict radiation anisotropy from onboard a spacecraft.

N.S. Kardashev was the first to propose the relict background anisotropy studies from a satellite. At first A.I. Andrievsky working at this laboratory was developing a 14 GHz space radiometer. However by the delivery date the instrument had not been created because of the technological difficulties. The situation was critical, and the decision was made to install the 37 GHz radiometeric system previously developed on the basis of the radiometer for the RATAN-600 radiotelescope and then considered as a back-up system for space applications. After long hesitation, R.Z. Sagdeev agreed to include this laboratory's radiometric system into the Prognoz-9 scientific instrumentation.

Yu.A. Militsky and E.A. Sharkov were the first to develop the parametric amplifier. Then V.V. Korogorod continued the work. Several principle tasks had to be solved, including a sharp reduction of the required excitation power, as the first amplifier modification needed about 300 mW at a frequency of 72 GHz. It was impossible to design a solid-state generator of this capaci-

иллюстрации стр. 179

принципиальных задач и, в первую очередь, резко уменьшить требуемую мощность накачки, так как для первоначального варианта усилителя требовалось около 300 мВт мощности на частоте 72 ГГц. Разработать твердотельный генератор с такой мощностью было невозможно. Единственной возможной схемой радиометра в этом диапазоне оказалась супергетеродинная схема. В такой схеме источник гетеродинной мощности и генератор накачки должны быть когерентны. Это условие побудило рассмотреть целесообразность создания нового класса генераторных устройств, характеризующихся тем, что источник мощности имеет два выхода – один на основной частоте колебаний ω_0, а второй – на частоте второй гармоники – $2\omega_0$. Исследование схемы двухчастотного генератора было проведено А.С.Косовым.

Основным результатом проведенных исследований стало создание нового класса приборов мм диапазона длин волн – двухчастотных генераторов Ганна, которые, во-первых, эффективно расширяют частотный диапазон генерации, во-вторых, позволяют исключить из схемы развязывающие элементы и, в третьих, могут быть применены в супергетеродинных радиометрах с вырожденным параметрическим усилителем на входе.

Другой неожиданной трудностью стало то обстоятельство, что разрабатывавшаяся А.И.Андриевским антенная система оказалась совершенно непригодной для проведения исследований анизотропии реликтового фона. Встала задача выбора, проектирования и скорейшего изготовления новой антенной системы. Сложность проектирования обусловливалась необходимостью обеспечения при заданных габаритных размерах предельно высокого углового разрешения, минимальных потерь, минимального бокового излучения и достаточно простой технологии изготовления. И.А.Струкову удалось реализовать такую антенную систему, состоящую из опорного ребристого рупора с угловым разрешением 8° и измерительной рупорно-парабалической антенны с угловым разрешением 5,6° с ребристым коническим облучателем с широким углом раскрыва.

Не менее сложными оказался выбор и реализация высокоапогейной (апогей 0,7 млн км) орбиты. В то время считалось, что радиоизлучение Галактики в 8 мм диапазоне длин волн чрезвычайно мало, и в окрестности галактической плоскости измерения вряд ли могли представлять интерес. Поэтому к орбите было предъявлено требование, чтобы наиболее сильный источник мешающего радиотеплового излучения – Луна – находилась бы, по возможности, именно в окрестности галактической плоскости. Большую помощь в расчете и доказательстве реализуемости такой орбиты оказали П.Е.Эльясберг, Н.А.Эйсмонт и А.Г.Трубников.

Вначале изготовление технологического и штатного образцов радиометрического комплекса предполагалось осуществить в ОКБ ИКИ в г. Фрунзе. Однако из-за отсутствия там специалистов в области СВЧ электроники было принято решение оставить за ОКБ только низкочастотные блоки радиометров, а для изготовления СВЧ блока организовать в опытном производстве ИКИ участок точной механики. (С.В.Лубман, Ю.Г.Брянкин). Конструирование радиометра было проведено В.Э.Бекером. Разработкой НЧ узлов радиометра занимался Д.П.Скулачев. Большой вклад в организацию работ по микроэлектронике в ОКБ ИКИ внесли В.М.Бедросов и О.П.Гольцова.

Особое внимание уделялось исследованию стабильности приемного модуля. В частности, его лабораторные испытания доказали возможность достижения требуемой чувствительности при длительном (около суток) накоплении информации.

ty. The only possible decision consisted in the implementation of a superheterodyne circuit in which a heterodyne power source and the excitation generator had to be coherent. This condition forced to reconsider the expediency of the creation of a new class of generators distinctive in the power source with two outputs (one for the main oscillation frequency ω_0 and the other for the second harmonic frequency 2 ω_0). A.S. Kosov analyzed the bi-frequency generator design.

The main result of the studies consisted in the creation of a new class of millimeter-band instruments, Hann generators. These generators made it possible, on the one hand, to effectively widen the generation frequency band and, on the other hand, to exclude bypass elements. In addition they could be used in superheterodyne radiometers with a degenerated parametric amplifier at the head end.

One more unexpected difficulty was faced during the space pilot experiment preparation. An antenna system being developed by A.I. Andrievsky was unsuitable for the studies of the relict background anisotropy. Therefore, the task of choice, design and manufacture of a new antenna system had to be solved within the shortest possible period. The design was complex as the developers had to preserve the given dimensions and to provide for the ultimately high angular resolution, minimal losses, minimal side lobes and sufficiently simple production technology. I.A. Strukov succeeded in such antenna system development. This antenna system consisted of a main corrugated horn with an angular resolution of 8° and a measuring offset-parabolic antenna with an angular resolution of 5.6°. The latter had a corrugated conical feeder horn with a wide-flare angle opening.

The choice and formation of a high-apogee orbit (the apogee of 0.7 mln km) and spacecraft delivery to this orbit were of no less complexity. It was considered that the Galaxy's radiation in the 8 mm waveband was extremely weak. Consequently measurements in the vicinity of the galactic plane could scarcely be of interest. So a requirement for an orbit was imposed – the strongest source of the spurious radio thermal radiation, the Moon, had to be in the vicinity of the galactic plane. P.E Eliasberg, N.A. Eismont and A.G. Trubnikov contributed a lot into this orbit feasibility calculation and argumentation.

First, it was planned that OKB IKI (Frunze) would manufacture the engineering and flight models of the radiometric system. However there were no specialists in microwave electronics, and it was decided that OKB had to produce the radiometers' low-frequency units only. The IKI experimental production branch for precise mechanics (S.V. Lubman and Yu.G. Bryankin) had to manufacture the microwave module. V.E. Becker designed the radiometer, D.P. Sculachiov developed the radiometer's low-frequency units. V.M. Bedrosov and O.P. Goltsova (OKB) contributed a lot into the works on microelectronics.

While developing the radiometric system, a particular attention was paid to the analysis of the receiving module's stability. In particular tests proved the possibility of achieving the needed sensitivity after a long-term (about a day) data accumulation.

Espesial attention was paid to the studies of the antenna with the side-lobe radiation of less than -70 dB required the creation of a special measuring bench, together with the development of a unique testing technique. The designers had very little time to

pictures see page 179

Можно сказать, что отработка любого узла радиометра требовала значительных усилий. В частности, исследования антенны с уровнем бокового излучения менее -70 дБ привели к необходимости создания специального измерительного стенда, а также разработки оригинальной методики испытаний. Требовалось в очень сжатые сроки разработать, изготовить, настроить и испытать широкополосные преобразователи частоты и малошумящий усилитель промежуточной частоты (Ю.А.Немлихер, А.Ф.Рукавицын), твердотельный калибровочный генератор шума и устройства балансировки радиометра (Д.П.Скулачев), модовые трансформаторы и элементы антенно-фидерного тракта.

Тщательные испытания технологического и штатного образцов на лабораторных стендах позволили провести комплексные испытания на заводе и на полигоне без замечаний и осуществить впервые в мире в период с июля 1983 г. по февраль 1984 г. картографирование небесной сферы с чувствительностью 0,4 мК в элементе разрешения на частоте 37 ГГц с борта ИСЗ. Следует отметить роль Л.В.Песоцкого, А.М.Певзнера и А.Е.Стефановича в успешном завершении подготовки комплекса научной аппаратуры.

Основной задачей эксперимента „Реликт-1" было картографирование небесной сферы в 8 мм диапазоне длин волн с целью исследования анизотропии фонового излучения, определения распределения слабых протяженных источников радиоизлучения и уточнения параметров вектора скорости движения относительно системы координат, связанной с реликтовым излучением. Траектория движения и вращение спутника вокруг оси создали уникальную возможность в исследовании анизотропии реликтового излучения. Направив основной рупор вдоль оси вращения, в течение 7 суток можно было наблюдать одно и то же кольцо на небесной сфере. Полученные результаты были ошеломляющими: очень четко выделилась дипольная составляющая

Совершенно неожиданным и достаточно неприятным оказался крайне малый интерес астрофизиков к экспериментальным данным. Однако, затраты на реализацию „Реликта-1" были столь велики, что возможность их забвения была абсолютно неприемлемой, и И.А.Струков от радиофизики вынужден был перейти в область экспериментальной космологии и астрофизики.

Основной задачей в исследовании анизотропии реликтового излучения в то время считалось обнаружение квадрупольной составляющей. И.А.Струков предложил применить для обнаружения анизотропии модельно-зависимую оценку и дисперсионный анализ, что позволило бы в 5 раз улучшить возможности метода. Новый подход к оценке анизотропии получил самую высокую оценку академиков Я.Б.Зельдовича и Д.Т.Вилкинсона (США). Я.Б.Зельдович привлек к обработке данных „Реликта-1" своих учеников М.В.Сажина и А.А.Клыпина.

Неожиданно высокой оказалась интенсивность радиоизлучения вдоль галактической плоскости. Мера эмиссии, рассчитанная по радиоизлучению в предположении, что его источником являются протяженные области ионизированного водорода, была на порядок больше меры эмиссии, рассчитанной по результатам оптических наблюдений. Расхождение было столь велико, что многие усомнились в полученных результатах. И это несмотря на то, что имелся независимый калибровочный источник – дипольная компонента. Эксперимент COBE в дальнейшем полностью подтвердили обнаруженное расхождение.

Результаты проекта „Реликт-1" неоднократно докладывались на международных симпозиумах и получили очень высокую оценку. Карта радиотеплового излучения небесной сферы, построенная по

develop, manufacture, adjust and test wideband frequency converters and a low-noise intermediate frequency amplifier (Yu.A. Nemlikher and A.F. Rukavitsyn), solid-state reference noise generator and devices for the radiometer balancing (D.P. Skulachiov), mode transformers and the feeder channel elements.

Thorough tests of the engineering and flight models at the lab benches made it possible to perform complex tests at the plant and the launch site without criticism. Then the first in the world mapping of the celestial sphere with a sensitivity of 0.4 mK for a pixel at a frequency of 37 GHz from onboard a satellite was conducted from July 3, 1983 till February, 1984. L.V. Pesotsky, A.M. Pevzner and A.E. Stefanovich played an important role in the preparation of the scientific instrumentation.

The main goal of the Relict-1 experiment consisted in sky mapping at the 8 mm waveband in order to study the background radiation anisotropy, to determine the distribution of the weak extended radiation sources and to define more precisely the parameters of the motion velocity vector relative to the coordinate system bounded with the relict radiation. The satellite motion trajectory and its spinning provided for a unique opportunity of studying the relict radiation anisotropy. The main horn pointed along the spinning axis made it possible to observe the same ring on the celestial sphere within seven days. The results obtained were striking, including a sharp distinction of the anisotropy dipole component caused by the motion relative to the relict background, surprisingly strong galactic radiation in the vicinity of its plane and the isotropic background radiation. E.A. Gavrilova and M.N. Boyarsky actively participated in the data preliminary processing.

Extremely low interest of astrophysicians in the experimental data was absolutely unexpected and fairly unpleasant. However the Relict-1 mission cost was so high that the possibility of this data oblivion was absolutely unacceptable. So I.A. Struckov was forced to change radiophysics for the experimental cosmology and astrophysics.

It was considered that the main task in studying the relict radiation anisotropy consisted in the quadrupole component detection. For this I.A. Struckov proposed to apply the simulation-dependent assessment and the dispersion analysis since that could improve the technique efficiency five times. Academicians Ya.B. Zeldovich and D.T. Wilkinson (U.S.) highly assessed the new approach to the anisotropy assessment. Ya.B. Zeldovich involved his disciples M.V. Sazhin and A.A. Klypin in the Relict-1 mission data processing.

The radiofrequency radiation intensity turned unexpectedly high along the galactic plane. The emission measure was calculated by the radiofrequency radiation under an assumption that the ionized hydrogen extended domains were its source. The value obtained exceeded the emission calculated by the optical measurements by an order. The discrepancy was so large that many scientists had a doubt about the results obtained despite the fact that a dipole component was used as an independent calibration source. Subsequently the COBE experiment affirmed the observed discrepancy.

The Relict-1 results were reported many times at international symposiums and were highly assessed. A map of the celestial sphere's radio thermal radiation compiled on this data served as an emblem of the anniversary international conference „Relict radiation 25 years later" (Italy, 1989).

иллюстрации стр. 179

его данным, послужила эмблемой юбилейной международной конференции „Реликтовое излучение 25 лет спустя", (Италия, 1989 г.).

В 1986 г. на Ученом совете ИКИ принимается решение о продолжении работ по исследованию анизотропии реликтового фона в рамках проекта „Реликт-2". На совете присутствовал профессор лаборатории Лоуренс Беркли Р.А.Мюллер, которого Р.З.Сагдеев попросил оценить научную ценность проекта в США.

Первоначально в проекте „Реликт-2" предполагалось использование ВПУ только на низких частотах 22 и 30 ГГц, а на частотах 60 и 90 ГГц – охлаждаемые преобразователи частоты на диодах с барьером Шоттки. Ожидаемая чувствительность составляла, соответственно, 10,5 и 10 мК · с, угловое разрешение было выбрано равным 7°. В ответ на просьбу Р.З.Сагдеева Р.А.Мюллер ответил, что если действительно будет достигнута вышеупомянутая чувствительность, то проект безусловно стоящий. Однако П.Лубин сомневался в возможности достижения заявленной чувствительности и посоветовал Р.З.Сагдееву очень тщательно проанализировать технологические возможности отечественного производства. Тем не менее, в технологическом образце аппаратуры „Реликт-2" была реализована в 5 раз лучшая чувствительность. После этого окончательно было принято решение по развертыванию работ по проекту „Реликт-2".

Следует заметить, что „Реликт-1" был в значительной степени технологическим экспериментом. Помимо научных задач было важно исследовать стабильность ВПУ и источников накачки в течение длительного времени, проверить возможности радиационного охлаждения аппаратуры, определить температурную стабильность и пр. Результаты проведенных исследований и стали базисом для разработки аппаратурного комплекса „Реликт-2".

Однако, для успешной реализации проекта „Реликт-2" необходимо было существенно улучшить чувствительность приемной аппаратуры и уменьшить радиотепловое излучение Земли и Луны. Оптимальной для проведения таких исследований оказалась предложенная П.Е.Эльясбергом орбита с выводом ИСЗ в точку Лангранжа L2. Большую роль в доказательстве реализуемости такой орбиты сыграли Н.А.Эйсмонт и М.Л.Лидов.

Исследования анизотропии реликтового излучения запланированы также в США и в Европе в рамках проектов МАП и ПЛАНК. Прогнозируемая чувствительность их аппаратурных комплексов была соизмерима с уже реализованной чувствительностью аппаратурного комплекса проекта „Реликт-2", но для достижения такой чувствительности в проектах МАП и ПЛАНК пришлось применить 16-канальные радиометры с НЕМТ усилителями на входе. Угловое разрешение этих аппаратурных комплексов в 3–4 раза выше углового разрешения „Реликт-2". Однако И.А.Струковым был предложен и развит новый метод анализа экспериментальных данных, позволяющий в 10 раз улучшить отношение сигнал/шум по сравнению с традиционными методами. Кроме того, аппаратурный комплекс „Реликт-2" позволяет проводить поляризационные измерения.

Методика обзора в проекте „Реликт-2" коренным образом отличается от методики обзора в проектах МАП и ПЛАНК. Аппаратурные комплексы проектов имеют очень высокую чувствительность, и основным источником ошибок будет не аппаратурный шум, а систематические погрешности. В этой связи проведение исследований по различным методикам представляет чрезвычайный интерес.

В ходе выполнения проекта „Реликт-2" были закончены разработки ВПУ (Р.Э.Боровский, В.В.Корогод), собственная

In 1986 the IKI scientific council approved the decision on the prolongation of the work on studying the relict background anisotropy within the framework of the Relict-2 mission. R.A. Muller, a professor of the Lowrence Berkeley laboratory participated in this meeting. R.Z. Sagdeev asked him to assess the mission scientific value in the U.S.

At first the Relict-2 mission planned the parametric amplifier operation at low frequencies of 22 and 30 GHz only. Cooled frequency converters with the Schottky diodes were assumed for the frequencies of 60 and 90 GHz. The expected sensitivity was 10.5 and 10 mK, respectively. The angular resolution of 7° was chosen. In the R.Z. Sagdeev's request R.A. Muller answered that the mission was absolutely valuable on the condition of this sensitivity achieving. However P. Lubin had doubts about the reality of this sensitivity achievement and advised R.Z. Sagdeev to thoroughly analyze the technological capabilities of the USSR manufacturers. Nevertheless the engineering model of the Relict-2 scientific instruments showed five times better sensitivity. After this the final decision on the Relict-2 mission to go on was accepted.

It should be noted that the Relict-1 was mostly an engineering experiment. In addition to the scientific tasks it was important to study the stability of the parametric amplifier and the excitation sources during a long-term period, to checkout the possibility of the instrumentation radiation cooling, to determine the temperature stability and others. The results of the studies became the basis for the Relict-2 instrumentation development.

However, in order to succeed in the Relict-2 mission it was necessary to significantly improve the receiving instrumentation sensitivity as well as to reduce the radio thermal radiation of the Earth and the Moon. The proposed by P.E. Eliasberg orbit with a spacecraft positioning in the Lagrange point L2 turned out to be optimal for these studies. N.A. Eismont and M.L. Lidov contributed a lot to prove this orbit availability.

The U.S. and European countries were also planning the relict radiation anisotropy studies within the framework of the MAP and PLANCK missions. The estimated sensitivity of these measuring systems was comparable to the sensitivity of the already available Relict-2 instruments. However in order to achieve such level of sensitivity the MAP and PLANCK missions had 16-band radiometers with the HEMT amplifiers at the head end. These instruments had an angular resolution 3–4 times better than the Relict-2 instruments. But I.A. Strukov proposed and developed a new technique for the experimental data analysis, which enabled for the 10-time improvement of the signal-to-noise ratio in contrast to the conventional techniques. In addition the Relict-2 scientific instrumentation made it possible to conduct polarization measurements.

Relict-2 observation technique was distinctive from that of the MAP and PLANCK missions. The instruments of all these missions had a very high sensitivity. Thus the main errors were introduced not by the instrument noise but by the systematic errors. Consequently studies in accordance with different techniques were of particular interest.

Within the framework of the Relict-2 mission the parametric amplifier design was completed (P.E. Borovsky, V.V. Korogorod). Their proper noise temperature at 20 K was lower than the quantum limit and six times lower than the temperature of the best HEMT-amplifiers.

Unfortunately the lack of funding terminated the work on the Relict-2 mission.

pictures see page 179

шумовая температура которых при 20 К была ниже квантового предела и в 6 раз ниже температуры лучших НЕМТ-усилителей.

К сожалению, отсутствие финансирования привело к свертыванию дальнейших работ по проекту „Реликт-2".

В 1997 году итальянские ученые предложили ИКИ принять участие в исследованиях поляризации реликтового излучения с борта американского модуля станции „Альфа" (проект SPORT). Проведение совместных наблюдений в рамках проектов „Реликт-2" и SPORT создавало уникальную возможность для исследования физических процессов, протекающих в ранней Вселенной. Однако, „Реликт-2" снова не получает необходимого финансирования.

Предпринимаются попытки найти внебюжетные источники. В частности, в 1993 г. компания „Африкен-бизнес энд Трейдинг Интернейшнл" (ЮАР) обратилось в ИКИ с предложением создания национальной системы спутниковой связи и спутникового государственного и коммерческого телевидения с дальнейшим охватом услугами связи всего африканского континента. В рамках этой программы предполагалось 10% финансирования направить на развитие фундаментальных исследований анизотропии в рамках проекта „Реликт-2". Важность реализации программы заключалась не только в поддержке фундаментальных исследований. Компания настаивала на том, чтобы техническая идеология научной и коммерческой частей проекта была российской, а также, чтобы все без исключения части системы, включая бортовую, научно-исследовательскую и связную аппаратуру, весь комплекс наземной абонентской приемно-передающей аппаратуры и аппаратуры контроля и управления изготавливался на российских предприятиях по российским технологиям.

Министр науки и технической политики РФ Б.Г.Салтыков поддержал это предложение и поручил организациям „Космион" и „Коминформсвязь" продолжить дальнейшую разработку данного вопроса. К сожалению, изменение политической ситуации в ЮАР не позволило реализовать программу.

В настоящее время предпринимаются новые попытки найти зарубежного инвестора с целью продолжения работ по „Реликту-2". В частности, отделом успешно выполнены работы по контракту на разработку СВЧ устройства, позволяющего преобразовать метеорадиолокатор см диапазона в локатор мм диапазона. Однако, такие меры не смогут обеспечить не только развития, но даже сохранения этого чрезвычайно важного направления фундаментальных исследований.

С образованием в 1985 г. Межотраслевой лаборатории, которая упоминалась выше, значительно расширяются возможности коллектива и в работах по технике мм диапазона, в том числе, по оснащению ее наземных радиотелескопов.

Основные преимущества мм диапазона заключаются в том, что он позволяет создавать системы, обладающие малыми габаритами и весом, широкой полосой пропускания; дает возможность осуществлять скрытую связь, остронаправленный прием и передачу информации; пассивное обнаружение целей и объектов, картографирование поверхности; обеспечивает видимость в дыме, мгле, тумане. Покрытия, маскирующие цели в см диапазоне, становятся обнаружимыми в мм диапазоне. Узкие диаграммы направленности антенн мм диапазона позволяют создавать системы обнаружения низколетящих целей. Наконец, мм диапазон может широко использоваться для диагностики плазмы, регистрации факелов ракет, дистанционного измерения вибраций, в системах автоматизированного торможения, спектроскопии, радиоастрономии и т.д.

иллюстрации стр. 179

In 1997 Italian scientists offered IKI to participate in the relict radiation studies from onboard the U.S. module of the International Space Station (the SPORT mission). Joint observations within the framework of the Relict-2 and SPORT missions provided a unique possibility for studying the physical processes in the young Universe. However funding had not been allotted for the Relict-2 mission again.

Several attempts were undertaken to find out-of-budget funding. In particular in 1993 the African Business and Trading International Ltd. (Republic of South Africa) offered IKI to create a national satellite communications system together with the satellite-based federal and commercial TV-systems with subsequent communications services extension to the whole African continent. This program planned to allocate 10 percent of the funds to the development of the anisotropy fundamental studies within the framework of the Relict-2 mission. This program importance consisted not only in the fundamental research support. The company insisted on the development of technology ideology for the scientific and commercial components of the project in Russia. In addition, they wanted the Russian side to fabricate the onboard, scientific and communications equipment together with the ground subscriber's receiving/transmitting and check-out/control equipment at the Russian enterprises and following the Russian technologies.

B.G. Saltykov, Minister for science and technological policy, suppoted this proposal and commissioned the Cosmion and Cominformsviaz companies to further develop the proposal. Unfortunately a political situation change at the Republic of South Africa prevented from this program implementation.

At present new attempts to find a foreign investor for the Relict-2 mission are undertaken. In particular the department has succeeded in the development of a microwave device which modifies the centimeter band weather radar into a millimeter band radar. The work was fulfilled on a contractual basis. However these measures could provide for neither development of, nor retaining this very important fundamental research trend.

The above-mentioned Interdepartmental laboratory formation in 1985 widened the team capabilities for their work in the millimeter-band instrumentation, including its usage for ground radio telescopes.

The main advantages of the millimeter band consist in the small dimension, low mass and wide transmission band of the instruments. This makes it possible to implement secure communications, data reception and transmission by a beam antenna, target passive detection, surface mapping and provides for the observations in smoke, mist and fog. Coatings camouflaging targets in the centimeter band are transparent for the millimeter band. Antenna's narrow-beam patterns make it possible to create systems detecting low-flying targets. Finally this band can be widely used for the plasma diagnostics, rocket flare registration, vibration remote measurements, in the automated braking systems, spectroscopy, radio astronomy, etc.

Despite the obvious advantages in contrast to the traditionally used bands this band wide introduction was constrained by large costs. Therefore cost decrease for the manufacture of the elements of the millimeter-band receiving and transmitting systems was one of the key problems. Mass production of these instruments considerably depended on this problem solution.

Несмотря на явные преимущества мм диапазона в сравнении с традиционно используемыми диапазонами длин волн, его освоение сдерживалось высокой стоимостью изделий. Поэтому снижение стоимости изготовления элементов приемных и передающих систем мм диапазона было одним из ключевых вопросов, от решения которых в значительной степени зависело промышленное освоение этого диапазона.

Другим, не менее важным, вопросом являлся поиск путей повышения чувствительности приемных систем мм диапазона, так как от чувствительности входных устройств, также как и от мощности твердотельных генераторов, зависит максимальное расстояние, на котором могут быть обнаружены цели.

Вопросы воспроизводимости параметров, цена изделия, кпд активных элементов – наиболее принципиальные при создании активных и пассивных антенных решеток.

Было выделено два основных направления исследований. Первое – это оптимизация приемных систем мм диапазона с целью снижения стоимости изготовления, повышения надежности и уменьшения температуры шума. Второе – исследование мм генераторов с целью расширения частотного диапазона их работы и повышения кпд.

Планировавшийся к проведению цикл работ должен был позволить создать охлаждаемый многочастотный радиометрический комплекс для исследования фонового излучения с борта ИСЗ, значительно превосходящий по своим параметрам зарубежный аналог (проект COBE).

В 1987 г. к отделу присоединилась лаборатория субмиллиметровой астрономии Г.Б.Шоломицкого, созданная в 1969 г. в составе отдела астрофизики после того, как в 60-е годы была открыта переменность квазаров и активных ядер галактики, и обнаружены мощные избытки длинноволнового инфракрасного (ИК) излучения в областях звездообразования и в других галактиках, называемых „взрывающимися“ и звездообразующими. Г.Б.Шоломицкий был известен открытием на антеннах Центра дальней космической связи переменности радиоизлучения квазаров и изобретением радиоинтерферометров со сверхдлинной базой (совместно с Л.И.Матвеенко и Н.С.Кардашевым).

Одним из направлений работ лаборатории стала разработка новых компонентов субмиллиметровой техники. Особо следует отметить создание полосовых и отрезающих охлаждаемых фильтров на основе мелкоструктурных металлосетчатых полотен (В.Согласнова и И.Маслов) и многослойных интерференционных сборок, которые вместе с составным болометром, охлаждаемым сверхтекучим гелием до 1,7 К (разработка ВНЦ „ГОИ им.С.И.Вавилова“), стали основой 4-х канального субмиллиметрового фотометра „Памир“.

Другим крупным направлением работы лаборатории стала разработка субмиллиметрового телескопа для КА „Спектр-ИК“ для астрофизических и космологических исследований в диапазоне 2–0,2 мм. После перевода лаборатории в отдел прикладной миллиметровой и субмиллиметровой астрономии проект был переориентирован на инфракрасный обзор неба (ИКОН) на спутниках типа „Прогноз“ или НИКА-И разработки ЦСКБ с использованием 15 см телескопа с большим полем зрения и ПЗС-камер ИК (длина волны 2 мкм) и видимого диапазона. Перспективой для этого телескопа может стать его установка на метеоспутнике „Электро“ с радиационным холодильником с целью исследования астероидов, сближающихся с Землей, геостационарных космических обломков и переменности ядер галактик и квазаров.

One more important problem consisted in a search for the ways to increase the millimeter-band receiving system sensitivity. This head end system parameter together with the power of the solid-state generators specified the maximum range for target detection.

Reproduction of the parameters, an item price, efficiency of the active elements were the most significant factors to be considered for the creation of active and passive antenna arrays.

Two main research trends were defined. The first trend covered the optimization of the millimeter-band receiving systems in order to reduce the manufacture cost, increase the reliability and decrease the noise temperature. The second trend considered studies of the millimeter-band generators in order to widen their operation frequency band and to increase efficiency.

The operations planned had to enable the creation of a cooled multi-frequency radiometric system for studying the background radiation from onboard a satellite. This radiometer had to considerably surpass the foreign analog of the COBE mission in its performance.

In 1987 a laboratory for submillimeter astronomy headed by G.B. Sholomitsky joined the department. This laboratory was created in 1969 as a part of the department for astrophysics. The reason for this lab formation was the discovery of instability of quasar fluctuations and galaxies' active nuclei. In the 1960s a strong overflow was discovered in the longwave infrared radiation within the star origination regions and in other galaxies called „bursting out“ and star forming. G.B. Sholomitsky is known by his discovery of the quasars' radio-frequency variability using deep space communications center antennas. He also invented radioferometers with a very long base (in cooperation with L.I. Matveenko and N.S. Kardashev).

Development of new elements for submillimeter-band technologies became one of the laboratory's activities. Creation of bandpass and selective narrow-band cooled filters needed particular attention. These filters were based on fine-structured metalcellular curtains and multilayer interferential assemblies (V. Soglasnova and I. Maslov). These elements together wit the composed bolometer cooled with the superfluid helium down to 1.7 K (a design by the Russian Research Center the Vavilov State Optical Institute) became the base for the four-band submillimeter-band photometer Pamir.

Development of a submillimeter-band telescope for the Spektr-IR spacecraft became another large trend of the laboratory's activity. This telescope was designed for astrophysical and cosmological studies within a band of 2.0–0.2 mm. After the laboratory transfer to the department for applied millimeter and submillimeter astronomy the goal was changed for the celestial sphere observation in the infrared band (ICON project) from the satellites of the Prognoz series or NIKA-I developed at the Central Specialized Design Bureau. For this a 15 cm telescope with a wide field of view and CCD cameras operating in the infrared (2 μm) and visible bands were used. This telescope could be installed onboard the Electro meteorological satellite. It will operate with the radiation cooler for studying asteroids approaching the Earth, geostationary space debris and variability of the galaxies' nuclei and quasars.

The laboratory, together with a team headed by Ya.E. Einasto (Tartu, Estonia), created a system for the image registration based on the infrared array (256x256 pixels) fabri-

pictures see page 179

С появлением многоэлементных ПЗС-фотоприемников в лаборатории была создана совместно с группой Я.Э.Эйнасто (г. Тарту, Эстония) система регистрации изображений с ИК-матрицей НПО „Электрон" форматом 256x256 и получены 2 мкм изображения Юпитера и других объектов на телескопах Эстонии. В настоящее время с ПЗС-поляриметром, разработанным в лаборатории, ведутся наблюдения больших оптических галактик в видимом диапазоне. Найдена регулярная тангенциальная поляризация спиральных галактик (приблизительно 0,5–1) и, по-видимому, поляризация гигантской эллиптической галактики М87 (радиогалактика Дева-А).

Аналогичная поляриметрическая методика может быть использована для обнаружения протяженных гало Томсоновского рассеяния вокруг радиогалактик и квазаров на больших красных смещениях.

В конце 80-х годов в отделе совместно с ЦАО и НИРФИ были начаты работы по дистанционному зондированию атмосферы. Задача дистанционного контроля состояния атмосферы разделяется на две: контроль химического состава и контроль физических параметров (температурный профиль, скорость и направление ветра) приграничного слоя атмосферы. Эти исследования позволяли не только провести дистанционное зондирование атмосферы Земли, но и развить СВЧ методы дистанционного зондирования атмосферы планет Солнечной системы. К сожалению, финансирование было получено только для эскизного проектирования СВЧ лимбового спектрометра „Милиза", который предназначался для установки на спутнике типа „Метеор".

В процессе этих исследований в отделе были разработаны спектрометры для определения концентрации озона, SO_2, H_2O, CO; радиометр для исследования температурного профиля атмосферы и доплеровский радиолокатор, позволяющий исследовать распределение и движение капель воды в тумане. Значительный вклад в разработку спектрометров и радиометров для исследования малых газовых составляющих внесли Д.П.Скулачев, Н.В.Будилович, А.С.Косов, В.Г.Нечаев, В.М.Анискович и С.М.Малеев.

К сожалению, опять же из-за сокращения финансирования наиболее законченными оказались только исследования распределения температуры в приповерхностном слое.

Для проверки метода на разработанных в отделе образцах термографов сотрудниками ЦАО и НИРФИ было проведено несколько экспериментов. Они проводились в Московской и Курской областях, в Канаде (Торонто), в Англии (Кардингтон), в Заполярье около озера Имандра (67° с.ш., 58° в.д.), в Якутии (67° с.ш., 125° в.д.), на озере Хайс (81° с.ш, 58° в.д.), в Японии. Измерения яркостной температуры на 11 фиксированных углах от зенита до горизонта повторялись каждые 2 минуты в диапазоне окружающих температур от 218 К до 308 К.

Одновременно для некоторых моментов времени выполнялись локальные измерения с помощью радиозонда, подъемного баллона, метеовышки с датчиками температуры. Сравнение результатов показало возможность получения измерений в 0,2–0,3 К для плоского профиля и 0,4–0,5 К – для профилей с инверсией температуры при высотах от поверхности Земли до 500 м. Различие показаний для двух одновременно работающих радиометров составляло менее 0,1 К.

За рубежом имеются только лабораторные образцы подобных инструментов, и они обладают существенно худшими показателями по техническим характеристикам, надежности и сервисным требованиям.

cated by the Electron Research Production Association. This system operated at the Estonian telescopes and provided 2-μm images of Jupiter and other space bodies. At present a CCD-polarimeter designed at the laboratory is operating in the visible band. It is used for the observation of large galaxies in the optical band. The data has made it possible to derive a regular tangential polarization of the spiral galaxies (approximately 0.5–1.0) and obviously polarization of the M87 gigantic elliptical galaxy (this is the Virgo-A radio galaxy).

It is possible to apply a similar polarimetric technique for the detection of spreadout halos of the Thomson scattering around radio galaxies and quasars for the large red shifts.

At the end of the 1980s the department, together with the Central Astronomical Observatory (TsAO) and the Research Radio Physical Institute (NIRFI), began to remotely sense the Earth's atmosphere. The atmosphere state remote monitoring was split in two tasks. The first covered the chemical composition monitoring. The second task considered monitoring of the physical parameters (temperature profile, wind velocity and direction) of the boundary atmosphere layer. These studies made it possible to not only remotely sense the Earth's atmosphere but develop microwave techniques for remote sensing the atmospheres of the other Solar system's planets. Unfortunately the funding allotted was sufficient for the microwave horizon spectrometer Miliza sketch design only. This spectrometer had to operate onboard the Meteor-type satellite.

These studies resulted in the development of a spectrometer series for the determination of the concentration of the ozone, SO_2, H_2O, CO; of a radiometer for studying the atmosphere's temperature profile and of a Doppler radar making it possible to study the distribution and motion of the water drops in the fog. An important contribution to the development of the spectrometers and the radiometers for studying small gas components was made by D.P. Skulachiov, N.V. Budilovich, A.S. Kosov, V.G. Nechaev, V.M. Aniskovich and S.M. Maleev.

Unfortunately only the studies of the temperature distribution in the near-surface layer were almost completed because of the lack of funding.

In order to process the technique the TsAO and NIRFI fulfilled several experiments for the developed at the department thermograph models. The experiments were conducted in the Moscow and Kursk regions, in Canada (Toronto), in the Great Britain (Cardington), in the polar region near to the Imandra Lake (67°N, 58°E), in Yakutia (67°N, 125°E), on the Hais Lake (81°N, 58°E) and in Japan. The brightness temperature was measured at 11 fixed angles from the zenith to the horizon every 2 minutes with the temperarture range of 218 K to 308 K.

Simultaneously at particular moments local measurements were obtained using a radio probe, a balloon and from a meteorological tower with temperature encoders. The data comparison showed a possibility of obtaining measurements within a range of 0.2–0.3 K for a two-dimensional profile and 0.4–0.5 K for the profiles with the temperature inversion at the altitudes of up to 500 m from the Earth's surface. The discrepancy of the measurements for the two simultaneously operating radiometers was less than 0.1 K.

There are only laboratory models of the similar instruments abroad. In addition they show considerably worse technical characteristics, reliability and maintenance requirements.

иллюстрации стр. 179

Отдел оптико-физических измерений

Department for Optico-Physical Measurements



В 1967 г. в Институт космических исследований из Московского института геодезии, аэрофотосъемки и картографии перешел возглавляемый профессором Б.Н.Родионовым коллектив ученых и инженеров – сотрудников кафедры аэросъемки. К моменту перехода этот коллектив уже более 10 лет проводил исследования в области космических фотографических и телевизионных съемок и обработки видеоинформации и стал в ИКИ костяком нового самостоятельного отдела, который после ряда его реорганизаций, тематического перенацеливания, изменений названия, в итоге сохранил свой оптико-физический профиль и сегодня известен как отдел оптико-физических измерений.

До 1971 года отдел возглавлял д.т.н., профессор Б.Н.Родионов, в дальнейшем в течение 17 лет – заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор Я.Л.Зиман и с 1988 года по настоящее время – д.т.н. профессор Г.А.Аванесов.

В „послужном списке“ коллектива многие уникальные методические и приборные разработки и проведенные на их базе эксперименты, главным образом, по дистанционному зондированию Земли, видеоспектрометрическим исследованиям других тел Солнечной системы, фотографическим и телевизионным съемкам звездного неба, выполненным с целью прецизионного определения ориентации КА и координатной привязки выполняемых наблюдений. Многие из полученных результатов внедрены в практику решения в космосе научных, хозяйственных и специальных задач. К разработкам и экспериментам широко привлекались коллективы из других подразделений Института и его опытно-производственной базы (ОКБ ИКИ г. Фрунзе (ныне Бишкек), СКБ КП г. Таруса), а также из сторонних отечественных и зарубежных научных и промышленных организаций.

Первые экспериментальные съемки земной поверхности, имевшие целью, с одной стороны, отработку фотографических методов и средств дистанционного зондирования, а с другой – выявление круга задач, которые можно решать по материалам космической съемки, проведены сотрудниками отдела в 1971 г. с борта орбитальной станции „Салют“. На станции были установлены два модернизированных аэрофотоаппарата АФА-БА, осуществлявших синхронную съемку земной поверхности и звездного неба. Анализ полученных снимков показал, что для решения подавляющего большинства научных и прикладных задач по

In 1967 a team of scientists and engineers headed by Professor Boris N. Rodionov transferred from the Moscow Institute for Geodesy, Aerial Photosurveying and Cartography, (MIIGAiK) to the newly established Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI RAN). At that time team had already conducted research in space photography, TV imaging and image data processing for more than ten years. The work was aimed at studying the photogrammetric and photometric characteristics of the imaged objects. This team became a backbone of a new independent department, which retained its optico-physical specialization despite several reorganizations, thematic re-focusing and renaming. Today it is known as the department for optico-physical measurements.

Professor Boris N. Rodionov headed the department until 1971. Then (over 17 years) Ian L. Ziman, a State prize winner, and an Honored science worker headed the department. Since 1988 Professor Guenrikh A. Avanesov, a Lenin prize laureate has been heading the department.

The team's service record includes many unique methodological and engineering developments and the experiments conducted on this base. The main fields of the research are Earth remote sensing, spectrometric imaging of the other bodies of the Solar system and photographic and TV imaging of the starry sky. The aim of this is to precisely determine spacecraft attitude and reference the observation data, measurements, and images provided by it. Some of the results of the developments in engineering and methodology have been introduced in solving research and housekeeping tasks as well as economy tasks.

The engineering activity and space experiments always involved teams from the Institute's other departments and its testing and production facilities (Special Design Bureau, Frunze (now Bishkeck) and Special Design Bureau for Space Device Engineering, Tarusa) and from other Russian and foreign research and production organizations.

The first pilot survey of the Earth's surface was performed from the orbital station Salyut in 1971. The orbital station was equipped with two modernized airborne cameras AFA-BA which synchronously imaged the Earth's surface and the starry sky. The analysis of the obtained images has made it possible to

pictures see page 180

исследованию Земли из космоса требуется пространственное разрешение снимков не хуже 30 метров.

Совместный фотограмметрический анализ снимков земной поверхности и звездного неба показал возможность и эффективность использования последних для решения таких задач, как определение ориентации КА в инерциальной и орбитальной системах координат, местоположения КА на орбите, определение элементов внешнего ориентирования снимков земной поверхности и географических координат снятых земных объектов. Снимки звездного неба использовались также для исследования динамических характеристик движения орбитальной станции относительно ее центра масс при ручном и автоматическом пилотировании. Материалы съемки звезд положили начало многолетним работам отдела по созданию телевизионных систем прецизионного определения ориентации космических аппаратов.

Основными исполнителями эксперимента были: Я.Л.Зиман, Ю.М.Чесноков, Б.С.Дунаев, В.С.Савостьянов, А.С.Дорофеев.

С целью отработки методов и средств и натурного моделирования исследований Земли из космоса в начале 70-х годов создается лабораторный комплекс дистанционного зондирования на базе самолета ИЛ-14, а затем АН-30. С этих летающих лабораторий в разных природных регионах проведены экспериментальные многоспектральные аэросъемки. На борту самолетов был установлен фотографический комплекс, обеспечивающий проведение съемок в 39 спектральных зонах, оптико-электронная съемочная и спектрометрическая аппаратура, охватывающая практически весь пропускаемый земной атмосферой диапазон спектра электромагнитных волн. Информация, формируемая оптико-электронной аппаратурой, записывалась на цифровой магнитофон, что позволило начать эксперименты по ее обработке и интерпретации с помощью вычислительной техники.

Самолеты-лаборатории стали эффективной школой для специалистов, создавших впоследствии целый ряд приборов для изучения из космоса поверхности Земли и других планет. Полеты продолжались 8 лет; полученные материалы съемок и спектрометрирования различных объектов земной поверхности широко использовались в решении задач наук о Земле и прикладной хозяйственной деятельности.

В работе по созданию самолетной лаборатории, осуществленной под руководством Я.Л.Зимана, принимало участие большинство сотрудников отдела, в том числе Г.А.Аванесов, Ю.М.Чесноков, Б.С.Дунаев, В.С.Цитович, И.В.Баринов, В.Д.Глазков, В.С.Савостьянов. В методическом и теоретическом плане эксперименты обеспечивались В.В.Егоровым и Б.С.Жуковым. Наземную обработку получаемой информации осуществляли В.А.Красиков, В.А.Шамис.

В конце 1973 г. выполняется первое в стране многозональное фотографирование поверхности Земли из космоса с борта корабля „Союз-12" (повторенное затем с „Союза-13") с помощью девятиобъективного фотоаппарата. Рабочие спектральные зоны были выбраны по результатам исследований, проведенных на самолетной лаборатории. Анализ полученных снимков показал целесообразность использования космических съемок, выполняемых одновременно в нескольких зонах спектра, для решения многих конкретных задач по исследованию Земли.

Накопленный опыт позволил приступить в кооперации со специалистами предприятия „Карл Цейс Йена" ГДР к созданию и внедрению в практику исследования Земли многозонального космического фотоаппарата МКФ-6. В процессе его создания

define many scientific and applied tasks for studying the Earth which require space technology for their solution. It also became clear that 30-m resolution spaceborne data was needed for the solution of the majority of these tasks.

Joint photogrammetric analysis of the surface and the starry sky images showed the possibility and efficiency of using the starry sky imagery for the determination of both the external orientation elements of the surface images and the geographical coordinates of the imaged terrestrial objects. The starry sky images were used for studies of dynamic characteristics of the orbital station motion relative to its center of mass during both manual and automated control. The obtained materials became the base for department activity in creating TV systems for spacecraft precision attitude determination for many years.

Ya.L. Ziman, Yu.M. Chesnokov, B.S. Dunaev, V.S. Savostianov and A.S. Dorofeev were the main executors of the experiment.

A remote sensing airborne laboratory (based on the IL-14 and the AN-30 aircraft) was created in the early 1970s in order to process the techniques, facilities and in situ simulation of Earth imaging from space. These aircraft labs provided for experimental multispectral aerial survey in various geographical zones.

A photographic system imaging in 39 spectral bands, together with the optico-electronic imaging and spectrometric instruments were installed onboard an aircraft. These instruments covered almost the whole electromagnetic wave range transparent for the terrestrial atmosphere. Data registered by the optico-electronic instruments was recorded onboard by a digital tape recorder. This made it possible to begin experiments on this data computer processing and interpretation.

The flying lab became an efficient school for scientists who later developed a variety of instruments for studying the surface of the Earth and of other planets from space. The flights were conducted for eight years. The imaging and spectrometry materials for various terrestrial features made it possible for many research teams to begin routine studies on applying spaceborne data for Earth sciences and the economy.

The aircraft lab was created under the supervision of Ya.L. Ziman. Many department's specialists took part in this work, including G.A. Avanesov, Yu.M. Chesnokov, B.S. Dunaev, V.S. Tsitovich, I.V. Barinov, V.D. Glazkov, V.S. Savostianov. V.V. Egorov and B.S. Zhukov provided for methodological and theoretical support of the experiments. V.A. Krasikov and V.A. Shamis processed the data.

At the end of 1973 for the first time in the former USSR a nine lens photographic camera imaged the Earth from onboard the Soyuz-12 spaceship. Then the multiband imaging was repeated from the Soyuz-13 spaceship. Nine fairly narrow working spectral bands were chosen based on the studies conducted by the flying lab. Analysis of the obtained images showed that space imagery obtained simultaneously in several spectral bands was efficient in solving many tasks for studying the Earth.

The experience gained enabled the creation and putting into operation of a multiband space photographic camera MKF-6 in cooperation with the specialists from the VEB Carl Zeiss Jena in the former German Democratic Republic. A technique for the optimization of the parameters of photographic systems intended for Earth research from space was developed. Due to this opti-

иллюстрации стр. 180

разработан метод оптимизации параметров космических фотосистем, предназначенных для исследования Земли, благодаря чему аппаратура МКФ-6 представляла собой исключительно высокоинформативную систему. До сих пор разрешающая способность получаемых с ее помощью космических фотоснимков остается непревзойденной.

Одновременно с МКФ-6 создается многоканальный синтезирующий проектор МСП-4, предназначенный для преобразования в разные цвета различий в распределении по зонам спектра яркости земных объектов, зафиксированной оптической плотностью на черно-белых зональных снимках. На полученных изображениях земные объекты отображались в условных цветах.

Летно-конструкторские испытания МКФ-6 были проведены на космическом корабле „Союз-22" летчиками-космонавтами Владимиром Аксеновым и Валерием Быковским. С тех пор этот аппарат, как штатная аппаратура, используется на всех орбитальных станциях, включая станцию „Мир". Был выпущен и самолетный вариант фотосистемы. В процессе многолетней эксплуатации МКФ-6 в космосе и на самолетах по заказам различных научных и хозяйственных организаций были получены тысячи многозональных снимков различных районов Земли. При этом показана эффективность их использования для решения многих научных и прикладных задач, выявления районов, перспективных для поиска полезных ископаемых.

За разработку и внедрение в народное хозяйство методики и аппаратуры многозонального фотографирования для исследования природных ресурсов Земли из космоса в 1984 г. сотрудникам отдела Я.Л.Зиману и Ю.М.Чеснокову присуждена Государственная премия СССР.

Реализация этого комплексного проекта осуществлялась усилиями большого коллектива ученых, инженеров и техников: Г.А.Аванесов, Б.С.Дунаев, В.С.Савостьянов, В.А.Котцов, А.С.Дорофеев, М.В.Жаворонков, О.П.Виноградова, Э.А.Горбушина, В.А.Красиков, В.А.Шамис, В.Г.Собчук, Н.И.Снеткова. Многие из участников работы удостоены правительственных наград.

В 1980 году создается первая отечественная многоспектральная сканирующая ТВ-система „Фрагмент", и начаты ее летно-конструкторские испытания на КА „Метеор-Природа". Система была разработана коллективом специалистов отдела и ОКБ Института (г. Фрунзе) и позволила впервые в стране обеспечить научные и народнохозяйственные организации оперативной цифровой космической видеоинформацией высокого качества. Съемочный комплекс, помимо собственно бортовой аппаратуры съемки земной поверхности, включал аппаратуру передачи по радиолинии большого потока получаемой видеоинформации на Землю, аппаратуру приема и регистрации этой информации, а также аппаратуру ее экспресс-обработки.

По сравнению с МКФ-6 „Фрагмент" позволял выполнять съемку с высокой спектральной чувствительностью и в более далеких инфракрасных зонах электромагнитных спектра – до 2,4 мкм. Благодаря специально принятым мерам (использование стабилизированного источника эталонного излучения), в системе „Фрагмент" была достигнута радиометрическая точность равная 5%, что обеспечивало возможность сопоставления, а также совместной обработки получаемой с ее помощью информации с данными других отечественных и зарубежных сканирующих систем, применяемых для дистанционного зондирования Земли.

Система „Фрагмент" успешно функционировала в космосе в течение четырех лет до прекращения активного существования.

mization technique the designed MKF-6 camera provided for images with an extremely large information content and its resolution capacity has not been surpassed until now.

At the same time as the MKF-6 camera was created a multiband synthesizing projector MSP-4 was designed. It was destined for the transfer of the differences in the features' brightness distribution in spectral bands into different colors. This distribution is represented by the optical density variations in the black-and white zonal images. The synthesized images showed terrestrial features in conventional colors.

The MKF-6 camera flight tests were performed on the Soyuz-22 spaceship by cosmonauts Vladimir Aksionov and Valery Bykovsky. Since then this camera has been nominal equipment for all the orbital stations, including the orbital station Mir. There is an airborne modification of the MKF-6 camera. During the MKF-6 operation in space and onboard an aircraft for many years, thousands of multispectral images were registered for various parts of our planet for different users. In addition the efficiency of using these multispectral images for solving many scientific and applied tasks was shown.

In 1984 Ya.L. Ziman and Yu.M. Chesnokov were awarded the State Prize of the USSR for the development and introduction into the economy of the technique and instruments for multispectral photographic imaging destined for studying Earth natural resources from space.

This integrated project was implemented by many scientists, engineers and technicians, including G.A. Avanesov, B.S. Dunaev, V.S. Savostianov, V.A. Kotsov, A.S. Dorofeev, M.V. Zhavoronkov, O.P. Vinogradova, E.A. Gorbushina, V.A. Krasikov, V.A. Shamis, V.G. Sobchuk and N.I. Snetkova. Many specialists were honored with governmental awards.

In 1980 the first Soviet multispectral scanning TV-system, Fragment, was created. The flight tests began on the Meteor-Priroda spacecraft. The Fragment system was developed by the specialists of the department and the Special Design Bureau, Frunze (now Bishkeck). This system made it possible to timely provide scientific and economic institutions with digital space-borne image data of high quality for the first time in our country. In addition to the onboard imaging instruments the imaging instrumentation included devices for large image data stream transmission to Earth, the devices for this data reception and registration on the ground as well as the facilities for this information express processing.

In contrast to the MKF-6 camera the Fragment system provided imaging with high spectral sensitivity in far infrared spectral bands (up to 2.4 μm). The Fragment system had the radiometric accuracy of 5 percent. This value was achieved due to the usage of an onboard stabilized reference radiation source. This made it possible to compare and jointly process the data registered by Fragment and the data obtained by other Russian and foreign imaging spectrometric systems for Earth observations.

The Fragment system efficiently operated in space for four years until the Meteor-Priroda satellite ceased its operation. Numerous multispectral images obtained by the Fragment system for various regions and at different seasons were efficiently applied in order to test the techniques for studying the Earth from space and solving particular scientific and applied tasks. G.A. Avanesov was the Fragment system PI.

pictures see page 180

ния спутника „Метеор-Природа". Большое количество полученных с ее помощью многозональных изображений разных районов и в разные сезоны успешно использовалось отраслевыми специалистами для отработки методики исследования Земли из космоса и решения конкретных научных и прикладных задач этих исследований.

Возглавил работы по созданию системы „Фрагмент" Г.А.Аванесов.

Поиск дальнейших путей повышения информативности космических снимков и автоматизации их интерпретационной обработки привел к разработке оригинального метода структурозональной космической съемки. Метод запатентован во Франции, ФРГ и Японии.

Если при многозональном методе съемка осуществляется одновременно в нескольких зонах спектра электромагнитных волн, то при структурозональном – в нескольких зонах спектра пространственных частот, отражающего пространственное распределение яркости на небольших участках местности, заполняющих все поле обзора. По сравнению со спектрами электромагнитных волн, пространственные спектры двумерны, более разнообразны и обладают более тонкой структурой, поэтому в общем случае более информативны. Структурозональные снимки несут в себе сведения о размерах, форме, ориентации, взаимном расположении земных объектов. Совместное использование материалов многозональной и структурозональной съемок существенно повышает эффективность космических исследований Земли.

Были развернуты исследования по разработке аппаратуры космической структурозональной съемки и последующего анализа получаемой структурозональной видеоинформации. В качестве пространственных спектров предполагалось использовать двумерные спектры Фурье, получаемые на борту КА с помощью когерентной оптической системы в процессе сканирования лазерным лучом зарегистрированных на фототермопластическом материале изображений земной поверхности. Была разработана и изготовлена аппаратура, моделирующая космическую структурозональную съемку. В разработке и экспериментальной проверке метода структурозональной съемки принимали участие Я.Л.Зиман, Ю.М.Чесноков, В.А.Котцов.

Были также разработаны теория, технологическое и программное обеспечение повышения разрешающей способности телевизионных съемочных систем на основе микросканирования. Несмотря на положительные результаты аппаратурного и математического моделирования решения задачи микросканирования, довести эту работу до летного эксперимента не удалось по традиционной причине – отсутствие необходимого финансирования.

В 1984 году по решению дирекции Института работы в области дистанционного зондирования Земли в отделе были приостановлены, и его деятельность переориентирована на исследования кометы Галлея, Марса и марсианского спутника Фобоса. Однако в середине девяностых годов отдел в инициативном порядке вернулся к исследованиям Земли из космоса, развернув работы по проекту, предложенному Г.А.Аванесовым и получившему название „Локальный космический сервис" или, сокращенно, ЛОКС. Цель проекта – повышение эффективности исследований Земли из космоса путем разрешения противоречия между централизованным приемом данных дистанционного зондирования в ограниченном количестве специализированных крупных центров и децентрализацией обработки и использования этих

A search for further ways of space imagery informativity increase and its automated interpretation resulted in the development of an original technique for structural-and-zonal imaging from space. This technique was patented in France, Germany, and Japan.

The multispectral and structural-and-zonal techniques differ in the following. Multispectral imaging is performed simultaneously in several spectral bands. The other type of imaging includes survey in several zones of the spatial frequencies which represent the spatial distribution of the brightness within the small surface sites filling the whole field of view. Spatial spectra in contrast to electromagnetic spectra are two-dimensional and possess higher variety and finer structure. Consequently these spectra carry more information. Structural-and-zonal images carry information on dimensions, shape, orientation, and mutual location of terrestrial features. Joint use of the materials of the multispectral and structural-and-zonal imaging considerably improves the efficiency of Earth research from space.

In order to introduce the technique, studies in both the development of the instruments for space structural-and-zonal imaging and the subsequent analysis of the registered structural-and-zonal information began. It was proposed to use two-dimensional Fourier spectra as spatial spectra. These spectra were registered onboard a spacecraft by a coherent optical system which scanned the recorded on the photothermoplastic material images of the Earth surface with a laser beam. Ya.L. Ziman, Yu.M. Chesnokov, V.A. Kottsov took part in the structural-and-zonal imaging technique development and tests.

A theory, hardware design and the software for the improvement of the TV-imaging system resolution capacity were developed based on microscanning. Despite the promising results of the hardware and software simulation for the microscanning task solution the flight experiment was not been carried out because of a lack of financing.

In 1984 the Board of Directors of the Space Research Institute decided to cancel the work of the department in the field of Earth observations and to re-orient its activity to the studies of Halley's comet, Mars and its moon Phobos. However in the middle 1990s the department initiated Earth studies from space again and began the Local Space Service project (LOCSS) proposed by G.A. Avanesov. The LOCSS project's goal is to increase the efficiency of Earth research from space by resolving the contradiction between the centralized Earth observation spaceborne data reception at a limited number of large specialized centers and decentralized data processing and application by numerous users. LOCSS project implementation will enable users to independently receive this image data in real time.

The necessary firmware for high resolution image data compression onboard the spacecraft with its subsequent decompression on Earth has been developed. A small spacecraft being developed at the Russian Institute for Electromechanics is considered for the LOCSS project implementation. It is planned to complete the work with the flight experiment and this technology introduction into the practice of the environment monitoring as well as emergency situations control and their consequences elimination.

In addition to the substantiation of the imaging instrumentation parameters the requirements for spacecraft orientation and stabilization accuracy have been defined. This will provide

иллюстрации стр. 180

данных в среде многочисленных пользователей. Реализация проекта ЛОКС предоставит пользователям возможность самостоятельного приема такой видеоинформации в реальном времени.

Разработано необходимое программное и аппаратное обеспечение сжатия на борту и декомпрессии на Земле видеоданных высокого разрешения. Проработан вопрос о реализации проекта ЛОКС на базе малого космического аппарата, разрабатываемого во ВНИИЭМ. Работы планируется завершить летным экспериментом и внедрением в практику исследований земных ресурсов, мониторинга природной среды, а также контроля возникновения чрезвычайных ситуаций и ликвидации их последствий. Наряду с обоснованием параметров съемочной аппаратуры определены требования к необходимой точности ориентации и стабилизации КА, обеспечивающих возможность съемки земной поверхности с высоким пространственным разрешением. Под руководством Г.А.Аванесова и Я.Л.Зимана концепцию и пути технической реализации проекта ЛОКС осуществляли: М.И.Куделин, В.А.Шамис, Е.Б.Краснопевцева, И.В.Полянский, А.С.Василейский.

К первым работам, проведенным в отделе в области планетных исследований, можно отнести изучение топографии участков лунной поверхности по их изображениям, переданным на Землю с первого и второго „Луноходов". На основе оперативного анализа изображений осуществлялось управление движением с обходом встречающихся препятствий – крупных камней и глубоких кратеров. В дальнейшем работы в этом направлении были продолжены и расширены для обеспечения навигации разрабатываемых марсоходов. Рассмотрены различные принципы навигации марсохода, в том числе на основе анализа топографии окружающей поверхности для обеспечения его движения в заданном направлении с обходом препятствий и определения положения марсохода в ареографической системе координат.

В эти же годы проведены крупномасштабные съемки обратной стороны Луны с борта автоматических станций „Зонд". Анализ результатов фотограмметрической и фотометрической обработки снимков позволил получить новые данные о размерах, форме и рельефе Луны, а также показал, что угловое распределение яркости малых деталей лунной поверхности подчиняется фотометрической функции Ханке, определяющей угловое распределение яркости крупных лунных образований при их наблюдении с Земли. В этих работах активное участие приняли Б.В Непоклонов, Ю.А.Бирюков, И.А.Исавнина.

В период 1980–1996 гг. в рамках международных проектов ВЕГА, „Фобос" и „Марс-96" при головной роли отдела выполнен широкий комплекс приборных разработок и видеоспектрометрических исследований. Главным конструктором оптико-электронных съемочных систем для этих проектов был Г.А.Аванесов.

В кооперации с венгерскими и французскими специалистами создан платформенный комплекс для видеоспектрометрических исследований кометы Галлея и ее ядра, и проведены съемки кометы с межпланетных станций ВЕГА-1 и ВЕГА-2. Созданию комплекса предшествовала разработка оптической модели кометы и ее околоядерной области, на основе которой оптимизированы параметры оптико-электронных приборов, обеспечивших в автоматическом режиме поиск, обнаружение и съемку кометы и ее ядра. Новые конструкторско-технологические решения, реализованные в этих приборах, обеспечили уникальную минимизацию их массово-энергетических характеристик, в частности, позволили создать для основной узкоугольной телевизионной системы

for Earth surface imaging with a high resolution. M.I. Kudelin, V.A. Shamis, Ye.B. Krasnopevtseva, I.V. Polyansky and A.S. Vasileisky developed the project concept and defined the ways of its technological implementation under the supervision of G.A. Avanesov and Ya.L. Ziman.

The first work conducted by the department in the field of planetary research is relevant to the study of the topography of the lunar surface using images of particular regions transmitted to Earth by the first and second Lunar Rovers (Lunokhod-1 and -2). Operative analysis of these images was used for their motion control and bypass of obstacles like large stones and deep craters. Then these developments were continued and extended for the navigation of the Mars rovers. Various navigation principles were considered, including surrounding surface topography analysis for the motion in the given direction with the bypass of the insurmountable obstacles and the Mars rover positioning in the areographic coordinate system.

At this time the automated interplanetary stations Zond fulfilled a large-scale survey of the far side of the Moon. The analysis of the photogrammetric and photometric processing of the Zond series images made it possible to obtain new data on the dimensions, shape and relief of the Moon. This data also showed that the angular brightness distribution for the small features of the lunar surface complied with the photometric Hanke function which defined angular brightness distribution for large lunar formations when those were observed from Earth. B.V. Nepoklonov, Yu.A. Biryukov and I.A. Isavnina took part in this work.

From 1980 to 1996 the department for optico-physical studies headed the international missions VEGA, Phobos and Mars-96 and conducted a wide range of engineering developments and image spectrometric studies. Professor G.A. Avanesov was the Chief Designer for the optico-electronic imaging systems which were developed for these missions.

A platform for the image spectrometric studies of Halley's comet and its nucleus was created in co-operation with Hungarian and French scientists. Additionally the comet was imaged from the interplanetary stations VEGA-1 and VEGA-2. Development of a model for the comet's nucleus and its near-nucleus region was the first step in the development of this research instrumentation. This model made it possible to optimize the parameters of the optico-electronic instruments which automatically searched for, detected and imaged the comet and its nucleus. The developed design and technology provided for mass and power consumption minimization. In particular the application of reinforced glass technologies for manufacturing mirrors made it possible to create a telescope with a mass of 3.7 kg, a focal length of 1200 mm and an aperture of 200 mm for the main narrow-angle TV two-band camera. The VEGA's imaging system made it possible to obtain hundreds of images of Halley's comet and its nucleus at different distances and to transmit them to Earth. Processing and analysis of the Halley's comet images made it possible to determine the nucleus shape, dimensions and parameters, to define more precisely the structure, absolute brightness values and photometric characteristics of the comet's nucleus and jets, as well as to calculate photometric characteristics of, and tomographically reconstruct, the coma.

More precise definition of the Halley's comet trajectory by the VEGA-1 images made it possible to update the trajectory of the European orbital station Giotto for its approaching the comet.

pictures see page 180

зионной двухканальной камеры телескоп массой 3,7 кг при фокусном расстоянии 1200 мм и диаметре входного зрачка 200 мм. С разных расстояний были получены и переданы на Землю сотни изображений кометы Галлея и ее ядра. Обработка и анализ этих изображений позволили определить форму, размеры и параметры ядра; уточнить структуру, абсолютные яркости и фотометрические характеристики его поверхности и джетов; рассчитать фотометрические характеристики и выполнить томографическую реконструкцию комы.

Уточненные по снимкам со станции ВЕГА-1 данные о траектории кометы Галлея позволили европейской межпланетной станции „Джотто" скорректировать свою траекторию и сблизиться с кометой.

Главный конструктор телевизионного комплекса Г.А.Аванесов за подготовку и осуществление проекта ВЕГА был удостоен Ленинской премии. В реализации проекта ВЕГА под руководством Г.А.Аванесова и Я.Л.Зимана принимало участие большинство сотрудников отдела, среди которых: И.В.Баринов, Б.С.Дунаев, В.А.Шамис, В.И.Костенко, А.Ю.Коган, В.Н.Хейфец, В.И.Тарнопольский и др. Многие из них были награждены орденами и медалями.

В кооперации с болгарскими и немецкими специалистами создан видеоспектрометрический комплекс „Фрегат", с помощью которого с орбитальной станции „Фобос-2" проведены съемки Марса и его спутника. Комплекс включал три телевизионных камеры, видеоспектрометр, запоминающее устройство и блок управления.

В процессе подготовки и реализации проекта „Фобос" в отделе была разработана методика и программное обеспечение припланетной навигации, основанной на одновременной съемке лимба планеты и прилегающего к нему участка звездного неба. Методика успешно применена на этапе выведения автоматических межпланетных станций „Фобос" на орбиту искусственного спутника Марса и при сближении с его спутником — Фобосом. (В.М.Муравьев, В.А.Ваваев, В.А.Дятловский, В.П.Федотов, Р.А.Смирнов, В.И.Панферов, А.А.Кузьмин).

В кооперации с немецкими и французскими специалистами создан платформенный комплекс „Аргус" для исследования Марса с межпланетной автоматической станции „Марс-96", разработаны детальные программы и методики эксперимента по видеоспектрометрическим исследованиям поверхности и атмосферы планеты. Комплекс „Аргус", включал поворотную гироскопическую трехосную платформу-манипулятор, на которой были установлены: телевизионная система высокого разрешения на девяти линейных ПЗС с числом элементов 6000; широкоугольная стереоскопическая телевизионная камера низкого углового разрешения; картирующий видеоспектрометр; звездная телевизионная камера на матричном ПЗС. Комплекс включал также управляющую многопроцессорную вычислительную систему и твердотельную память.

К сожалению, станцию не удалось вывести на траекторию полета к Марсу, что не позволило выполнить намеченную обширную программу исследований. В работе участвовали — В.И.Тарнопольский, В.М.Муравьев, В.А.Котцов, Б.С.Дунаев, В.С.Савостьянов, В.А.Ваваев, Р.А.Смирнов, И.В.Баринов, В.Д.Глазков, В.А.Дятловский, В.И.Панферов, В.А.Красиков, А.А.Кузьмин, Н.И.Снеткова, К.Ю.Пименов, И.В.Зенкин.

Для планируемой на первое десятилетие XXI века миссии „Фобос-грунт" отдел должен разработать ряд телевизионных

иллюстрации стр. 180

Guenrikh A. Avanesov, the Chief Designer of the TV system was awarded the Lenin prize for the VEGA mission preparation and implementation. Most part of the department's specialists participated under the supervision of G.A. Avanesov and Ya.L. Ziman in the VEGA mission implementation, including I.V. Barinov, B.S. Dunaev, V.A. Shamis, V.I. Kostenko, A.Yu. Kogan, V.N. Kheifets, V.I. Tarnopolsky, et al. Many of them were awarded a governmental honor.

In co-operation with Bulgarian and German scientists an image spectrometric system Fregat was created. This system imaged Mars and its moons from the orbital station Phobos-2. It consisted of three TV cameras, an imaging spectrometer, a memory and a control unit.

For the Phobos mission the department developed a technique and a software for near-planet navigation, based on a simultaneous imaging of the planet's horizon and the adjacent parts of the starry sky. The technique was successfully tested when the automated interplanetary station Phobos was put into the orbit of the Martian satellite and during its approach to the Martian moon — Phobos (V.M. Muraviov, V.A. Vavaev, V.A. Dyatlovsky, V.P. Fedotov, R.A. Smirnov, V.I. Panfiorov, A.A. Kuzmin).

The platform Argus for studying Mars from the interplanetary orbital station Mars-96 was developed in co-operation with German and French scientists. In addition detailed programs and techniques of the Argus experiment on spectrometric imaging of the Martian surface and atmosphere were also developed. The Argus was a rotational gyroscopic three-axis stabilized platform-manipulator which accommodated the following instruments: a high resolution TV system based on nine CCD lines with 6000 pixels, a wide-angle stereoscopic TV camera of low angular resolution, a mapping imaging spectrometer and a star TV camera based on a CCD array. In addition the Argus platform had a multiprocessor control computer and a solid memory.

The failure of the station made it impossible to fulfill the comprehensive program of Mars studies. V.I. Tarnopolsky, V.M. Muraviov, V.A. Kottsov, B.S. Dunaev, V.S. Savostianov, V.A. Vavaev, R.A. Smirnov, I.V. Barinov, V.D. Glazkov, V.A. Dyatlovsky, V.I. Panfiorov, V.A. Krasikov, A.A. Kuzmin, N.I. Snetkova, K.Yu. Pimenov and I.V. Zenkin took part in the work.

For the Phobos-Grunt mission planned for the first decade of the 21st century the department has to develop a number of scientific and housekeeping TV systems. The housekeeping optico-electronics will provide for autonomous navigation based on the images of the Earth and stars, Mars and stars and Mars and Phobos. The scientific systems will be used for the Phobos surface observations at the approaching stage and after landing.

Development of star trackers for spacecraft attitude determination occupies a special place in the department's activity. This tracker, including a TV camera with a micro-processor images the starry sky, identifies the registered stars and determines the spacecraft three-axis orientation relative to these stars. The development is based on the department's experience gained during starry sky photoimaging from the first orbital station Salyut.

The Astro star trackers were created in cooperation with German specialists. They successfully passed flight tests on the orbital station Mir in 1990-1991. The Astro system has been operating until now and is used for the station precision attitude determination when necessary. At the same time the consider-

систем научного и служебного назначения. Служебные телевизионные системы будут обеспечивать автономную навигацию по изображениям Земли и звезд, Марса и звезд, Марса и Фобоса. С помощью телевизионных систем научного назначения планируется осуществить исследования поверхности Фобоса при подлете к нему и после мягкой посадки на него.

Особое место в деятельности отдела занимают работы по созданию звездных датчиков (координаторов) определения ориентации КА. Такой датчик, включающий телевизионную камеру с микропроцессором, осуществляет съемку участков звездного неба, распознает зарегистрированные звезды и рассчитывает относительно них трехосную ориентацию КА. В основу разработок положен опыт отдела по фотографическим съемкам звездного неба с первой орбитальной станции „Салют".

В сотрудничестве с немецкими специалистами создана так называемая система „Астро", успешно прошедшая летно-конструкторские испытания на орбитальном комплексе „Мир" в 1990–1991 гг. Сегодня она продолжает функционировать и, эпизодически, по мере надобности, используется для прецизионных определений ориентации станции. В то же время большие габариты, масса, энергопотребление и, как следствие, стоимость системы воспрепятствовали ее тиражированию и дальнейшему использованию на других космических объектах.

Работы в этой области были продолжены и привели к созданию серии телевизионных приборов – блоков определения координат звезд БОКЗ и БОКЗ-М и астроизмерительной системы АИС. Приборы БОКЗ изготовлены для телекоммуникационных геостационарных ИСЗ „Ямал" и Международной космической станции, АИС – для трех научных КА „Спектр". Приборы БОКЗ-М планируется установить на КА „Ямал" следующих поколений, а также на перспективные КА, разрабатываемые в ГКПНЦ им.М.В.Хруничева, ВНИИЭМ и других космических фирмах При этом удалось существенно минимизировать габариты, массу и энергопотребление приборов при сохранении высокой точности определения ориентации. Выполненное натурное моделирование космических съемок звездного неба и определение по ним ориентации показало, что с их помощью обеспечивается решение задачи со средней квадратической ошибкой около двух угловых секунд в режиме орбитальной ориентации космического аппарата.

Ведутся работы по созданию следующего поколения более совершенных звездных датчиков – с уменьшением их массы до 1 кг, точностью определения ориентации в доли угловой секунды и возможностью работы при больших угловых скоростях.

В работах по развитию семейства звездных датчиков принимали участие: Б.С.Дунаев, В.С.Савостьянов, А.А.Форш, В.А.Ваваев, М.И.Куделин, И.В.Баринов, В.Ю.Белов, Р.В.Гордеев, В.И.Панферов.

Кроме звездных датчиков разрабатываются датчики определения направления на Солнце и датчики местной вертикали по лимбу Земли или другой планеты. Датчики работают по принципу проецирования щелевой маски на линейку ПЗС. Разработаны предложения по датчику местной вертикали для геостационарного ИСЗ. Датчик, включающий ТВ-камеру с процессором, анализирует ТВ-изображения лимба Земли и рассчитывает направления местной вертикали в системе координат КА. Предельная ошибка определения направления вертикали менее 1 угл.мин. Датчик может использоваться при полетах и около других планет. Ведется разработка астрогироинерциальной сис-

able dimensions, mass, power consumption and, consequently, cost prevented the mass production of this instrument and its further usage on other spacecraft.

Then a series of TV star reference units - BOKZ and BOKZ-M, and the astromeasuring system AIS were created. BOKZ units have been developed for the Yamal geostationary telecommunications satellites and the International Space Station, AIS - for three scientific spacecraft Spektr. It is planned to install the BOKZ-M instruments on the next generations of Yamal spacecraft as well as on the future spacecraft being developed at the Khrunichev Space Center, Research Institute for Electromechanics and other space firms. The dimensions, mass and power consumption were significantly reduced but the high accuracy of the attitude determination was retained. The fulfilled full-scale simulation of the starry sky imaging showed that the attitude was determined with a mean square error of about 2 arcsec in the orbital orientation mode.

The improved star trackers of the next generation are being developed. Their mass would be reduced to 1 kg and the attitude determination accuracy - to fractions of an angular second. In addition these trackers will be able to operate at large angular velocities. B.S. Dunaev, V.S. Savostianov, A.A. Forsh, V.A. Vavaev, M.I. Kudelin, I.V. Barinov, V.I. Panfiorov, V.Yu. Belov and R.V. Gordeev took part in the development of a family of the star trackers.

In addition to the star trackers the department is also developing instruments for tracking the Sun and the horizon of the Earth or any other planet (a tracker for the geometrical vertical - GVT). These devices operation principle consists in a slit projection onto the CCD-array. Proposals on the geometrical vertical tracker for a geostationary satellite have been developed. A tracker including a digital TV camera and a processor analyzes TV images of the Earth's limbs and calculates the local vertical direction in the spacecraft coordinate system. The ultimate error of the local vertical determination is less than 1 arcmin. This tracker can be also used for flights in the vicinity of the other planets. Astronomic gyro inertial system for the control of both attitude and orbital motion of spacecraft, launch vehicles and boosters is being developed. It will make it possible to solve all control problems at all flight stages beginning from the lift-off. The system includes the astrotrackers and the multi-processor computer developed at the department. The system's mass is less than 20 kg. Consequently it can be installed on small spacecraft.

Successful experience in the creation of an almost autonomous self-controlled instrumentation platform for the VEGA-1 and VEGA-2 interplanetary stations made it possible to begin the development of the small spacecraft Regatta. This spacecraft design includes several original engineering solutions. First and foremost there is the passive attitude control system using solar wind pressure.

The Regatta spacecraft design consists of two main parts – a sail unit and an instrumentation module. The sail unit includes a solar stabilizer with a deployment mechanism, solar control rudders with electromechanical drives and a load-bearing frame. The spacecraft permanent sunward stabilization provides for effective conditions for the operation of the power supply and temperature control systems. Solar batteries are mounted on the upper surface of the spacecraft facing the Sun. They serve as a primary source for the power supply system. The pas-

pictures see page 180

темы управления ориентацией и орбитальным движением космических аппаратов, ракет-носителей и разгонных блоков. Система позволит решать задачи управления на всех этапах космического полета, начиная со старта. Она включает созданные в отделе астродатчики и многопроцессорный вычислитель. Масса системы лежит в пределах 20 кг, что позволит использовать ее и на малых космических аппаратах.

Успешный опыт создания практически автономного самоуправляемого платформенного комплекса автоматических межпланетных станций ВЕГА-1 и ВЕГА-2 позволил развернуть в отделе работы по малому космическому аппарату (МКА) „Регата". В конструкцию этого КА заложен ряд нестандартных инженерных решений к каковым, в первую очередь, следует отнести пассивную систему ориентации за счет давления солнечного света.

Конструктивно МКА „Регата" состоит из парусного блока и приборного модуля. Парусный блок включает солнечный стабилизатор с механизмом его развертывания, солнечные рули с электромеханическими приводами и несущую раму. Постоянная солнечная ориентация МКА обеспечивает „комфортные" условия для работы систем электропитания и терморегулирования. Первичным источником системы электропитания служат солнечные батареи, смонтированные на верхней, обращенной к Солнцу, поверхности КА. Пассивная система терморегулирования осуществляет сброс тепла по тепловым трубам на радиатор-охладитель. В приборном модуле все научные инструменты монтируются на термостабилизированную панель, и их терморегулирование осуществляется за счет теплопроводности через поверхности контакта. Бортовой радиокомплекс включает передатчик научной и служебной телеметрической информации и аппаратуру для когерентного переизлучения в режиме высокоточных орбитальных допплеровских измерений. Ядром информационно-управляющей системы МКА является разработанный в отделе многопроцессорный вычислитель, который обеспечивает обработку научной информации.

Оригинальная конструкция МКА „Регата" отмечена патентом.

Велись работы над тремя его модификациями: для плазмофизических исследований, для астрометрических измерений и для наблюдения за Солнцем и его активностью.

Модификация для плазмофизических исследований включает вращающуюся платформу, на которой устанавливаются приборы, сканирующие небесную сферу в плоскости перпендикулярной направлению на Солнце.

Для астрометрических измерений (вторая модификация МКА) рабочей является квазиспутниковая орбита в системе Солнце–Земля; эта орбита не требует корректирования в течение 5 лет, что и определяет время активного существования астрометрического МКА. Космический аппарат стабилизируется закруткой вокруг направления на Солнце с угловой скоростью порядка 1 оборота в сутки; постоянная ориентация продольной оси сохраняется с высокой точностью в течение всего периода работы спутника. Астрометрическими инструментами станут цифровые измерительные телевизионные камеры, с помощью которых будет определяться направление на центр Солнца и на каталогизируемые звезды. Высокая орбита и отсутствие каких-либо собственных источников возмущения (подвижных элементов и реактивных двигателей) обеспечат высокую детерминированность вращения МКА относительно направления на Солнце, что позволит использовать сам космического аппарата в качестве достаточно точного угломерного инструмента.

иллюстрации стр. 180

sive temperature control system released heat via heat pipes to the radiator-cooler. The instrumentation module's instruments are mounted on a temperature stabilized panel. Their temperature is controlled due to heat transfer via the contact surface. The onboard radio complex includes a transmitter for the scientific and housekeeping telemetry and the devices for the coherent reradiation in the mode of high precision orbital Doppler measurements. The multiprocessor computer developed at the department is the core for the information control system of the small spacecraft. This computer also processes scientific data.

The Regatta spacecraft original design was patented.

There are three modifications of the small spacecraft, including the platform for plasma physical studies (Regatta-Plasma), astrometric measurements (Regatta-Astro) and for monitoring the Sun and its activity (Regatta-SPAS).

The Regatta spacecraft modification for the plasma physical studies includes a rotating platform with the instruments scanning the celestial sphere in the plane perpendicular to the sunward direction.

The concept of an astrometric system is based on a quasi-satellite orbit in the Sun-Earth system, which does not need correction for five years and this is the active lifetime of an astrometric small spacecraft. Small spacecraft is spin stabilized around the direction at the Sun with an angular velocity of about one revolution a day; the longitudinal axis permanent stabilization is kept with high accuracy during the spacecraft lifetime. Astrometric instrumentation includes digital TV cameras for determination of the direction towards the Sun's center and catalogued stars. High orbit and absence of any internal sources of disturbances, including moving elements and jet engines provide for highly determined spinning relative to the direction at the Sun; thus it is possible to apply the spacecraft as a sufficiently precise angular measurement instrument.

The onboard astrometric system of the small spacecraft consists of two solar and five star TV-cameras. In the solar and star TV-cameras cooled CCD-arrays serve as photoreceivers.

The optical axes of the four star TV-cameras are perpendicular to the spacecraft longitudinal axis aimed in the sunward direction. The optical axis of the fifth camera is aimed in the direction opposite to the direction at the Sun. This arrangement of the cameras makes it possible to simultaneously determine the mutual location of the stars distant one from another not only in the ecliptic latitude but in the ecliptic longitude. This will improve the accuracy of the star positioning. The obtained photometric catalog will contain the brilliance value for each registered star in the measurement system. This value corresponds to the spectral sensitivity of the silicon photoreceivers. This catalog could be effectively applied in stellar orientation and navigation systems based on photo CCD-arrays.

The spacecraft longitudinal axis follows the Sun in the plane of ecliptic and changes its direction by 1 degree per day and by 360 degrees during a year. Star TV-cameras survey the whole celestial sphere during six months.

The third Regatta spacecraft modification was destined for Sun monitoring. It was planned to create an solar activity patrolling system (SPAS system). For this the spacecraft should be placed in a halo-orbit in the vicinity of the Lagrange point L_1 located between the Sun and the Earth at a distance of about 1.5 mln km from the Earth.

В комплект бортовой астрометрической аппаратуры МКА входят 2 солнечных и 5 звездных ТВ-камер. Фотоприемниками и в солнечных, и в звездных ТВ-камерах служат матричные охлаждаемые ПЗС. Оптические оси четырех звездных ТВ-камер перпендикулярны продольной оси МКА, ориентируемой в направлении на Солнце. Оптическая ось пятой звездной камеры направлена в противосолнечную область. Указанное расположение звездных камер позволит одновременно определять взаимное положение звезд, удаленных друг от друга не только по эклиптической широте, но и эклиптической долготе, что повысит точность определения положений звезд. Получаемый фотометрический каталог будет содержать блеск каждой регистрируемой звезды в инструментальной системе, соответствующей спектральной чувствительности кремниевых фотоприемников. Такой каталог найдет эффективное применение в системах звездной ориентации и навигации, где в качестве фотоприемников используются ПЗС-матрицы.

Следуя за Солнцем и оставаясь в плоскости эклиптики, продольная ось МКА изменяет свое направление на 1 град/сут и за год – на 360 град. При этом за полгода звездные ТВ-камеры выполнят обзор всей небесной сферы.

На базе третьей модификации МКА „Регата", предназначенной для наблюдения за Солнцем, планировалось создать штатную систему патрулирования солнечной активности. КА предполагалось разместить на гало-орбите в окрестности точки Лагранжа L_1, расположенной между Солнцем и Землей на расстоянии ~1,5 млн км от Земли.

Работы по КА „Регата" были остановлены в августе 1991 года на стадии изготовления инженерной модели его первой модификации для плазмофизических исследований; причина – прекращение государственного финансирования. Главный конструктор проекта „Регата" – Г.А.Аванесов. Участники работ – Я.Л.Зиман, А.Ю.Коган, В.Н.Хейфец, В.И.Костенко, И.В.Баринов, В.А.Красиков, В.И.Панферов.

До изготовления летных образцов был доведен лишь универсальный многопроцессорный вычислитель. Этот бортовой компьютер использовался в качестве управляющей системы комплекса „Аргус" проекта „Марс-96". Сегодня он включен и в состав астрогироинерциальной системы и по своим программным и техническим возможностям может осуществлять управление всеми служебными системами КА и установленной на нем научной аппаратурой. В его разработке участвовали В.В Полищук, М.И.Куделин, Р.В Гордеев, В.А.Шамис, А.Крупин).

Большинство проведенных в отделе исследований, приборных разработок и летных экспериментов сопровождалось проектированием и реализацией матобеспечения обработки получаемых видеоданных. В рамках этих работ, наряду с известными алгоритмами, были найдены и опробованы оригинальные, эффективные программные решения ряда типовых задач обработки данных дистанционного зондирования, созданы первые унифицированные математические модели многозональных изображений, на базе которых разрабатывались алгоритмы и программы для решения задач многомерного статистического анализа, ортогональных и геометрических преобразований, кластерного анализа, классификации и многих других. Отработанные алгоритмы воплотились в нескольких вариантах систем обработки изображений, получаемых фотокамерами МКФ-6, сканером „Фрагмент", ТВ-системами АМС „ВЕГА", „Фобос" и „Марс-96". Руководили обработкой видеоданных В.А.Красиков и В.А.Шамис.

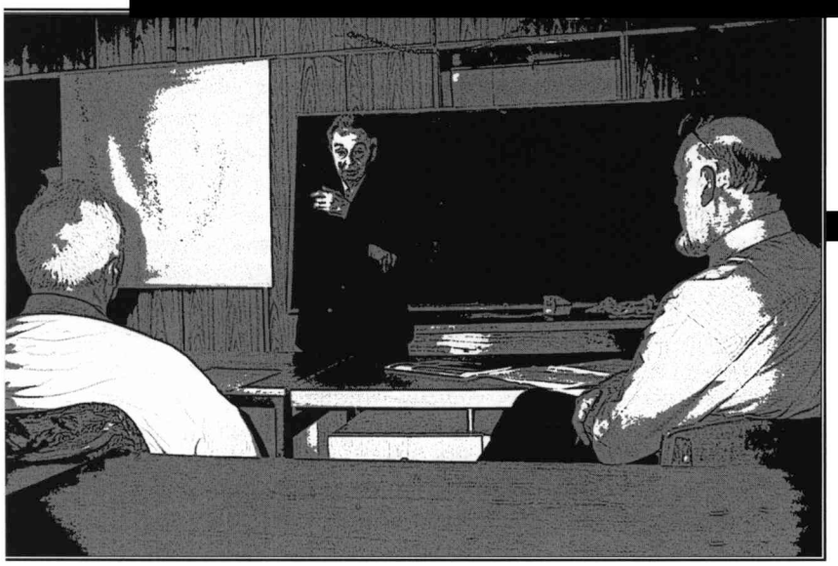
The Regatta spacecraft development was terminated in August 1991 at the stage of the engineering model manufacture. This was the first modification for plasma physical studies. The reason was budget funding termination. G.A. Avanesov was the Regatta chief designer. Ya.L. Ziman, A.Yu. Kogan, V.N. Kheifets, V.I. Kostenko, I.V. Barinov, V.A. Krasikov and V.I. Panfiorov participated in this work.

The universal multiprocessor computer developed within the framework of the Regatta project was the only system completed, and its flight model was manufactured. This universal multiprocessor computer served as the baseline design for the control system of the Argus platform (Mars-96 mission). It is included in the above mentioned gyro inertial system. The software and hardware capabilities enable the control of both all spacecraft's housekeeping systems and the payload. V.V. Polishchuk, M.I. Kudelin, R.V. Gordeev, V.A. Shamis, V.G. Sobchuk and A. Krupin took part in the computer development.

The majority of studies, instrument designs and flight experiments implemented by the department were accompanied with the development of specialized software for processing the obtained image data. Within the framework of this work well-known algorithms were used and new original effective software for processing remotely sensed data was developed, implemented and tested. In addition the first unified mathematical models of multispectral images were created. They were destined for the development of the algorithms and software for solving the tasks of the multidimensional static analysis, orthogonal and geometric transformations, cluster analysis, classification and other tasks. This software was applied for processing images obtained by the MKF-6 multispectral photo camera, Fragment scanner and the TV-systems of the automated interplanetary stations VEGA, Phobos and Mars-96. V.A. Krasikov and V.A. Shamis were responsible for the image data processing.

pictures see page 180

Отдел прикладной космической физики – исследований Земли как экологической системы



Department for Applied Space Physics – Space Research of Earth as an Ecological System

Создание отдела космических исследований Земли как экологической системы и первые двадцать восемь лет его существования неразрывно связаны с именем крупного отечественного ученого доктора физико-математических наук профессора В.С.Эткина (1931–1995), основавшего в ИКИ новое научное направление – зондирование поверхности Земли из космоса дистанционными радиофизическими методами. В ходе становления этого направления происходили изменения как по количеству участников работ (к концу 70-х годов число сотрудников отдела превышала 100 человек), так и составу научных групп и лабораторий.

В 60-х годах в рамках Проблемной радиофизической лаборатории (ПРФЛ) МГПИ им.В.И.Ленина В.С.Эткин и его сотрудники проводили исследования по важному тогда научному направлению – разработка теоретических основ и создание малошумящих приемников СВЧ диапазона. Параметрические и туннельные усилители, малошумящие смесители и другие СВЧ устройства позволили изготовить высокочувствительную измерительную аппаратуру для радиолокации и радиоастрономии, обладавшую рекордными в то время параметрами.

В 1967 г., понимая важность создания малошумящих приемников для развития радиоастрономии, И.С.Шкловский предложил В.С.Эткину продолжить исследования в рамках недавно созданного ИКИ. Предложение было принято, и часть сотрудников ПРФЛ во главе с В.С.Эткиным перешла в ИКИ, где было сформировано самостоятельное научное подразделение – отдел радиофизических приборов. Задачей созданного отдела стало дальнейшее совершенствование высокочувствительных СВЧ радиометров в широком диапазоне волн от миллиметрового до дециметрового. В 1972 г. на базе отдела организуются две научные лаборатории под руководством В.С.Эткина и И.А.Струкова в составе отдела астрофизики.

Научные интересы В.С.Эткина не ограничивались созданием только приборов, хотя и уникальных по принципу действия и параметрам. По мере совершенствования микроволновых приемников становилось ясным, что разработанные коллективом высокочувствительные радиометры можно использовать и для детального исследования радиофизическими методами поверхности суши и океана из космоса.(Н.Н.Крупенио, Е.А.Шарков) Это направление работ было поддержано И.С.Шкловским и новым руководством института во главе с Р.З.Сагдеевым.

иллюстрации стр. 184

Creation of the department for space research of Earth as an ecological system and the first 28 years of its work were associated with the name of Professor V.S. Etkin (1931–1995), a prominent Russian scientist. At IKI V.S. Etkin founded a new research direction – Earth remote sensing with space-borne radiophysical techniques. While this direction was developed the changes were in both the number of workers (exceeding 100 people at the end of the 1970s) and the contingent of the scientific teams and laboratories.

In the 1960s V.S. Etkin and his colleagues conducted studies in then important scientific direction – development of theoretical grounds for, and creation of, low-noise microwave receivers. This work was fulfilled at the Problem radiophysical laboratory of the Moscow Pedagogical Institute. Parametric and tunnel amplifiers, low-noise mixers and other microwave devices made it possible to produce highly sensitive measuring instruments for the radiolocation and radioastronomy. These instruments had the best parameters for that time.

Leading Soviet astrophysicists and radio astronomers, in particular those from the Sternberg State Astronomical Institute, were very interested in these works. In 1967 I.S. Shklovsky offered to V.S Etkin to continue these studies at the recently founded Space Research Institute as he was aware of the importance of low-noise receivers creation for the radioastronomy development. This offer was accepted, and several specialists of the Problem radiophysical laboratory headed by V.S. Etkin transferred to IKI, where an independent scientific subdivision was formed – the department for radiophysical instrumentation. The department's goal was to further develop highly sensitive microwave radiometers operating within a wide wavelength range – from millimeter to decimeter bands. Development of remote techniques for studying the Earth and other planets' surfaces (N.N. Krupenio and Ye.A. Sharkov) became one of the department's fields of activity. In 1972 two scientific laboratories headed by V.S. Etkin and I.A. Strukov were formed in the department for astrophysics.

V.S. Etkin's scientific interests were restricted not only with the instrumentation creation though these units were unique in operation principles and parameters. While improving the

В 1974 г. принимается решение о создании самостоятельного отдела прикладной космической физики под руководством В.С.Эткина. Основная задача отдела состояла в развитии микроволновых методов дистанционного аэрокосмического зондирования суши и океана в микроволновом диапазоне для решения прикладных задач и фундаментальных исследований в интересах наук о Земле. Три лаборатории, вошедшие в отдел, возглавлялись В.С.Эткиным, Н.К.Смирновым и В.В.Андреановым.

Приоритетной задачей отдела прикладной космической физики стало изучение поверхности океана с целью выявления внутриокеанических процессов по их поверхностным проявлениям. Исследования океана потребовали создания уникальных комплексов аппаратуры дистанционного зондирования в оптическом и микроволновом диапазонах для использования на борту самолетов и научно-исследовательских судов. Такие комплексы нуждались также в автоматизированных (в дальнейшем – компьютеризованных) системах регистрации, обработки и интерпретации огромных массивов экспериментальных данных.

Программы исследований предусматривали проведение ежегодных натурных экспериментов в различных районах Мирового океана от Черного и Баренцева морей до Тихого океана с использованием оснащенных принципиально новой аппаратурой спутников, самолетов-лабораторий и научно-исследовательских судов. Экспериментальные работы сопровождались теоретическими исследованиями, направленными, прежде всего, на создание радиофизических и гидрофизических моделей наблюдаемых в океане явлений.

Широкомасштабные работы по дистанционному исследованию земных покровов развернулись к середине семидесятых годов. Основное внимание уделялось исследованию поверхности океана в интересах экологического мониторинга, прогноза погоды и решения прикладных задач ВМФ. Работы большей частью были ориентированы на комплексные аэрокосмические эксперименты. Для координации действий большого числа организаций – участников натурных испытаний, согласования программ наблюдений с морских и воздушных измерительных платформ и обеспечения синхронных космических съемок была создана группа во главе с Е.А.Беспаловой. Слаженность действий всех участников достигалась благодаря тщательной подготовке и огромной организационной работе начальников экспедиций (В.М.Веселов, В.Д.Ленков, В.В.Кулешов). Так, в комплексном летно-морском натурном эксперименте 1980 г. одновременно принимало участие более тридцати организаций, задействовано семь самолетов-лабораторий, оснащенных многоканальными поляризационными радиометрами, радиолокаторами и оптическими системами, восемь единиц средств обеспечения (научно-исследовательские суда Тихоокеанского океанологического института Дальневосточного научного центра АН СССР и корабли ВМФ). Аппаратура космической станции „Салют-6" обеспечивала синхронную съемку района работ. Одновременно в экспедиции участвовало более 160 человек, не считая личного состава средств обеспечения.

Каждый год проводились испытания новых приборов, характеристики которых постоянно улучшались. Радиометры, радиометры-поляриметры, скаттерометры изготавливались не только в ИКИ, но и в специально созданном по инициативе заместителя директора Института Г.С.Нариманова и В.С.Эткина конструкторском бюро в г. Мирный. Работы ИКИ намного опережали аналогичные исследования в США.

Для проведения натурных экспериментов было оборудованы несколько типов летающих самолетов-лабораторий. Первой лабораторией, оснащенной микроволновой аппаратурой, разработанной

microwave instrumentation it became clearer that the developed highly sensitive radiometers could be also used for a detailed exploration of the ocean and land from space using radiophysical techniques. This field of activity was approved by I.S. Shklovsky and new IKI director R.Z. Sagdeev.

In 1974 a decision was made to create an independent department for applied radiophysics headed by V.S. Etkin. The department's main task was to develop microwave techniques for the land and ocean aerospace remote sensing in the microwave range for solving applied problems and for the fundamental studies in the field of the Earth sciences. Three laboratories included in the department were headed by V.S. Etkin, N.K. Smirnov and V.V. Andreanov. The Strukov's laboratory remained in the department for astrophysics.

Ocean surface investigation in order to detect ocean internal processes by their surface manifestation became the top priority task. The ocean studies required the development of a unique remote sensing instrumentation operating in the optical and microwave bands for aircraft and research vessels. These instruments needed also automated (later programmable) systems for the registration, processing and interpretation of bulky experimental data volumes.

Research programs planned annual full-scale experiments in different regions of the World Ocean from the Black and Barents Seas to the Pacific Ocean. The experiments were carried out from aircraft labs, satellites and research vessels equipped with principally new instruments. The experiments were accompanied with theoretical studies aimed first and foremost at the creating of a model of radiophysical and hydrophysical phenomena observed in the ocean.

Large-scale Earth's surface remote sensing was evolved in the mid of the 1970s. A particular attention was paid to the ocean surface investigation in order to provide ecological monitoring, weather forecasting and solution of the Navy applied tasks. Complex aerospace experiments were mainly carried out. A special team headed by Ye.A. Bespalova coordinated activity of many organizations – participants of full-scale tests, as well as programs of observations from sea- and air-borne measuring platforms and provided space survey synchronicity. Harmonious work of all participants was achieved due to a thorough preparation and tremendous organizational work of the expedition managers – V.M. Veselov, V.D. Lenkov and V.V. Kuleshov. In 1980 more than 30 organizations took part in the complex air-sea full-scale experiments; 7 aircraft labs equipped with multichannel polarization radiometers, radars and optical systems, as well as eight vessels (research vessels of the Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences and Navy vessels) participated in the experiments. The Salyut-6 orbital station instruments provided synchronous survey of the investigated region. In total, more than 160 people excluding the vessels' personnel simultaneously participated in the expedition.

New instruments with the parameters being permanently improved were tested every year. Radiometers, radiometers-polarimeters and scatterometers were fabricated not only at IKI but also at the design bureau (Mirny town) specially created on an initiative of G.S. Narimanov, the IKI deputy director and V.S. Etkin. IKI works were significantly ahead compared to the similar studies in the USA.

pictures see page 184

в отделе, стал ИЛ-18, принадлежавший ГГО им.Воейкова. На нем выполнялись первые эксперименты по изучению эффекта анизотропии (1973 г.), исследования загрязнения Каспийского моря нефтепродуктами (1976–1977 гг.) и влажности почв (Караганда, 1975 г.).

В 1977 г. началось создание двух летающих лабораторий на базе самолетов ИЛ-14. Один из самолетов-лабораторий был ориентирован преимущественно на проведение исследований атмосферы и морской поверхности методами СВЧ радиометрии, другой волнографических исследований при совместном использовании активных приборов – СВЧ скаттерометров и радиометров. В состав первой лаборатории входили зенитный и надирный радиометрический комплексы, а также скаттерометр 3-х см диапазона волн. На борту второй установлен волнографический комплекс для решения задач дистанционного зондирования: радиометр-скаттерометр 2-х см диапазона, двухчастотный скаттерометр, многопозиционный радиометр-поляриметр 2-х см диапазона.

Еще один самолет (АН-12) был предоставлен ИКИ специальной директивой. Это дало возможность провести его существенную внутреннюю перестройку, приспособив для оптимального размещения большого количества радиофизической аппаратуры и превратив тем самым в уникальную летающую лабораторию. Достаточно сказать, что работу аппаратуры обеспечивали семнадцать инженеров-экспериментаторов, а вес одних только кабелей, проложенных в грузовом отсеке, достигал двух тонн. Самолет лаборатория АН-12 предназначался для радиометрических и скаттерометрических измерений. На нем отрабатывалась методика панорамных и сканирующих съемок, выполнялись атмосферные исследования.

Все самолетные комплексы были оснащены многоканальными системами сбора и обработки данных с использованием микро-ЭВМ. Приборы самолетных комплексов разрабатывались в лабораториях отдела, руководимых М.Г.Булатовым, Ю.А.Милицким, М.Д.Раевым и Ю.Б.Хапиным.

Для радиолокационной съемки морской поверхности привлекались самолеты ледовой разведки АН-24 и АН-26 с двухполяризационными радиолокаторами бокового обзора „Нить" и „Торос". Результативность полученных данных показала целесообразность создания комплексной летающей лаборатории, оснащенной как локаторам бокового обзора, так и оптической и радиофизической аппаратурой. Было разработано техническое задание и комплект компоновочных чертежей для КБ им.А.Н.Туполева. На основе этого задания выпущена серия самолетов-лабораторий ТУ-134СХ, сочетавших в себе все преимущества самолетов ледовой разведки и специальных самолетов аэрофотосъемки. Разработка локационной станции бокового обзора выполнена в НПО „Ленинец" (С.Петербург). Впоследствии система регистрации радиолокатора „Нить" была усовершенствована силами отдела: вместо устаревшей фототелеграфной аппаратуры устанавливается разработанная в отделе цифровая система регистрации, которая превратила радар „Нить" в современный физический прибор. Кроме того, самолет-лаборатория оснащается спектрозональными фотокамерами МКФ-6 и МСК-4.

География комплексных радиофизических исследований морской поверхности охватывала практически все окраинные и внутренние моря России. В первые годы работы проводились в основном на Баренцевом, Каспийском и Черном морях. Затем они переместились на Дальний Восток: сначала в Японское море, а затем на Камчатку. Начиная с 1979 г., Петропавловск-Камчатский стал основной экспедиционной базой. При организации работ прикладного характера существенную роль сыграл заместитель директора ИКИ Г.М.Тамкович.

иллюстрации стр. 184

Aircraft labs of several types were specially equipped for conducting full-scale experiments. Il-18 aircraft of the Voyeikov State Geophysical Institute became the first ones equipped with microwave instruments developed at the department. This airborne lab was used for the first experiments on the anisotropy studies (1973), studies of the Caspian Sea pollution with oil products (1976–1977) and soil humidity (Karaganda, 1975).

In 1977 two new flying labs were created on the basis of the Il-14 aircraft. This aircraft was chosen due to its ability to fly during 9–10 hours, to take-off and to land under bad visibility and to be located on any class of airfields. One of the aircraft labs was mainly aimed at studying the atmosphere and sea surface by microwave radiometry techniques, the other – at wavegraphic studies by simultaneous operation of the active sensors – microwave scatterometers and radiometers. The zenith and nadir radiometers and scatterometer (3 cm band) were installed in the first lab. A wavegraphic system – a radiometer-scatterometer (2 cm band) and a two-frequency spectrometer and multi-position radiometer-polarimeter (2 cm band) – was mounted on the second remote sensing lab.

One more aircraft (AN-12) was provided to IKI by a special authorization. It made it possible to significantly re-build the aircraft providing for an optimal mounting of many radiophysical instruments. So the aircraft was transformed into the unique flying lab. The instrumentation was serviced by seventeen(!) engineers-experimentalists; weight of the cables lined in the cargo bay was about two tons. The aircraft lab AN-12 was aimed at radiometric and scatterometrical measurements. It was used for processing the panoramic survey and scanning techniques and conducting atmospheric studies.

All the aircraft labs were equipped with multi-channel data collection and processing systems based on micro-computers. Labs' instruments were developed at the laboratories headed by M.G. Bulatov, Yu.A. Militsky, M.D. Raev and Yu.B. Khapin.

Sea reconnaissance aircraft AN-24 and AN-26 with two-polarization side-looking radars Nit (Filament) and Toros (Hummock) were used for the sea surface radar survey. The obtained results showed the efficiency of the flying labs equipped with both a side-looking radar and optical and radiophysical instruments. Technical specifications and design drawings were developed for the Tupolev design bureau. A series of TU-134SKh aircraft labs was manufactured according to these specifications. These labs combined all the advantages of the ice reconnaissance airplanes and the aircraft for aerial photosurvey. The side-looking radar was developed at the Research Production Association Leninets (St.-Petersburg). Afterwards the Nit radar's registration system was improved at the department – a digital registration system also developed at the department was used instead of an obsolete photo-telegraph system. This new system transformed the Nit radar into an up-to-date physical device. Additionally the aircraft lab was equipped with spectral-zonal photo cameras MKF-6 and MSK-4.

The complex sea surface radiophysical survey covered almost all Russia's margin and inner seas. During the first years the survey was conducted mainly for the Barents, Caspian and Black seas and then in the Far East – firstly for the Japanese sea and then for Kamchatka. In 1979 Petropalovsk-Kamchatsky became the main expedition base. IKI deputy director G.M. Tamkovich played an important role in the applied work management.

В ходе этих исследований удалось, в частности, наблюдать уникальные поверхностные проявления течений, обтекающих подводную гору, вершина которой находилась на глубине четырех километров под поверхностью океана! Был накоплен обширный архив радиолокационных и оптических изображений шельфовых внутренних волн, границ течений, поверхностных проявлений различных неустойчивостей и волновых процессов в приводном слое атмосферы.

Радиометрические измерения первоначально ориентировались на изучение поверхностного волнения и температуры воды, а в дальнейшем на исследование анизотропии радиотеплового излучения моря, которая связана с анизотропией гравитационно-капиллярного волнения. Эффект анизотропии открыт уже в первых экспедициях ИКИ (1973 г., Е.А.Беспалова и др.) и долгое время исследовался исключительно в коллективе В.С.Эткина. Важность этого эффекта осознана в ведущих лабораториях мира (Jet Propulsion Laboratory NASA, Environmental Research Laboratory NOAA, лаборатории ESA) лишь спустя десять-пятнадцать лет. Американские и европейские коллеги сейчас повторяют измерения, которые были проведены ИКИ около двадцати лет назад.

Анализ и систематизация результатов наблюдений потребовали непрерывного совершенствования вычислительной базы отдела. Такая база, включая гибридные аналого-цифровые вычислительные комплексы на основе лазерных Фурье анализаторов и самостоятельных видеоинформационных терминалов, была создана под руководством А.И.Суслова. Большой объем работ выполнялся и по разработке специализированных вычислительных программ (М.Д.Раев).

Натурные эксперименты сопровождались лабораторными и теоретическими исследованиями особенностей радиотеплового излучения водной поверхности при наличии волнения. В конце семидесятых В.С.Эткин выдвинул гипотезу, что в тепловом излучении должны существовать резонансные эффекты при характерных масштабах неровностей, сравнимых с длиной волны электромагнитного излучения. Это предположение блестяще подтвердилось сначала теоретически в рамках метода малых возмущений (В.С.Эткин, Ю.А.Кравцов и др., 1978 г.), а затем и в лабораторном эксперименте (В.С.Эткин, Н.Н.Ворсин и др., 1978 г.). Обнаруженные при этом так называемые „критические" явления, аналогичные, в сущности, оптическим аномалиях Вуда, дают увеличение радиояркостной температуры на вертикальной поляризации до 3–5 К, что легко обнаруживается современными радиометрами с флуктуационной чувствительностью 0,1 К.

Критические явления позволяют определять как величину, так и направление приповерхностного ветра. Измерения скорости ветра оказалось целесообразным проводить при помощи радиометров-поляриметров. В отделе был впервые разработан многопозиционный радиометр-поляриметр (М.С.Дзюра), изготовлено и испытано несколько таких приборов. Впоследствии теория критических явлений была развита для произвольной ориентации гармоник относительно направления наблюдения и для произвольных значений диэлектрической проницаемости среды. Разработанные позднее численные подходы дали возможность оценить область применимости результатов, основанных на методе малых возмущений. Понимание резонансного характера радиотеплового излучения моря позволило правильно интерпретировать данные самолетных измерений и перейти от радиояркостных контрастов к характеристикам поверхностного волнения. Метод, который естественно называть радиотепловой спектроскопией, активно развивается в настоящее время заведующим лабораторией Ю.Г.Тро-

Studies were mainly conducted in the Pacific North-West and also on the Okhotsk sea and the Kuril straits. Measurements made in the ocean beyond the Kuril-Kamchatsk gutter were the most valuable. In particular, manifestations of unique surface currents flowing around underwater mountain with a peak at a depth of four kilometers were observed! A huge archive of radar and optical images was accumulated for the shelf internal waves, currents' boundaries, surface manifestations of various instabilities and wave processes in the atmosphere near-water layer.

Initially radiometric measurements were aimed at surface waving and water temperature investigation. Then the sea radiothermal radiation anisotropy connected with the gravity-capillary waving anisotropy was mainly studied. The anisotropy effect was discovered during the first IKI expeditions (1973, Ye.A. Bespalova et al.) and for a long time was studied exclusively by the V.S. Etkin's team. The effect importance was realized in the leading laboratories of the world (Jet Propulsion Laboratory, NASA; Environmental Research Laboratory, NOAA, ESA laboratory) in ten–fifteen years only. At present, the department priority in this field is commonly recognized. American and European colleagues are repeating measurements which were made at IKI about fifteen years ago.

Analysis and classification of the observation results required continuos computer improvement. The department's computers included hybrid analog-digital computers based on a laser Fourie analyzer and independent video terminals. This system was created under supervision of A.I. Suslov. Special software was also developed (M.D. Raev).

Laboratory and theoretical studies of the sea surface radiothermal emission under waving accompanied full-scale experiments. At the end of the 1970s V.S. Etkin put forward a hypothesis that the resonance effects should exist in the thermal radiation for the roughness characteristic scales comparable with the electromagnetic radiation wavelength. This hypothesis was absolutely confirmed firstly theoretically within the framework of a small disturbance technique (V.S. Etkin, Yu.A. Kravtsov et al., 1978) and then by the lab experiment (V.S. Etkin, N.N. Vorsin et al., 1978). The observed „critical" phenomena are similar in their nature to the Wood optical anomalies; they cause an increase of the radiobrightness temperature for the vertical polarization of up to 3–5 K. This is easily detected by modern radiometers with a fluctuation sensitivity of 0.1 K.

Critical phenomena enable determination of both the near-surface wind velocity and its direction. It turned out expedient to measure the wind velocity by radiometers-polarimeters. A multi-position radiometer-polarimeter was developed at the department for the first time (M.S. Dzyura). Several instruments were manufactured and tested. Afterwards the critical phenomena theory was developed for an arbitrary harmonics orientation relative to the observation direction and for an arbitrary medium dielectric permeability. The post-developed numerical approaches made it possible to estimate an applicability of the results based on the small disturbance technique. Understanding of the sea thermal radiation resonance nature allowed to correctly interpret the air-borne data as well as to consider sea surface waving characteristics instead of the radiobrightness contrasts. At present head of the laboratory Yu.G. Trokhimovsky is developing a technique which could be called radiothermal spectroscopy. This technique seems to have

pictures see page 184

химовским и практически не имеет конкурентов в исследованиях спектра волн в гравитационно-капиллярном интервале.

Характер выполняемых исследований привел к необходимости одновременно решать как радиофизические, так и гидродинамические задачи, так что работы велись на стыке радиофизики и гидрофизики. Новое направление В.С.Эткин определял как „радиогидрофизика". Хотя термин и не получил широкого распространения, в целом он верно отражал специфику проводимых исследований.

Одновременно в отделе выполнялись работы по космической гидрографии, заказчиком которых выступало Главное гидрографическое управление ВМФ. Ценность такого сотрудничества была несомненной. Оно позволяло широко привлекать для подтрассовых контактных измерений гидрографические средства флота в больших масштабах. Эти работы впоследствии породили новое направление исследований – экологический мониторинг Мирового океана.

Продолжая развивать методы дистанционного зондирования и теорию излучения шероховатой водной поверхности, В.С.Эткин анализировал огромное количество публикаций по гидрофизике океана, физике поверхностных и внутренних волн, взаимодействию океана и атмосферы. Теоретические исследования по гидрофизике, необходимые для адекватной интерпретации экспериментальных данных, велись Н.В.Суязовым и В.Г.Пунгиным. Необходимость развития теоретического обоснования нового важного направления нашла поддержку у руководства института. В 1981 году в отделе по предложению Р.З.Сагдеева создается теоретический сектор под руководством С.С.Моисеева. Экспериментальный материал, накопленный в экспедициях ИКИ, послужил мощным катализатором многих теоретических разработок, в частности, по теории волн отрицательной энергии и возникновению когерентных структур в мелкомасштабной турбулентности. Впоследствии эти теоретические разработки использовались для моделирования тайфунов и циклонов. После реорганизации ИКИ в 1983 г., коллектив С.С.Моисеева выделился в самостоятельный отдел космогеофизики.

Для обеспечения надежной интерпретации радиофизических измерений с самолетов и более углубленного исследования связей характеристик поверхности с гидрологическими процессами в верхнем слое океана сотрудники отдела на протяжении ряда лет участвовали в научно-исследовательских рейсах Академии наук. Первая экспедиция состоялась в 1980 г. на НИС „Дмитрий Менделеев". Измерения проводились с помощью радиофизических приборов (радиометры и скаттерометры) и специально разработанных гидрофизических датчиков. В кооперации с Харьковским НИИ „Метрология" созданы новые приборы, предназначенные для определения параметров турбулентных пульсаций скорости и числа Ричардсона.

Работы по радиогидрофизике в 80-х годах пользовались постоянной поддержкой Совета по гидрофизике при АН в лице его председателя – президента АН СССР А.П.Александрова и его заместителей – А.И.Савина и А.В.Гапонова-Грехова, нынешнего председателя Совета. Эта поддержка принесла ощутимую пользу всему институту. Щедрое финансирование прикладных программ, осуществляемых в отделе, позволило ИКИ приобрести большое количество вычислительной техники, оснастить вычислительный центр Института самой мощной в то время отечественной вычислительной машиной БЭСМ-6 и машинами серии ЕС.

Важным этапом в развитии радиогидрофизических исследований стало использование космических радиолокаторов с синтезированной апертурой (длина волны 9,6 см, разрешение 25x25 м), установленных на орбитальных станциях „Космос-1870" („Алмаз-0") и „Алмаз-1". Анализ радиолокационных изо-

no competitors in the wave spectrum studies within the gravity-capillary range.

The studies fulfilled made it necessary to simultaneously solve both radiophysical and hydrodynamic tasks. V.S. Etkin called this new direction the „radiohydrophysics". Though this term was not widely used it rightly reflected the peculiarity of the conducted studies.

At the same time the department was involved in space hydrographic studies for the Navy Central hydrographic administration. Value of this cooperation was indisputable. This made it possible to involve a large number of the Navy hydrographic facilities in subsatellite direct measurements. Later this work gave the birth to a new research field – the World Ocean ecological monitoring.

While developing the remote sensing techniques and the theory of rugged sea surface radiation, V.S. Etkin analyzed a tremendous number of publications on ocean hydrophysics, physics of surface and internal waves and ocean-atmosphere interaction. N.V. Suyazov and V.G. Pungin conducted hydrophysical theoretical studies needed for the experimental data adequate interpretation. The Institute administration supported the proposal of deepening the theoretical studies for this new important direction. In 1981 a new theoretical group was created in the department by the R.Z. Sagdeev's proposal. S.S. Moiseev headed this group. Experimental data accumulated during IKI expeditions served as a powerful catalizer for many theoretical developments in particular, on the negative energy waves theory and the origination of coherent structures in a small-scale turbulence. Afterwards these developments were used for typhoon and cyclone simulation. In 1983 after IKI reorganization Moiseev's team became an independent department for space geophysics.

In order to reliably interpret radiophysical air-borne measurements and investigate in more details correlation of the surface characteristics and the hydrological processes in the ocean upper layer the department participated in the research sea cruises of the Academy of Sciences for several years. The first expedition took place in 1980 onboard the Dmitry Mendeleev research vessel. Measurements were made with radiophysical instruments (radiometers and scatterometers) and specially developed hydrophysical sensors. New devices for determination of the velocity turbulent pulsation parameters and the Richardson number were created in cooperation with the Research Institute Metrologiya (Kharkov).

In 1980s the Council for Hydrophysics of the Academy of Sciences and namely its Chairman, President of the USSR Academy of Sciences A.P. Alexandrov and his deputies – A.I. Savin and A.V. Gaponov-Grekhov (now the Chairman of the Council) supported the radiohydrophysical studies. This support was very useful for the Institute. Generous funding of the applied programs developed at the department allowed IKI to buy many computers, including the most powerful for that time Russian computer BESM-6 and computers of the ES series.

Operation of space radars with a synthetic aperture (wavelength 9.6 cm, resolution 25x25 m) on the orbital stations Cosmos-1870 (Almaz-0) and Almaz-1 became an important stage in the radiophysical research. The radar images analysis gave a lot of details on various processes occurring in the World Ocean and in particular, the characteristics of a large-scale (more

иллюстрации стр. 184

бражений, полученных со спутников „Космос-1870" и „Алмаз-1", позволил детально исследовать разнообразные процессы в Мировом океане и, в частности, характеристики крупномасштабной (от 50 м) части спектра поверхностного волнения, следы разливов нефтепродуктов, сигнатуры крупных течений. В ряде случаев наблюдения из космоса сопровождались подспутниковыми контактными и самолетными измерениями. При помощи космических снимков удалось выявить механизмы генерации внутренних волн под действием океанических процессов (течения, апвеллинг, приливы) и процессов в атмосфере.

В 1992 году В.С.Эткин организовал российско-Американский эксперимент JUSREX'92 (Joint US-Russia Internal Wave Experiment) с использованием самолета-лаборатории ТУ-134СХ, на борту которого находился двухполяризационный радиолокатор бокового обзора „Нить", набор микроволновых радиометров и спектрозональная оптическая аппаратура МКФ-6. Исследования проводились в Атлантическом океане к юго-востоку от Нью-Йорка, в шельфовой экономической зоне США. В эксперименте участвовало научно-исследовательское судно „Академик Иоффе", на котором работали отряды ИКИ, ИПФ, ИО РАН и группа сотрудников Applied Physics Laboratory. Впервые в истории российско-американского сотрудничества российский самолет-лаборатория базировался на территории США.

В 1991–1994 гг. в связи с резким (практически до нуля) уменьшением финансирования прикладных исследований центр тяжести деятельности отдела переместился на исследования окружающей среды. В.С.Эткин принял деятельное участие в международной программе „Природа", которая привела к созданию одноименного природоисследовательского модуля в составе орбитального комплекса „Мир". Установленный по его инициативе на модуле радиометр-поляриметр подтвердил возможность поляризационных радиометрических измерений скорости приводного ветра со спутников и, тем самым, ликвидировал монополию скаттерометрического метода на такие измерения. По своей точности поляризационный радиометрический метод не уступает скаттерометрическому, тогда как по массово-габаритным, стоимостным и энергетическим характеристикам имеет заметное (в два-три раза) преимущество.

В 1994 г. В.С.Эткин предложил новое название для своего отдела – Космические исследования Земли как экологической системы. Это название, одобренное Ученым советом ИКИ, отразило резкую смену приоритетов в исследованиях в последующие годы, уже после кончины В.С.Эткина в 1995 г.

В 1993 г. В.С.Эткин пригласил в отдел известного радиофизика профессора Ю.А.Кравцова, автора 11 монографий по теории волн, статистической радиофизике и нелинейным процессам. Будучи избранным, по предложению В.С. Эткина, заведующим отделом, Ю.А. Кравцов продолжил традиции, заложенные его основателем.

Продолжается анализ и интерпретация экспериментальных данных, полученных в предыдущие годы. В частности, проводятся исследования по нерезонансным механизмам рассеяния электромагнитных волн на мезомасштабной (дециметровой) компоненте волнения (М.И.Митягина, В.В.Яковлев), влиянию дождей на характеристики теплового излучения океана (М.Г.Булатов, Е.И.Скворцов) и механизмам воздействия атмосферы на характеристики рассеяния и радиотеплового излучения океана (А.В.Кузьмин, М.Н.Поспелов, Ю.П.Перфильев). Исследования по поляризационной радиометрии океана были поддержаны грантом ИНТАС (1998 г.). Продолжаются исследования внутренних волн в океане по их поверхностным проявлениям, частично поддержанные в 1997–1998 гг. грантом CRDF (О.Ю.Лаврова).

than 50 m) spectrum range of surface waving, traces of oil spills and large current signatures. In some cases subsatellite direct measurements and airborne measurements accompanied space observations. Mechanisms of the internal wave generation caused by the ocean processes (currents, upwelling and floods) as well as by the atmospheric processes were revealed using space images.

In 1992 V.S. Etkin organized the Russian-American experiment JUSREX'92 (Joint US-Russia Internal Wave Experiment). Two-polarization side-looking radar Nit, a set of microwave radiometers and the spectral-and-zonal optical camera MKF-6 operated onboard the aircraft lab TU-134SKh. Observations were carried out in the US Atlantic shelf zone (southeast to New York). Teams from IKI, Institute for Applied Physics, Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences) and a team from the Applied Physics Laboratory worked on the Akademik Ioffe research vessel. For the first time in the Russian-American cooperation the Russian aircraft lab was based in the USA.

In 1991–1994 environmental studies became the main department activity due to the sharp funding reduction (almost down to zero). V.S. Etkin actively participated in the international program Priroda (Nature) which led to the creation of the Mir orbital station's module with the same name. A radiometer-polarimeter installed on the Priroda module on V.S. Etkin initiative proved the possibility of space-borne radiometric measurements of the near-sea wind velocity and thus eliminated the scatterometry monopoly in these measurements. Radiometric technique is not second to the scatterometric technique in accuracy, however has some (2–3 times) advantages in mass, dimensions cost end energy consumption.

In 1994 V.S. Etkin offered a new name for the department „Space research of Earth as an ecological system". This name approved by the IKI Scientific Council reflected a sharp change of the priorities in the subsequent studies also continued after V.S. Etkin passed away in 1995.

In 1993 V.S. Etkin invited a prominent radiophysicist, professor Yu.A. Kravtsov, an author of 11 books on the theory of waves, statistic radiophysics and non-linear processes, to join the department. For many years the department non-formally cooperated with him on the problems of parametric amplifiers, resonance mechanisms of the ocean thermal radiation („critical phenomena") theory of the wind-driven waving and the chaos predictability. Yu.A. Kravtsov was elected the head of department on V.S. Etkin's proposal and followed the department traditions grounded by its founder.

At present the department conducts studies in several fields. Analysis and interpretation of the previously obtained data is still on. In particular, the following investigations are carried out: non-resonance electromagnetic waves scattering on the mesoscale (decimeter) component (M.I. Mityagina and V.V. Yakovlev), rain influence on the ocean thermal radiation parameters (M.G. Bulatov and Ye.I. Skvortsov), mechanism of the atmosphere influence on the ocean scattering and radiothermal radiation characteristics (A.V. Kuzmin, M.N. Pospelov and Yu.P. Perfiliev). Ocean polarization radiometry studies were supported with the INTAS grant (1998). Investigation of the ocean internal waves based on their surface manifestations continues partially due to the CRDF grant of 1997–1998 (O.Yu. Lavrova). Classification of the unique experimental data accumulated during full-scale experiments in 1973–1992 and

pictures see page 184

При поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) ведутся работы по систематизации уникальных экспериментальных данных, накопленных за время проведения натурных экспериментальных работ с 1973 г. по 1992 г., и составлению электронного банка поверхностных проявлений внутренних волн (М.Д.Раев). Большое внимание уделяется обработке радиолокационных изображений Земли с космических аппаратов ERS, RadarSat и NOAA с целью изучения природных явлений на границе раздела „океан-атмосфера" и оценки масштабов загрязнения нефтепродуктами (К.Ц.Литовченко). Стимулирующую роль в исследованиях океана сыграл приход в отдел в 1994 г. на условиях совместительства К.Д.Сабинина, видного отечественного океанолога мирового уровня.

Другое направление работ – новые масштабные проекты по дистанционному зондированию окружающей среды. Один из них, разрабатываемый во взаимодействии с Институтом океанологии РАН, Институтом физики атмосферы РАН и Научно-исследовательским центром исследования природных ресурсов, предусматривает определение потоков тепла, влаги и импульса в системе океан-атмосфера при помощи радиометрических микроволновых измерений. При установке соответствующих сканирующих устройств на малые космические платформы станет возможным определять изменчивость этих, являющихся важнейшими климатоформирующими факторами, потоков и тем самым прогнозировать изменения в климатической системе Земли.

Совместно с Институтом океанологии РАН, Институтом радиоэлектроники РАН и Научно-исследовательским центром исследования природных ресурсов разрабатывается концепция Российской океанологической системы спутников (РОСС), и ведутся поиски путей ее реализации.

Инициатива ИКИ нашла свое отражение также в проекте „Океан-О", который вступает в 1999 г. в решающую фазу. Перспективные предложения ИКИ по микроволновым методам дистанционного зондирования Земли включены в проект международной космической станции „Альфа".

Усилиями заведующего лабораторией Ю.Г.Трохимовского развит и усовершенствован метод радиометрической спектрометрии волнения на поверхности океана. Речь идет об измерении мелкомасштабной части спектра поверхностного волнения при помощи радиометрических наблюдений океана на разных волнах и под разными углами. В основе радиометрической спектроскопии океана лежит резонансный механизм теплового излучения, выявленный В.С.Эткиным.

Наконец, третье направление работ – перенос основных усилий отдела с океана на сушу. Речь идет, в частности, о практическом применении диэлектрических моделей дисперсных сред, разработанных в ИКИ, к дистанционному анализу почв и снежных покровов (Д.А.Боярский и В.В.Тихонов). Работа в этом направлении проводится также в рамках проекта Федеральной целевой программы „Интеграция", объединяющего усилия ИКИ и Владимирского государственного университета, и в рамках гранта РФФИ, присужденного ИКИ совместно с Алтайским государственным университетом (руководитель В.Л.Миронов). Кроме того, в 1997–1998 гг. отдел сделал серьезную заявку на использование космической информации в интересах экологического мониторинга мегаполиса Москвы (Е.Б.Кудашев).

Таким образом, отдел космических исследований Земли как экологической системы ищет и находит новые приложения своего научно-технического потенциала в современных условиях. Место оборонных исследований теперь прочно заняли фундаментальные дистанционные исследования океана и суши в интересах наук о Земле и прикладные аэрокосмические исследования в интересах народного хозяйства.

иллюстрации стр. 184

creation of a computer data base for surface manifestations of the internal waves (M.D. Raev) are carried out due to the support of Russian Foundation for Basic Research (RFFI). A big deal of attention is paid to processing the Earth radar images obtained from ERS, RadarSat and NOAA spacecraft series in order to investigate natural phenomena at the boundary of the ocean-atmosphere system and to estimate an oil pollution scale (K.Ts. Litovchenko). Prominent Russian oceanologist K.D. Sabinin who came to the department in 1994 stimulated studies of the ocean.

Other kinds of activity are connected with new projects for environment remote sensing. One of these is aimed at determination of the fluxes of heat, moisture and momentum in the ocean-atmosphere system by radiometric microwave measurements. This project is implemented in cooperation with the Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences and the Research Center for Natural Resources. It is possible to determine variations of these fluxes which are the most important climate-forming factors thus forecasting Earth climate change using special scanners installed on small spacecraft.

A concept for the Russian oceanological satellite system (ROSS) is being developed in cooperation with the Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, the Institute of Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences and the Research Center for Natural Resources.

IKI has made several proposals for the Okean-O project which enters the decisive stage in 1999. IKI promising proposals on the Earth microwave sounding were included in the program of the International Space Station.

Head of laboratory Yu.G. Trokhimovsky made a lot of efforts to develop and improve the technique for radiometric spectroscopy of the ocean surface waving. This technique provides for the ocean radiometry of the small-scale surface waving spectral range at various angles and for various waving conditions. Resonance mechanism of the thermal radiation discovered by V.S. Etkin is the base for the ocean radiometric spectrometry.

Finally the third field of the activity is the prevailing percentage of studies conducted for the land and not for the ocean. This concerns application of the dispersed media dielectric models developed at IKI to remote analysis of the soil and snow cover (D.A. Boyarsky and V.V. Tikhonov). This work is conducted within the framework of the Integratsiya (Integration) project of the Federal purpose-oriented program in cooperation with Vladimir State University and due to the RFFI grant for IKI and Altai State University (supervisor V.L. Mironov). Additionally, in 1997–1998 the department made an application for space data usage for the Moscow ecological monitoring (Ye.B. Kudashev).

In 1998 the department obtained a record number of the RFFI grants (12 grants for 29 specialists!).

Thus under new conditions the department for space research of Earth as an ecological system searches for, and finds, new applications for its scientific and technological potential retaining. Fundamental remote studies of the ocean and the land for the Earth sciences as well as applied aerospace studies for the economy have firmly replaced the military-oriented studies.

Отдел космогеофизики

Department for Space Geophysics



В январе 1983 г. дирекцией Института принимается решение о выделении из отдела прикладной космической физики (В.С.Эткин) в самостоятельное подразделение лаборатории космогеофизики (С.С.Моисеев). На базе лаборатории создается отдел прикладных космических исследований, переименованный в 1995 г. в отдел космогеофизики. Заведующим отделом назначается профессор С.С.Моисеев. С 1995 г. отдел возглавляет профессор Н.С.Ерохин. В состав отдела вошли лаборатории теоретической физики и неравновесных процессов в космической среде (С.С.Моисеев); радиометрических систем (Н.К.Смирнов); физики плазмы и термогидродинамики (Н.С.Ерохин); лазерных методов диагностики (Г.П.Арумов); рентгеновской и гамма диагностики (В.М.Панков); дистанционных исследований турбулентных сред (Е.А.Шарков); хаотической динамики (А.И.Нейштадт) с задачами фундаментальных исследований в области физики атмосферы, нелинейной физики, физики плазмы и гидродинамики, а также обеспечения связи между фундаментальными и прикладными исследованиями. Объединяющей основой этих направлений стала проблема самоорганизации и, прежде всего, проблема зарождения крупномасштабных структур в сплошных средах.

В 1983 г. сотрудниками отдела открыт спиральный механизм вихревого динамо – генерация крупномасштабных вихревых структур в атмосфере с мелкомасштабной спиральной турбулентностью (С.С.Моисеев, Р.З.Сагдеев, А.В.Тур, Г.А.Хоменко, В.В.Яновский), а также рассмотрен ряд принципиально важных случаев осуществления вихревого динамо в несжимаемой среде: в спирально-конвективной (С.С.Моисеев, П.Б.Руткевич, А.В.Тур, В.Я.Яновский, работы 1984, 1987 и 1988 гг.); многокомпонентной (А.В.Белян, С.С.Моисеев, А.С.Петросян, 1989 г.); при наличии потоков (В.В.Гварамадзе, А.В.Тур, Г.А.Хоменко, О.Г.Чхетиани, 1987 г.; С.С.Моисеев, Р.З.Сагдеев, А.С.Петросян, О.Г.Чхетиани, 1990 г.). Позднее была теоретически обнаружена спирально-энергетическая неустойчивость в однородной однокомпонентной несжимаемой среде (А.В.Белян, Е.И.Гольбрайх, С.С.Моисеев, О.Г.Чхетиани, 1996 г.).

Практически одновременно начались исследования по другому механизму самоорганизации – турбулентно-волновому динамо, т.е. усилению волн за счет взаимодействия с турбулентно-

In January 1993 the Board of Directors of the Space Research Institute made a decision to separate the laboratory for space geophysics (S.S. Moiseev) from the department for applied space physics (V.S. Etkin) and to found an independent subdivision. The department for applied space research was formed on the basis of this laboratory. In 1995 it was renamed to the department for space geophysics. Professor S.S. Moiseev was appointed the head of the department. In 1995 professor N.S. Erokhin replaced him. The department includes seven laboratories: a laboratory for theoretical physics and non-equilibrium processes in space (S.S. Moiseev), a laboratory for radiometrical systems (N.K. Smirnov), a laboratory for plasma physics and thermohydrodynamics (N.S. Erokhin), a laboratory for lidar monitoring (G.P. Arumov), a laboratory for X- and g-ray monitoring (V.M. Pankov), a laboratory for turbulent media remote sensing (E.A. Sharkov) and a laboratory for chaotic dynamics (A.I. Neistadt).

The department objectives were fundamental studies in atmosphere and nonlinear physics, plasma physics and hydrodynamics, as well as a relationship between the fundamental and applied studies. A self-organization problem and, primarily, a problem of large-scale structure generation in continuous media became the common base for these research trends.

In 1983 the scientists of the department discovered the helical mechanism of the vortex dynamo – generation of large-scale coherent structures in the atmosphere by the small-scale helical turbulence (S.S.Moiseev, R.Z.Sagdeev, A.V.Tur, G.A.Khomenko and V.V.Yanovsky). A number of essential cases of the vortex dynamo occurrence in incompressible media were also considered. These cases included: helical-convective media (S.S. Moiseev, P.B. Rutkevich, A.V. Tur and V.V. Yanovsky; papers issued in 1984, 1987 and 1988); multicomponent media (A.V. Belyan, S.S. Moiseev and A.S. Petrosyan; 1989); media with shear flows (V.V. Gvaramadze, A.V. Tur, G.A. Khomenko, O.G. Chkhetiani, 1987; S.S. Moiseev, R.Z. Sagdeev, A.S. Petrosyan and O.G. Chkhetiani, 1990). Later the helical-energetic instability in a one-component incompressible medium was theoretically predicted (A.V. Belyan, E.I. Goldbraikh, S.S. Moiseev and O.G. Chkhetiani; 1996).

Just at the same time, the department began to study another self-organization mechanism – the wave-turbulent dynamo,

pictures see page 186

стью при наличии источника, например, сдвигового течения (С.С.Моисеев, Н.В.Суязов, В.С.Эткин). В последующем развитии работ по турбулентно-волновому динамо в гидродинамике и усилению волн нулевой энергии заметную роль сыграл В.Г.Пунгин. Для проверки теоретических положений с 1986 г. по 1990 г. проводились планомерные экспериментальные исследования обоих типов динамо на примере зарождения мощных атмосферных вихрей – тайфунов. В ходе совместных с Госкомгидрометом четырех корабельных экспедиций в Тихом океане получены важные результаты, хорошо согласующиеся с разработанными теориями. Было обнаружено семь новых предвестников тайфунов и, в частности, показано, что при их зарождении фрактальная размерность изолиний температуры и корреляционная размерность радиометрического сигнала снижаются. В экспериментально-теоретических исследованиях тропического циклогенеза приняли участие В.М.Веселов, Н.К.Смирнов, В.А.Скачков, А.Давыдов, А.А.Лазарев, И.В.Покровская, Е.И.Шарков, И.Н.Клепиков и др.

Дальнейшие натурные исследования были прерваны из-за отсутствия финансирования, и упор был сделан на разработку аналитических и численных моделей крупномасштабных процессов и обработку экспериментальных данных. Тем не менее, уже полученные результаты позволяют представить достаточно обоснованную картину зарождения тайфунов и двухсуточное их прогнозирование. Исследования затем были продолжены в рамках Государственной научно-технической программы „Безопасность" в приложении к аэрокосмическому мониторингу природных катастроф и темы „Спираль" (С.С.Моисеев, Н.С.Ерохин, Е.А.Шарков, О.Г.Чхетиани, М.В.Алтайский, А.С.Петросян, Н.М.Астафьева, И.В.Покровская, В.М.Панков, А.А.Лазарев, А.В.Белян, В.Л.Красовский).

На основе теории самоорганизации в геофизической среде в последние годы в рамках темы „Спираль", а также разработок для планируемых на МКС „Альфа" экспериментов „Прекурсор" и „Альбедо" идет подготовка к наблюдениям природных катастроф с борта МКС „Альфа" (Н.С.Ерохин, С.С.Моисеев, В.М.Панков, В.И.Щеулов, Е.А.Шарков, Н.К.Смирнов, А.И.Забышный, А.И.Васильева, И.В.Покровская, Н.М.Астафьева, В.Г.Пунгин, В.Л.Прохин, Н.Н.Зольникова и др.). Одновременно разрабатываются новые методы диагностики аномалий в геофизической среде, использующие геометро-статистический подход к обработке натурных данных (Н.М.Астафьева, А.А.Лазарев, Н.С.Ерохин, М.И.Митягина, Н.Н.Зольникова) и программное обеспечение анализа скейлинговых свойств крупномасштабных атмосферных вихрей по данным дистанционного зондирования зон циклогенеза, который позволит выявить характерные структурные особенности атмосферной турбулентности (Н.М.Астафьева, А.А.Лазарев, Н.С.Ерохин, Н.Н.Зольникова, М.И.Митягина) и механизмы ее генерации. Многопараметрическая методика обработки натурных данных включает технику вейвлет-анализа (Н.М.Астафьева), исследование структурных и автокорреляционной функций, мультифрактальных параметров (А.А.Лазарев, Н.С.Ерохин, М.И.Митягина, Н.Н.Зольникова) и др. Исследуются также процессы слияния конвективных ячеек с образованием крупных структур, в частности, для изучения физики механизмов интенсификации тропических возмущений с генерацией тайфуна. В приложении к прогнозу крупномасштабного атмосферного циклогенеза выполняются исследования по электромагнитным индикаторам и предвестникам тайфунов на ионосферных и магнитосферных высотах, связанным с генерацией в областях цик-

иллюстрации стр. 186

i.e. the wave amplification due to its interaction with the turbulence in the presence of a source, for example, a shear flow (S.S. Moiseev, N.S. Suyasov and V.S. Etkin). Later V.G. Pungin played an essential role in studying the wave-turbulent dynamo and the zero-energy waves amplification. To verify the theoretical predictions, a series of regular experiments was fulfilled in 1986–1990. In these experiments the both types of dynamo were studied for the processes of strong atmospheric vortices (typhoons) generation. Important results were obtained during four sea research expeditions fulfilled in the Pacific Ocean in cooperation with the State Committee for Hydrometeorology (Goskomgydromet). They showed a good agreement with the theoretical predictions. Moreover, seven new typhoon precursors were discovered and, in particular, it was shown that typhoon formation was accompanied by a decrease of both the fractal dimension of temperature isolines and the correlation dimension of radiometrical signals. The following specialists participated in the experimental/theoretical investigations of the tropical cyclogenesis: V.M.Veselov, N.K.Smirnov, V.A.Skachkov, A.Davydov, A.A.Lasarev, I.V.Pokrovskaya, E.I.Sharkov, I.N.Klepikov and others.

Later these in situ experiments were interrupted due to the lack of funding. The research was concentrated on an analytical and numerical simulation of the large-scale processes and experimental data processing. Nevertheless the already obtained results show a sufficiently good motivated scenario of the tropical cyclones generation and allow making their two-day forecast. The studies were continued within the framework of the Federal program Bezopasnost (Safety) for space monitoring of natural disasters, and of the Spiral program (S.S. Moiseev, N.S. Erokhin, E.A.Sharkov, O.G.Chkhetiani, M.V.Altaisky, A.S.Petrosyan, N.M.Astafieva, I.V.Pokrovskaya, V.M. Pankov, A.A.Lasarev, A.V.Belyan, V.L.Krasovsky).

At present the department is preparing for natural disasters observations from onboard the International Space Station (ISS). This work is based on the self-organization theory for geophysical media developed within the framework of the Spiral program and planned ISS space experiments Precursor and Albedo (N.S. Erokhin, S.S. Moiseev, V.M.Pankov, V.I. Scheulov, E.A. Sharkov, N.K. Smirnov, A.I. Zabyshny, A.I. Vasilieva, I.V. Pokrovskaya, N.M. Astafieva, V.G. Pungin, V.L. Prokhin, N.N. Zolnikova and others). At the same time new methods of diagnostics of geophysical media anomalies are under development. The methods are based on a geometrical-statistical approach to the experimental data processing (N.M. Astafieva, A.A. Lasarev, N.S. Erokhin, M.I.Mityagina and M.N. Zolnikova). New software is being developed also. It will ease the analysis of the scaling properties for the large-scale atmospheric vortices on the basis of the data, obtained from the cyclogenesis zones remote sensing. This analysis is expected to clarify the typical structure features of the atmospheric turbulence and mechanisms of its generation (N.M. Astafieva, A.A. Lasarev, N.S. Erokhin, M.N. Zolnikova and M.I. Mityagina). The developed multiparametric technique of the in situ data processing is based on the wavelet-analysis (N.M. Astafieva), study of the structural and autocorrelation functions and calculations of multifractal parameters (A.A. Lasarev, N.S. Erokhin, M.I. Mityagina, M.N. Zolnikova, and others). The convective cells merging processes with the formation of large structures are also under consideration. This study makes it possible to analyze the physical nature of the tropical perturbations intensification mechanisms which cause the

логенеза внутренних гравитационных волн, последующего их распространения наверх, коллапса, усиления и возбуждения электромагнитных возмущений, а также проникновением из тропосферы наверх электростатических полей и т.д. (Н.С.Ерохин, Н.Н.Зольникова, В.Л.Красовский). Результаты этих исследований нацелены на разработку системы физических предвестников и индикаторов крупномасштабных атмосферных вихрей.

В части дистанционного зондирования и прогноза тропических циклонов проводятся работы по созданию базы данных атмосферных вихрей (Е.А.Шарков, И.Н.Клепиков, И.В.Покровская), включающей каталог данных и геоинформационный блок о хронологических, гидрометеорологических и кинематических характеристиках крупномасштабных атмосферных возмущений по всей акватории Мирового океана за длительный временной промежуток. Ожидается, что создание такой базы даст возможность развить новые подходы к прогнозу траекторий мощных циклонов на основе системы физических предвестников и индикаторов.

Атмосферные исследования предусматривают также изучение механизмов генерации и эволюции крупномасштабных долгоживущих вихревых структур в атмосферах других планет, процессов образования крупных вихрей типа Большого Красного пятна Юпитера при столкновении с кометами и последующей динамики образовавшихся мощных структур (О.Г.Онищенко).

Проводились теоретические исследования свойств спирально-турбулентной среды. При этом обнаружено снижение турбулентной вязкости и гидродинамического сопротивления в среде со спиральной турбулентностью (А.В.Белян, С.С.Моисеев, О.Г.Чхетиани, 1992–1995, 1997 гг.); выполнен анализ спирального скейлинга и корреляционных связей, а также обоснование колмогоровского режима (М.В.Алтайский, С.С.Моисеев, О.Г.Чхетиани, 1993–1997 гг.); выяснены механизмы генерации спиральности во вращающихся и магнито-гидродинамических средах (Е.И.Гольбрайх, С.С.Моисеев, О.Г.Чхетиани, 1996–1998 гг.); проведен анализ устойчивости киральных сред (А.В.Белян, С.С.Моисеев, В.Г.Пунгин, О.Г.Чхетиани, 1997 г.). Наконец, в самое последнее время показано, что наряду с колмогоровским мелкомасштабным режимом турбулентности, могут реализоваться два новых мелко-масштабных режима и в тех же условиях единый крупномасштабный режим (С.Н.Гордиенко, С.С.Моисеев). Эти результаты, как с точки зрения теории турбулентности, так и ее приложений к природным атмосферным катастрофам носят принципиальный характер.

С 1993 г. отделом совместно с национальным научным центром Украины (ХФТИ) и Харьковским государственным университетом (ХГУ) выполняются теоретико-экспериментальные исследования по использованию неравновесных степенных распределений быстро движущихся заряженных частиц в металлических пленках для непосредственного преобразования ядерной энергии в электрическую – вторично-эмиссионный радиоизотопный источник энергии (С.С.Моисеев, В.М.Балебанов, О.Ю.Нагучев, М.В.Алтайский и Н.С.Ерохин – со стороны ИКИ РАН; В.И.Карась, И.В.Карась, В.И.Муратов, С.И.Кононенко, В.Т.Толок, И.И.Залюбовский, В.Е.Новиков – со стороны ХФТИ и ХГУ).

Важное направление работ отдела составляют плазменные исследования, в том числе, связанные с проблемой электромагнитных эффектов на ионосферных и магнитосферных высотах, индуцированных мощными вихревыми структурами, расположенными в тропосфере. Проводится изучение черенковского и гирорезонансного взаимодействий энергичных заряженных

typhoon generation. Large-scale atmospheric cyclogenesis forecast needs also investigation of the electromagnetic indicators and typhoons precursors in the ionosphere and magnetosphere. They are connected with the internal gravitaty waves generation in the regions of cyclogenesis, their upwelling and collapses as well as the amplification and excitation of the electromagnetic perturbations and penetration of the electrostatic fields from the troposphere to the ionosphere and to the magnetosphere etc. (N.S.Erokhin, N.N.Zolnikova and V.L.Krasovsky). Results of these studies will contribute to the elaboration of a system of physical precursors and indicators of large-scale atmospheric vortices.

In the field of remote sensing and forecasting of tropical cyclones an atmospheric vortices database is being created (E.A.Sharkov, I.N. Klepikov and I.V. Pokrovskaya). This base includes a data catalogue and a geoinformation base containing chronological, hydrometeorological and kinematic characteristics of large-scale atmospheric disturbances over the World Ocean for a long period of time. It is expected that this database will make it possible to develop new approaches to the forecast of large cyclones' trajectories based on a system of physical precursors and indicators.

Atmospheric studies include also analysis of the mechanisms of generation and evolution of large-scale long-living vortex structures in the atmospheres of other planets, processes of generation of large vortices like the Great Red Spot of Jupiter caused by the collisions of comets and planets, and subsequent dynamics of the large-scale structures formed (O.G. Onischenko).

The helical-turbulent medium properties were theoretically analyzed. Decrease of turbulent viscosity and the hydrodynamic drag reduction in a medium with the helical turbulence has been shown (A.V. Belyan, S.S. Moiseev and O.G. Chkhetiani, 1992–1995, 1997). Additionally helical scaling and correlation parameters were analyzed and Kolmogorov's regime of turbulence was substantiated (M.V. Altaisky, S.S. Moiseev and O.G. Chkhetiani, 1993–1997); mechanisms of the spirality generation in the rotating and magneto-hydrodynamic media were elucidated (E.I. Goldbraikh, S.S. Moiseev and O.G. Chkhetiani, 1996–1998); stability of the chiral media was analyzed (A.V. Belyan and S.S. Moiseev, V.G. Pungin and O.G. Chkhetiani, 1997). Recently it has been proved that additionally to the well known Kolmogorov's small-scale regime of turbulence, two new small-scale regimes or a single large-scale regime can be implemented under the same conditions (S.N. Gordienko and S.S. Moiseev). These results are of principal importance for both the theory of turbulence and its application to natural atmospheric disasters.

In 1993 the department in cooperation with the Kharkov Physical and Technological Institute (KhFTI) and Kharkov State University (KhGU) began theoretical and experimental studies on the usage of non-equilibrium power distributions of fast charged particles in metal films for the direct conversion of nuclear energy into the electric one, i.e. a secondary-emission radio-isotope energy source – SERIES (S.S. Moiseev, V.M.Balebanov, O.Yu. Naguchev, M.V. Altaisky and N.S. Erokhin – IKI; V.I. Karas, I.V. Karas, V.I. Muratov, S.I. Kononenko, V.T. Tolok, I.I. Zalubovsky and V.E. Novikov – KhFTI and KhGU).

Plasma physics, including the problem of electromagnetic effects at ionosphere and magnetosphere induced by powerful tropospheric vortex structures, is another important field of research. The problem of the Cerenkov and gyroresonance interactions of the energetic charged particles with the finite-amplitude electrostatic

pictures see page 186

частиц с электростатическими и циркулярно-поляризованными электромагнитными волнами конечной амплитуды, распространяющимися в неоднородной плазме, находящейся в кривом магнитном поле (В.Л.Красовский, Н.С.Ерохин, Н.Н.Зольникова). Исследуются пространственно-временные характеристики волновых пакетов, механизмы сильного ускорения зарядов, формирование солитонных структур, триггерная генерация электромагнитного излучения, самофокусировка волновых пучков. Для низкочастотных колебаний анализируется формирование колмогоровских спектров плазменных колебаний, в особенности, дрейфовой турбулентности (О.Г.Онищенко), определяющей потоки тепла и частиц в неоднородной плазме, релей-тейлоровская неустойчивость ионосферной плазмы (Н.С.Ерохин совместно с М.А.Никитиным и С.В.Мациевским – Калининградский университет). Аналитически и численно изучено распространение мощных пучков электромагнитных волн в неоднородных диэлектриках и плазме, в том числе, образование филаментов, аномальное поглощение волн и нелинейное просветление непрозрачной плазмы (Н.С.Ерохин, С.С.Моисеев, Р.З.Сагдеев, Н.Н.Зольникова совместно с А.П.Фадеевым – ИПМ им.М.В.Келдыша, А.А.Андреевым – ФТИ им.А.Ф.Иоффе). С целью интерпретации поляризационно-спектральных характеристик рассеяния электромагнитных волн в геофизической среде с органикой изучаются особенности распространения электромагнитных волн в киральных средах (Н.С.Ерохин, С.С.Моисеев, О.Г.Чхетиани, Н.Н.Зольникова). В приложении к проблеме генерации излучения в околоземном пространстве исследуется возбуждение электромагнитных полей антеннами малого (по сравнению с вакуумной длиной волны) размера в неоднородной плазме и возникновение структур поля излучения антенны типа резонансных конусов (Н.С.Ерохин, С.С.Моисеев).

В части плазменной астрофизики изучается генерация и распространение электромагнитных волн в электрон-позитронной плазме, что важно для понимания физических процессов в ряде недостаточно изученных астрофизических объектов, таких как магнитосферы пульсаров, аккреционные диски в звездных системах, ядра активных галактик и радиоджеты из них, Вселенная на ранней стадии развития и др. (О.Г.Онищенко).

Выполняемые работы по физике плазмы связаны с целым рядом практических приложений, например, новыми механизмами ускорения зарядов, прохождением пучков радиоволн от солнечных электростанций космического базирования к земной поверхности, прогнозированием распространения радиоволн в околоземном пространстве, связью между космическими аппаратами, просветлением плазменных волновых барьеров, генерацией электромагнитного излучения в волноводе Земля–ионосфера пучками заряженных частиц и т.д.

В рамках темы по применению лазерной техники для дистанционного зондирования земной атмосферы и планет разрабатывался бортовой лидар для КА „Mars Surveyor Program-98" и микроджоульный лидар для задач экологического контроля.

Для проекта „Коронас-Ф" изготавливается рентгеновский спектрометр РПС-1 для исследования физических условий в атмосфере Солнца, предшествующих возникновению вспышек и во время их, путем регистрации и спектрометрии рентгеновского излучения вспышек и предвестников (В.М.Панков, В.Л.Прохин). На борту станции „Мир" (модуль „Спектр") выполнялся эксперимент ГРИФ – исследование космических всплесков и периодических процессов в широком (50 кэВ – 50 МэВ) диапа-

and circular-polarized electromagnetic waves propagating in the inhomogeneous plasma in the curved magnetic field are under investigation (V.L. Krasovsky, N.S. Erokhin and N.N. Zolnikova). Spatial-temporal characteristics of the wave packets, mechanisms of strong acceleration of the charged particles, formation of electromagnetic structures, triggering of the electromagnetic emission and the wave beam self-focusing are studied. For low-frequency oscillations formation for the Kolmogorov's spectra of the plasma turbulence, in particular, the drift wave turbulence (O.G.Onischenko), which controlled heat and particles transports in the inhomogeneous plasma, the Rayleigh-Taylor instability of ionosphere plasma (N.S. Erokhin together with M.A. Nikitin and S.V. Matsievsky from Kaliningrad State University) has been analyzed. Propagation of the powerful electromagnetic wave beams in the inhomogeneous dielectrics and plasma has been considered both analytically and numerically, including plasma filaments formation, anomalous absorption of the waves and nonlinear transillumination of the overdense plasma (N.S. Erokhin, S.S. Moiseev, R.Z. Sagdeev and N.N. Zolnikova together with A.P. Fadeev from the Keldysh Institute of Applied Mathematics and A.A. Andreev from the Ioffe Physical and Technological Institute). In order to interpret the polarization-spectral characteristics of the electromagnetic waves scattering in the geophysical medium with the organic component inclusions, features of the electromagnetic wave interaction with the chiral media are studied (N.S. Erokhin, S.S. Moiseev, O.G. Chkhetiani and N.N. Zolnikova). In the field of the electromagnetic waves generation in the circumterrestrial plasma (N.S. Erokhin and S.S. Moiseev) the excitation of electromagnetic fields by a small-size (in comparison with the vacuum wavelength) transmitting antenna and the formation of the radiation field structures like the resonance cones are investigated.

For the plasma astrophysics, generation and propagation of the electromagnetic waves in the electron-positron plasma are studied. This is important for understanding physics of the processes occurring at a number of poorly studied astrophysical objects like pulsars' magnetospheres, accretion disks in the stellar systems, the nucleus of active galaxies and their radiojets, the Universe at the early stage of its development and so on (O.G.Onishchenko).

There is a number of applications of the plasma physics studies, e. g. new methods of charged particles acceleration, propagation of radiowaves from the space-based solar electric power plants to the Earth's surface, forecast of the radiowaves propagation in the circumterrestrial plasma, radiocommunications between satellites, transillumination of the plasma wave barriers, electromagnetic wave generation by the charged particle beams in the Earth-ionosphere wave-guide and so on.

Onboard lidar for the Mars-Surveyor-Program-98 mission and the microjoule lidar for ecological monitoring were elaborated within the program of the laser technique application to remote sensing of the Earth's atmosphere and the Solar system's planets.

The X-ray spectrometer RPS-1 is being manufactured for the space project Coronas-F. It has been designed for studying physical conditions in the solar atmosphere which precede solar flares and exist during their development. This is done by the detection and spectrometry of the X-ray emission of the solar flares and their precursors (V.M. Pankov and V.L. Prokhin). Space experiment GRIF was performed from onboard the Mir orbital station (module Spektr). It was aimed at the investigation of the cosmic outbursts and periodic processes within a wide energy range (50 keV –

иллюстрации стр. 186

зоне энергий квантов рентгеновского и гамма излучения, а также регистрация потоков нейтронов (В.М.Панков, М.И.Кудрявцев, Ю.Г.Шкуркин – ИКИ; Б.И.Логачев, С.И.Свертилов, А.В.Богомолов, В.В.Богомолов, Ю.И.Денисов, О.В.Морозов – НИИЯФ МГУ; В.И.Лягушин – РКК „Энергия"). Получены важные научные результаты по статистике слабых ~10^{-8} эрг/см^2 космических гамма-всплесков, структуре и характеристикам потоков энергичных электронов на низких L-оболочках под радиационными поясами Земли.

На борту орбитального комплекса „Салют-7–Космос-1686" в период 1985–1988 гг. проведен эксперимент НЕГА по регистрации потоков нейтронов и гамма-квантов (В.М.Панков, В.Л.Прохин, Ю.Г.Шкуркин, В.И.Щеулов – ИКИ); Р.Н.Басилова, Г.М.Блох, Ю.И.Денисов, Г.Ф.Добровольский, С.П.Рюмин, С.В.Шельпов – НИИЯФ МГУ). Была реализована первая апробация в космических условиях методики раздельной регистрации одним детектором нейтронов с энергиями более 30 МэВ и гамма-квантов в диапазоне энергий (1,5–63) МэВ. Полученные результаты позволяют оценить фоновые загрузки подобных приборов в любой точке орбиты под радиационными поясами Земли. Были определены также верхние пределы потоков гамма-квантов от сверхновой 1987А в диапазоне энергий 1,5–4,4 МэВ и 10–63 МэВ.

В эксперименте ТАУРУС изучались нестационарные потоки космического гамма-излучения (космических гамма-всплесков и солнечных вспышек) в околоземном пространстве, а также фоновые условия (В.М.Панков, Л.А.Аванов – ИКИ; Ю.Д.Котов, А.С.Гляненко – МИФИ; В.И.Лягушин – РКК „Энергия"). Эксперимент проводился на специализированном модуле „Спектр" в составе орбитального комплекса „Мир". Помимо ИКИ в создании аппаратуры принимали участие Московский государственный инженерно-физический институт (МИФИ) и Ереванский физический институт (ЕрФИ). В ходе наземной обработки полученных данных проведено подробное изучение спектральных характеристик и временного поведения потоков фонового излучения на различных широтах и в различных геомагнитных условиях; при этом зафиксировано большое количество различных геомагнитных эффектов, связанных с высыпаниями частиц из магнитосферы, получены характеристики нескольких зарегистрированных солнечных вспышек и космических гамма-всплесков.

В лаборатории Н.К.Смирнова выполнялись работы по использованию радиометрических комплексов для дистанционного зондирования атмосферы Земли, в том числе, спутникового мониторинга атмосферной турбулентности.

Важное направление работ отдела, практически с момента его основания, всегда составляли исследования хаотической динамики нелинейных систем. Лаборатория хаотической динамики была создана в середине 80-х годов. Ее возглавил Г.М.Заславский, пришедший на работу в ИКИ уже, будучи одним из ведущих специалистов по теории динамического хаоса. При этом акцент был сделан на развитие и приложение теории в областях, имевших непосредственное отношение к тематике института. Велись, в частности, работы по изучению фрактальной структуры поверхности Марса, фрактальных свойств тайфунов, устойчивости движения астероидов, комет и космических аппаратов. Значительный прогресс был сделан в развитии теории движения заряженных частиц в электромагнитных полях сложной конфигурации. Изучены условия хаотизации и возможности неограниченного хаотического нагрева частиц в таких полях. В случае резонансного взаимодействия частицы с волновым пакетом в магнитном поле обнаружено, что

50 MeV) of the X- and gamma-rays as well as the neutron fluxes detection (V.M. Pankov, M.I. Kudryavtsev and Yu.G. Shkurkin – IKI; B.I. Logachev, S.I. Svertilov, S.I. Bogomolov, A.V. Bogomolov, Yu.I. Denisov and O.V.Morozov – Nuclear Physics Institute of Moscow State University; V.I. Lyagushin – Rocket-Space Corporation Energiya). Important scientific results were obtained for the statistics of weak ~10^{-8} erg/cm^2 cosmic gamma-ray bursts, structure and parameters of high energy electron fluxes measured below the Earth's radiation belts in the vicinity of the magnetic shells with low L-parameter values.

In 1985–1988 the NEGA experiment was conducted onboard the orbital complex Salyut-7–Cosmos-1686 – to detect neutron and gamma-ray quantum fluxes (V.M. Pankov, V.L. Prokhin, Yu.G. Shkurkin and V.I. Shcheulov – IKI; R.N. Basilova, G.M. Blokh, Yu.I. Denisov, G.F. Dobrovolsky, S.P. Ryumin and S.V. Shelpov – Nuclear Physics Institute of Moscow State University). A technique of a separate registration of the neutrons with the energy above 30 MeV and gamma-ray quanta within the energy range of 1.5–63 MeV by a single detector, was tested for the first time in this experiment. Results obtained allowed to estimate the background interference noise of these instruments at any satellite orbit point under the Earth's radiation belts. The upper limits of the gamma-ray quantum fluxes from the Supernova 1987-A in the energy ranges 1.5–4.4 MeV and 10–63 MeV were also determined.

The space experiment TAURUS was aimed at studying non-stationary gamma-ray fluxes (cosmic gamma-ray bursts and solar flares) in the curcumterrestrial space as well as their background (V.M. Pankov and L.A. Avanov – IKI; Yu.D. Kotov and A.S. Glyanenko – Moscow State Engineering-Physical Institute; V.I. Lyagushin – Rocket-Space Corporation Energiya). This experiment was performed on the specialized module Spektr of the Mir orbital complex. The instrumentation was created by IKI with participation of the Moscow Engineering-Physical Institute (MIFI) and the Yerevan Physical Institute (YeFI). While performing TAURUS data processing, the spectral characteristics and the temporal dynamics of background radiation fluxes were analyzed in details for different latitudes and various geomagnetic conditions. In addition a lot of different geomagnetic effects caused by the high energy particle precipitation from the magnetosphere were fixed, and characteristics of several registered solar flares and cosmic gamma-ray bursts were obtained.

The N.K. Smirnov's laboratory applied the radiometric complexes for the Earth's atmosphere remote sensing, including the satellite monitoring of atmospheric turbulence.

Studies of the nonlinear systems' chaotic dynamics have been an important trend of the department activity almost since its foundation. The laboratory for chaotic dynamics was created in the middle of 1980s. It was headed by Prof. G.M. Zaslavsky who was invited to IKI as a leading specialist in the dynamical chaos theory. The accent was made on the theory development and its application in the fields directly related to the Institute's activity. In particular, fractal structure of the Martian surface, fractal properties of typhoons and stability of asteroids, comets and spacecraft orbits were studied. A significant progress was achieved in the development of a theory of the charged particles dynamics in the electromagnetic fields of complex configuration. The conditions of a system chaotization and possibilities of particles' unlimited heating by these electromagnetic fields have been studied. For the particle resonance interaction with wave

pictures see page 186

области хаотической динамики в фазовом пространстве образуют сложную структуру, обладающую квазикристаллической симметрией (так называемая стохастическая паутина). Сходные явления обнаружены и изучены также в некоторых гидродинамических задачах, связанных с возникновением лагранжевой турбулентности или хаоса линий тока. Изучено явление аномальной диффузии, обусловленное наличием полетов Леви – протяженных квазирегулярных участков фазовых траекторий – вблизи фрактальной границы областей регулярного и хаотического движения.

Результаты работы лаборатории в этот период (1985–1990 гг.) отражены в нескольких десятках публикаций в отечественных и иностранных журналах и двух монографиях, изданных в России и за рубежом: Г.М.Заславский и Р.З.Сагдеев „Введение в нелинейную физику" и Г.М.Заславский, Р.З.Сагдеев и А.А.Черников „Слабый хаос и структуры". С конца 1990 г. лабораторией руководит А.И.Нейштадт. В целом направление исследований осталось прежним – исследование механизмов возникновения хаотической динамики в различных задачах физики и теоретической механики. Особый интерес представляют задачи, связанные с так называемым адиабатическим хаосом, когда хаотизация движения связана с разрушением адиабатических инвариантов системы. Замечательным свойством этого механизма возникновения хаотической динамики является то, что движение хаотизуется в большой части пространства при сколь угодно малом отличии параметров системы от значений, соответствующих регулярному движению. Адиабатический хаос был исследован в ряде гидродинамических задач, где явление приводит к хаосу линий тока во всем объеме, доступном течению, или в его значительной части, в отображении, описывающем динамику заряженной частицы в пакете электростатических волн и ряде других. Теория адиабатических инвариантов была использована при исследовании динамики заряженных частиц в различных областях хвоста магнитосферы Земли (цикл совместных работ с отделом Л.М.Зеленого). Эти же или сходные механизмы возникновения хаоса обнаружены и изучены в задачах о системе глобально связанных фазовых осцилляторов (например, джозефсоновских переходов) и о захвате заряженной частицы в режим серфотронного ускорения. Получены важные результаты, развивающие теорию адиабатических инвариантов в многочастотных системах, изучены явления рассеяния на резонансе и захвата в резонанс. Ведутся исследования по теории динамических бифуркаций, изучению явления затягивания потери устойчивости при медленном изменении параметров системы. Исследовались также задачи о движении примесных частиц в гидродинамических течениях, о системе Лоренца при больших числах Рэлея и др.

В отделе защищено 7 докторских (Н.С.Ерохин, А.В.Тур, Г.А.Хоменко, Е.А.Шарков, А.И.Нейштадт, С.М.Першин, О.Г.Онищенко) и 14 кандидатских диссертаций. В настоящее время в нем работает 6 докторов (из них три имеют звание профессора) и 19 кандидатов наук. Сотрудниками отдела опубликованы 3 и представлены к публикации 2 монографии, сделано большое количество докладов на крупных международных конференциях. Опубликовано более 300 статей в научных журналах, включая обзор в УФН. Сотрудники отдела удостоены звания Лауреатов Госпремии СССР (С.С.Моисеев), Госпремии УССР (С.С.Моисеев, Н.С.Ерохин), четыре сотрудника награждены медалями Федерации космонавтики – (С.С.Моисеев, В.И.Щеулов, Н.С.Ерохин, Е.А.Шарков).

packets in the magnetic field it was found out that chaotic dynamics regions formed a complex structure with a quasi-crystal symmetry (so-called stochastic web) in the phase space. Similar phenomena have been revealed for the Lagrangian turbulence or the chaotic streamline origin.

An anomalous diffusion has been also studied. This phenomenon is conditioned by the so-called Levy flights (extended quasi-regular parts of the phase trajectories) near to the fractal boundary which separates the regions with regular and chaotic particle motion.

Results obtained by the laboratory in 1985–1990 were published in several dozens of Russian and foreign journals, and two monographs were issued in Russia and abroad: G.M. Zaslavsky and R.Z. Sagdeev „Introduction to Nonlinear Physics" and G.M. Zaslavsky, R.Z. Sagdeev and A.A. Chernikov „Weak Chaos and Structures".

At the end of 1990 A.I. Neishtadt became the head of the laboratory. He retained the main field of studies – investigation of the chaotic dynamics mechanisms applied to various problems of the physics and celestial mechanics. Problems of a so-called adiabatic chaos when the motion chaotization is conditioned by the destruction of the system's adiabatic invariants, are of particular interest. The remarkable property of this mechanism of chaotic dynamics appearance is that the motion becomes chaotic in the most part of space for any arbitrarily small difference between the system's parameters and the values corresponding to the regular motion. The adiabatic chaos was investigated for a number of hydrodynamic problems where this phenomenon caused streamlines chaos in the whole volume available to flow or in its significant part. The adiabatic chaos was analyzed also for the problem of charged particles dynamics in the electrostatic wave packet and for other cases also. The adiabatic invariants theory was used to study the dynamics of charged particles in the Earth's magnetosphere tail (a number of papers published together with Prof. L.M. Zelenyi's department). These or similar mechanisms of the chaos appearance were founded and studied for the problem of globally coupled phase oscillators (e.g. Josephson's transitions) and for the problem of charged particles capture to the surfatron acceleration regime. The obtained important results extend the adiabatic invariants theory to the multi-frequency systems. Scattering by resonance and a capture due to resonance were studied. The dynamical bifurcation theory and the phenomenon of the stability loss delay under a slow change of the system parameters are being studied. Problems of the admixture particles motion in the hydrodynamic flows, the Lorentz system dynamics for large Rayleigh number and others have also been investigated.

Seven Sci.D. (N.S. Erokhin, A.V. Tur, G.A. Khomenko, E.A. Sharkov, A.I. Neishtadt, S.M. Pershin and O.G. Onischenko) and fourteen Ph.D. theses were defended in the department. At present six employees have Sci.D. (three of them are professors) and nineteen – Ph.D. Three scientific monographs have been published and two – submitted to publishers. A lot of presentations were made at large international conferences, and more than 300 papers were published in scientific journals, including the review in Russian journal Uspekhi Fizicheskikh Nauk. Department employees were honored by the USSR State Award for Science and Technology (S.S. Moiseev) and the Ukraine State Award (S.S. Moiseev and N.S. Erokhin). Four employees were awarded by the medal of the Russian Cosmonautics Federation (V.I. Scheulov, S.S. Moiseev, N.S. Erokhin and E.A. Sharkov).

иллюстрации стр. 186

Лаборатория методов дистанционного зондирования



Laboratory for Remote Sensing Techniques

Лаборатория дистанционных методов зондирования Земли была переведена в ИКИ распоряжением Президиума АН в 1981 г. из Института океанологии (ИОАН) и вошла в состав отдела солнечно-планетных связей. После расформирования отдела она становится самостоятельным подразделением. Сначала лабораторию возглавляет М.С.Малкевич, а после его смерти в 1989 г. – А.К.Городецкий.

В ИФА АН лаборатория была организована в 1962 г. в отделе атмосферной оптики (зав. отделом Г.В.Розенберг) специально для развития дистанционных методов зондирования. Первые космические эксперименты выполняются сотрудниками лаборатории в марте 1967 г. и сентябре 1969 г. на спутниках типа „Космическая стрела". Был создан целевой комплекс бортовой научной аппаратуры „Актин" (А.М.Касаткин, А.К.Городецкий, В.И.Сячинов), включающий сканирующие телефотометры, широкоугольные и узкоугольный ИК-радиометр и телевизионную камеру, а также специализированные стенды для исследования и калибровки аппаратуры. В результате этих экспериментов получены данные об угловой и спектральной структуре отраженного солнечного излучения и собственного теплового излучения Земли, отработана методика дистанционного определения макрохарактеристик облачности, включая высоту верхней границы облаков, их оптической плотности и фазового состава воды (капли, лед) в облаках (В.И.Сячинов, А.К.Городецкий, Е.М.Козлов.). Измерения в области спектра 10,5–11,5 мкм проводились с помощью радиометра оригинальной разработки (А.К.Городецкий). По их результатам разработан метод определения температуры морской поверхности и температуры верхней границы облаков с точностью определения температуры подстилающей поверхности 2 К. Оптическая схема радиометра была в последующем успешно использована для исследования Марса и Венеры.

Дистанционные исследования системы „поверхность-атмосфера", проводимые с помощью малых оптических спутников, выявили ряд задач атмосферной оптики, для изучения которых требовались дополнительные экспериментальные работы, а также теоретические исследования по фундаментальной проблеме переноса излучения в рассеивающей и поглощающей средах. Создание надежной интерпретационной базы для реше-

In 1981 the laboratory for Earth remote sensing techniques was moved from the Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences (IO AN) to IKI by a decree of the Presidium of the Academy of Sciences. It became a part of the department for physics of the Solar system's planets and small bodies. M.S. Malkevich was the first head of the laboratory. After his death in 1989 A.K. Gorodetskiy hold this position.

The laboratory was established at the Institute of Atmospheric Physics of the USSR Academy of Sciences (IFA AN) at department for atmospheric optics headed by G.V. Rosenberg. The laboratory was targeted at the development of the remote sensing techniques. The laboratory's employees fulfilled the first space experiments in March 1967 and September 1969 on the satellites of the Kosmicheskaya strela (Space Arrow) type. A.M. Kasatkin, A.K. Gorodetskiy and V.I. Syachinov developed a target-oriented set of scientific onboard instruments Aktin, which consisted of scanning telephotometers, wide- and narrow-angle IR radiometers and a TV camera. Specialized benches for the instrumentation testing and calibration were also fabricated. These experiments provided data on the angular and spectral structure of the reflected solar radiation and the terrestrial thermal radiation. In addition a technique for the remote determination of the clouds' macro characteristics was processed (V.I. Syachinov, A.K. Gorodetskiy and Ye.M. Kozlov). The characteristics included an altitude of the clouds' upper boundary, clouds' optical density and water phase composition (drops, ice). A radiometer of an original design by A.K. Gorodetskiy imaged in the band of 10.5–11.5 μm. The data obtained made it possible to develop a technique for determining the sea surface temperature and the temperature of the cloud upper boundary with an error of the surface temperature determination of 2 K. The radiometer's optics design was effectively used also for the instruments destined for the studies of Mars and Venus.

„Surface-atmosphere" system remote sensing from small optical satellites showed a range of the atmospheric optics tasks, which needed additional experimental studies together with the theoretical studies in the fundamental problem of the radiation transfer in the scattering and absorbing media. Creation of a reliable interpretation base for the solution of the direct and

pictures see page 187

ния прямых и обратных задач переноса излучения предусматривало сопоставление данных спутниковых измерений с независимой информацией (валидация спутниковых измерений). В качестве источников таких данных используются измерения на контрольных полигонах и данные измерений, проводимых с борта самолета. Для этой цели в лаборатории был создан комплекс бортовой аппаратуры, который эксплуатировался на самолете ИЛ-14 в течение 8 лет в ряде районов с различными характеристиками „оптической погоды", включая районы с континентальным и морским типом аэрозоля. В этот комплекс входили 2 сканирующих 6-ти канальных телефотометра с комплектом узкополосных интерференционных фильтров на область спектра 400–1030 нм, сканирующий ИК-радиометр СА с комлектом узкополосных интерференционных фильтров на область спектра 6–13 мкм, ИК-радиометр ИРА с фильтрами в ближнем ИК-диапазоне 1,6–3 мкм, а также блок приборов для исследования коэффициентов рассеяния в облаках, включающий нефелометр и лидар на области спектра 0,53 и 1,06 мкм. Для получения независимой информации использовались аэрозольные импакторы, а также датчики давления, температуры и влажности забортного воздуха. Этот аппаратурный комплекс позволил провести измерения спектральной и угловой структуры падающего и отраженного солнечного излучения, изучить высотную изменчивость радиации в безоблачных и малооблачных условиях и исследовать генерацию собственного теплового излучения и его трансформацию в атмосфере. По результатам измерений получены данные о коэффициентах яркости поверхностей различных типов суши, исследованы особенности пространственной спектральной структуры коэффициентов яркости водной поверхности в условиях Белого, Охотского и Черного морей для различных условий волнения. Исследована пространственная структура неоднородностей облаков различных типов, и, в частности, для слоистых облаков определены характерные масштабы зон с большой оптической плотностью и разрывами между ними. В этих экспедициях принимали участие как сотрудники лаборатории (В.В.Бадаев, А.К.Городецкий, Е.М.Козлов, А.И.Орлов, В.И.Сячинов), так и других подразделений и организаций, проводившие измерения по согласованной комплексной программе (В.Капустин с аэрозольными импакторами – ИФА; В.Троицкий – измерения в СВЧ-диапазоне 1,35 см, НИРФИ и др.). Измерения высотной структуры излучения с борта самолета сопровождались независимыми оптическими наземными измерениями.

Радиометрические измерения в ИК-диапазоне с использованием ИК-узкоугольного светосильного радиометра (А.К.Городецкий, А.П.Орлов) были продолжены на спутниках „Космос-243 и –384" по программе, включающей синхронные измерения в СВЧ-диапазоне радиометрами на длины волн 0,8, 1,35 и 3,2 см (А.С.Гурвич – ИФА АН, а также А.Е.Башаринов, Б.Г.Кутуза – ИРЭ АН). В подготовке и выполнении программы этих экспериментов значительную помощь оказал Г.А.Скуридин. Обработка данных синхронных измерений Земли в ИК и СВЧ-диапазонах позволила развить методику зондирования как открытых районов океана, так и шельфовых зон, и стала основой для определения преобладания фазы (вода, лед) в облаках. Метод внедрен в практику Госкомгидромета.

Опыт проведения спутниковых измерений по программе „Актин" и апробирование „кислородной" методики определения оптической толщины аэрозоля был положен в основу спектро-

inverse problems of the radiation transfer required for the comparison of the satellite data and an independent information (satellite data validation). The latter was obtained on the test sites and from aircraft. For this purpose the laboratory developed an onboard instrumentation system which operated onboard the IL-14 aircraft for eight years. The system imaged regions with various properties of the „optical weather", including the regions with the continental and sea aerosol types. This system integrated two scanning 6-band telephotometers with a set of narrow-band interference filters for the spectral band of 400–1030 nm, a scanning radiometer SA with a set of narrow-band interference filters for the spectral band of 6–13 μm, an IR radiometer IRA with filters for the near IR band of 1.6–3 μm and the instruments for studying the scattering coefficients in clouds. These units consisted of the nephelometer and a lidar for the spectral bands of 0.53 and 1.06 μm. In order to obtain independent data aerosol impactors were used in parallel with the sensors of pressure, temperature and humidity of the ambient air. These instruments made it possible to measure spectral and angular structures of the incident and reflected solar radiation, to study the radiation altitudinal variability for the clear and a bit cloudy sky and to study terrestrial thermal radiation generation and its transformation in the atmosphere. The measurements provided for the determination of the albedo for the various land types and of the spatial spectral structure of the sea surface albedo for the White Sea, the Sea of Okhotsk and the Black Sea in various waving conditions. Spatial structure was studied for the various clouds type heterogeneity, and characteristic scales of the zones with high optical density and gaps in-between them were determined for the stratus. The expeditions were formed of the laboratory employees (V.V. Badaev, A.K. Gorodetskiy, Ye.M. Kozlov, A.I. Orlov and V.I. Syachinov) and specialists from other departments and institutions who conducted measurements according to an agreed program (V. Kapustin – aerosol impactors (Institute of Atmosphere Physics); V. Troitsky – microwave measurements (Research Radio Physical Institute (NIRFI)) and others. Radiation altitudinal variability profiles were determined by airborne measurements in combination with independent optical in situ measurements.

The Cosmos-243 and -384 satellites equipped with the IR narrow-angle wide-aperture radiometer continued radiometric measurements in the infrared band (A.K. Gorodetskiy, A.P. Orlov). The measurement program included synchronous microwave radiometer measurements at 0.8, 1.35 and 3.2 cm wavebands (A.S. Gurvich (IFA AN); A.E. Basharinov, B.G. Kutuza (Institute of Radio Engineering and Electronics of the Academy of Sciences)). G.A Skuridin made significant contribution to these experiments preparation and execution. Processing of the data obtained during the Earth synchronous observations in the infrared and microwave bands made it possible to develop a technique for sensing both open sea surfaces and shelf zones. It became the basis for the determination of the prevailing in the clouds water state phase (water or ice). This technique is now used by the Federal Center for Weather Forecasting.

The experience gained during the Aktin program satellite measurements and while testing the „oxygen" technique for the determination of the aerosol optical thickness became a base for the spectrometric studies in the Intercosmos program. Specialists from IKI RAN (V.V. Badaev, M.S. Malkevich, V.I. Syachinov,

иллюстрации стр. 187

метрических исследований по программе „Интеркосмос". Специалистами ИКИ АН (В.В.Бадаев, М.С.Малкевич., В.И.Сячинов, Г.И.Терехин) совместно со специалистами АН ГДР (Г.Циммерман, К.Бахман и др.) была разработана спектрометрическая 18-канальная аппаратура МКС-М на область спектра 404–880 нм. Аппаратура прошла апробацию на спутниках „Интеркосмос-20, -21" и пилотируемой станции „Салют-7" в 1983–1987 гг. В работе с аппаратурой МКС-М на борту станции принимали участие космонавты Г.М.Гречко, В.А.Соловьев, В.П.Савиных и другие. Спутниковые измерения сопровождались работой на морских полигонах с борта НИС „Академик Вернадский", „Профессор Колесников", „А. Фон Гумбольдт" и др.

Многоспектральные измерения были затем продолжены с помощью модифицированного прибора МКС-М2, установленного на управляемой поворотной платформе АСП-Г-М модуля „Квант-2" орбитальной станции „Мир". Методы обработки данных и точность решения обратных задач были проверены в подспутниковых экспериментах на полигонах „Черное море–Интеркосмос-83,85". „Атлантика-87", „Карибэ-88" и др. в рамках проектов „Космометрия", „Исследование динамики геосистем" (суша), „Изучение Мирового океана дистанционными методами". Одним из важных результатов стал вывод о перспективности спектрально-угловых методик зондирования, учитывающих пространственно-временные вариации состояния системы „поверхность-атмосфера".

Результаты этих исследований использованы при разработке и создании сотрудниками лаборатории (М.С.Малкевич, В.В.Бадаев, Г.И.Терехин) совместно с германскими специалистами (Г.Циммерман и др.) видеоспектрометра „МОЗ-Обзор". В течение 1997–1998 гг. проводились его летные испытания на модуле „Природа" станции „Мир" по программе международного проекта МЦКП „Природа" (головная организация – ИРЭ АН, руководитель Н.А.Арманд).

В ИК-диапазоне значительные погрешности в данные спутниковых измерений вносит неучет пространственно-временных вариаций аэрозольного ослабления. Разработка надежных методов учета аэрозоля проводилась сотрудниками лаборатории на основе самолетных, судовых и наземных исследований прозрачности атмосферы и трансформации излучения в реальной атмосфере. Были предложены угловой и спектрально-угловой методы, реализованные в дальнейшем на спутниках „Космос-1076, -1151" с помощью 10-канального спектрорадиометра, измеряющего угловое распределение излучения и степень его поляризации в направлениях 0°, 48° и 54° к надиру (А.К.Городецкий). Разработка аппаратуры проводилась в ЦКБ „Геофизика" (В.А.Хрусталев, Б.Г.Кораблев, В.И.Хлопов, Г.И.Щустер и др.). Применение спектрально-угловой методики измерений, согласованной с методикой решения обратных задач, позволило определить температуру поверхности океана с погрешностью единичного измерения 0,5–1 К и оценить вариации оптической толщи атмосферы в ИК-диапазоне. Полученные результаты стали прорывом в десятилетних попытках улучшения точности измерения температуры морской поверхности, как в нашей стране, так и за рубежом. В дальнейшем спектрально-угловой метод, впервые разработанный для ИК-диапазона, был использован на модуле „Квант-2" станции „Мир" для измерений отраженной солнечной радиации в видимом диапазоне с помощью спектрометра МКС-М2 с целью решения задач экологического контроля (А.И.Ляпустин, Н.А.Князев и Е.М.Козлов).

G.I. Terekhin) in cooperation with specialists from the Academy of Sciences of the former German Democratic Republic (G. Zimmermann, K. Bahmann and others) developed an 18-band spectrometer MKS-M (404–880 nm).The system was tested on the Intercosmos-20, -21 satellites and the manned orbital station Salyut-7 in 1983–1987. Cosmonauts G.M. Grechko, V.A. Soloviov, V.P. Savinykh and others participated in these experiments. These satellite observations were accompanied with the measurements on the sea sites from board the sea research vessels „Academician Vernadsky", „Professor Kolesnikov", „A.von Humbolt" and others.

The modified instrument MKS-M2 continued multispectral measurements from the orbital station Mir. MKS-2M was mounted on the ASP-G rotational platform of the Kvant-2 module. Data processing techniques and the accuracy of the reverse problem solution were checked during subsatellite experiments at the sites „Black Sea–Intercosmos-83, -85", „Atlantika-87", „Carribe-88" and others within the framework of the projects Cosmometry, Studies of the geosystems dynamics (land) and the World Ocean remote sensing. A conclusion on the efficiency of the spectral and angular sensing techniques with due consideration to the spatial and temporal variations of the surface-atmosphere system state was one of the most important results.

The results of these studies were used for designing the MOZ-Obzor imaging spectrometer. The instrument was developed by the laboratory employees (M.S.Malkevich, V.V.Badaev and G.I.Teriokhin) in cooperation with German specialists (G.Zimmermann and others). In 1997–1998 the instrument flight tests were conducted onboard the Priroda module of the Mir orbital station within the framework of the Priroda international project (Institute of Radio Engineering and Electronics of the Academy of Sciences was responsible for the project and N.A. Armand was the project supervisor).

Neglection of the aerosol attenuation spatial/temporal variations contributes considerable errors to the satellite IR measurements. The laboratory developed reliable techniques of the aerosol consideration based on the airborne, seaborne and ground-based studies of the atmosphere transparency and radiation transformation in the real atmosphere. Angular and spectral angular techniques were proposed (A.K.Gorodetskiy) and then implemented in a 10-band spectroradiometer which operated onboard the Cosmos-1076 and -1151 satellites. The radiometer measured angular radiation distribution and the degree of radiation polarization at 0°, 48° and 54° off the nadir. The instrument was developed at the „Geophysics" Central Design Bureau (V.A.Khrustaliov, B.G.Korabliov, V.I.Khlopov, G.I.Shchuster and others). A spectral angular measurement technique was agreed with the inverse problem solution technique. This made it possible to determine the sea surface temperature with an accuracy of 0.5–1 K and to estimate the atmosphere's optical depth in the infrared band. The results obtained became a break out after ten-year attempts to improve the accuracy of the sea surface temperature measurements both in Russia and abroad. Then for the first time the spectral angular technique was tested for the infrared band. It was also implemented on the Kvant-2 module of the Mir station while measuring the reflected solar radiation in the visible band using the MKS-M2 spectrometer for ecological monitoring (A.I.Lyapustin, N.A.Knyazev and Ye.M.Kozlov).

pictures see page 187

Качественно новые возможности в решении климатических задач и задач экологического контроля, измерении содержания малых газовых компонент в атмосфере, а также в определении метеопараметров состояния атмосферы дает использование Фурье спектрометров высокого спектрального разрешения. С учетом того, что их создание является весьма дорогостоящим, был разработан базовый прибор с программно-перестраиваемыми характеристиками и спектральным разрешением 0,1−0,5 $см^{-1}$ в диапазоне 2−15 мкм. В настоящее время сотрудники лаборатории участвуют в создании бортового Фурье-спектрометра для метеопрогноза и экологического мониторинга, разработка которого началась в 1993 г. в Исследовательском центре им.М.В.Келдыша. Прибор предполагается установить на метеоспутник „Метеор-3М" №2 (запуск в 2002 г.) для решения задач метеопрогноза и на российский сегмент Международной космической станции (МКС). Основной задачей измерений станет получение вертикальных профилей температуры, влажности, озона, общего содержания малых газовых составляющих атмосферы и оптической толщи аэрозоля. Особенностью задач, решаемых на МКС, будет сочетание измерений на надирных и наклонных трассах с лимбовыми измерениями. Для учета вариаций аэрозоля в метеорологических и природноресурсных задачах возможно применение спектрально-углового метода. Для контроля прозрачности атмосферы по Солнцу с целью измерения концентрации малых газовых составляющих и определения их высотного распределения необходимы лимбовые измерения. Такая работа требует большой методической подготовки, численного моделирования и оптимизации, как характеристик прибора, так и бортовой системы обработки интерферограмм в режиме квазиреального времени, определения объема передаваемой по телеметрии информации. Эти вопросы, наряду с задачей развития адекватных методов решения обратных задач, и являются в настоящее время предметом исследования.

иллюстрации стр. 187

Fourier-spectrometers of high spectral resolution provided a new quality in solving climatic and ecological tasks, measuring the contents of small gas components in the atmosphere and determining meteorological parameters of the atmosphere. Though the development cost was high, a new instrument was developed. It had spectral resolution of 0.1−0.5 cm^{-1} within a band of 2−15 μm and a programmable performance. At present the laboratory is involved in designing the onboard Fourier-spectrometer for weather forecasting and ecological monitoring. The instrument development began in 1993 at the Keldysh Research Center. The flight is planned for 2002 onboard the Meteor-3M No.2 weather satellite. This spectrometer will operate for the weather forecasting service and the Russian segment of the International Space Station. The measurements will provide for the derivation of the vertical profiles of the temperature, humidity, ozone, total contents of small gas components and the aerosol optical depth. The tasks solved on the ISS will be distinctive in combination of the nadir and off-nadir measurements with the limb measurements. Spectral angular technique could be efficient for solving the weather and Earth sciences tasks with due consideration to the aerosol variations. In order to monitor the atmosphere's transparency by the Sun while measuring concentrations of the small gas components and determining their vertical distribution limb measurements are necessary. This work needs a serious methodological base, numerical simulation and optimization of both the instrument characteristics and the performance of the onboard system for processing the interferograms in a quasi-real time as well as determining the scope of the telemetry. These problems together with the development of the adequate techniques for the inverse problem solution, are the subjects of the present studies.

Лаборатория сверхдальней радиоинтерферометрии



Laboratory for very-long-baseline radio interferometry

История создания и развития радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) непосредственно связана с освоением космического пространства. В конце 50-х годов стартуют первые космические ракеты – Лунники. Радиоастрономы измеряют траектории их движения с помощью радиоинтерферометра. Этот же метод используется ими для обнаружения потоков плазмы, покидающих Солнце. Радиоинтерферометр закладывается в основу измерительного комплекса Центра дальней космической связи (ЦДКС, г. Евпатория). Активное участие в этой работе принимали радиоастрономы ФИАН и ГАИШ. На инструментах ЦДКС они проводят широкую программу исследований радиоисточников, методом „покрытий Луной" открывают источник релятивистских частиц в Крабовидной туманности, обнаруживают высокочастотные избытки в спектрах квазаров, в том числе в квазаре 3С 273, находят и объясняют переменность их радиоизлучения. Затмения происходят крайне редко, нужен был более эффективный инструмент.

Решение было найдено весной 1962 г. в виде радиоинтерферометра с „независимыми" элементами – антеннами, оснащенными когерентными гетеродинами и системами регистрации сигналов на магнитных носителях, с последующей совместной обработкой данных на ЭВМ. В этом случае длина базы не ограничена, и угловое разрешение может быть сколь угодно высоким. Для проверки идеи было все необходимое: большие антенны, атомные стандарты частоты аммиачного типа и магнитофоны с полосой регистрации 100 кГц. Осенью этого же года метод радиоинтерферометрии со сверхбольшими базами докладывается на семинарах на Радиоастрономической станции ФИАН в Пущино и в ГАИШ. Решение в первом случае – это невозможно, во втором – срочно запатентовать, что, в свою очередь, накладывало запрет на публикацию.

В мае 1963 г. ЦДКС посетил известный радиоастрономом Бернард Ловелл, с которым Л.И.Матвеенко обсуждал идею РСДБ. Как радиофизик он по достоинству оценил предложенный метод, но высказал сомнение в целесообразности очень высоких угловых разрешений, так как известные „точечные" источники имеют очень слабое радиоизлучение. „Точечный" же радиоисточник в Крабовидной туманности и квазары (квазизвездные объекты) были лишь на пороге открытия. Присутствовавший при этом обсуждении И.С.Шкловский прозорливо отметил: „Может быть яркие компактные радиоисточники неизвестны, потому что их

The history of the very-long-baseline radio interferometry (VLBI) is closely connected with space exploration. At the end of the 1950s the first space vehicles – Lunniki, were launched. Radio astronomers measured their trajectories using radio interferometer. This technique enabled detection of the plasma flow leaving the Sun. A radio interferometer was the core element of the measuring system at the Deep Space Communications Center (Evpatoria). Radio astronomers from the Lebedev Physical Institute (FIAN) and the Sternberg State Astronomical Institute (GAISh) actively participated in this project. Working at the Deep Space Communications Center they studied radio sources by the „lunar occultation" technique, discovered a source of the relativistic particles in the Crab nebula and high frequency excesses in the quasar spectra, including the 3C 273 quasar, and found and explained their radio emission variability. The radio sources' occultation by the Moon is a unique event. Thus a more efficient instrument was necessary.

The solution was found in spring 1962. This was a radio interferometer with „independent" elements – antennas with coherent heterodynes and systems for signal registration on a magnetic tape and this data subsequent correlation processing. In this case the baseline is unlimited and the angular resolution can be as high as desirable. The scientists had everything they needed for this idea verification. Large antennas, frequency atomic standards of the ammonia type and magnetic tape recorders with the 100 kHz band were available. That autumn a technique for the very-long-baseline radio interferometry was presented at the seminar at the Radioastronomy Station of Lebedev Physical Institute (Pushino, Moscow region) and in GAISh. The first meeting decided that it was impossible and the second meeting concluded to patent the invention that in its turn forbade any publication.

In May 1963 Bernard Lovell, a well-known radio astronomer visited the Deep Space Communications Center and we discussed the VLBI idea proposed. Being a radio physicist he highly assessed the technique but expressed certain doubts in the efficiency of the high angular resolution as the known point sources had low-level radio emission. The point radio source in the Crab nebula and the quasars (quasi-stellar objects) were just on the threshold of their discovery. I.S. Shklovsky participated in the meeting and perceptively noticed that the brightest compact radio sources were possi-

pictures see page 188

нечем было измерить?". В результате обсуждения был подписан Меморандум о создании радиоинтерферометра Евпатория – Джодрелл Бэнк на волне 32 см. Б.Ловелл выехал в США, где обсуждал эксперимент со своими коллегами. В декабре 1963 г. Патентное бюро дало разрешение на публикацию, и статья „О радиоинтерферометре с большой базой" (Л.И.Матвеенко, Н.С.Кардашев и Г.Б.Шоломицкий, Радиофизика, 1965, 4, 651) была направлена в печать и опубликована после исключения редколлегией журнала слов о возможности использования в составе интерферометра космического спутника. Метод РСДБ был реализован в 1967 г. учеными США и, независимо, – Канады.

В феврале 1968 г. М.Х.Коуэн (CalTech) и К.И.Келлерман (NRAO) обратились в ФИАН к В.В.Виткевичу с предложением провести эксперимент на межконтинентальной базе между 22-м антенной в г. Пущино и 43-м антенной в Грин Бэнк на волне 3 см по исследованию компактных радиоисточников с предельным угловым разрешением. Это были годы „холодной" войны, и реализация такого сложного эксперимента ограничивалась не только техническими причинами. Авторитет ФИАНа и личное участие Н.Г.Басова, М.В.Келдыша, В.А.Котельникова и Д.В.Скобельцина позволили преодолеть эти трудности. 23.07.68 г. американской стороне было дано согласие на проведение эксперимента. Руководство с советской стороны возложено на Л.И.Матвеенко. Наблюдения были организованы на РТ-22, но не в г. Пущино, а на аналогичном радиотелескопе КрАО в Крыму, вблизи поселка Симеиз. Директор КрАО А.Б.Северный, его заместитель А.А.Боярчук и руководитель РТ-22 И.Г.Моисеев приняли самое активное участие в этой работе.

Основой РСДБ являются новейшие технологии, широкое международное сотрудничество и высокая оперативность работы. Необходимо было создавать специальное подразделение, отвечающее этим требованиям. В это время И.С.Шкловский организует в ИКИ отдел астрофизики и приглашает Л.И.Матвеенко возглавить в нем сектор РСДБ. Директор ФИАН Д.В.Скобельцин, его заместитель Н.Г.Басов и заведующий лабораторией В.В.Виткевич понимали значимость направления РСДБ и с большим вниманием относились к этой работе. Совместно с директором ИКИ Г.И. Петровым они приняли решение о передаче РСДБ – направления в ИКИ. Официально сектор РСДБ был создан в отделе астрофизики ИКИ 18.07.1969 г. На него возлагалась задача создания и развития техники и методов исследований, включая применение космических средств для исследований астрономических объектов.

Необходимо было установить параметры исследуемых объектов и на их основе определить технические требования и возможности реализации космического радиоинтерферометра. Без этих данных нельзя было, в частности, осуществить советско-французский проект с базой Земля–Луна (предложение Н.С.Кардашева). Исследования радиоисточников с предельным угловым разрешением в условиях Земли позволяли найти компактные источники, измерить их угловые размеры и яркостные температуры, определить влияние межзвездной среды. Для этого приступили к созданию элемента интерферометра на основе большого радиотелескопа в Нансе, в МГПИ под руководством И.А.Струкова разрабатывается высокочастотная аппаратура на волну 18 см (линия гидроксила).

В январе 1969 г. были согласованы технические условия с NRAO, а в сентябре–октябре 1969 г. в Советский Союз приезжает Б.Кларк, К.Келлерман и Д.Пайн с аппаратурой, и проводятся наблюдения на радиоинтерферометре Симеиз–Грин Бэнк на волнах 6 см и 2,8 см. Угловое разрешение радиоинтерферометра достигает предельного значения ~0,001". Данные обрабатываются на

bly unknown because there was no tool to measure them. The discussion resulted in signing a Memorandum on the Evpatoria–Jordrell Bank radio interferometer creation. The interferometer had to operate at a wave of 32 cm. B. Lovell went to the USA in order to discuss the experiment with his colleagues. In December 1963 the Patent Bureau allowed to publish an article. The article „On the long-baseline radio interferometer" (L.I. Matveyenko, N.S. Kardashev and G.B. Sholomitsky, Radiofizika, 1965, No.4, p.651) was published after the editorial board excluded several words on a possibility of the interferometer's space-based segment. The technique was implemented in 1967 by the U.S. scientists and independently – by the Canadian teams.

In February 1968 M.H. Cohen (CalTech) and K.I. Kellermann (NRAO) offered to V.V. Vitkevich, Lebedev Physical Institute to conduct an experiment with an intercontinental baseline between the 22 m antenna (Pushino) and the 43 m antenna (Green Bank) at a wave of 3 cm. The experiment was aimed at studying compact radio sources with the superhigh angular resolution. These were the years of the cold war and the implementation of this sophisticated experiment was limited due to not only technical reasons. The Lebedev Physical Institute authority and participation of N.G. Basov, M.V. Keldysh, V.A. Kotelnikov and D.V. Skobeltsin enabled to overcome these difficulties. On July 23, 1968 the U.S. scientists were permitted to perform the experiment. L.I. Matveyenko was the experiment PI from the Soviet side. The observations were organized from the RT-22 antenna not in Pushchino but from the similar radiotelescope at the Crimea Astrophysical Observatory not far from Simeiz. The observatory director A.B. Severnyi, his deputy A.A. Boyarchuk and RT-22 PI I.G. Moiseev were involved in this project.

The very-long-baseline radio interferometry was based on the most up-to-date technologies, a wide international cooperation and a high efficiency of the work. There was a need in a special division which could satisfy all these requirements. At that time I.S. Shklovsky established a department for astrophysics at IKI. He invited L.I. Matveyenko to head the sector for the very-long-baseline radio interferometry. Lebedev Physical Institute director D.V. Skobeltsin, his deputy N.G. Basov and the head of laboratory V.V. Vitkevich understood the significance of this activity and paid large attention to it. These persons and IKI director G.I. Petrov decided to transfer the VLBI research field to IKI. Officially the sector for very-long-baseline radio interferometry was created at the department for astrophysics on July 18, 1969. This sector was responsible for the development of the research techniques and technologies, including space-based systems, aimed at studying astronomical objects.

It was necessary to define the parameters of the studied objects and to determine technical requirements for, and the possibility of, the space radio interferometer implementation. In particular it was impossible to implement the Soviet-French experiment with the Earth–Moon baseline (proposed by N.S. Kardashev) without this data. Ground-based studies of the radio sources with the ultimate angular resolution made it possible to find compact sources, measure their angular dimensions and brightness temperature and to determine the influence of the interstellar medium. For this the interferometer's element was created at Nancy based on the large radio telescope. At the Moscow State Pedagogical Institute a high frequency instrumentation for the 18 cm wave (hydroxyl line) was developed under I.A. Strukov supervision.

In January 1969 technical requirements were agreed with NRAO. In September–October 1969 B. Clark, K. Kellermann and J. Pine

иллюстрации стр. 188

самых совершенных ЭВМ типа IBM 360/75 в GSFC и CalTech. В результате была доказана возможность реализации РСДБ на межконтинентальных базах, достигнута точность привязки антенн до 50 м. Большой неожиданностью стало обнаружение сложной структуры квазаров, что поставило вопрос о необходимости проведения наблюдений на радиоинтерферометрах с базами разной длины и введения в строй дополнительных элементов.

Во время пребывания в США Л.И.Матвеенко и С.С.Моисеев посетили семинар Ч.Таунса, где У.Велч рассказал об открытии источников, излучающих необычайно интенсивные линии водяного пара на волне 1,35 см. Это были потенциальные яркие компактные объекты – предмет исследований со сверхвысоким угловым разрешением. Была обсуждена возможность наблюдений этих источников методом РСДБ. Через несколько дней в Массачусетском технологическом институте этот вопрос был дополнительно обсужден Б.Берком и его инженером Космо Папа, согласованы технические параметры требуемой аппаратуры и сроки ее изготовления. Первые наблюдения планировалось провести в пределах США и, в случае положительного результата, продолжить на межконтинентальном радиоинтерферометре Симеиз–Хайстек.

В июне 1971 г. проводится эксперимент на волне 3,6 см с дополнительной 64-м антенной DSN в Голдстоуне. Три антенны образовали три интерферометра с базами разной длины. Для повышения чувствительности РТ-22 был переведен на кассегреновскую систему облучения, оснащен мазерным усилителем (НИИ 17) и водородным стандартом частоты (предоставлен КБ-1). В NRAO разработали широкополосную систему регистрации типа МК-2 на основе студийного видеомагнитофона. Эти наблюдения позволили обнаружить сверхсветовые движения компонентов квазаров, определить их яркостные температуры. Через несколько дней проводятся измерения объектов в линиях водяного пара с разрешением 0,0002" на радиоинтерферометре Симеиз–Хайстек. В газопылевом комплексе W49 была обнаружена вспышка, яркостная температура которой достигала 10^{16} К. Эти наблюдения установили мазерную природу радиоизлучения линий водяного пара. В апреле–мае 1976 г. в исследования включаются дополнительные антенны, образующие глобальный инструмент – Австралия–СССР–Швеция–США, для наблюдений мазерных источников в линии водяного пара.

Все большее число радиотелескопов включается в РСДБ-наблюдения. Практически все крупные радиотелескопы мира объединяются в единую глобальную сеть. Проводятся систематические наблюдения квазаров и мазерных источников в широком спектре радиоволн от метровых до миллиметровых включительно. РСДБ-исследования открыли новую эпоху в астрономии. Вот только некоторые их результаты.

Установлено, что квазары – это ядра галактик на разной стадии активности. Обнаружены сложные структуры ядро–джет. (Компактный объект (ядро) – источник релятивистских частиц, его яркостная температура достигает 10^{12} К и ограничена комптоновским рассеянием. Джет – самофокусирующийся поток релятивистской плазмы). Вспышки высокочастотного радиоизлучения определяются выбросами облаков релятивистских частиц, движущихся со сверхсветовыми скоростями. Открыто поглощение низкочастотного радиоизлучения квазаров в окружающей ионизованной среде. Изменение прозрачности среды приводит к переменности этого излучения. Эти открытия стимулировали теоретические исследования черных дыр, источников их энергии, механизмов генерации релятивистской плазмы и формирования джетов.

came to the Soviet Union with the instrumentation needed and conducted observations by the Simeiz–Green Bank radio interferometer at the waves of 6 cm and 2.8 cm. The radio interferometer's angular resolution achieved the ultimate value of about 0.001 arcsec. The data was processed on the most up-to-date computers of the IBM 360/75 type at GSFC and CalTech. These studies proved the possibility of the VLBI implementation for the intercontinental baseline. The antennas positioning accuracy of 50 m was achieved. Quite unexpectedly quasars' complicated structure was detected. This put a question on the necessity of observations using radio interferometers with the baselines of different length and creation of new elements.

L.I. Matveyenko and I.G. Moiseev took part in the Ch. Towns seminar in the USA where W. Welch informed the participants about the discovery of the sources emitting very intensively in the water vapor line at a wave of 1.35 cm. These were potential bright compact objects which had to be studied with a very high angular resolution. We discussed a possibility of observing these sources using the very-long-baseline radio interferometers. In several days this problem was discussed with B. Burke and his engineer Cosmo Papa at MIT and the specifications for the required instrumentation and terms of its manufacture were agreed. The first observations were planned for the U.S. territory. In case of positive results, it was planned to continue the experiment by the intercontinental radio interferometer Simeiz–Haystack.

In June 1971 an experiment was conducted at a wave of 3.6 cm with the additional 64 m DSN antenna in Goldstone. The three antennas formed three interferometers with the baselines of different length. In order to improve sensitivity the RT-22 was upgraded, including a new Cassegrainian system, a maser amplifier (NII 17) and a hydrogen frequency standard (KB-1). NRAO developed a wideband registration system of the MK-2 type based on a studio video tape recorder. These observations made it possible to discover quasar components superluminal motion and to define their temperatures. In several days the target objects were measured in the water vapor lines with the resolution of 0.0002 arcsec on the radio interferometer Simeiz-Haystack. An outburst was detected in the gas-dust complex W49. Its brightness temperature was up to 10^{16} K. These observations made it possible to understand the maser nature of the radio emission at the water vapor lines. In April–May 1976 additional antennas were involved in observing the maser sources in the water vapor lines. They formed a global instrument – Australia–USSR–Sweden–USA.

More and more radio telescopes were involved in the observations. Almost all the world large radio telescopes were joined in the global network. Quasars and maser sources were systematically observed within a wide band of the radio waves from meters to millimeters, inclusively. The VLBI opened a new epoch in astronomy. These are several results.

It was determined that quasars were the galaxies' nuclei at different activity stages. A complex structure – nucleus-jet – was discovered. (A compact object (nucleus) was a source of the relativistic particles, its brightness temperature reached 10^{12} K and was limited with the Inverse Compton scattering. A jet was a self-focusing flow of the relativistic plasma.) Outbursts of the high frequency radio emission were defined by the ejections of the relativistic particle clouds moving with superluminal velocity. The absorption of quasars' low frequency radiation by the ambient ionized medium was also discovered. The medium transparency change caused this radiation variability. These

pictures see page 188

В газопылевых туманностях выделены активные зоны, в которых сосредоточены компактные H_2O мазерные источники. Установлено, что мазерное излучение сопутствует процессам формирования звезд и протопланетных дисков. Открыт протопланетный диск в объекте W3 OH, его радиус равен 1000 а.е., скорость вращения V_{rot} = 4 км/с, масса протозвезды равна 20 M_0. В туманности Ориона обнаружены несколько активных зон формирования протозвезд. В одной из них наблюдается супермазерное излучение в линиях водяного пара. Показано, что оно вызывается высокоорганизованной структурой, соответствующей протопланетным кольцам и биполярным потокам вещества. Видимая яркостная температура колец достигает $T_B = 10^{17}$ К.

Первые результаты по исследованию H_2O мазерных источников показали необходимость дальнейшего повышения углового разрешения – вынос одного из элементов за пределы Земли. В феврале 1972 г. принимается решение о создании космического интерферометра на волну 1,35 см с выносом радиотелескопа (КРАС-3) на орбиту с апогеем 12 000 км. Общее руководство проектом возлагалось на В.П.Мишина, научное – на Л.И.Матвеенко, техническое – на В.И.Костенко. Радиотелескоп имел жесткое параболическое зеркало диаметром 3,1 м (размер головного обтекателя). Для снижения температурных деформаций каркас зеркала был покрыт термоизоляцией, а его отражающая поверхность крепилась на тонких инварных иглах. Вторичное зеркало имело три степени свободы для компенсации температурных уходов фокальной точки и исправления ошибок наведения, что существенно экономило энергетику объекта. Охлаждение малошумящего приемника обеспечивалось сбросом тепла в космическое пространство (В.И.Костенко и И.А.Струков). Обработка данных наблюдений опиралась на отечественные вычислительные средства ЕС ЭВМ (Л.Р.Коган, В.И.Костенко, А.С.Охотин, Л.С.Чесалин).

Проект вызвал большой интерес американской стороны (Б.Берк, MIT; NASA). На очередной встрече они обратились к руководителю советской делегации М.В.Келдышу с предложением о совместном создании космического интерферометра. В частности, NASA рассматривала возможность вывода КРАС-3 с помощью шаттла. После успешного завершения проекта „Союз-Апполон" нужен был новый яркий проект. С научной точки зрения проект КРАС-3 опережал все остальные предложения. К этому времени глобальная сеть – наземная часть космического интерферометра, успешно работала. Накапливались научные данные, исследовалась динамика мазерных объектов и квазаров. Сеть постоянно дополнялась новыми более совершенными антеннами, в том числе: 70-м, Евпатория; 100-м, Бонн; 32-м, Медичина и Ното, Италия. Рассматривается строительство 70-м антенны в экваториальной области Индии.

К сожалению, финансирование работ по остаточному принципу, отсутствие планирования, непонимание масштабности и сложности наземных комплексов не позволили реализовать космический радиоинтерферометр. Однако отечественные решения получили должное признание и отражение в европейском проекте QUASAT и проекте VSOP. Остается только сожалеть, что российские ученые, несмотря на неоднократные обращения руководителя проекта Хирабаяши и международного консорциума, не смогли поддержать эти уникальные исследования своими техническими средствами.

В 1974 г. на советско-французском совещании принимается решение об исследовании динамики атмосферы Венеры с помощью свободно плавающих аэростатов. Метод известный метеорологам, но расстояние до Венеры превышает 100 млн км. Поэтому

discoveries stimulated theoretical studies of the black holes, their energy sources, mechanisms of the relativistic plasma generation and jet formation.

Active zones with compact H_2O maser sources were detected in the gas-dust nebulae. It was established that the maser radiation accompanied the processes of stars and protoplanetary disks formation. A protoplanetary disk with a radius of 1000 AU, rotation velocity of 4 km/s and the protostar mass of $20M_0$ was discovered in the W3 OH object. Several active protostar formation regions were detected in the Orion nebula. A supermaser radiation in the water vapor lines was observed in one of these zones. It was shown that the radiation was generated by a highly organized structure corresponding to protoplanetary rings and the matter bipolar fluxes. The apparent brightness temperature of the rings was up to 10^{17} K.

The first results of studying the H_2O maser sources showed that further angular resolution increase was necessary, i.e. one element should be removed from the Earth. In February 1972 a decision was made to create a space-based interferometer at a wave of 1.35 cm. The KRAS-3 radio telescope had to be put in orbit with an apogee of 12,000 km. V.P. Mishin was responsible for the project as a whole. L.I. Matveyenko was the scientific supervisor and V.I. Kostenko – technical supervisor. The radio telescope had a rigid parabolic mirror with a diameter of 3.1 m (fitted the fairing). In order to reduce temperature deformations the mirror's frame was coated with a thermal insulation and its reflecting surface was fixed on thin Invar needles. The secondary mirror had three degrees of freedom for the focal point temperature shift compensation and pointing error correction. This considerably saved the energy consumed. The low-noise receiver was cooled due to the heat release to space (V.I. Kostenko and I.A. Struckov). Data processing was based on the national computers of the ES series (L.R. Kogan, V.I. Kostenko, A.S. Okhotin and L.S. Chesalin).

The U.S. side was seriously interested in the project (B. Berk, MIT, NASA). During the next meeting the U.S. scientists proposed M.V. Keldysh who headed the Soviet delegation to jointly create a space-based interferometer. NASA considered a possibility of KRAS-3 delivery to orbit by a shuttle. After the Soyuz-Apollo project was completed there was a need in a new impressive mission. From the scientific point of view the KRAS-3 project outstripped all the other proposals. By that time the global network – the ground-based facilities of the space radio interferometer operated successfully. Scientific data was accumulated and the dynamics of the masers and quasars was studied. New more comprehensive antennas were added to the network, including a 70 m antenna at Evpatoria, a 100 m antenna at Bonn and a 32 m at Medichina and Noto, Italy. A 70 m antenna erection at the equatorial region of India was considered.

Unfortunately the project funding based on the residual principle, together with the absence of planning, non-understanding of the work scale and complexity of the ground facilities prevented from this space radio interferometer creation. However Russian decisions were approved and included in the European missions QUASAT and VSOP. We can only regret that the Russian scientists could not support these unique studies with their technological facilities despite the repeated addressing of the mission supervisor Hirabashi and the international consortium.

In 1974 a decision on studying the Venus atmosphere with freely floating balloons was made at a Soviet-French meeting. The technique was well-known for meteorologists but the distance to

иллюстрации стр. 188

траектории аэростатов предлагалось измерять с помощью глобальной РСДБ-сети. Длина волны была выбрана равной 18 см, что соответствовало частоте мазерного излучения в линиях гидроксила – естественного имитатора бортового передатчика. Предстояло существенно дополнить отечественную РСДБ сеть – создать малошумящие приемники, когерентные гетеродины на основе водородных стандартов частоты, системы регистрации и обработки данных, а также ввести комплекс в действие. Необходимо было объединение всех сил. Но промышленность в одностороннем порядке решила создать сеть самостоятельно, а за полгода до старта скромно отошла в сторону. Это можно было предвидеть, и ИКИ, совместно со своими коллегами, несмотря на отсутствие целевого финансирования, продолжал создавать аппаратурные комплексы. Большая поддержка была оказана лично М.В.Келдышем, Е.П.Велиховым, А.М.Прохоровым и его заместителем Р.З.Сагдеевым. Выделены валютные средства на системы регистрации МК-2, рубидиевые стандарты частоты, видеомагнитофоны.

Проект ВЕГА осуществлялся в рамках широкого международного сотрудничества. Сеть из 20 антенн, включая 6 отечественных, создавалась силами ИКИ, ГНИПИ, ГАО, ИРФЭ, КрАО, ОКБ МЭИ, ФИАН (СССР); NRAO, JPL, CalTech, MIT-HST (США), DSN (США, Австралия, Испания); Медонской обсерватории, CNES, Института геодезии (Франция); INPE (Бразилия); PRO (Канада); Институтом радиоастрономии (ФРГ); Обсерватории Онсала (Швеция); Джодрелл Бэнк (Англия); Радио обсерватории (Южная Африка). Юстировка сети проводилась по квазарам, а тестовые испытания в условиях максимального приближения к рабочим по ОН мазерным источникам. Ответственными за глобальную РСДБ-сеть были Л.И.Матвеенко и его заместитель И.А.Струков, за аэростаты – В.М.Линкин.

Сброс аэростатов в атмосферу Венеры произошел в июне 1985 г. К этому моменту модернизированная глобальная РСДБ сеть была готова к измерениям. Аэростаты вошли в атмосферу Венеры 11 и 15 июня 1985 г. и наблюдались в течение 46 часов. Мощность передатчиков была 1 Вт, а расстояние до Венеры превышало 110 млн км. Точность измерений была настолько высока, что фиксировалось раскачивание передатчика на стропе длиной 10 метров.

В последние годы КрАО совместно с GSFC, ИКИ и Институт прикладной астрономии была модернизирована станция в Симеизе: введен в действие комплекс аппаратуры и система регистрации типа МК-3, заложена эпоха геодинамических измерений, достигнута сантиметровая точность определения координат станции, проводятся регулярные наблюдения по астрофизическим и геодинамическим международным программам. Продолжалось совершенствование приемной аппаратуры. Разработаны малошумящие охлаждаемые радиометры, многомодовые облучатели, поляризаторы в том числе, для 70-м антенн ЦДКС на волну 1,35 см. Шумовая температура радиометра на входе облучателя составляет 39 К, что позволит реализовать уникальные возможности этих антенн. Ожидаемые параметры 70-м радиотелескопов в Евпатории и Уссурийске соответствуют эффективной площади 2000 м^2 и температуре шумов системы 60 К. На пункте Медвежьи Озера на волнах 6 и 18 см получена эффективная площадь антенны 2100 м^2 и шумовая температура 39 и 65 К, соответственно.

РСДБ объединила не только инструменты разных обсерваторий, стран и континентов, но и людей. И как образно выразился один из пионеров РСДБ Кеннет Келлерман в предисловии к своей монографии: „В результате мы стали немного лучше понимать не только Вселенную, но и самих себя".

Venus exceeded 100 mln km. Thus it was decided to measure the balloons' trajectories using the global very-long-baseline radio interferometric network. The wavelength of 18 cm was chosen which corresponded to the frequency of the maser emission in the hydroxyl lines – a natural imitator of the onboard transmitter. There was a task to upgrade the Soviet VLBI network, i.e. to create the low noise receivers, coherent heterodynes based on the hydrogen frequency standards, a system for the data registration and processing and to put the whole system into operation. Joint efforts were necessary. The industry decided to independently create this network but half a year before the launch modestly left aside. That could be foreseen, and IKI, together with the colleagues, continued to develop the instrumentation despite the absence of the special funding. M.V.Keldysh, Ye.P.Velikhov, A.M.Prokhorov and R.Z.Sagdeev strongly supported the activity. Funding was allotted for the MK-2 registration systems, rubidium frequency standards and video recorders.

The VEGA mission was implemented within the framework of a wide international cooperation. A network of 20 antennas, including 6 Russian antennas, was developed by IKI, GNIPI, GAO, IRFE, KrAO, OKB MEI (USSR); NRAO, JPL, CalTech, MIT-HST (USA); DSN (USA, Australia, Spain); Medone observatory, CNES, Institute for Geodesy (France); INPE (Brazil); PRO (Canada); Max-Planck-Institut for Radioastronomy (FRG); Onsala Radio observatory (Sweden); Jordrell Bank (Great Britain) and Radio observatory (South Africa). The network was adjusted by quasars and tested by the OH maser sources. L.I. Matveyenko and his deputy I.A. Struckov were responsible for the global very-long-baseline interferometric network and V.M. Linkin – for balloons.

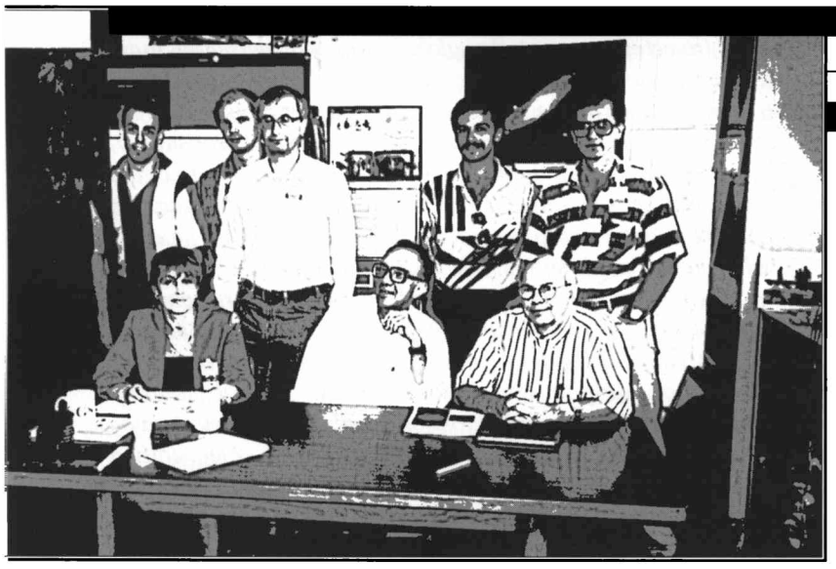
Balloons were dropped into the Venus atmosphere in June 1985. By that moment the modernized global very-long-baseline interferometric network was ready for operation. The balloons entered the Venus atmosphere on June 11 and 15, 1985 and were tracked for 46 hours. The transmitters' power was 1 W and the distance to Venus exceeded 110 mln km. The measurement accuracy was so high that the experimentalists registered the transmitter's swinging on a rope of 10 m length.

Recently KrAO, GAO in cooperation with GSFC, IKI and Institute for Applied Astronomy has modernized the Simeiz station. So the instrumentation and the MK-3 registration system have been put into operation, an epoch of geodynamic measurements has been founded, the station's coordinates were determined with a centimeter accuracy and regular observations have been conducted within the framework of the astrophysical and geodynamic international programs. The receiving instrumentation has been improved. Low-noise cooled radiometers, multimode feeders and polarizers including those for the 70 m antennas (1.35 cm) of the Deep Space Communications Center have been developed. The radiometer's noise temperature at the feeder's input is 39 K what makes it possible to use the unique capabilities of these antennas. The expected parameters of the 70 m radiotelescopes in Evpatoria and Ussuriisk correspond to the efficient area of 2000 m^2 and the system noise temperature of 60 K. The Medvezhii Ozera antenna's effective area is 2100 m^2 and the noise temperature is 39 K and 65 K for the waves of 6 and 18 cm respectively.

The VLBI has joined not only instruments of various observatories, countries and continents but also people. One of the very-long-baseline radio interferometry's pioneers Kenneth Kellermann in the preface to his monograph marked that we a little better understood not only the Universe but ourselves.

pictures see page 188

Лаборатория спетрометрии космического гамма-излучения



Laboratory for Cosmic Gamma-Ray Spectrometry

Лаборатория спектрометрии космического гамма-излучения как самостоятельное подразделение Института была создана в 1992 году на базе небольшой группы, организованной в 1984 г. И.С.Шкловским в рамках руководимого им отдела астрофизики. Заведующим лабораторией стал И.Г.Митрофанов. В настоящее время в лаборатории работают 12 сотрудников, которые проводят экспериментальные и теоретические исследования по внеатмосферной гамма-астрономии и астрофизике высоких энергий.

Занимаясь практически всеми направлениями экспериментальной и теоретической астрофизики, отдел И.С.Шкловского имел серьезные достижения в области изучения космических гамма-всплесков. На межпланетных космических аппаратах серии „Венера“ и на ИСЗ „Прогноз“ сотрудниками отдела были установлены приборы „Signe“ для регистрации гамма-всплесков, которые наряду с успешным экспериментом „Конус“ Ленинградского физико-технического института внесли в то время определяющий вклад в науку о гамма-всплесках. Эксперимент „Signe“ проводился в рамках советско-французской кооперации, приборы для этого эксперимента разрабатывались французскими специалистами из CESR. Работами в ИКИ руководил И.В.Эстулин. Суть экспериментов „Signe“ и „Конус“ сводилась к тому, чтобы по относительному запаздыванию сигналов определить положение источников гамма-всплесков методом триангуляции.

После смерти И.В.Эстулина в 1982 году И.С.Шкловский принимает решение об объединении в одну группу сотрудников отдела, которые занимались гамма-всплесками. Перед группой была поставлена задача построить прибор для изучения гамма-всплесков с высоким временным разрешением. По данным экспериментов Signe и „Конус“ было очевидно, что спектры гамма-всплесков быстро меняются, и для выяснения механизма их излучения необходимо получить спектры с максимально коротким временем экспозиции. Для этого требовался большой детектор и совершенная электроника прибора.

В то время в Институте формировался состав научной аппаратуры проекта „Фобос“. Реализовать его планировалось на базе аппарата нового поколения, который должен был прийти на смену межпланетным станциям серии „Венера“. Конкуренция за место в составе научной аппаратуры космического аппарата была очень высокой. Проект предполагалось посвятить главным

The laboratory for cosmic gamma-ray spectrometry was established at the Institute as an independent subdivision in 1992. Its core was a small group headed up by I.S. Shklovsky in his department for astrophysics in 1984. I.G. Mitrofanov became the head of the laboratory. At present the laboratory employs 12 people. They conduct experimental and theoretical studies in the extra-atmosphere gamma-astronomy and high-energy astrophysics.

I.S. Shklovsky department was involved in almost all fields of experimental and theoretical astrophysics and had important achievements in studying cosmic gamma-ray bursts. The department's employees installed Signe instruments for gamma-ray burst registration on the interplanetary stations VEGA and Prognoz satellites. The results obtained during both the Signe and Konus (Cone) (Leningrad Physical and Technological Institute) experiments made a decisive contribution to the gamma-ray burst studies. The Signe experiment was carried out within the framework of the Soviet-French cooperation. French specialists from CESR developed the instruments. I.V. Estulin supervised the work at IKI. The Signe and Konus experiments were aimed at the determination of gamma-ray burst sources' position by a triangulation technique using a relative signal delay.

After I.V. Estulin death in 1982 I.S. Shklovsky made a decision to join the department employees involved in the gamma-ray burst studies in a single team. He requested from the team to design a high temporal resolution instrument for studying gamma-ray bursts. The Signe and Konus data showed that gamma-ray burst spectra were changing rapidly and it was necessary to obtain spectra of the shortest exposure in order to find out their radiation mechanism. So a large detector with perfect electronics was needed.

At that time a set of scientific instrumentation for the Phobos mission was defined at the Institute. It was planned to implement this instrumentation on a new generation spacecraft which should replace the Venera series interplanetary stations. The competition for a place in the spacecraft payload was very strong. The mission was mainly aimed at the exploration of Mars, its moon Phobos and the interplanetary space. Therefore it

иллюстрации стр. 189

образом изучению Марса, его спутника Фобоса и межпланетной среды, и поэтому предложение об установке на борту отдельного всплескового прибора встретило значительные трудности.

В состав космического аппарата „Фобос" входил детектор гамма-лучей ГС-14 ГЕОХИ АН СССР. Он предназначался для регистрации линий гамма-излучения Марса и его естественного спутника Фобоса с целью выяснения элементного состава поверхности этих небесных тел. Р.З.Сагдеев предложил И.С.Шкловскому разработать небольшой блок электроники, весом не более 2 кг, который получал бы сигналы с большого детектора ГС-14 и на их основе выполнял измерения гамма-всплесков. И.С.Шкловский немедленно согласился, понимая, что это единственный шанс получить место на КА „Фобос". Сомнения разработчиков в возможности изготовления прибора такого малого веса он грозно отверг, заявив, что как завотделом „по определению" знает лучше, и отдел берется за создание прибора. Так появился Всплесковый Гамма Спектрометр (ВГС) – первый прибор „гамма-всплесковой" группы отдела астрофизики (И.Г.Митрофанов - руководитель эксперимента, В.Ш.Долидзе, А.А.Козленков, Р.Н.Кучерова, А.С.Позаненко, А.М.Черненко). Совместно с французскими коллегами из CESR (Жильбер Ведренн, Клод Бара) создан вполне интеллектуальный по тем временам инструмент (регистрация спектров методом time-to-spill была на нем реализована впервые), а великолепный электронщик Френсис Котэн втиснул его в отведенные 2 килограмма.

К сожалению, время работы прибора оказалось очень коротким. Связь с „Фобосом-1" прервалась в начале сентября 1988 года, причем для „гамма-всплесковой" группы трагедию усугубило то обстоятельство, что именно при передаче команды управления прибором ВГС службой управления была допущена ошибка, из-за которой на борт поступила совсем другая команда, приведшая к потере аппарата.

Второй „Фобос" успешно проработал до апреля 1989 года, что дало возможность зарегистрировать около пяти десятков мощных гамма-всплесков, которые позволили обнаружить несколько новых особенностей этого явления. Данные ВГС показали, что более мощные гамма-всплески имеют в среднем более жесткие спектры (так называемый эффект корреляции жесткости и интенсивности). Если предположить, что источники гамма-всплесков являются „стандартными свечами", то есть, имеют одинаковые светимости на разных расстояниях от наблюдателя, то жесткость излучения не должна зависеть от интенсивности. Далекий и близкий фонари имеют одинаковый цвет. Обнаруженный эффект указывал на то, что источники всплесков либо имеют большой разброс по светимостям, либо излучение слабых всплесков испытывает космологическое красное смещение. Лишь позднее удалось понять, что выбор между этими альтернативами по сути дела ведет к выяснению природы гамма-всплесков. Эта задача определила основные направления по изучению гамма-всплесков, которые проводились в лаборатории в последние 10 лет.

Тогда же, в феврале 1989 года „Фобос-2" четыре раза пролетел над поверхностью Марса. Этими пролетами воспользовались для измерения с помощью ВГС спектров гамма-лучей от этой планеты в „кинематографическом" режиме поиска отложений водяного льда на Марсе. Если он там есть, то в спектре гамма-лучей должна была промелькнуть линия ядер дейтерия 2,2 МэВ.

Было получено четыре файла данных с временным разрешением в несколько секунд. Линий ядер дейтерия 2,2 МэВ в них не

was rather difficult to accommodate a gamma-ray burst detector onboard the spacecraft.

After the VEGA mission enormous success, R.Z. Sagdeev has decided that a new spacecraft should become a unique platform for many fields of research. In addition the optimized solution had to be found for the scientific payload representation. Detectors and some instruments' electronics of the Venera series stations fulfilled similar functions. In order to increase the scientific mission efficiency R.Z. Sagdeev required from the payload designers to combine homogeneous functions in a single device.

The Phobos spacecraft was equipped with a gamma-ray detector GS-14 developed at the Vernadsky Institute for Geochemistry of the USSR Academy of Sciences. It was destined for registering gamma-ray emission lines of Mars and its moon Phobos in order to determine their surface elementary composition. R.Z. Sagdeev offered to I.S. Shklovsky to develop a small electronic device with a mass of less than 2 kg for receiving signals from the large detector GS-14 and measuring gamma-ray burst based on these signals. I.S. Shklovsky immediately agreed because he understood that this was the only chance to include the instrument in the Phobos spacecraft payload. He strictly rejected the designers' hesitations about the possibility of such a small detector fabrication and said that he as a head of department knew better „by definition". The department began the instrument development. So the gamma-ray burst spectrometer VGS appeared. This was the first instrument of the „gamma-ray burst" team of the department for astrophysics (I.G. Mitrofanov – the experiment PI; V.Sh. Dolidze, A.A. Kozlenkov, R.N. Kucherova, A.S. Pozanenko and A.M. Chernenko). A rather intellectual for that time instrument was created in cooperation with the French colleagues from CESR (Gilbert Vedrenne, Claude Barat). Spectra registration by a time-to-spill technique was implemented for the first time. An excellent specialist in electronics Francis Cottin „forced" it to fit the allotted 2 kg.

Unfortunately the instrument operated for a very short period. Communications with the Phobos spacecraft failed in the early September 1988. For the „gamma-ray burst" group the tragedy was aggravated by the fact that the flight control team made the mistake namely during the command transmission for their VGS. This quite different command caused the spacecraft failure.

The Phobos-2 spacecraft successfully operated until April 1989. This made it possible to register about 50 strong gamma-ray bursts and discover several new features of this phenomenon. The VGS data showed that more intensive gamma-ray bursts had on average harder spectra (a so-called effect of correlation between the hardness and intensity). If to assume that gamma-ray burst sources are the „standard candles" i.e. have the same luminosity at different distances from an observer, then the radiation hardness is independent on the intensity. Distant and close lamps have the same color. The discovered effect proved that the burst sources had either large luminosity dispersion or the weak burst radiation had a cosmological red shift. Only later it was realized that the choice of one of these variants meant the understanding of the gamma-ray burst nature. This task defined the main directions of the gamma-ray burst studies at the laboratory for the next ten years.

In February 1989 the Phobos-2 spacecraft flew over the Martian surface four times. During these passes the VGS instrument measured spectra of the gamma-rays emitted by Mars. This

pictures see page 189

оказалось, и, таким образом, воду на Марсе тогда найти не удалось. Это отнесли на счет недостаточной чувствительности прибора, и совместно со специалистами ГЕОХИ и CESR решили разработать новый Полупроводниковый гамма-спектрометр (ПГС) для следующего марсианского проекта, запланированного на 1994 год, а затем перенесенного на 1996 г. Для этого прибора был предложен детектор из высокочистого германия, что позволяло повысить чувствительность при измерении гамма-линий почти в 100 раз. При этом, однако, ПГС был почти в десять раз массивнее своего предшественника ВГС. За включение прибора в состав научной аппаратуры проекта „Марс-94" проголосовало большинство участников проекта. Задача ядерной спектроскопии поверхности Марса признавалась важной и приоритетной. Возглавляемая профессором В.И.Морозом планетная общественность Института приняла специалистов лаборатории в число участников планетной программы.

Естественно, что при работах над прибором ПГС лаборатория также имела свои интересы, непосредственно связанные с гамма-всплесками. В то время по данным экспериментов „Конус" было известно, что в спектрах всплесков имеются линии циклотронного поглощения и линии аннигиляционного излучения. Наличие циклотронных линий подтвердили японцы и американцы по данным спутника „Ginga". Однако экспериментаторы, работающие с приборами на SMM, линии в спектрах всплесков не видели. Прибор ПГС должен был прояснить истину в этом споре.

К сожалению, французские коллеги не получили финансирования для участия в ПГС. Сотрудники ГЕОХИ также решили не рисковать, и предпочли установить на борту КА спектрометр типа прибора ГС-14, хорошо зарекомендовавшего себя на „Фобосе". Неожиданная поддержка пришла от первооткрывателя гамма-всплесков Рэя Клебесадела из Лос Аламосской национальной лаборатории, который в октябре 1989 года предложил сотрудничество в подготовке и проведении эксперимента.

В 1992 году к Марсу направляется американский аппарат Mars Observer, одним из основных приборов которого был германиевый гамма-спектрометр, во многом аналогичный ПГС. Предполагалось, что российский и американский приборы смогут успешно дополнить друг друга на марсианских орбитах. Американский спектрометр должен был летать вокруг Марса по круговой полярной орбите и скрупулезно, виток за витком, регистрировать излучение ядерных линий, а российский прибор оставаться на вытянутой орбите, что давало возможность исключить из данных измерений планеты космический гамма-фон, излучение Солнца и фон от самого аппарата. Но в 1993 году аппарат Mars Observer был потерян буквально за несколько дней до подлета к Марсу. ПГС остался без партнера, и вся кооперация объединилась вокруг российского прибора в единую российско-американскую команду. От лаборатории в подготовке эксперимента приняли участие И.Г.Митрофанов (руководитель), Д.С.Анфимов, М.Л.Литвак, О.А.Литвин, А.С.Позаненко, Н.Ф.Слепцова, Д.А.Ушаков и А.М.Черненко.

ПГС был сложным прибором. Достаточно сказать, что его германиевый детектор требовал охлаждения до температуры ниже 130 К. Это достигалось двухконтурной пассивной системой охлаждения, которая должна была сбрасывать тепло от детектора в открытый космос. Даже небольшая ошибка в ее разработке могла привести к потере эксперимента.

Сложная задача стояла перед электронщиком прибора А.К.Тоньшевым из СКБ КП, поскольку стандартная отечествен-

„cinema-like" mode was applied to search for the water ice on Mars. On the condition of the ice was presence the deuterium nuclei line at 2.2 MeV should be observed in the gamma-ray spectrum.

Four data files with a temporal resolution of several seconds were obtained. They contained no deuterium nuclei lines at 2.2 MeV and consequently this experiment detected no water on Mars. It was thought that the instrument had insufficient sensitivity. So a decision was made to develop a new semi-conducting gamma-spectrometer PGS in cooperation with specialists from the Vernadsky Institute and CESR for the next Martian mission planned for 1994 and then postponed for 1996. The instrument was based on a high-purity germanium detector what made it possible to increase the sensitivity of the gamma-line measurements almost 100 times. However PGS was about ten times heavier than its predecessor VGS. The majority of the Mars-94 mission participants voted for the instrument inclusion into the scientific payload. The task of the Martian surface nuclear spectroscopy was considered important and allotted the top priority. The Institute's planetary community headed by professor V.I. Moroz adopted the specialists from the laboratory into the planetary research program.

The laboratory naturally had its own interests in the PGS development which were directly connected with the gamma-ray bursts. At that time it was known from the Konus data that the burst spectra contained cyclotron absorption and annihilation emission lines. The Ginga spacecraft data obtained by Japanese and Americans confirmed the cyclotron emission lines presence. However the experementators dealing with the SMM instruments saw no lines in the burst spectra. The PGS instrument had to prove the truth.

To our regret the French colleagues did not get funding for their participation in the PGS development. Vernadsky Institute decided not to risk also and preferred to install a spectrometer of the GS-14 type onboard the spacecraft. This spectrometer proved to operate well on the Phobos spacecraft. Unexpected support was got from the gamma-ray burst pioneer Ray Klebesadel from the Los Alamos National Laboratory (USA) who in October 1989 proposed a cooperation in the experiment preparation and fulfillment.

In 1992 the U.S. spacecraft Mars Observer flew to Mars. A germanium gamma-spectrometer in many features similar to our PGS was one of its main instruments. It was planned that the Russian and American instruments would efficiently complete each other in the Martian orbits. The U.S. spectrometer had to fly around Mars in a circular polar orbit and thoroughly, orbit by orbit, register nuclear lines' emission. The Russian instrument should remain in the elliptical orbit. This allowed excluding cosmic gamma-background, solar radiation and the spacecraft background. But in 1993 Mars Observer was lost several days before approaching Mars. PGS turned out without a partner and all the researchers joined in a single Russian-American team. The following laboratory employees participated in the experiment preparation: I.G. Mitrofanov (head of the team), D.S. Anfimov, M.L. Litvak, D.A. Litvin, A.S. Pozanenko, N.F. Sleptsova, D.A. Ushakov and A.M. Chernenko.

PGS was a complicated instrument. Its germanium detector had to be cooled down to the temperature less than 130 K. This was achieved due to the passive two-stage cooling system which released the heat to space. Even a small mistake in this system development could lead to the experiment failure.

иллюстрации стр. 189

ная комплектация оказывалась недоступной, и приходилось перестраиваться на западные аналоги. Высокое спектральное разрешение детектора из германия могло быть достигнуто только в том случае, если прибор будет иметь стабильно работающий АЦП с 4096 каналами.

В последних испытаниях в ИКИ летного прибора ПГС в феврале 1996 года участвовало около 50 человек. Сотрудники КИС несколько дней откачивали и захолаживали термовакуумную камеру для обеспечения необходимого режима испытаний, которые соответствовали бы условиям в космическом пространстве. После этого ПГС начал охлаждаться. Спустя 3 дня по данным телеметрии детекторы достаточно охладились для включения высокого напряжения. Через несколько минут пришла первая телеметрия, и на экране можно было видеть аккуратные пики спектра радиоактивного источника ^{60}Co, находившегося в камере. Спектрометр прекрасно отработал за толстой стенкой камеры на фоне помех электродвигателей и насосов. Эти линии гамма-излучения позволяли надеяться, что через год так же ясно будут видны ядерные линии с поверхности Марса и среди них - линия дейтерия 2,2 МэВ. Спустя 7 лет после измерений 1989 года снова появилась надежда найти воду на Марсе. Эти надежды потонули в Тихом океане вместе с погибшем аппаратом „Марс-96".

Кризис российской планетной программы, связанный с гибелью станции, затронул всех. Два сотрудника лаборатории ушли в поисках „лучшей доли". Тем, которые остались, нужнобыло найти способ заниматься наукой, даже не имея своего работающего прибора. Такая возможность представилась благодаря сформировавшемуся в 1993-94 годах тесному сотрудничеству с командой эксперимента BATSE американской орбитальной обсерватории Комптон. Руководитель этого эксперимента Джерри Фишман заинтересовался методами обработки всплесков, которые были разработаны в лаборатории для анализа данных эксперимента на „Фобосе-2", и предложил провести аналогичные исследования на основе данных BATSE.

Обсерватория Комптон успешно работает на околоземной орбите уже восемь лет, и число зарегистрированных ею гамма-всплесков превысило 2500. Задача состоит в том, чтобы на фоне индивидуальных особенностей отдельных гамма-всплесков разглядеть общие закономерности их источников. Знать эти особенности нужно для того, чтобы выяснить природу источников гамма-всплесков. Дело в том, что открытое Рэем Клебесаделом в 1967 году явление гамма-всплесков до сих пор не объяснено. В 1997 году было обнаружено оптическое послесвечение гамма-всплесков, и для нескольких источников послесвечения измерено красное смещение. Оно оказалось настолько значительным, что полное энерговыделение источников всплесков на таком расстоянии должно было в 1000 раз превышать полную энергию массы покоя Солнца. Пока не известны модели источников, которые могли бы обеспечить такое энерговыделение. Как это уже не раз было в науке о гамма-всплесках, новое знание не добавило понимания. Возможно, что в случае всплесков имеет место не один, а несколько классов источников. Поэтому, выясняя общие свойства всплесков, можно надеяться понять основополагающие особенности источников и проверить возможность их разбиения на различные классы.

Кандидатские диссертации, которые защитили в декабре 1998 года сотрудники лаборатории Д.С.Анфимов и М.Л.Литвак, были посвящены этому вопросу. В настоящее время совместно с командой BATSE разрабатывается научный проект, который

A.K. Tonshev from the Special Design Bureau for Space Device Engineering developing the instrument's electronics had to solve a complicated task since he could not use the Russian components and should apply foreign analogs. High spectral resolution of the germanium detector could be achieved only under the ADC with 4096 channels stable operation.

Fifty people participated in the last tests of the PGS flight model at IKI in February 1996. The verification station staff was pumping out and cooling down the thermo-vacuum chamber for several days in order to provide for the required test conditions similar to those in space. After that the PGS cooling began. Three days later according to the telemetry the detectors were cooled enough for the high voltage switch on. After several minutes the first telemetry was received, and regular spectra peaks of the placed in the chamber ^{60}Co radioactive source were observed on the screen. Spectrometer perfectly operated behind the chamber's thick wall despite the interference from engines and pumps. The obtained gamma-ray lines allowed to hope that in a year nuclear lines from the Martian surface and in particular the 2.2 MeV deuterium line would be observed with the same evidence. Seven years after the measurements of 1989 the hope to find water on Mars appeared again. Unfortunately these hopes drowned in the Pacific together with the Mars-96 spacecraft.

The Russian planetary program crisis caused by this spacecraft loss affected everybody. Two laboratory employees left to search for a better luck. Those who remained were forced to find a way to continue the research program even without an operating instrument. This opportunity arose due to the close cooperation with the BATSE experiment team from the American orbital observatory Compton. Jerry Fishman, the experiment supervisor became interested in the burst data processing technique developed at the laboratory for Phobos-2 data analysis, and offered to conduct the similar studies based on BATSE data.

The Compton observatory is operating in the near Earth orbit for already eight years. The number of the registered gamma-ray bursts exceeds 2,500. The problem is to reveal the common features of the gamma-ray burst sources in order to understand their nature. The thing is that the gamma-ray burst phenomenon discovered by Ray Klebesadel in 1967 has not been explained until now. In 1997 the gamma-ray burst optical afterglow was discovered and the red shift was measured for several afterglow sources. It was so considerable that at this distance the total energy release of burst sources had to 1000 times exceed the total Sun rest mass. The source models which could provide for such energy release are yet unknown. As it has many times occurred in the burst studies the new knowledge has not added better understanding. Possibly there are several but not one source of the bursts. That is why we hope to understand the sources' basic features and to verify the possibility of their splitting into different classes by understanding their general properties.

In December 1998 the laboratory employees D.S. Anisimov and M.L. Litvak defended their Ph.D. theses devoted to this problem. At present the laboratory in cooperation with the BATSE team is developing a project for studying gamma-ray burst statistics based on the observed physical parameters of their radiation. Thus it would be possible to exclude the influence of the cosmological red shift effect and the time scale dilation on the observed properties. So it would be possible to

pictures see page 189

позволит изучить статистику гамма-всплесков на основе адекватных физических параметров их излучения. Таким образом можно будет исключить влияние на наблюдаемые свойства космологических эффектов красного смещения и растяжения масштабов времени. В результате станет возможным вновь обратиться к вопросу, поставленному в 1989 году на основе анализа данных „Фобоса", - являются ли источники гамма-всплесков „стандартными свечами".

Период „свободы" для занятий чистой наукой продолжался недолго. В начале 1997 года вновь, уже в третий раз, сотрудники лаборатории получили возможность принять участие в поиске воды на Марсе. После гибели в 1993 году аппарата Mars Observer НАСА приняло решение все приборы этого аппарата, в том числе и германиевый гамма-спектрометр, вновь направить к Марсу. Директор ИКИ А.А.Галеев и представители НАСА подписали соглашение об участии в этом проекте ученых Института. Лаборатории спектрометрии космического гамма-излучения было поручено разработать прибор HEND (High Energy Neutron Detector) для регистрации потока быстрых нейтронов от поверхности Марса.

Марс имеет тонкую атмосферу, поэтому космические лучи легко достигают его поверхности и выбивают из верхнего слоя поток быстрых нейтронов. Эти нейтроны возбуждают ядерные линии основных породообразующих элементов, которые будет регистрировать с марсианской орбиты гамма-спектрометр. С другой стороны, нейтроны будут термализоваться, отдавая свою энергию другим ядрам при столкновениях. Тепловые нейтроны могут вступать в ядерные реакции захвата, что также вызывает генерацию ядерных линий. Для того чтобы однозначно отождествить регистрируемые спектрометром гамма-линии, необходимо знать соотношение потоков быстрых и тепловых нейтронов на поверхности. Прибор HEND для детектирования быстрых нейтронов совместно с прибором Лос Аламосской Национальной Лаборатории США для регистрации потока тепловых нейтронов и должен обеспечить эти измерения.

Кроме решения задачи по отождествлению гамма-линий, зарегистрированных гамма-спектрометром, прибор HEND позволит обнаружить на поверхности Марса участки, покрытые слоем водяного льда. Дело в том, что быстрые нейтроны наиболее эффективно термализуются в веществе с большим содержанием протонов - при столкновениях с частицей равной массы нейтроны отдают половину своей энергии. Протоны - это ядра водорода, а наиболее распространенное вещество с большим содержанием водорода, которое может быть на поверхности Марса, - это водяной лед. Если HEND обнаружит депрессию потока быстрых нейтронов над каким-то районом Марса, то можно будет с большой уверенностью предположить, что в этом месте под слоем песка находится лед марсианской вечной мерзлоты.

Прибор HEND будет регистрировать быстрые нейтроны на фоне потока космических гамма-квантов. Если где-то случится гамма-всплеск, то HEND также зарегистрирует это событие и передаст данные на Землю. Это позволит определить положение источника всплеска с высокой точностью и направить на него чувствительные инструменты для поиска послесвечения от вспыхнувшего источника.

иллюстрации стр. 189

again consider the question set in 1989 based on Phobos data analysis – whether the gamma-ray burst sources are the „standard candles".

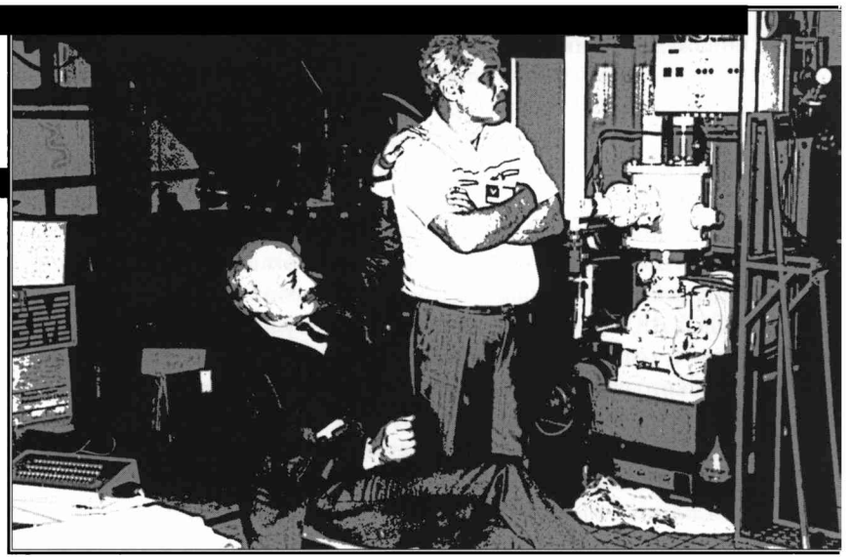
The period of fundamental studies only did not last for a long time. At the beginning of 1997 the laboratory got an opportunity to participate in the water search on Mars for the third time. After the Mars Observer loss in 1993 NASA made a decision to again send its instruments, including a germanium gamma-spectrometer, to Mars. The IKI director and NASA representatives signed an agreement about the Institute's scientists participation in this mission. The laboratory for cosmic gamma-ray spectrometry had to develop a HEND (High Energy Neutron Detector) instrument for registration of the fast neutrons emitted by the Martian surface.

Mars has a thin atmosphere, consequently cosmic rays easily reach its surface and knock a fast neutron flux out of its upper layer. These neutrons excite nuclear lines of the main rock-forming elements, which are registered by the gamma-spectrometer from the Martian orbit. On the other hand neutrons will be thermalized transferring their energy to other nuclei during collisions. Thermalized neutrons capture by nuclei also causes nuclear lines generation. In order to unambiguously identify gamma-ray lines registered by the spectrometer it is necessary to know the correlation between the fast and thermalized neutron fluxes on the surface. A fast neutron detector developed at IKI together with the instrument designed at the Los Alamos National Laboratory (USA) for the fast neutron detection should provide for these measurements.

Additionally to identification of the gamma-ray lines registered by the gamma-ray spectrometer, the HEND detector will enable detection of the Martian surface areas covered with water ice. Fast neutrons are the most effectively thermalized in a substance with high proton contents – neutrons transfer half of their energy during a collision with a particle of the same mass. Protons are the hydrogen nuclei, and the water ice is the prevailing substance with high hydrogen contents, which could be found on the Martian surface. If the HEND instrument finds a fast neutron flux depression over some Martian region it will be possible to confidently assume that there is the Martian permafrost ice under the sand layer of this region.

HEND will register fast neutron on the background of the cosmic gamma-quanta. If somewhere a gamma-ray burst occurs, the HEND instrument will register this event also and transmit the data to Earth. This will make it possible to precisely determine the source position and to point sensitive instruments in order to search for a source afterglow.

Лаборатория активной диагностики



Laboratory for Active Diagnostics

Лаборатория активных экспериментов в космосе, получившая позже название лаборатории активной диагностики, создана в ИКИ в 1976 г. Организация лаборатории и руководство ею были возложены на Г.Г.Манагадзе.

Необходимость создания лаборатории возникла в связи с развитием нового научного направления, основополагающая идея которого заключалась в проведении в космосе физических опытов с искусственным воздействием на среду с борта космического аппарата или с поверхности Земли. Реакция среды на воздействие являлась источником ценной информации о физических процессах, происходящих в ней. Официально это направление именовалось „Активные эксперименты в космическом пространстве".

Первыми сотрудниками лаборатории стали молодой специалист С.Б.Ляхов и радиомонтажница Е.В.Горелова (Ляхова), а практическая работа началась в рамках советско-французского проекта „Аракс-Зарница" в 1972 г. С советской стороны проект возглавлял Р.З.Сагдеев. В ходе его реализации планировалось провести исследования магнитосферных процессов, связанных с движением энергичных электронов, радиоволн, плазменных образований в геомагнитном поле, а на завершающей стадии осуществить крупномасштабный магнитосферный эксперимент между магнито-сопряженными областями – о. Кергелен (Франция) и Согра (Архангельская область).

В конце 1975 г. с французского полигона, расположенного на острове Кергелен в Индийском океане, были запущены две ракеты „Эридан". С борта ракет проводилась инжекция энергичных электронов и плазменных образований. Пройдя огромное расстояние внутри магнитосферы, частицы, двигаясь вдоль силовой линии, достигли верхней атмосферы над Архангельском, вызвав возмущение ионосферы, которое было зафиксировано с помощью радаров. Размещенные на корпусе ракеты и в отделяемом носовом конусе бортовые приборы для измерения частиц и радиоволн дали ценную информацию о физических процессах, сопровождающих активное воздействие.

С французской стороны руководителем проекта был директор CESR профессор Ф.Камбу. Талантливый ученый, яркая личность, умелый организатор, он сыграл определяющую роль в ус-

A laboratory of active experiments in space was created at IKI in 1976. Later it was called a laboratory of active diagnostics. G.G. Managadze was responsible for the laboratory formation and then headed it.

The need in such a laboratory creation resulted from the development of a new scientific direction - physical experiments in space with an artificial effect on the environment from onboard a spacecraft or from the Earth's surface. Reaction of the environment to this influence was a source of valuable information about the occurring processes.

Young specialist S.B. Lyakhov and radio reviewer Ye.V. Gorelova (Lyakhova) were the first employees of the laboratory. In 1972 the laboratory began to work within the framework of the Soviet-French project „Araks-Zarnitza". R.Z. Sagdeev was responsible for the project from the Soviet side. The project was aimed at studying processes in the magnetosphere caused by the motion of high-energy electrons, radiowaves and plasma clouds in the geomagnetic field. At the final stage, it was also planned to conduct a large-scale magnetospheric experiment between the magneto-conjugate points: the Kergelen island (France) and Sogra (Archangelsk region).

At the end of 1975 two Eridan rockets were launched from the French proving ranges at the Kergelen Island in the Indian Ocean. High-energy electrons and plasma clouds were ejected from onboard the rockets. Having passed a huge distance inside the magnetosphere these particles moved along the force line and reached the upper atmosphere above Arkhangelsk. Radars registered the ionosphere disturbance caused. The rocket carried instrumentation for measuring particles and radiowaves on its body and inside the separable nose cone. These instruments provided valuable data on the physical processes induced by the active influence.

Professor F. Cambou, the CESR Director, supervised the project from the French side. F. Cambou, a talented scientist, a bright personality and a skilled manager, played the most decisive role in the project effective implementation. He was very hospitable to the project participants and showed them the best places in France as a guide.

pictures see page 190

пешной реализации проекта, а для его участников стал гостеприимным хозяином и гидом по Франции, показав им эту прекрасную страну с наилучшей стороны.

ИЗМИРАН, как головная организация, и один из ее руководителей – И.А.Жулин – взяли на себя трудную миссию координации проекта в целом, обеспечив его успешную реализацию. Весом был и вклад Совета „Интеркосмос".

Наиболее яркий научный результат, полученный лабораторией в проекте „Аракс", связан с бортовым энергоанализатором электройонов „Ушба". Прибор разрабатывался совместно с ОКБ ИКИ (г. Фрунзе), ведущим по нему в ОКБ был С.Р.Табалдыев. В ходе проведения эксперимента при включении ускорителя вокруг ракеты образовалась плазма высокой плотности, что привело к электрическим пробоям, и многие бортовые приборы вышли из строя из-за электрических перегрузок, связанных с коротким замыканием. Информация с „Ушбы" шла четко, и прибор продолжал „жить" вплоть до падения ракеты на Землю.

Данные прибора „Ушба" свидетельствовали, что в процессе инжекции пучка тело ракеты заряжается до потенциала в несколько тысяч вольт. Были получены спектры ускоренных электронов в поле потенциала тела ракеты, а так же показано, что вокруг ракеты загорается разряд. Позже это нашло подтверждение и в серии экспериментов „Зарница", где впервые механизмы разрядных процессов рассматривались с учетом остаточного газоотделения двигателя ракеты. В одном из запусков, подготовленном полностью силами лаборатории, пучок электронов за счет вращения ракеты, периодически пересекая газовый шлейф от двигателя, вызывал зажигание плазменно-пучкового разряда (ППР). Лабораторные эксперименты полностью подтвердили полученные результаты. Явление ППР в условиях космоса наблюдалось впервые.

Всего в рамках проекта „Аракс-Зарница" и в последующих экспериментах с участием сотрудников лаборатории было осуществлено десять ракетных пусков, разработано и изготовлено около пятнадцати разнообразных бортовых приборов, малогабаритные средства активного воздействия, наземный оптический измерительный комплекс. Численность лаборатории постоянно увеличивалась; появился молодой, способный лаборант А.В.Кочетков, стажер из АН Грузии Т.Г.Адейшвили. Основные результаты, полученные в ходе выполнения ракетных экспериментов, позволили в 1980 году защитить докторскую диссертацию Г.Г.Манагадзе и кандидатскую – С.Б.Ляхову. Результаты были опубликованы в отечественных и зарубежных журналах, доложены на международных научных конференциях.

Важной вехой в деятельности лаборатории стал активный эксперимент на высотной ракете „Вертикаль" (1981 г.). Существенную помощь в его реализации оказала АН Грузии и ее президент Е.К.Харадзе, поэтому было принято решение назвать проект „Грузия-Спурт" (в иностранных публикациях Grusiya 60 Spurt или G60S). Главная особенность эксперимента заключалась в том, что до этого времени (и до сегодняшнего дня) максимальная высота пусков с активным воздействием на среду за рубежом не превышала 300–400 км. „Вертикаль" поднималась до 1500 км.

В эксперименте на „Вертикали" впервые наблюдалось явление т.н. „суперпотенциала": при инжекции пучка электронов с энергией 6 кэВ отделяемый контейнер заряжался до 10 кВ. Эффект никем не предсказывался и, естественно, был встречен в штыки мировой научной общественностью. Хотя видные со-

IZMIRAN as the leading organization and one of its directors I.A. Zhulin took upon themselves the difficult mission of the project coordination as a whole thus providing its successful advancement. The Intercosmos Council contributed a lot to this project also.

The onboard electroion energy analyzer Ushba provided for the most significant scientific data obtained by the laboratory within the framework of Araks project. The instrument was developed together with the OKB IKI, Frunze (S.R. Tabaldyev supervised the project from the Special Design Bureau). During the experiment a high density plasma cloud coated the rocket after boostering. This caused a voltage break-down and many onboard instruments failed due to electric upsets connected with the shorting. The Ushba analyzer worked without failures and the instrument „lived" up to the rocket fall-out on ground.

According to the Ushba data the rocket's body potential achieved several thousand volts during a beam injection. Spectra of the electrons accelerated in the rocket's body potential field were obtained. It was also shown that there was a discharge glow around the rocket. Later the Zarnitza experiment series confirmed this. Within the framework of these experiments discharge mechanisms were analyzed taking into consideration the residual gas separation from the rocket propulsion unit. During one of the launches fully prepared by the laboratory, an electron beam periodically intersected the propulsion unit's gas flume due to the rocket spinning and caused the plasma-beam discharge glowing. The lab experiments fully proved the obtained results. The phenomenon of plasma-beam discharge was observed in space for the first time.

On the whole ten rockets were launched within the framework of the Araks-Zarnitza project and subsequent experiments conducted with the participation of the laboratory employees. In addition about fifteen various onboard instruments, compact devices for active effect and a ground-based optical measuring system were developed and manufactured. The number of the laboratory employees was permanently growing – young smart technician A.V. Kochetkov and trainee from the Georgian Academy of Sciences T.G. Adeishvili joined the laboratory. In 1980 G.G. Managadze got a Sci.D. degree and S.B. Lyakhov – a Ph.D. degree based on the main results obtained during these rocket experiments. The results were published in Russian and foreign magazines and reported at international scientific conferences.

An active experiment conducted in 1981 on the high-altitude rocket Vertikal became an important milestone for the laboratory. The Georgian Academy of Sciences and its President E.K. Kharadze made a considerable contribution to this experiment implementation. For this reason the experiment was called Gruziya-Spurt (Grusiya 60 Spurt or G60S in foreign publications). The experiment was distinctive in that the Vertical rocket lifted up to an altitude of 1,500 km. Previously (and up to now) an altitude for the experiments with an active influence on the environment was 300–400 km at maximum.

A phenomenon of the so-called „superpotential" was observed during the Vertical experiment for the first time. It consisted in charging a separating container up to 10 kV during the injection of an electron beam with an energy of 6 keV. Nobody had ever predicted this effect. Naturally, the world scientific community gave a hostile reception. Though the Soviet specialists

иллюстрации стр. 190

ветские плазменщики Р.З.Сагдеев, А.А.Галеев, А.А.Рухадзе, А.В.Гурьевич допускали такую возможность и могли объяснить эффект, это мало помогло сотрудникам лаборатории, выступавшим на международных конференциях с докладами о наблюдавшемся эффекте.

Спустя 4 года война против „суперпотенциала" вдруг прекратилась. В американо-норвежском эксперименте с высотной инжекцией пучка электронов были получены данные, подтверждающие это явление. Рейтинг лаборатории значительно вырос, появилось много ссылок на публикации сотрудников. К этому времени коллектив лаборатории становится по- настоящему интернациональным и остается таким на протяжении многих лет. В лаборатории проходит стажировку Н.А.Леонов из Киевского государственного университета – прекрасный физик-исследователь, мастер на все руки; обучаются аспиранты из Болгарии: летчик-космонавт А.А.Александров (позже стал вторым космонавтом Болгарии) и физик-экспериментатор Л.И.Семионов. Оба подготовили и защитили диссертации. В лабораторию были также зачислены Т.И.Гагуа, А.А.Акишин и позже – опытный экспериментатор, добрый, отзывчивый А.А.Мартинсон.

Участие лаборатории активной диагностики в проекте ВЕГА заключалось в лазерном моделировании высокоскоростного удара пылевых частиц о мишень, что было важно для понимания процессов, происходящих в пылеударном масс-анализаторе ПУМА, который планировалось установить на борту космических станций. Для выполнения этой работы был создан лабораторный прототип ПУМЫ с лазерным источником ионов – ЛИМА. В дальнейшем этот прибор, представляющий собой лазерный времяпролетный масс-спектрометр оригинальной разработки, предполагалось использовать в проекте „Фобос" для проведения анализа элементного и изотопного состава образцов грунта марсианского спутника на борту станции. Но сначала о ВЕГЕ.

Когда прибор ПУМА был практически готов, в экспериментах на ЛИМЕ обнаружилось, что для крупных пылинок, образовавшаяся при ударе, плазма будет экранировать ускоряющий промежуток, что приведет к потере спектров. При этом ожидалось, что процент крупных частиц будет достаточно высоким. Пришлось срочно вводить изменения в летный, практически готовый прибор, что в дальнейшем обеспечило получение с борта уникальных данных об элементном и изотопном составе вещества кометы.

К этому времени на завершающей стадии находился и прибор ЛИМА для проекта „Фобос". В СКБ Фрунзе изготавливались технологические блоки питания, в опытном производстве ИКИ – сам прибор. Однако произошло непредвиденное: рассмотрев более подробно сценарий проекта и риск, связанный с забором грунта с помощью гарпунов, руководство решило исключить из него этот эксперимент. Лаборатория оказалась в „подвешенном" состоянии. Почти готовый бортовой прибор, на разработку и изготовление которого ушло много сил и средств, стал невостребованным.

И, тем не менее, выход удалось найти. Г.Г.Манагадзе предложил при пролете космического аппарата над поверхностью марсианского спутника на высотах 50–80 метров испарить и ионизировать с помощью лазерного воздействия реголит, а разлетающиеся ионы перехватить бортовым масс-спектрометром. Начались работы над созданием уникального бортового дистанционного лазерного масс-анализатора – ЛИМА-Д (спустя два года идея, заложенная в приборе ЛИМА-Д, была признана изо-

who were prominent in the plasma studies – R.Z. Sagdeev, A.A. Galeev, A.A. Rukhadze and A.V. Gurievich assumed the possibility of this effect and could explain it, this did not help the laboratory employees reporting at international conferences about the observed effect.

Four years later the war against the „superpotential" suddenly stopped. The data proving this phenomenon was obtained in the American-Norwegian experiment after an electron beam injection to a high altitude. The laboratory's rating grew significantly – the laboratory papers were widely cited. By that time the laboratory became international: N.A. Leonov from Kiev State University, an excellent physician-researcher and a jack-of-all-trades was training at the laboratory; postgraduate students from Bulgaria – an astronaut A.A. Alexandrov (later he was the second Bulgarian astronaut) and a physician-experimentalist L.A. Semionov were learning there. After that they both got Ph.D. T.I. Gagua, A.A. Akishin and later A.A Martinson, a skilled experimentalist and a kind and sympathetic person came to the laboratory.

For the VEGA mission the laboratory for active diagnostics simulated a high-speed impact of dust particles on a target using a laser. This was very important for understanding the processes occurring in the dust impact mass-analyzer PUMA, which should be installed onboard the space stations. For this the LIMA instrument (a PUMA laboratory prototype) with a laser ion source was developed. This original design instrument – a laser time-of-flight mass-spectrometer – was planned for the Phobos mission for analyzing elements and isotope composition of the Martian moon's soil samples onboard the landing probe. Let us begin with the VEGA mission.

When the PUMA instrument was almost ready experiments with the LIMA showed that plasma screened the accelerating interval for large-sized dust particles originating during an impact. This made it impossible to measure spectra. It was expected that the percentage of large-sized particles would be rather high. Consequently the almost completed flight model was modified. Further this modification provided for unique data on the element and isotope ratio of the comet matter obtained from onboard the spacecraft.

By that time the LIMA instrument for the Phobos mission was almost completed. Engineering models of the power supply units were fabricated at SKB Frunze and the instrument itself – at the IKI experimental production site. However an unexpected situation arose – the mission managers decided to exclude this experiment after a thorough reconsideration and assessment of the risk connected with the soil sampling by a harpoon. The laboratory turned out to be „suspended". The almost ready-made flight model of the LIMA instrument, which was rather costly, became unclaimed.

Nevertheless a solution was found. G.G. Managadze offered to evaporate and ionize the regolith by a laser during the spacecraft pass over the Martian moon at altitudes of 50–80 m. The onboard mass-spectrometer had to register the running away ions. Therefore, the work on the development of the unique remote sounding laser mass-analyzer LIMA-D began (two years later the basic idea of the LIMA-D design was patented). In opinion of the LIMA-D experiment PI G.G. Managdze only R.Z. Sagdeev could be inspired by such a risky at first sight idea and to promote its implementation.

pictures see page 190

бретением, и на него выдано авторское свидетельство). По мнению научного руководителя эксперимента ЛИМА-Д Г.Г.Манагадзе, только Р.З.Сагдеев мог воодушевиться такой рискованной, на первый взгляд, идеей и обеспечить ее воплощение.

Аппаратура по принципу действия была достаточно сложной для традиционного бортового прибора: при пролете над Фобосом требовалось точное определение дистанции с помощью входящего в состав прибора дальномера; по этим данным перестраивался фокусирующий объектив и одновременно изменялось напряжение на сетках рефлектора, и все это в непрерывном оперативном режиме. Прибор отслеживал рельеф, и после каждого выстрела лазера информация с частотой опроса 10 нс записывалась в память. Ничего подобного в практике космического приборостроения ранее не было. Все приходилось делать практически с нуля.

Тем не менее, сотрудники лаборатории И.Ю.Шутяев, А.Л.Бондаренко, П.П.Тимофеев и В.М.Тер-Микаэлян, проявив огромное трудолюбие и незаурядные способности, успешно справились с поставленной задачей: прибор был разработан, испытан и поставлен своевременно, успешно прошел и тесты в процессе полета. А трагическая судьба космических аппаратов проекта „Фобос" хорошо известна.

Одновременно с прибором ЛИМА-Д разрабатывается и дистанционный масс-анализатор ДИОН, основанный на принципе вторично-ионной эмиссии с поверхности Фобоса под воздействием потока ионов с энергией ~3 кэВ. Основополагающая идея этих измерений была предложена Р.З.Сагдеевым и Г.Г.Манагадзе. Бортовой квадрупольный масс-анализатор, предназначенный для регистрации вторичных ионов, выбиваемых из поверхности Фобоса, разрабатывался в группе, возглавляемой Е.Н.Евлановым. Научным руководителем и этого эксперимента был назначен Г.Г.Манагадзе, соруководителем – В.Ридлер. В его подготовке весомый вклад внесли ученые Франции.

Летом 1986 года произошла трагедия. В горах Кавказа во время восхождения погиб С.Б.Ляхов. К тому времени Сергей был уже хорошо известен в научных кругах в стране и за рубежом – высококвалифицированный физик-экспериментатор, талантливый ученый, надежный друг. Он собрал богатый экспериментальный материал для своей докторской диссертации и начал писать ее. В проекте „Фобос" С.Б.Ляхов участвовал как ведущий по эксперименту ДИОН. Утрата была воистину невосполнимой. Говоря о Сергее, сотрудники лаборатории вспоминают и В.Г.Чибисова, В.И.Ершова и А.А.Мартинсона, безвременно ушедших из жизни в разные годы, и чтят их память.

Тем не менее, работу требовалось продолжать. В рамках проекта „Фобос" она включала научно-исследовательскую и лабораторную отработку основной идеи на большой вакуумной камере КИСа, подготовку технических заданий на приборы, проведение испытаний отдельных узлов.

Через зарубежных соисполнителей эксперимента удалось сосредоточить в лаборатории самую передовую западную технику. И.Киссель из ФРГ и Р.Пелленен из Финляндии, являясь соруководителями эксперимента ЛИМА-Д, способствовали этому. Высокая квалификация, старание и активность участников экспериментов ЛИМА-Д и ДИОН обеспечили успешное завершение изготовление приборов и своевременную их поставку.

В процессе подготовки эксперимента ДИОН не прекращались попытки создания более чувствительного масс-анализатора по сравнению с квадрупольным. Выбор был не слишком ве-

The instrumentation operation principle was rather complex for the conventional onboard devices since during the flight over Phobos the precise distance determination by a range finder was required. This data was used for a continuos lens refocusing and a simultaneous voltage change on the reflector's grate. The instrument registered the relief, and data was stored with a sampling rate of 10 ns after each laser shot. Nothing similar had ever been in the practice of space device engineering. Everything should be done from the very beginning.

Nevertheless the laboratory employees I.Yu. Shutyaev, A.L. Bondarenko, P.P. Timofeev and V.M. Ter-Mikaelyan successfully resolved the problem and showed an enormous diligence and outstanding talent. The instrument was developed, tested and timely installed onboard the spacecraft and then successfully passed the flight tests. However everybody knows the tragic destiny of the Phobos mission spacecraft.

In parallel with the LIMA-D instrument the DION mass-analyzer was being developed. The latter was based on the principle of a secondary-ion emission from the Phobos surface caused by the ion flux with an energy of №3 keV. R.Z. Sagdeev and G.G. Managadze proposed the main idea. A group headed by E.N. Evlanov developed an onboard quadruple mass-analyzer destined for registration of the secondary ions knocked out of the Phobos surface. G.G. Managadze was appointed the experiment PI and V. Ridler – co-PI. French scientists made a weighty contribution to the experiment preparation.

In summer 1986 a tragedy occurred. S.B. Lyakhov died while climbing the Caucasus Mountains. By that time he was well-known in the scientific community in Russia and abroad. He was a highly skilled physician-experimentalist, a talented scientist and a reliable friend. Lyakhov gathered rich experimental material for his Sci.D. degree thesis. He was responsible for the DION experiment of the Phobos mission. This loss was irreplaceable. Recollecting Sergei the laboratory employees also recollect V.G. Chibisov, V.I. Yershov and A.A. Martinson who prematurely passed away and worship their memory.

Nevertheless the work should be continued. Within the framework of the Phobos mission the laboratory conducted research and performed experiments in the large vacuum chamber thus processing the main design, prepared technical specifications for the instruments and tested several units.

The experiment foreign co-executors and especially I. Kissel (Germany) and R. Pellenen (Finland), who were the LIMA-D experiment co-PIs, helped to equip the laboratory with the most advanced Western-made instrumentation. High skill, efforts and efficacy of the LIMA-D and DION experiment participants provided for the successful instrument fabrication and its timely delivery.

During the DION experiment preparation the laboratory was trying to develop a mass-analyzer with a higher sensitivity than the quadruple mass-analyzer had. The choice was limited therefore all possible options were reconsidered, including foil time-of-flight instruments. They could not fully solve the task, as the ions had to be additionally accelerated up to 100 kV for the spectra obtaining and these instruments mass resolution was very low – less than 10. It was very difficult to work with this voltage level in the laboratory conditions and twice problematic – onboard a spacecraft. In addition the mass resolution was insufficient for studying the elements heavier than oxygen.

иллюстрации стр. 190

лик, и поэтому рассматривались все возможные варианты, в том числе, и фольговые времяпролетные приборы. Они не вполне отвечали задаче, т.к. для получения спектров исследуемые ионы должны были доускоряться до 100 кВ, а массовое разрешение таких приборов было очень низкое – не превышало 10. Работать с этими напряжениями было трудно в лабораторных условиях и вдвойне – на борту. Кроме того, массовое разрешение не позволяло исследовать элементы после кислорода.

Возникла весьма противоречивая и, с первого взгляда, неразрешимая задача: при снижении раза в три высокого напряжения добиться увеличения массового разрешения, по крайней мере, раз в 20, т.е. довести этот параметр до 200. И такое решение было найдено. Г.Г.Манагадзе предложил за углеродной фольгой расположить отражатель ионов, обеспечивающий пространственно-временную фокусировку частиц в узкие массовые пики. Увеличение глубины фокусировки давало возможность получить массовое разрешение ~200 для ионов с энергией ~30 кВ. Использовать этот прибор в проекте „Фобос" не представлялось уже возможным из-за дефицита времени на его изготовление и испытания. Однако с его помощью могли быть обеспечены первые измерения изотопного состава тяжелой компоненты солнечного ветра. Как раз в это время шел отбор предложений для совместного Евро-Американского проекта СОХО по исследованию Солнца, и немецкие ученые обратились к Г.Г.Манагадзе с просьбой разрешить включить идею прибора в заявку на участие в проекте. Реакция руководства ИКИ была положительной. На встречах с Д.Ховештатом и Е.Мебиусом в Москве и в Австрии им было передано не только ноу-хау по будущему прибору, но и предварительные результаты лабораторных экспериментов и расчеты, а также достигнуто соглашение о передаче, при необходимости, этих данных американским ученым – потенциальным изготовителям прибора. В протоколе встречи нашло отражение и то, что идея создания прибора взята из ИКИ и используется в полном объеме.

Спустя какое-то время пришло сообщение, что новый прибор включен в состав бортовой аппаратуры проекта СОХО. Прибор частично изготовлялся и интегрировался в США в Мерилендском университете, а отдельные его узлы в ФРГ и Швейцарии.

У нового прибора, запатентованного в США и известного в научной литературе как МАНАГАДЗЕ-ТОФ, оказалась счастливая судьба – сегодня он используется в трех международных проекта: СОХО, ВИНД и АСЕ. Работает надежно, обеспечивая высокие аналитические и эксплуатационные характеристики. По полученным результатам опубликовано более 60 статей. Впервые измерены изотопные соотношения Mg, S, Fe, Ni в солнечном ветре.

В настоящее время лаборатория активной диагностики интенсивно работает над созданием компактных времяпролетных лазерных масс-анализаторов для широкого класса аналитических задач от планетных исследований до экологии. Уместно отметить участие в этих работах и молодежи. Так, например, ведущий конструктор А.Е.Чумиков за короткий срок работы в ИКИ стал по настоящему ведущим специалистом лаборатории.

Несмотря на трудные для науки годы, работа идет по нарастающей, сохранен основной, базовый коллектив лаборатории. Из других подразделений ИКИ в лабораторию переведены: радиоинженер В.Н.Чистяков, конструктор Л.В.Романова и слесарь высокой квалификации В.П.Соколов. Есть пополнение и извне – аспирант из ИПУ РАН Н.Г.Манагадзе. С их участием

A very contradictional and for the first sight insolvable task arose: to increase the mass resolution at least 20 times. The solution to this task was found. G.G. Managadze offered to place an ion reflector behind the carbon foil. This should provide for spatial-time focusing of the particles to the narrow mass peaks. The focusing depth increase made it possible to obtain the mass resolution of about 200 for the ions with an energy of about 30 kV. Unfortunately it was impossible to use this instrument in the Phobos mission due to the lack of time needed for its manufacture and tests. However the instrument could be useful for conducting first measurements of the isotope ratio of the solar wind's heavy component. At that time proposals for the joint Euro-American mission SOHO aimed at the Sun exploration were being selected. German scientists asked G.G. Managadze to allow the instrument design inclusion into the proposal. The IKI administration reacted positively. During meetings in Moscow and Austria D. Hovestat and E. Mobius acquired not only the know-how but also the preliminary results of the lab experiments and calculations. An agreement of a possibility of passing this data to the U.S. scientists – potential instrument manufacturers, was reached. It was written in the protocol that the idea of the instrument design belonged to IKI and could be fully applied.

Later the message was received that the MTOF instrument was included in the SOHO mission payload. The instrument was partially manufactured and integrated at the Maryland University (USA), some units – in Germany and Switzerland.

New instrument was patented in the USA and named MANAGADZE-TOF thes instrument had a happy fate. Today it is used in three international missions – SOHO, WIND and ASE. It reliably operates with high performance. More than 60 papers have been published on the obtained results. Isotope ratios of Mg, S, Fe and Ni were measured for the solar wind for the first time.

At present the laboratory for active diagnostics intensively develops compact time-of-flight laser mass-analyzers for a wide spectrum of analytical tasks – from the planetary research to ecology. Young scientists also participate in this work. For example, leading designer A.E. Chumikov became a real expert after a short period of working at the laboratory.

Despite the difficult for the science years the work is on and still intensified, the main team has been retained. Radio engineer V.N. Chistyakov, designer L.V. Romanova, highly qualified fitter V.P. Sokolov transferred to the laboratory from other IKI subdivisions. Postgraduate student N.G. Managadze came from the Institute for Control Problems (IPU RAN). They participated in the development of the mass-spectrometer series for solving various analytical tasks and in the creation of the up-to-date measurement techniques. Among the instruments created at the laboratory the laser time-of-flight mass-reflectron LASMA is the mostly advanced instrument. It is destined for solid bodies' element and isotope analysis. The John Hopkins University (USA) has developed a flight prototype of this instrument for future planetary missions. The design is conducted in cooperation with R. W. McEntire and W.B. Brinckerhoff. Various modifications of the LASMA instrument operate in research centers of Germany and the USA. In particular, the U.S. LASMA modification is planned for studying soil heavy elements in the Los-Alamos desert.

At present the laboratory for active diagnostics has finished the development of a laser mass-spectrometer prototype for the organic matter analysis. This instrument is an original version of

pictures see page 190

разработана серия масс-спектрометров для различных аналитических задач, созданы передовые методики измерения. Среди приборов, созданных в лаборатории, наиболее продвинут лазерный времяпролетный масс-рефлектрон ЛАЗМА. Прибор предназначен для элементного и изотопного анализа твердых тел. На его базе в лаборатории прикладной физики Университета Джона Гопкинса в США разработан прототип летного прибора для будущих планетных исследований. Работа ведется совместно с Р.Мак-Ентайером и В.Бринкергофом. Различные варианты прибора ЛАЗМА работают в исследовательских центрах Германии и США. В частности, американская версия прибора ЛАЗМА планируется для исследования тяжелых элементов в почве в Лос-Аламосской пустыне.

В настоящее время в лаборатории активной диагностики завершена разработка прототипа лазерного масс-спектрометра для анализа органики. Инструмент представляет собой оригинальной вариант конструкции широко известной техники МАЛДИ. По совокупным габаритно-весовым и аналитическим характеристикам он не имеет аналога в мире. Разрабатываются методики для использования этого прибора в планетных исследованиях для изучения реликтовой органики и обнаружения бактериальной формы жизни. Введутся работы по созданию летного прибора для исследования нейтрального газа и потока низкоэнергичных ионов. Основой для начала этих разработок стали успешные испытания лабораторной модели прибора, выполнявшиеся в течение последних лет А.Я.Гусевым и К.А.Меньшиковым. Работы были проведены при поддержке Фонда Сореса и НАСА.

На различных этапах деятельности лаборатории активной диагностики с нею взаимодействовали, оказывали содействие, помогали советами многие сотрудники других лабораторий и служб ИКИ, институтов и лабораторий за его пределами, в том числе, и зарубежных.

the widely known MALDI instrument. There is no instrument wherever in the world similar in mass, dimension and analytical capacity. The techniques for this instrument application in planetary research for the relict organic matter study and discovery of bacterial form of life are being developed. The flight model for studying neutral gas and low energy ion flux is being created. The instrument lab model successful tests recently completed by A.Ya. Gusev and K.A. Menshikov have become a basis for these developments. Soros Fund and NASA supported the work.

Many employees from other IKI laboratories and departments as well from other Russian and foreign laboratories interacted with the laboratory for active diagnostics at certain stages of its activity.

иллюстрации стр. 190

Отдел космической динамики и математической обработки информации



Department for Space Dynamics and Mathematical Data Processing

Отдел космической динамики и математической обработки информации ИКИ образовался в 1988 году на базе отделов баллистики и автоматизированной обработки телеметрической информации. Эти два направления – навигационная поддержка и обработка телеметрической информации, составляют основу информационного обеспечения научных экспериментов в космосе.

При запусках первых высотных ракет и искусственных спутников Земли (1958–1959 гг.) получаемая с них телеметрическая информация обрабатывалась в Отделении прикладной математики (ныне ИПМ им.М.В.Келдыша) с участием периодически прикомандировываемых сотрудников из КБ им.Губенко, НИИ-4 и НИИ-5 Министерства обороны. В дальнейшем стала очевидной необходимость создания для выполнения этой работы в АН СССР единого постоянно действующего подразделения – информационно-расчетного бюро (ИРБ). С.П.Королев порекомендовал М.В.Келдышу – в то время директору ОПМ, поручить организацию такого бюро Г.Н.Злотину. Первыми сотрудниками ИРБ стали сам Г.Н.Злотин – руководитель бюро, И.Н.Кикнадзе, В.М.Покрас, В.Т.Андреева, Л.П.Казута, З.С.Аксенова, А.К.Назарова, Э.М.Николаенко, Е.Т.Князева, Т.М.Гольцева, К.Ф.Соколова, Г.П.Иванова, И.Д.Дмитриева, Т.И.Леончик, Т.А.Заглядимова, Т.М.Румянцева, Т.М.Шемякина, С.М.Розова, Р.Э.Бродская, Н.Булычева, А.С.Степанов, В.И.Михалева, В.М.Гаврилова, А.А.Шашкова, С.А.Покровский, Н.А.Фролова, А.В.Зайцева, Н.В.Шишковская, Г.Н.Ландышева, И.В.Чистова, И.С.Бурдо, В.М.Семенова, З.Г.Борисова. В 1960 г. ИРБ было реорганизовано в отдел обработки научной информации ОПМ и одновременно пополнилось за счет сотрудников ИПГ, НИИЯФ МГУ и других институтов, занимавшихся там аналогичной работой.

Ведущими специалистами отдела Г.Н.Злотиным, И.Н.Кикнадзе, В.М.Покрасом и И.Д.Дмитриевой была разработана общая схема системы обработки данных, основные принципы которой остаются актуальными и по сей день. Предпринимаются все возможные меры, чтобы автоматизировать хотя бы отдельные этапы обработки. Были введены в эксплуатацию экранные дешифраторы информации, осуществлен ввод информации с телетайпа в ЭВМ с помощью перфоленты и т.д. Создается первая группа программистов (А.Ф.Орлова, М.Г.Забелина, Ю.М.Родионова и Р.Д.Кузнецова), которая разрабатывает программы обработки данных предварительной ручной дешифрации на вычислительных средствах ОПМ.

The department for space dynamics and mathematical data processing was formed at IKI in 1988 based on the departments for ballistics and telemetry automated processing. These two trends, including the navigation support and the telemetry data processing form the basis of the scientific experiment support in space.

The telemetry obtained from the first high-altitude rockets and artificial satellites (1858–1959) was processed at the Division for applied mathematics (now the Keldysh Institute for Applied Mathematics) with the participation of the Gubenko Design Bureau and NII-4 and NII-5 of the Ministry for Defense. Later the need in creation of a special department, which could solve similar tasks for the USSR Academy of Sciences, became evident. This was a bureau for information and computation. S.P. Koroliov recommended M.V. Keldysh who headed the Division for applied mathematics to entrust G.N. Zlotin with this bureau formation. The first employees of this bureau were the following: G.N. Zlotin – head of the bureau, I.N. Kiknadze, V.M. Pokras, V.T. Andreeva, L.P. Kazuta, Z.S. Aksionova, A.K. Nazarova, E.M. Nikolaenko, Ye.T. Knyazeva, T.M. Goltseva, K.F. Sokolova, G.P. Ivanova, I.D. Dmitrieva, T.I. Leonchik, T.A. Zaglyadimova, T.M. Rumyantseva, T.M. Shemyakina, S.M. Rozova, R.E. Brodskaya, N. Bulychiova, A.S. Stepanov, V.I. Mikhaliova, V.M. Gavrilova, A.A. Shashkova, S.A. Pokrovsky, N.A. Frolova, A.V. Zaitseva, N.V. Shishkovskaya, G.N. Landysheva, I.V. Chistova, I.S. Burdo, V.M. Semionova and Z.G. Borisova. In 1960 the bureau was re-organized into a department for the scientific data processing of the department for applied mathematics. The specialists from the Institute for Applied Geophysics, the Nuclear Physics Institute of Moscow State University and other institutes conducting similar work came to the department.

The architecture of data processing system was developed by the department's leading specialists (G.N. Zlotin, I.N. Kiknadze, V.M. Pokras and I.D. Dmitrieva). These principles are still actual. In order to automate at least some processing stages all possible measures were taken, including usage of the screen data decoders, data input from the teletype using punch tapes and other devices. The first team of programmers (A.F. Orlova, M.G. Zabelina, Yu.M. Rodionova and R.D. Kuznetsova) began to

pictures see page 191

В 60-х годах появились средства регистрации телеметрической информации на специализированную магнитную ленту (ТМЛ), что позволило представлять результаты обработки на электрохимической бумаге. Большой вклад в организацию этих работ внесли И.А.Богоявленский, Т.М.Румянцева, А.Н.Еремина, Т.М.Гольцева. Одновременно начинается проработка возможностей ввода телеметрической информации непосредственно в память ЭВМ.

В 1965–1969 гг. В.М.Покрасом была разработана и внедрена в эксплуатацию автоматизированная система „Артур" для ввода информации с телеметрической магнитной ленты в ЭВМ „Урал-11" (начальник машины В.В.Маковкин) и „Урал-14". Впервые система „Артур" использовалась для обработки информации в проекте „Протон". В дальнейшем, уже в ИКИ, с развитием парка вычислительных средств Института (ЭВМ серии ЕС, ЭВМ М-6000, AMDAHL в самом ИКИ и на созданной в Евпатории его терминальной станции) она была адаптирована на новые вычислительные средства (Л.С.Чесалин, А.В.Ананьев, Е.Д.Гернет, С.Н.Рыкованов, С.П.Перелыгин).

В эти же годы в отдел пришли молодые грамотные специалисты, только что окончившие МГУ, МИФИ и ряд других вузов Москвы: Н.В.Плюснина, Н.П.Пчелинцева, Е.А.Гаврилова, А.С.Вильчинская, А.Ф.Маковкина, А.В.Дьячков, позднее Л.В.Рудневская, Л.В.Яброва, В.Д.Маслов и др., которые составили костяк информационного обеспечения космических проектов. Они стали авторами фундаментальных программных модулей системы автоматизированной обработки данных, разработчиками и создателями новых систем автоматизированной обработки. В 1966 г. отдел обработки телеметрической информации практически в полном составе был переведен из ОПМ в Институт космических исследований. В разные годы отдел возглавляли Ю.П.Шиляев (1972 г.), П.Э.Эльясберг (1972–1973 гг.), Г.И.Забиякин (1973–1977 гг.), Ф.Ф.Михайлус (1977–1982 гг.), а с 1982 г. и до безвременной кончины В.М.Покрас. При этом он с 1959 по 1986 гг. оставался бессменным заведующим лаборатории автоматизации обработки и вырастил целое поколение своих последователей. С начала 70-х годов отдел активно включается в работы по программе Совета „Интеркосмос", обеспечивая информационное сопровождение проектов (серийная обработка телеметрической информации проектов, обмен данными совместных экспериментов, внедрение разработанного математического обеспечения и т.д.).

В 1972 году создаются три группы разработчиков автоматизированных систем обработки телеметрических данных с КА: околоземных (группа В.Д.Маслова), высокоапогейных (группа Е.А.Гавриловой) и межпланетных (группа А.В.Дьячкова).

Группой В.Д.Маслова (К.М.Рыкунова, А.С.Вильчинская, Л.В.Рудневская, Н.Г.Рыбкина, Г.Н.Ландышева, Н.К.Борисова, Т.И.Леончик, А.Н.Еремина, Т.М.Гольцева, В.Т.Андреева) разрабатываются системы автоматизированной обработки для проектов „Интеркосмос-8" (1972 г.), „Интеркосмос-Коперник-500" (1973 г.), „Интеркосмос-10,...-21" (1973–1981 гг.), „Интеркосмос-Болгария-1300" (1981 г.), „Ореол-1, -2, -3" (проект АРКАД, соответственно 1971, 1973, 1981 гг.). Эта же группа продолжила работу в составе объединенного отдела по проектам „Активный" (1989 г.), АПЭКС (1990 г.), „Коронас" (1993 г.).

Группой Е.А.Гавриловой (Н.В.Плюснина, И.Г.Лодкина, Т.А.Кирсанова, Е.И.Колесникова, И.Э.Белова) создаются системы автоматизированной обработки данных для проектов „Вертикаль-3, -4, -6, -7" (соответственно 1975, 1976, 1977, 1978 гг.), „Луна-22" (1974 г.), „Салют-4" (1974 г.), „Салют-7" (1982 г.),

develop data processing software for preliminary manual deciphering based on the hardware at the Division for Applied Mathematics.

In the 1960s it became possible to register telemetry registration on special magnetic tape what allowed processed data presentation on electrochemical paper. I.A. Bogoyavlensky, T.M. Rumyantseva, A.N. Yeriomina and T.M. Goltseva contriduted a lot to this job. At the same time a possibility of telemetry data input directly to the computer was being developed.

In 1965–1969 V.M. Pokras developed and put into operation the automated system Artur for the data input from the telemetry magnetic tape to the Ural-11 (V.V. Makovkin – responsible for computer) and Ural-14 computers. For the first time the Artur system was used for data processing in the Proton project. Then with the IKI computer park development this system was adapted to new ES, M-6000 and AMDAHL computers and the terminal station in Evpatoriya (L.S. Chesalin, A.V. Ananiev, Ye.D. Gernet, S.N. Rykovanov and S.P. Perelygin).

Within these years young specialists-graduates from Moscow State University (MGU), the Moscow Physical Engineering Institute (MIFI) and other Moscow higher educational establishments came to the department. They were N.V. Plyusnina, N.P. Pchelintseva, Ye.A. Gavrilova, A.S. Vilchinskaya, A.F. Makovkina, A.V. Diachkov and later L.V. Rudnevskaya, L.V. Yabrova, V.D. Maslov et al. They formed the backbone for the space mission information support. These specialists developed basic software modules for the data automated processing system and created new systems for automated processing.

In 1966 the department for telemetry data processing almost wholly was transferred from the Division for Applied Mathematics to the Space Research Institute. Yu.P. Shilyaev (1972), P.E. Eliasberg (1972–1973), G.I. Zabiyakin (1973–1977), F.F. Mikhailus (1977–1982) headed the department. V.M. Pokras became the head of the department in 1982 and held the position till his untimely death being also a head of the laboratory for data processing automation from 1959 till 1986. He brought up a generation of followers.

In the early 1970s the department was involved into activity on the Intercosmos program providing for the missions information support. This work included telemetry serial processing for particular missions, data exchange for the joint experiment, new software introduction, etc.

In 1972 three groups were formed to develop automated telemetry processing systems for spacecraft in near-Earth orbits (V.D. Maslov's group), high-apogee orbits (Ye.A. Gavrilova's group) and interplanetary trajectories (V.A. Diachkov's group).

The group headed by V.D. Maslov (K.M. Rykunova, A.S. Vilchinskaya, L.V. Rudnevskaya, N.G. Rybkina, G.N. Landysheva, N.K. Borisova, T.I. Leonchik, A.N. Yeriomina, T.M. Goltseva and V.T. Andreeva) developed the automated processing systems for the folowing projects: Intercosmos-8 (1972), Intercosmos-Kopernik-500 (1973), Intercosmos-10, ...-21 (1973–1981), Intercosmos-Bulgaria-1300 (1981), Aureol-1, -2, -3 (ARCAD project, 1971, 1973 and 1981, respectively). This group also operated as a part of the joint department for the Aktivny (1989) APEX (1990) and Coronas (1993) missions.

Group headed by Ye.A. Gavrilova (N.V. Plyusnina, I.G. Lodkina, T.A. Kirsanova, Ye.I. Kolesnikova and I.E. Belova) created automated data processing systems for the missions

иллюстрации стр. 191

„Прогноз-1,...-8" (1972–1981 гг.), „Прогноз-9–Реликт" (1983–1984 гг.), „Прогноз-10-Интершок" (1985–1986 гг.) и в составе объединенного отдела для проектов „Рентген" (1987–1997 гг.; модуль „Квант" на станции „Мир"), „Гамма-1" (1990–1991 гг.), „Интербол-1" (1995–1999 гг.), „Интербол-2" (1996–1999 гг.). Начиная с проекта „Прогноз-5" (1976 г.), в системе автоматизированной обработки данных стала использоваться разработанная Е.А.Гавриловой методика высокоточной (до миллисекунд) привязки бортовых измерений к наземному времени. Столь высокая точность позволила, в частности, обеспечить локализацию источников гамма-всплесков (эксперимент СНЕГ-2МП на ИСЗ „Прогноз-6, -7"), рентгеновского излучения (эксперименты ТТМ, HEXE, „Пульсар Х-1" в проекте „Рентген"), реликтового излучения (эксперимент „Реликт" на ИСЗ „Прогноз-9"). По всем этим проектам была выполнена серийная обработка данных нескольких тысяч сеансов связи (Е.А.Гаврилова, Н.В.Плюснина, Н.В.Лодкина, Н.И.Кремнева, С.Н.Павленко, А.Н.Ананенкова, Л.И.Рабизова, В.В.Титова, Т.М.Епанечникова, Е.А.Чистякова, А.Маковкина).

Группой А.В. Дьячкова (В.Г. Степанов, Л.В.Рудневская, Ю.И.Изоскин, Л.В.Яброва, А.С.Вильчинская, Л.Н.Кузнецова, М.А.Голубкова, О.В.Балакина) разрабатываются системы автоматизированной обработки телеметрических данных для планетных проектов. Каждый последующий проект содержал новую или существенно модернизированную телеметрию, что требовало и совершенно новой системы обработки данных.

Уникальность планетных исследований предъявляла особые требования к полноте объема и качеству информации. Приходилось проводить тщательный анализ всех шумов и помех, возникающих при передачи данных, анализировать сбои в бортовых телеметрических системах, в работе научных приборов, в наземной приемной, декодирующей и регистрирующей аппаратуре. Для выявленных функциональных сбоев, создавались специальные помехоустойчивые алгоритмы обработки (А.В.Дьячков), позволяющие однозначно восстанавливать потерянные данные. Привлечение априорной информации позволило сузить до минимума границы помех и провести их идентификацию.

В проекте „Марс-71" (1971–1972 гг.), в отличие от цикличесих телеметрических систем, впервые применяется адресная телеметрическая система с различными программами телеизмерений, использовавшаяся в дальнейшем на всех дальних космических аппаратах. Изюминкой проекта стало наличие адаптивной системы (системы сжатия информации) по одному каналу эксперимента „Стерео-1". При этом впервые осуществлен ввод информации в ЭВМ Урал-11 и ее обработка в реальном времени. В проекте „Марс-73" (1973–1974 гг.) в эксперименте „Стерео-5" использовалась адаптивная система уже по двум каналам. Впервые на борту КА функционировала нештатная телеметрическая система „Фобос," которая формировала кадр переменной длины. Сложность состояла в том, что при выходе в радиоканал информацию необходимо было, как в „прокрустово ложе", помещать в кадр штатной телеметрии. При обработке информации по этому проекту впервые осуществлена межмашинная связь ЭВМ Урал-11–ЭВМ БЭСМ-4 (В.М.Покрас, А.Ф.Маковкин, В.И.Беляев).

В проекте „Венера-9, -10" (1975–1977 гг.) впервые спускаемый аппарат был оснащен своей собственной телеметрической системой. В рамках этого же проекта начались первые международные эксперименты по регистрации гамма-вплесков („Конус" – ЛФТИ им.А.Ф.Иоффе и „Снег-2М3" – CNES, CESR). Процесс обработки информации по этим проектам удалось суще-

Vertikal-3, -4, -6, -7 (1975, 1976, 1977 and 1978, respectively), Luna-22 (1974), Salyut-7 (1982), Prognoz-1, -2, -3, -4, -5, -6, -7, -8 (1972–1981), Prognoz-9-Relict (1983–1984), Prognoz-10-Intershock (1985–1986). As a part of the new department the group worked for the Roentgen (1987–1997; the Kvant module of the Mir orbital station), Gamma-1 (1990–1991), Interball-1 (1995–1999) and Interball-2 (1996–1999) missions. A highly precise (up to milliseconds) technique for onboard measurements time referencing to the Earth clock developed by Ye. Gavrilova was used in the automated data processing system in the Prognoz-5 project (1976) for the first time. This accuracy allowed localizing of gamma-ray burst sources (SNEG-2MP experiment, Prognoz-6, -7), X-rays (TTM, HEXE, Pulsar X-1 experiments, Roentgen mission) and the relict radiation (Relict experiment, Prognoz-9). Ye.A. Gavrilova, N.V. Plyusnina, N.V. Lodkina, N.I. Kremniova, S.N. Pavlenko, A.N. Ananenkova, L.I. Rabizova, V.V. Titova, T.M. Yepanechnikova, Ye.A. Chistiakova and A. Makovkina processed data series from several thousands communications sessions.

A.V. Diachkov's group (V.G. Stepanov, L.V. Rudnevskaya, Yu.I. Izoskin, L.V. Yabrova, A.S. Vilchinskaya, L.N. Kuznetsova, M.A. Golubkova and O.V. Balakina) developed telemetry automated processing systems for planetary missions. Each new mission had new or significantly modernized telemetry. This consequently required an absolutely new system for data processing.

Planetary research uniqueness imposed special requirements for the data amount and quality. It was necessary to thoroughly analyze the noise occurring during data transmission as well as failures in the onboard telemetry systems, scientific instruments, in the ground-based receiving, decoding and registration systems. In order to reveal functional failures A.V. Diachkov developed special jamproof processing algorithms, which provided unambiguous reconstruction of the lost data. A priori data made it possible to maximally narrow the noise boundaries and to identify them.

For the Mars-71 mission (1971–1972) an address telemetry system with various telemeasurement programs was introduced for the first time instead of the cyclic telemetry systems. Later on this system was used for all deep space spacecraft. An adaptive system (data compression system) in one channel of the Stereo-1 experiment became the luster of this mission. In addition for the first time the data was input in the Ural-11 computer and processed on-line.

An adaptive system for two channels was used in the Stereo-5 experiment of the Mars-73 mission (1973–1974). The Phobos telemetry system operated in space for the first time. This non-nominal system formed a frame of variable length. The difficulty consisted in fitting this frame to the Procrustean bed of the nominal telemetry frame when the data was throughput to the radio channel. In this mission an intercomputer link (Ural-11–BESM-4) was implemented for data processing for the first time.

In the Venera-9, -10 mission for the first time the landing probe had a telemetry system. In addition the first international experiments on the gamma-ray burst registration began (Konus (Cone) – Ioffe Physical and Technological Institute and SNEG-2M3 – CNES, CESR). High-performance computers of the ES series significantly advanced the data processing in these projects. In addition direct access files were used.

pictures see page 191

венно ускорить за счет применения быстродействующих ЭВМ серии ЕС и использования файлов прямого доступа.

Начиная с проекта „Венера-13, -14" (1981–1983 гг.), объем обработки результатов наземных испытаний комплекса научной аппаратуры стал соизмеримым, а то и превосходящим объем данных, полученных в полете.

В ходе полета французского космонавта Ж.-Л.Кретьена на станции „Салют-7" (1983 г.) выполнялись эксперименты „Поза", „Металловедение". Данные экспериментов записывались на бортовой кассетный регистратор. На земле для ввода информации в ЭВМ потребовалось создать новое аппаратно-программное обеспечение, что было с успехом осуществлено В.М.Покрасом и А.В.Дьячковым.

На первой астрофизической обсерватории „Астрон" (1983–1990 гг.) для регистрации данных впервые отказались от специализированных магнитофонов и использовали магнитные ленты ЕС ЭВМ, а обработка научной телеметрической информации проводилась совместно с анализом баллистических данных.

В проекте „Венера-15" (1983 г.) был поставлен эксперимент Фурье-спектрометр, одной из особенностей которого стало использование режима непосредственной передачи информации, когда она, минуя телеметрическую систему, передавалась в радиоканал со скоростью, в 2,5 раза превосходящей скорость штатного воспроизведения информации с борта КА. Кроме того, впервые по результатам обработки создается архив абсолютных спектров и интерферограмм, содержащий для каждого измерения полный набор баллистических данных, необходимых для последующей интерпретации результатов экспериментов.

Проект ВЕГА (1985–1986 гг.) явился поистине „проектом века" и с точки зрения обработки телеметрии. В нем, кроме штатной телеметрии дальних космических аппаратов, была использована новая, так называемая, быстрая телеметрия со скоростью передачи данных 65 килобит в секунду, а также блок логики и сбора информации БЛИСИ (предвестник первой бортовой вычислительной машины). Для спускаемых аппаратов станций созданы две системы обработки данных: одна (А.В.Дьячков, А.Л.Вильчинская) для оперативной обработки на ЭВМ М-6000 на терминальной станции в г. Евпатория, другая (В.М.Покрас, А.В.Дьячков) для обработки в ИКИ в реальном времени на ЕС ЭВМ с визуализацией данных по каждому эксперименту на дисплеях. В этом проекте также впервые осуществлен ввод информации в ЭВМ AMDHAL в реальном времени (системные программисты А.В.Ананьев и С.А.Грибов, программисты-обработчики О.В.Балакина и А.В.Дьячков). На дисках AMDHALa создан архив данных пролетных сеансов (С.В.Репин). За обработку информации проекта ВЕГА А.В.Дьячков удостоен Государственной премии, А.С.Вильчинская – правительственной награды, а Л.В.Яброва – медали ВДНХ.

В 1988 году отдел автоматизированной обработки телеметрической информации был объединен с отделом баллистики. С этого времени все работы по обработке телеметрии с борта космических аппаратов проводятся в рамках единого подразделения, одной из главных задач которого стало полное информационное обеспечение научных экспериментов в космосе.

Отдел баллистики был создан в 1967 году с целью математического обеспечения проектирования космических миссий и навигационного сопровождения научных экспериментов на борту. Основателем отдела и заведующим почти до самой кончины был замечательный ученый и очень интересный человек, лауреат Ленинской премии П.Е.Эльясберг. Человек острого ума и огромной эрудиции, прошедший всю войну, полковник-инженер, доктор

Beginning from the Venera-13, -14 (1981–1983) mission processed data amount for the payload ground tests became comparable or exceeded that obtained in flight.

During the flight of French astronaut J.-L. Cretien onboard the Salyut-7 orbital station (1983) Poza (Pose) and Metallovedenie (Physics of metals) experiments were conducted. The data was registered on the onboard cassette recorder. V.M. Pokras and A.V. Diachkov developed new soft- and hardware for the data input into the computer.

For the first astrophysical observatory Astron (1983–1990) specialized tape recorders were replaced with the ES magnetic tapes. In addition scientific telemetry was processed jointly with the ballistic data analysis.

During the Venera-15 (1983) mission an experiment with the Fourier spectrometer was conducted. Its particular feature consisted in data direct transmission by-passing the telemetry system to the radio channel at a rate 2.5 times exceeding the nominal rate for data reconstruction. In addition the processed absolute spectra and interferograms were archived for the first time. This archive included a complete set of the ballistic data needed for the further interpretation of the experimental results.

The VEGA mission (1985–1986) was truly „the project of the century" concerning the telemetry processing also. In addition to the nominal telemetry from the deep space spacecraft a new so-called fast telemetry with a rate of 65 kbit/s was introduced. The spacecraft also carried the logistics and data sampling system BLISI. The latter was a precursor of the first onboard computer. Two data processing systems were designed for the landing probes. The first system (A.V. Diachkov and A.L. Vilchinskaya) was based on the M-600 computer of the terminal station (Evpatoriya) and intended for the on-line data processing. The other system (V.M. Pokras and A.V. Diachkov) for on-line processing based on the ES computer (IKI) with the data presentation on displays. For the first time during this experiment the data was on-line input into the AMDHAL computers (A.V. Ananiev and S.A. Gribov – system programmers, O.V. Balakina and A.V. Diachkov – application software programmers). For the VEGA data processing A.V. Diachkov was honored with the Lenin prize, A.S. Vilchinskaya – with governmental awards, L.V. Yabrova – with the medal.

In 1988 the department for the telemetry automated processing was integrated with the department for ballistics. Since then the telemetry from onboard spacecraft is processed by a single division. The full information support of the scientific space experiments became one of the division's main tasks.

The department for ballistics was created in 1967 for the mathematical support of space mission development and ballistic support of onboard scientific experiments. P.E. Eliasberg, a Lenin prize laureate founded the department and headed it almost until his death. He was a remarkable scientist and an interesting highly intelligent erudite person, he participated in the 2ND World War, attained the rank of an engineer colonel. Sci.D. P.Ye. Eliasberg came to IKI from NII-4 of the Defense Ministry. He was one of those who together with M.V. Keldysh, S.P. Koroliov, D.Ye. Okhotsimsky and other luminaries of the Soviet and world astronautics created the Soviet space science from the very beginning.

The young graduates from the Moscow State University Department for mechanics and mathematics (N.G. Khavenson,

иллюстрации стр. 191

технических наук, он пришел в ИКИ из НИИ-4 Министерства обороны. „Пал Ефим", как его называли сотрудники отдела, был одним из тех, кто вместе с М.В.Келдышем, С.П.Королевым, Д.Е.Охоцимским и другими корифеями советской и мировой космонавтики создавали славу отечественной космической науке в первые годы ее становления.

Пионерами отдела стали как молодые выпускники мехмата МГУ (Н.Г.Хавенсон, позднее М.И.Войсковский, В.М.Синицын, Н.М.Матяшова), так и уже имевшие за плечами опыт работы в ОКБ им.С.П.Королева – Г.А.Мерсов, Н.А.Эйсмонт, ЦНИИМАШ – В.И.Прохоренко, академии им.Ф.Э.Дзержинского – В.А.Филиппов). К концу 1968 года отдел представлял собой небольшой, но очень работоспособный коллектив, который осуществлял всю навигационную поддержку научных экспериментов, проводимых Институтом.

Становление отдела совпало с началом развития международного сотрудничества социалистических стран по программе Совета „Интеркосмос". В октябре 1969 года был запущен первый спутник по этой программе. Расчет даты старта и навигационная привязка научной информации осуществлялись сотрудниками отдела (Н.Г.Хавенсон, М.А.Чувахин). В то время все расчеты на ЭВМ выполнялись вне стен ИКИ (в ЦНИИМАШ на М-220), но с развитием собственной вычислительной базы эта работа стала выполняться на „домашней" ЭВМ БЭСМ-4.

Отдел интенсивно развивался. В него пришли молодые выпускники мехмата МГУ (М.Л.Пивоваров, В.Е.Соколов, Е.Е.Рязанова). П.Е.Эльясберг умело подбирал коллектив, приглашая и опытных специалистов (из ИПМ – Е.П.Алексашина и И.Г.Хацкевича, из НИИ-4 – Б.В.Кугаенко). В отделе создавались математические алгоритмы и программы для ЭВМ, проводились необходимые расчеты, зачастую в оперативном режиме по ночам. Уже к началу 70-х годов отдел баллистики ИКИ стал коллективом, способным решать практически все самые разнообразные баллистические задачи в сфере научных космических исследований. Однако круг этих задач требовал совершенствования математических методов. С приходом в ИКИ после окончания аспирантуры МГУ ученика П.Е.Эльясберга Б.Ц.Бахшияна в отделе началась „эпоха" развития методов определения параметров состояния и движения различных систем по данным наземных измерений. Стали решаться задачи оптимальной стратегии проведения и обработки измерений, оценки точности получаемых результатов. Работа велась под непосредственным руководством и при активном участии П.Е.Эльясберга, но центральной фигурой исследований стал Б.Ц.Бахшиян, вокруг которого сосредоточились молодые сотрудники отдела (Р.Р.Назиров, А.А.Суханов, Б.Л.Новак). Таким образом создавалось целое научное направление, в развитии которого на протяжении многих лет принимала участие большая группа сотрудников отдела (Е.П.Алексашин, Б.Ц.Бахшиян, М.И.Войсковский, Г.А.Мерсов, И.Е.Меринов, Р.Р.Назиров, Б.Л.Новак, А.А.Суханов).

Развитие программы „Интеркосмос", сопровождаемое регулярным запуском научных спутников Земли, потребовало создания специальной группы расчета их орбитального движения для навигационной поддержки экспериментов. Группу (В.И.Прохоренко, В.М.Синицын, М.И.Войсковский) возглавил Б.В.Кугаенко. Была также создана группа для определения фактической ориентации спутников по измерениям датчиков ориентации и анализа динамики движения вокруг центра масс. В отличие от задач орбитального движения спутников, движение относительно центр-

later M.I. Voikovsky, V.M. Sinitsyn and N.M. Matyashova) and experienced specialists G.A. Mersov, N.A. Eismont (Koroliov Special Design Bureau), V.I. Prokhorenko (Central Research Institute for Machinebuilding, TsNIIMash) and V.A. Filippov (Dzerzhinsky Military Academy) were the department's pioneers. By the end of 1968 the department was small but possessed high working ability and provided for the navigation support of all the scientific experiments conducted by the Institute.

The department was established in parallel with the development of the international cooperation between the Socialist countries within the framework of the Intercosmos Council program. In October 1969 the first satellite of this series was launched. The department's employees (N.G. Khavenson and M.A. Chuvakhin) calculated the launch date and scientific data referencing. At that time all the computations were fulfilled at TsNIIMash based on the M-220 computer. However the IKI computer park developement enabled fulfillment of all the calculations at the Institute based on the BESM-4 computer.

The department was developed intensively. Young graduates from the Department for mechanics and mathematics, Moscow State University (M.L. Pivovarov, V.E. Sokolov and Ye.Ye. Ryazanova) came to the department. P.Ye. Eliasberg was a good expert in the team formation. He invited experienced specialists like Ye.P. Aleksashina and I.G. Khatskevich from the Institute for Applied Mathematics and B.V. Kugaenko from NII-4. The department developed mathematical algorithms and software, fulfilled the required calculations. Rather often people worked during nights presenting data online. In the early 1970s the IKI department for ballistics became a team capable to solve almost all ballistic problems in space research. However these tasks required for the improvement of the mathematical methods. B.Ts. Bakhshiyan, a pupil of P.Ye. Eliasberg, came to IKI after the post-gradiuate course at Moscow State University. This opened the epoch of the development of the techniques for determining the parameters of various systems' state and motion based on ground measurements. The tasks of an optimal strategy of the measured data obtaining and processing were solved, the results' accuracy was assessed. P.Ye. Eliasberg supervised the work and participated in it. However B.Ts. Bakhshiyan was the key person who joined young specialists (R.R. Nazirov, A.A. Sukhanov and B.L. Novak) around himself. Thus a scientific trend arose. The staff members (Ye.P. Aleksashin, B.Ts. Bakhshian, M.I. Voiskovsky G.A. Mersov, I.Ye. Merinov, R.R. Nazirov, B.L. Novak and A.A. Sukhanov) were developing this trend for many years.

The Intercosmos program development accompanied with the scientific satellites regular launches required for the creation of a special team for calculation of these spacecraft orbital motion and the scientific experiments navigation support. B.V. Kugaenko headed the team joining V.I. Prokhorenko, V.M. Sinitsyn and M.I. Voiskovsky.

A special group was created for tracking the actual satellite attitude based on the attitude control devices measurements and analysis of dynamics of spacecraft motion around the center of mass. As distinct from the spacecraft orbital motion the motion about the center of masses and the attitude control algorithms significantly depended on the spacecraft type and the attitude control devices. That is why these tasks solution had to be started almost from scratch for each new class of spacecraft.

pictures see page 191

ра масс и алгоритмы определения ориентации существенно зависели от типа аппарата и набора датчиков ориентации. Поэтому эти задачи практически заново должны были решаться для каждого нового класса космических аппаратов. Первые работы в области определения фактической ориентации спутников по данным телеметрических измерений стали выполняться в отделе в начале 70-х годов группой под руководством И.Г.Хацкевича (В.М.Бабиков, В.Д.Ильичева, М.Л.Пивоваров, В.А.Соколов). Целью работ было создание методики определения ориентации нестабилизированных спутников „Ореол" в советско-французском проекте АРКАД. В то время существовали алгоритмы решения подобных задач, разработанные в ИПМ АН СССР В.В.Белецким и его сотрудниками. Перед группой И.Г.Хацкевича стояла задача разработать существенно более быстродействующие алгоритмы, пригодные для серийной обработки больших потоков информации с датчиков ориентации с учетом ограниченных возможностей существовавшей в то время вычислительной техники. Эта задача была успешно решена. Для расчета орбитальных данных и навигационной поддержки проекта АРКАД была создана и применена программа КАДР (В.М.Синицын), что в значительной степени способствовало успеху проекта.

В 1972 году запускается первый спутник „Прогноз", стабилизированный, как и все последующие спутники этой серии, вращением вокруг оси, периодически направляемой на Солнце. Для определения фактической ориентации спутника Н.А.Эйсмонтом разрабатывается специальная методика, опирающаяся на гармоническую аппроксимацию закона движения спутника около центра масс. Еще одним направлением деятельности отдела стало проектирование орбит и навигационное сопровождение научных экспериментов в дальнем космосе. Для решения этих задач создается группа, в которую вошли Г.А.Мерсов, Е.П.Алексашин, Н.Г.Хавенсон и В.А.Филиппов. Рассматриваются возможности использования гравитационного поля Венеры для управления траекторией солнечного зонда (Г.А.Мерсов, В.А.Филиппов), использования поля Юпитера для достижения окрестности Солнца с выходом из эклиптики и краевая задача достижения Юпитера с последующим созданием его искусственного спутника (Н.Г.Хавенсон), реализации противоземной (синхронной) гелиоцентрической орбиты солнечного зонда для радиозондирования околосолнечного пространства (Г.А.Мерсов). Основной же задачей группы стало информационное сопровождение научных экспериментов на межпланетных КА, регулярно запускаемых в 70-х годах к Венере и Марсу. В результате этой работы был накоплен большой опыт и создано программное обеспечение, позволившее решать разнообразные задачи навигационной привязки научных данных. Созданы программы расчета орбит КА, определения его ориентации по солнечно-звездным приборам, расчета различных параметров при взаимных пересечениях осей научных приборов и поверхности планеты (Е.П.Алексашин, Н.Г.Хавенсон).

В процессе развития ИКИ практически все его отделы подвергались существенной структурной перестройке. Не избежал ее и баллистический отдел: на некоторое время он был включен в состав Комплекса обработки научной информации (КОНИ) под руководством П.Е.Эльясберга, который, помимо решения баллистических задач, взял на себя обработку телеметрической информации. Однако по разному роду причин такое положение вещей оставалось недолгим, и, спустя полгода, отдел вновь вернулся к исходному состоянию. В отделе было выделено в самостоятельную лабораторию направление, связанное с научной обработкой

In the early 1970s a team (V.M. Babikov, V.D. Iliichiova, M.L Pivovarov and V.A. Sokolov) headed by I.G. Khatskevich began the first developments in the field of the spacecraft actual attitude determination based on the telemetry data. The technique of the spinning spacecraft attitude determination was processed for the Aureole satellite series during the Soviet-French mission ARCAD. At that time there were algorithms for similar task solution developed at the Institute for Applied Mathematics of the USSR Academy of Sciences by V.V. Beletsky and his colleagues. The I.G. Khatskevich's team was entrusted to develop sufficiently faster algorithms for serial processing of large data amounts from the attitude control sensors taking into account the capabilities of the available hardware. This task was successfully solved. The KADR (Frame) application (V.M. Sinitsyn) was created, and used for the orbital and navigation calculations for the ARCAD mission. This promoted the mission's success also.

The first Prognoz series satellite was launched in 1972. It was spin-stabilized about the axis periodically pointing at the Sun as all subsequent satellites of this series. In order to determine actual satellite attitude N.A. Eismont developed a special technique based on the harmonic approximation of the law of satellite motion about its center of mass.

One more trend of the department's activity covered orbit calculation and navigation support for the scientific experiments in deep space. For this a special group (G.A. Mersov, Ye.P. Aleksashin, N.G. Khavenson and V.A. Filippov) was created. They considered the possibility of using the Venus gravity field for controlling the Sun probe trajectory (G.A. Mersov and V.A. Filippov), the Jupiter's gravity for achieving the Sun vicinity leaving the ecliptics as well as the boundary value problem of achieving Jupiter and orbiting it (N.G. Khavenson) and the Sun probe putting into a synchronous heliocentric orbit for sounding the near solar space (G.A. Mersov). The groups' main task consisted in information support of the scientific experiments conducted from interplanetary spacecraft regularly launched towards Venus and Mars in the 1970s. As a result large experience was gained, and software for various tasks of the scientific data referencing was developed. Programs for the spacecraft orbit calculations, their mutual orientation using sun-star sensors and calculation of various parameters for the intersections of the axis of the scientific instruments and the planet's surface (Ye.P. Aleksashin and N.G. Khavenson) were developed.

During IKI development almost all departments were restructured. The department for ballistics did not avoid this. For a certain period of time it was included into the Center for scientific data processing (KONI) headed by P.Ye. Eliasberg. The latter was involved not only in the ballistics but also in the telemetry processing. However this continued for a very short period of time and in half a year the department separated from the complex. An independent laboratory was formed in the department. It dealt with the spaceborne experimental data processing and interpretation.

The 1970s were very fruitful for the department. Computer development and progress in space research forced the staff to develop universal program packages for the solution of various ballistic tasks. The universal programs for the navigation data calculations for both the deep space spacecraft and the Earth artificial satellites (G.A. Mersov, N.G. Khavenson,

иллюстрации стр. 191

и интерпретацией данных, полученных в космических экспериментах. 70-е годы оказались весьма плодотворными для отдела. Развитие вычислительной техники и прогресс в космических исследованиях побудил сотрудников приступить к разработке универсальных комплексов программ для решения различных баллистических задач. Были созданы универсальные программы расчета навигационной информации и для дальних космических аппаратов, и для искусственных спутников Земли (Г.А.Мерсов, Н.Г.Хавенсон, В.А.Кузьминых, И.Г.Хацкевич, Н.А.Эйсмонт, В.И.Прохоренко). Пришедший в отдел молодой выпускник мехмата МГУ (будущий заведующий отделом) Р.Р.Назиров разработал универсальные программы преобразования различных систем времени и координат. Отдел как бы программно перевооружился для оперативного решения задач навигационной поддержки научных программ космических исследований.

По-прежнему продолжались исследовательские работы и по решению задач космической динамики: построению различных орбит, определению ориентации ИСЗ, оптимальной стратегии измерений орбитальных параметров и проведения коррекции траектории движения, оценке точности определения траектории.

Для точного прогноза движения ИСЗ с низким расстоянием в перигее потребовалось знание точной модели земной атмосферы с учетом ее динамики. В сотрудничестве с другими заинтересованными организациями в отделе развернулись исследования по созданию динамической модели атмосферы (Б.В.Кугаенко, В.М.Синицын, М.И.Войсковский, Т.Д.Петрова, В.Ф.Смирнова). Анализ различных вариаций плотности атмосферы по данным торможения ИСЗ серии „Космос" позволил разработать новую модель атмосферы. На базе этой работы создан Государственный стандарт земной атмосферы ГОСТ 22721-77, используемый в космических исследованиях.

Начиная с 80-х годов, специалисты отдела стали заниматься также реальным управлением движением вокруг центра масс (как и орбитальным) малых космических аппаратов. Большой цикл работ, связанный с появлением новых гравитационно-стабилизированных спутников серии „Интеркосмос", был выполнен М.Л.Пивоваровым. Им разрабатывается методика определения фактической ориентации аппарата, которая применялась при обработке информации, поступавшей с борта спутников „Интеркосмос-17,...-25" (В.Д.Ильичева и Т.В.Романцова).

Запущенный на орбиту в августе 1981 года спутник „Интеркосмос-Болгария-1300" имел трехосно-стабилизированную систему ориентации и комплекс научной аппаратуры, который предъявлял высокие требования к точности навигационной привязки. Для решения этой задачи были привлечены измерения нового типа с использованием лазерных дальномеров и датчиков угловых скоростей. За разработку алгоритма определения ориентации и высокоточную привязку научных данных сотрудники отдела (Р.Р.Назиров, М.Л.Пивоваров, А.Н.Тихонов, Е.А.Чистякова) отмечены премией Ленинского комсомола в области науки и техники. Научные увлечения П.Е.Эльясберга привели к появлению задачи исследования возможностей выведения космического аппарата с целью регистрации реликтового излучения в точку либрации системы Земля-Солнце. Эта идея была развита в сотрудничестве с Н.А.Эйсмонтом, предложившим осуществить одноимпульсный переход в точку либрации. Первое численное решение задачи одноимпульсного перехода КА с орбиты ИСЗ на орбиту в окрестности точки либрации получено молодым сотрудником отдела М.Н.Боярским. В дальнейшем оно было

V.A. Kuzminykh, I.G. Khatskevich, N.A. Eismont and V.I. Prokhorenko) were created. R.R. Nazirov (graduated from Moscow State University, Department for mechanics and mathematics) developed universal programs for the transformation of various time and coordinate systems. Thus the department had new software for the timely solution of the navigation tasks for the scientific space missions.

Research on space dynamics was also conducted, including various orbit calculation, spacecraft attitude control, optimal strategy for measuring the orbital parameters and trajectory correction as well as the assessment of trajectory determination accuracy.

In order to predict the Earth satellite motion in a trajectory with a low perigee the precise model of the terrestrial atmosphere with due consideration to its dynamics was needed. In cooperation with other interested institutions the department began to develop the atmosphere's dynamic model (B.V. Kugaenko, V.M. Sinitsyn, M.I. Voiskovsky, T.D. Petrova and V.F. Smirnova). Analysis of the atmosphere density variations based on the data on the braking of the Cosmos series satellites made it possible to develop a new model of the atmosphere. This provided for the development of the State standard of the terrestrial atmosphere GOST 22721-77 further used in space research applications.

In the 1980s the department was involved in on-line control of both the motion about the center of mass and the orbital motion for small spacecraft. In particular, M.L. Pivovarov fulfilled a large amount of work for new gravity-stabilized satellites of the Intercosmos series. He developed a technique for the spacecraft factual attitude determination. This technique was applied to processing the data from the Intercosmos-17, ...-25 satellites (V.D. Iliichiova and T.V. Romantsova).

Intercosmos-Bulgaria-1300 was launched in August 1981. This was a three-axis stabilized satellite equipped with scientific instruments which imposed stringent requirements for the referencing accuracy. For this a new technique was applied based on measurements from laser range meters and angular velocity encoders. For the development of the algorithm of the attitude control and scientific data precise referencing the staff members (R.R. Nazirov, M.L. Pivovarov, A.N. Tikhonov and Ye.A. Chistyakova) were honored with the prize of the Lenin young communist league in science and technology.

P.Ye. Eliasberg's scientific interests resulted in an idea to study a possibility of placing a spacecraft in the Earth-Sun libration points for the relict microwave radiation registration. This idea was developed in collaboration with N.A. Eismont who proposed one pulse transfer to the libration point. Young specialist M.N. Boyarsky derived the first numerical solution for a spacecraft single pulse transfer from a near terrestrial orbit to the vicinity of the libration point. T.A. Timokhova, a pupil of P.Ye. Eliasberg continued these calculations and analyzed all the possible solutions concerning the spacecraft stability in the vicinity of the libration point. This work showed that the libration point could be considered for the creation of a spacecraft hanged up at a certain distance from the Earth.

P.Ye. Eliasberg also contributed to the solution of a task of the Resurs satellite delivery and maintenance in orbit with thrusters (N.A. Eismont). The technique developed is still applied to this series spacecraft control.

pictures see page 191

развито ученицей П.Е.Эльясберга Т.А.Тимоховой, которая успешно исследовала все возможные решения, связанные с устойчивостью положения КА вблизи точки либрации. Эти работы реально показали возможность использования точки либрации для создания „зависшего" на удаленном расстоянии от Земли космического аппарата.

При непосредственном участии П.Е.Эльясберга также успешно решена задача выведения и поддержания орбиты с помощью двигателей малой тяги для спутника „Ресурс" (Н.А.Эйсмонт). Разработанная методика применяется до настоящего времени при управлении спутниками этой серии.

Тесное сотрудничество с учеными, проводящими научные эксперименты в космосе, привело к созданию в отделе нового направления. Сотрудники чаще стали участвовать в обработке и интерпретации научных наблюдений. Большое развитие получили математические методы обработки данных, которыми занималась группа Л.С.Гурина (К.А.Цой, Н.П.Беляева, Н.Ф.Смирнова, П.И.Шакун). В конце 70-х – начале 80-х годов в ИКИ (сектор И.В.Эстулина) в сотрудничестве с Ленинградским физико-техническим институтом (отдел Е.П.Мазеца), а также при участии французских коллег из Центра ядерных исследований в Сакле под Парижем (проф. Ж.Ведрен) выполняются исследования источников гамма-всплесков.

Сотрудниками отдела выполняется огромная подготовительная работа по обоснованию возможности проведения таких экспериментов, поскольку их успех зависел не только от знания положения и ориентации КА, но и от точности привязки бортовых и наземных часов. В подготовке эксперимента и в обработке его результатов приняли участие Г.А.Мерсов, Б.Л.Новак, Н.Г.Хавенсон и Н.А.Эйсмонт.

Развитие вычислительной техники позволило существенно развить программное обеспечение задач, решаемых отделом. Создаются новые комплексы программ точного интегрирования уравнений движения, включая уравнения в вариациях (Г.А.Мерсов), решения различных небесно-механических задач и расчета изохронных производных (Б.Ц.Бахшиян, А.А.Суханов), расчета навигационных параметров для привязки научных данных на межпланетных (Н.Г.Хавенсон) и околоземных (В.И.Прохоренко) КА. Проводятся работы по интерпретации телеметрических данных для получения физических величин в эксперименте по исследованию анизотропии реликтового излучения на ИСЗ „Прогноз-9" (М.Н.Боярский).

В 1983 году запускается ИСЗ „Астрон", созданный в НПО им.С.А.Лавочкина на базе межпланетного КА „Венера" для астрофизических исследований на высокоэллиптической орбите. Сотрудники отдела провели полное навигационное сопровождение исследований, обеспечив юстировку рентгеновского телескопа по Крабовидной туманности (Н.Г.Хавенсон) и привязку по положению и ориентации (В.И.Прохоренко, Н.А.Эйсмонт). Впервые в этом проекте была проведена совместная с группой А.В.Дьячкова обработка баллистической и научной телеметрической информации.

В середине 80-х годов внимание ученых, занимающихся космическими исследованиями, было приковано к комете Галлея, которая, приближаясь к Солнцу раз в 76 лет, должна была пройти в его окрестности в 1986 году. Идея достижения кометы космическим аппаратом, используя гравитационный маневр с облетом Венеры, подтвердилась баллистическими расчетами, проведенными в отделе в 1979 году (А.А.Суханов). Сложность достижения кометы усугублялась недостаточным знанием ее положения, что

Close cooperation with the scientists conducting scientific experiments in space brought a new activity trend. The staff began to participate in the scientific data processing and interpretation more frequently. The mathematical methods of data processing developed by the L.S. Gurin's group (K.A. Tsoi, N.P. Beliaeva, N.F. Smirnova and P.I. Shakun) were strongly pushed on.

At the end of the 1970s, the beginning of the 1980s IKI (I.V. Estulin's sector) was studying gamma-ray bursts in cooperation with the Leningrad Physical and Technological Institute (Ye.P. Mazets' department) and French colleagues from CESR in Saklay, near Paris (Prof. J. Vedrenne).

The department fulfilled large scope of preparation work in order to substantiate the possibility of these experiments performance, since their success depended on not only the knowledge on the spacecraft position and attitude but also the accuracy of referencing the onboard and ground-based clocks. G.A. Mersov, B.L. Novak, N.G. Khavenson and N.A. Eismont participated in the experiment preparation and obtained data processing.

The hardware development enabled a considerable development of the software for the tasks solved by the department. The staff members created new software packages for the precise integration of the motion equations, including the equations in variations (G.A. Mersov), solution of various celestial mechanics tasks and fulfilled calculation for the isochronous derivations (B.Ts. Bakhshiyan and A.A. Sukhanov) and calculation of navigation parameters for the scientific data referencing for the interplanetary spacecraft (N.G. Khavenson) and near-Earth satellites (V.I. Prokhorenko). Telemetry was interpreted for deriving physical parameters in the experiment on studying the relict radiation from the Prognoz-9 satellite (M.N. Boyarsky).

In 1983 the Astron satellite was launched. It was created by the Lavochkin Association for astrophysical studies from a highly elliptical orbit based on the Venera interplanetary spacecraft. The department fulfilled a complete navigation support as well as the X-ray telescope adjustment by the Crab nebula (N.G. Khavenson) and referencing in the position and the attitude (V.I. Prokhorenko and N.A. Eismont). The ballistic and scientific telemetry was processed jointly with the A.V. Diachkov's group for the first time.

In the middle of the 1980s attention of the scientists involved in space research was fixed at the Halley's comet which approached the Sun every 76 years and had to pass by in 1986. In 1979 A.A. Sukhanov proved the idea of approaching the comet using a gravity flyby of Venus with ballistic calculations. The complexity of reaching the comet was aggravated with little knowledge on its position. This required for a guaranteed assessment of its motion parameters. The solution gave a rather promising value of about 3,000 km for the maximal deflection of the comet's trajectory from the calculated one.

U.S. scientist D. Jomans improved the accuracy of the comet's trajectory determination up to 600 km. Subsequently this enabled the Soviet VEGA spacecraft approaching the comet at a distance of about 8.5 thousand kilometers.

ESA planned the launch of its spacecraft Giotto simultaneously with the launch of the Soviet interplanetary stations. Giotto had to approach the comet at unheard of small distance. This small distance and high relative velocity of approaching required for the Jomans' result confirmation. The TV-systems onboard the Soviet stations made it possible to conduct autonomous measurements of the comet's position in order to

иллюстрации стр. 191

потребовало гарантированной оценки параметров ее движения. В результате решения этой задачи была получена весьма обнадеживающая величина максимального отклонения траектории кометы от расчетного положения порядка 3000 километров.

Американцем Д.Йомансом точность определения траектории движения кометы была доведена до 600 километров. Впоследствии это позволило советским ВЕГАм приблизиться к комете на расстояние порядка 8,5 тысяч километров. Одновременно с советскими межпланетными станциями для исследования кометы предполагался запуск космического аппарата Европейского космического агентства (ЕКА) „Джотто", который должен был сблизиться с кометой до неслыханно малых расстояний, что, с учетом большой относительной скорости сближения, требовало подтверждения правоты результата Йоманса. Наличие телевизионной системы на борту советских станций позволяло провести автономные измерения положения кометы с целью его уточнения и последующего наведения „Джотто". Таким образом, ВЕГИ могли стать „лоцманом" европейского КА. Так родился проект Pathfinder (в вольном переводе „Лоцман") – советские космические аппараты, посмотрев вблизи на комету, должны были сообщить „Джотто", где она (комета) точно находится. Вся сложность заключалась в том, что ВЕГИ, хотя и подлетали к комете раньше „Джотто", но всего на 4 (ВЕГА-2) и 7 (ВЕГА-1) дней, поэтому все надо было делать очень оперативно. Программа предусматривала координацию действий целого ряда организаций, как в СССР (НПО им.С.А.Лавочкина, ИКИ, ИПМ, ЦУП), так и за рубежом – в США (JPL) и в Европе (ESOC). Кроме этого, в программе участвовали станции слежения DSN (Мадрид, Канберра, Голдстоун).

На первом этапе работа заключалась в согласовании моделей движения кометы и космических аппаратов, форм и способов обмена данными, сроков обмена, в репетициях, генеральных репетициях и т. д. П.Е.Эльясберг координировал работы по баллистическому обеспечению программы „Лоцман" и руководил работой своих сотрудников. К отделу в ИКИ был прикомандирован специалист Центра операций ЕКА Поль Дебрук, который осуществлял связь и координацию с ESOC. Программа была успешно выполнена благодаря слаженной работе всех ее участников, включая сотрудников отдела (М.Н.Боярский, Б.Ц.Бахшиян, Г.А.Мерсов, Р.Р.Назиров, А.А.Суханов, О.М.Королева, Н.Г.Хавенсон, Е.А.Чистякова, И.А.Ястржембский). Результаты автономных измерений орбиты кометы с борта КА ВЕГА-1, -2 оказались столь точными, что позволили „Джотто" пройти вблизи кометы на предельно допустимом минимальном расстоянии.

Специалистами отдела были выполнены все необходимые работы, связанные с навигационной поддержкой экспериментов на КА ВЕГА, включая эксперимент на аэростатных зондах в атмосфере Венеры (А.Н.Тихонов, Н.Г.Хавесон, В.А.Филиппов).

За успешную реализацию программы ВЕГА группа сотрудников отдела удостоена Правительственных наград и отмечена медалями ВДНХ.

Как уже упоминалось выше, в 1988 году баллистический отдел был объединен с отделом автоматизированной обработки телеметрической информации. В связи с болезнью П.Е.Эльясберга вновь образованный отдел космической динамики и математической обработки информации возглавил Р.Р.Назиров. Павел Ефимович сохранил за собой группу своих ближайших сотрудников, но это продолжалось недолго, и в 1989 году П.Е.Эльясберг, руководивший работой отдела баллистики более 20 лет, скончался.

target the Giotto spacecraft. Thus the VEGA spacecraft could become the pathfinders for the European spacecraft. Thus the new project named Pathfinder was born. It consisted in the following. The Soviet spacecraft watched the comet at small distances and informed Giotto about its position. The complexity consisted in the fact that the both VEGA spacecraft outstripped Giotto by 4 (VEGA-2) and 7 (VEGA-1) days only. That is why everything had to be fulfilled very quickly. The mission planned cooperation of several organizations both in the USSR (the Lavochkin Association, IKI, Institute for Applied Mathematics, Flight Control Center) and abroad in the USA (JPL) and in Europe (ESOC). In addition the DSN tracking stations in Madrid, Canberra and Goldstone were involved.

At the first stage the work consisted in agreement upon the models of the comet and spacecraft motion, the standards and ways of data exchange, exchange terms, in rehearsals, in general rehearsals, etc. P.Ye. Eliasberg coordinated the work on the Pathfinder program ballistic support. A specialist from the ESA Mission Center was attached to the department. Paul Debrouque coordinated the work with ESOC and supported communications with this European Center.

The mission was successfully completed due to a perfect teamwork of all the participants, including the department staff (M.N. Boyarsky, B.Ts. Bakhshiyan, G.A. Mersov, R.R. Nazirov, A.A. Sukhanov, O.M. Koroliova, N.G. Khavenson, Ye.A. Chistiakova and I.A. Yastrzhembsky). Results of the VEGA-1 and -2 autonomous measurements of the comet's orbit were so precise that Giotto passed the comet at the minimum admissible distance.

The department fulfilled all necessary work on the navigation support for the VEGA experiments, including the experiment on the balloons in the Venus atmosphere (A.N. Tikhonov, N.G. Khavenson and V.A. Filippov).

For the VEGA mission successful implementation some of the staff members were honored with governmental awards.

As it was mentioned above in 1988 the ballistic department was joined with the department for the telemetry data automated processing. Because of a disease of P.Ye. Eliasberg R.R. Nazirov headed the new department for space dynamics and data mathematical processing. P.Ye. Eliasberg kept a small team but this was not for a long time and in 1989 he passed away. He was the head of the department for more than 20 years.

R.R. Nazirov decided to split the department into two laboratories in order to solve the put tasks more efficiently. The first laboratory joined the groups targeted at solution of the design tasks on the telemetry processing during ground-based tests, flight tests and data support. The other laboratory joined the groups responsible for the mission navigation support. Temporal teams were also created for solving the most diverse tasks, including analysis of the possibilities and choice of orbits for various space missions, parameters assessment, telemetry interpretation in order to derive physical information, physical data mathematical processing and others. A „team" could include two or sometimes a single person. Nevertheless these reorganization improved the department's activity in the information support of particular scientific missions. The department solved the tasks which were not related to a particular project but were considered important for the international cooperation in space. One of these tasks consisted in „sweeping aside" space debris (R.R. Nazirov, A.A. Sukhanov and Ye.Ye. Ryazanova).

pictures see page 191

Новый заведующий принимает решение о разделении отдела на две лаборатории для наиболее успешного выполнения поставленных задач. В одну включаются тематические группы, ответственные за решение проектных задач по обработке телеметрии при наземных испытаниях и в полете, и сопровождению данных, в другую – группы информационно-навигационного обеспечения проектов. Организуются также неформальные группы, решающие самые разнообразные задачи по тематике отдела: анализ возможностей и выбор орбит для различных космических проектов, оценка параметров, интерпретация телеметрии для получения в итоге физической информации, математическая обработка физических данных и т.п. Понятие „группа" могло подчас относиться к двум, а то и к одному, сотруднику. Тем не менее, такая перестройка упорядочила деятельность отдела в информационной поддержке конкретных научных миссий. В отделе решаются и задачи, которые, хотя и не привязаны к конкретному проекту, являются важными задачами международного сотрудничества в космосе. Например, задача „разгребания" космического мусора (Р.Р.Назиров, А.А.Суханов, Е.Е.Рязанова).

С началом в 1987 г. рентгеновских наблюдений с помощью аппаратуры, установленной на модуле „Квант", пристыкованном к орбитальной станции „Мир", сотрудниками отдела обеспечивалось информационное сопровождение этих наблюдений, включая обработку информации звездного датчика (М.Н.Боярский), планирование наблюдений и навигационную поддержку (Е.Е.Рязанова, А.А.Суханов, А.Ф.Маковкина, Е.А.Чистякова, Н.П.Беляева), обработку телеметрической информации (Е.А.Гаврилова, Н.В.Плюснина, И.Г.Лодкина, Е.И.Колесникова, С.Н.Павленко, А.Н.Ананенкова).

В 1988–89 годах началась реализация нового межпланетного проекта „Фобос", который, к сожалению, оказался не таким успешным, как предыдущая программа ВЕГА. В новой миссии, наряду с другими научными задачами, планировалось проведение эксперимента по уточнению релятивистских эффектов, оказывающих влияние на движение небесных тел. Отдел принял самое непосредственное участие в этой программе и провел предварительные исследования по анализу релятивистских эффектов в небесно-механических задачах (И.М.Ястржембский). Международная группа (аналогично участвовавшей в программе „Лоцман") должна была провести обработку орбитальных измерений посадочного аппарата на Фобос. Однако, как известно, „Фобос-1" был потерян на перелете к Марсу, а миссия „Фобос-2" прекратилась на стадии, предшествующей посадке. Отдел полностью выполнил свою задачу по информационно-баллистическому обеспечению всех реализованных в миссии экспериментов, как в обработке телеметрической информации (А.С.Вильчинская, А.В.Дьячков, Л.Н.Кузнецова, Л.В.Яброва), так и в баллистической привязке данных (Н.Г.Хавенсон).

В эти же годы были реализованы проекты „Активный" (1989 г.) и АПЭКС (1990 г.), когда от гравитационно-стабилизированных спутников „Интеркосмос-24" и „Интеркосмос-25" были отделены субспутники „Магион-2" и „Магион-3" с магнитной системой стабилизации. Группа сотрудников отдела под руководством Н.А.Эйсмонта (С.Г.Гультяев, М.Л.Пивоваров, Е.Е.Рязанова) занималась расчетом системы стабилизации субспутников. Был создан бортовой алгоритм определения фактической ориентации основного аппарата с целью автономного выбора момента отделения субспутника с учетом текущей ориентации основного аппарата, а также реализовано управление

иллюстрации стр. 191

In 1987 X-ray observations from the Kvant module of the Mir orbital station began. The department supported these observations, including processing of the data from the star tracker (M.N. Boyarsky), observation session planning and navigation support (Ye.Ye. Ryazanova, A.A. Sukhanov, A.F. Makovkina, Ye.A. Chistyakova and N.P. Belyaeva) and telemetry processing (Ye.A. Gavrilova, N.V. Plyusnina, I.G. Lodkina, Ye.I. Kolesnikova, S.N. Pavlenko and A.N. Ananenkova).

In 1988–1989 the work on the new interplanetary project Phobos began. Unfortunately it was not so efficient as the previous VEGA mission. The new mission also planned experiments on getting more information on the relativistic effects influencing the motion of the celestial bodies. The department participated in the mission and fulfilled preliminary studies on the analysis of the relativistic effects in the celestial mechanics (I.A. Yastrzhembsky). An international team (similar to that involved in the Pathfinder mission) had to process the orbital measurements for the landing probe. However as it is known Phobos-1 was lost during its flight towards Mars and the Phobos-2 mission stopped at the pre-landing stage. The department completely fulfilled its task on the information and ballistic support of all the mission experiments in both the telemetry data processing (A.S. Vilchinskaya, A.V. Diachkov, L.N. Kuznetsova and L.V. Yabrova) and in the data ballistic referencing (N.G. Khavenson).

The Aktivnyi and APEX missions were implemented in 1989 and in 1990 respectively. They planned separation of the Magion-2 and Magion-3 subsatellites with the magnetic stabilization system from the gravitationally stabilized Intercosmos-24 and Intercosmos-25 satellites. A team headed by N.A. Eismont (S.G. Gultyaev, M.L. Pivovarov and Ye.Ye. Ryazanova) made calculations for the subsatellites' stabilization systems. An onboard algorithm was developed for determining the factual attitude of the satellite in order to autonomously choose the moment of subsatellite separation with due consideration to the main satellite current orientation. The algorithm also enabled control of the subsatellites orbital motion using thrusters.

The 1990s were very fruitful in creating software for automation of the observation planning, telemetry processing and scientific data referencing. Personal computers became available and formed the basis for the creation of a whole trend aimed at studying orbital situations for various missions widely applying computer graphics (V.I. Prokhorenko).

Support of experiments in solar-terrestrial physics occupied a particular place in the department's activity. In 1972–1980 eight automated spacecraft of the Prognoz series operated in the highly elliptical near-Earth orbits within the framework of the Intercosmos program. The experience gained in these projects' navigation support (V.I. Prokhorenko) was further developed during the Intershock and Interball missions preparation and implementation. The situation studies served a base for the choice of the satellites' orbits taking into account the scientific tasks and engineering limitations. The department also provided for the navigation support for the scientific program planning and these experiments control.

The 1990s were marked with the intensive introduction of Internet. R.R. Nazirov who headed this department and hold the position of the IKI Deputy Director promoted this idea. He persistently forced his staff members to incorporate all the information novelties what resulted in higher efficiency of the space missions support.

орбитальным движением субспутников с использованием установленного на борту двигателя малой тяги.

90-е годы оказались очень плодотворными в смысле создания программ, позволяющих автоматизировать процесс планирования наблюдений, обработки телеметрической информации и навигационной привязки полученных научных данных. Появившиеся персональные компьютеры послужили вычислительной базой для создания целого направления орбитальных ситуационных исследований различных космических миссий с широким использовании машинной графики (В.И.Прохоренко).

Особое место в деятельности отдела занимало навигационное обеспечение экспериментов в области солнечно-земной физики. С 1972 по 1980 г. в рамках программы „Интеркосмос" на высокоэллиптических околоземных орбитах проводили исследования 8 автоматических космических станций серии „Прогноз". Опыт, накопленный в процессе навигационного обеспечения этих проектов (В.И.Прохоренко), в дальнейшем получил свое развитие при подготовке и реализации проектов „Интершок" и „Интербол". Выполненные в отделе ситуационные исследования послужили основой для выбора орбит спутников, исходя из научных задач и технических ограничений. Отделом также осуществлялась навигационная поддержка планирования научной программы исследований и управления этими экспериментами.

90-е годы стали периодом бурного развития в Институте сети Интернет, идейным отцом которой стал заведующий отделом и заместитель директора ИКИ Р.Р.Назиров. Его настойчивое „подталкивание" сотрудников к использованию всех информационных новаций приводило к очень плодотворному результату в обеспечении космических миссий.

В конце 1989 года запускается рентгеновская обсерватория „Гранат". Программа эксперимента включала в себя наведение рентгеновских телескопов обсерватории на „мишени", выбранные на небесной сфере, и исследование этих мишеней в течение нескольких часов. Сотрудниками отдела в тесном сотрудничестве с отделом астрофизики (Р.А.Сюняев) была проведена предварительная исследовательская работа по выбору орбиты (В.И.Прохоренко) и полное сопровождение наблюдений на почти 9-летнем временном интервале. Непрерывное функционирование такой обсерватории потребовало оперативной работы по обеспечению планирования наблюдений, обработке телеметрической информации и ее временной привязке, операционному взаимодействию с CNES, созданию базы телеметрических и навигационных данных для интерпретации наблюдений. Весь этот цикл работ выполнялся А.С.Вильчинской, А.В.Дьячковым, Л.Кузнецовой, Л.Ябровой и Н.Г.Хавенсоном.

Главным межпланетным международным проектом начала 90-х годов должен был стать запуск КА в сторону Марса с выходом его на орбиту искусственного спутника планеты. Главной особенностью в навигационном и информационном обеспечении планируемых экспериментов стало принятие разработанной в JPL (США) специальной системы архивации данных PDS (Planetary Data System), включавшей программный комплекс SPICE в качестве главной информационной системы для поддержки научной программы исследований. Американские специалисты предложили внедрить эту систему в нескольких организациях, участвующих в проекте в рамках советско-американской рабочей группы по межпланетным исследованиям. На этапе знакомства с системой PDS специалистами отдела было подготовлено описание ряда российских экспериментов и приборов,

At the end of 1989 the X-ray observatory Granat was launched. The experiment program included pointing of the observatory's X-ray telescopes at the targets chosen on the celestial sphere and these targets monitoring during several hours. The staff members worked together with the department for astrophysics (R.A. Syunyaev). They made an orbit preliminary selection and then fulfilled the observation support over almost 9 years. Continuous functioning of this observatory required for a timely work on the observation session planning, telemetry processing and referencing as well as on on-line interaction with CNES and creation of a base of telemetry and navigation data for the registered data interpretation. A.S. Vilchinskaya, A.V. Diachkov, L. Kuznetsova, L. Yabrova and N.G. Khavenson fulfilled these works.

Launch of a spacecraft towards Mars and its occupying the circummartian orbit had to become the main interplanetary international project of the early 1990s. The main peculiarity of this mission navigation and information support for the experiments planned was the usage of a special data archiving system (PDS) developed at JPL (USA). The Planetary Data System included a software package SPICE that served as the main information system for the scientific program support. The U.S. specialists proposed to introduce this system at several institutions involved in the Soviet-American working group for interplanetary missions. At the PDS training stage staff members prepared a description of several Russian experiments and instruments, measurement data formats (A.S. Vilchinskaya and A.V. Diachkov) and the navigation data (N.G. Khavenson) for the Phobos mission. The results were passed to JPL where a CD-ROM with the archived Phobos data was prepared.

In the Mars-94/96 mission B.V. Semenov and N.G. Khavenson became the main coordinators for the SPICE system introduction and adaptation. Recommendations for users were developed and IKI test calculations were loaded to the database. B.V. Semenov, a graduate from the Bauman Moscow Higher Technological College became its main administrator and consulted the users, as he knew the best of all the SPICE system advantages. The department was completely prepared for the Mars-96 mission. All scientific teams, including the foreign colleagues had the SPICE software and an access via Internet to the database with the nominal design data files on the IKI server. Unfortunately the spacecraft failed and did not occupy the given orbit. However the department's staff did their best to inform in real time the world community on the spacecraft preparation to the launch and the launch in the WEB-pages (M.N. Boyarsky, N.G. Khavenson and M.I. Shevchenko).

In the middle of the 1990s the work on the Interball mission began. This mission planned the operation of two pairs of satellites, including the main spacecraft and its subsatellite. A special team headed by N.A. Eismont had to analyze the dynamics of the subsatellites, their motion control and determination of the actual attitude for the main satellites. An important achievement in subsatllite motion control consisted in overcoming the emergency, which considered fatal. This situation arose on the subsatellites after their separation from the main satellites when one of the rods with the scientific instruments did not deployed. This caused the considerable turn of the axes of inertia. Consequently the solar arrays and sun trackers were not illuminated by the Sun. Software flexibility and perfect interaction

pictures see page 191

форматов данных измерений (А.С.Вильчинская, А.В.Дьячков) и навигационных данных (Н.Г.Хавенсон) для проекта „Фобос". Результаты работы передали в JPL, где был изготовлен CD-ROM, содержащий архив данных проекта „Фобос".

Сотрудники отдела Б.В.Семенов и Н.Г.Хавенсон стали основными координаторами в процессе внедрения SPICE в проект „Марс-96" и ее адаптации. Были разработаны рекомендации пользователям системы, и проведено наполнение ее базы данных в ИКИ тестовыми расчетами. Самое деятельное участие в этом принял молодой сотрудник отдела, выпускник МВТУ им.Н.Э.Баумана Б.В.Семенов, который, досконально изучив достоинства SPICE, стал ее главным администратором и консультантом для всех пользователей. Отдел был полностью готов к реализации программы „Марс-96". Все научные группы, включая иностранных коллег, были оснащены программным обеспечением SPICE, и через Интернет имели доступ к базе данных на сервере ИКИ, содержащей номинальные проектные файлы информации. К величайшему сожалению, КА так и не вышел на перелетную орбиту. Однако сотрудники отдела сделали все, чтобы мировое сообщество узнало о ходе подготовки КА на старте и в процессе его запуска в реальном времени через страницы Интернета (М.Н.Боярский, Н.Г.Хавенсон, М.И.Шевченко).

В середине 90-х годов началась реализация многоспутникового проекта „Интербол", включавшего две пары спутников – основной и его субспутник. Всеми вопросами, связанными с динамикой субспутников, управлением их движением и определением фактической ориентации основных аппаратов, занималась группа сотрудников отдела под руководством Н.А.Эйсмонта. Важным достижением в ходе управления движением субспутников стало преодоление казавшейся фатальной аварийной ситуации, возникшей на субспутнике после его отделения от основного аппарата, когда одна из штанг с датчиками научных приборов не раскрылась. Это привело к значительному повороту осей инерции и потере освещения солнечных батарей и солнечных датчиков Солнцем. Гибкость математического обеспечения и четкое взаимодействие групп управления ИКИ РАН и Института физики атмосферы Чешской Академии наук позволили решить возникшую экстраординарную задачу и вернуть субспутник к жизни.

Интербол был не только многоспутниковым международным проектом (18 стран участниц), но одновременно одним из участников международных научных программ IACG (Inter-Agency Consultative Group), ISTP (International Solar-Terrestrial Physic Initiative). Поэтому опыт использования методов ситуационных исследований в проекте „Интербол" послужил хорошей основой для их применения в новых задачах многоспутниковых ситуационных исследований при реализации родственных миссий: GEOTAIL (NASA/ISAS), POLAR (NASA) и др. Результаты этих исследований в виде различных графических и текстовых файлов распространяются через Интернет на сайтах WWW (В.И.Прохоренко) и используются сегодня при планировании новых межпроектных кампаний для совместного изучения взаимодействий системы Земля-Солнце.

В проекте „Интербол" на стадии его наземной подготовки и в процессе полета сотрудники отдела провели огромную работу по выбору орбиты, визуализации проектных данных и навигационной привязке (В.И.Прохоренко, Н.П.Беляева), по управлению субспутниками и определению ориентации основных аппаратов (Н.А.Эйсмонт, М.Л.Пивоваров, Е.Е.Рязанова). Группой Е.А.Гавриловой была разработана система автоматизированной обра-

between the control team of IKI RAN and the Institute for Atmosphere Physics of the Czech Academy of Sciences made it possible to solve the extraordinary task and to revive the subsatellite.

Interball was not only a multisatellite international mission involving 18 countries. This mission was also included in the international scientific missions of IACG (Inter-Agency Consultative Group), ISTP (International Solar-Terrestrial Physics Initiative). Thus the experience of applying the technique of the situation studies of the Interball mission served as a good base for this technique application to the tasks on the multisatellite situation studies for the similar missions' orbits (GEOTAIL (NASA/ISAS), POLAR (NASA), etc.). Results of these studies are presented as various graphical and text files on the WWW sites (V.I. Prokhorenko) and used for planning new intermission campaigns for joint studies of the solar-terrestrial physics.

During the Inteball mission ground preparation and in flight the department fulfilled a tremendous amount of work concerning the orbit choice, design data visualization and the data referencing (V.I. Prokhorenko and N.P. Belyaeva) as well as subsatellite control and the attitude determination for the main satellites (N.A. Eismont, M.L. Pivovarov and Ye.Ye. Ryazanova). The Ye.A. Gavrilova's team developed a system for automated data processing for three telemetry systems and 40 scientific experiments. Up to 100 Gbyte of the raw data was processed during almost ten years of the ground tests and three and a half years of in-flight operation.

The computers' increasing capability resulted in a considerable increase in the complexity of the telemetry systems (cyclic, adaptive, digital and address telemetry), the payload (new onboard computers appeared) and the amount of the data registered. Consequently the ground systems for telemetry processing became more sophisticated. It became possible to receive data from the launch site and ground stations via the telephone and high wide-band communications channels. This considerably reduced the processing time and made it possible to fulfill online processing. Each next generation of computers brought new data storage media (magnetic tapes, magnetic disks, CD-ROMs, streamers) and consequently the data was archived on the up-to-date storage media.

In 1994 when the big computers and magnetic tapes recorders became obsolete, and magnetic tapes with the data recorded 10–15 years ago were worn, the need in the scientific data archiving and distribution system arose. The new system was developed based on new hard- and software and applying new approaches. For this the data from the Prognoz-7, ... -10 satellites, the ARCAD-3, Aktivnyi and Gamma missions were re-recorded from more than 2000 magnetic tapes for its further usage (M.I. Shevchenko, M.N. Boyarsky, V.D. Maslov, L.V. Rudnevskaya and V.V. Khodakova). A software based on the WWW-technologies was developed in order to provide for an free access to this data for remote users. This software became the core of the archiving system for the Interball mission in order to receive, store and distribute the data among the mission's participants from 12 countries (M.I. Shevchenko and M.N. Boyarsky).

Unfortunately in the middle of the 1990s the department faced the difficulties suffered by the whole country. The Interball satellites were the only scientific spacecraft launched by Russia.

иллюстрации стр. 191

ботки информации для трех телеметрических систем и 40 научных экспериментов. За почти десятилетний период наземных испытаний и 3,5 года успешной реализации проекта обработано порядка 100 Гбайт исходной информации.

Возрастающие возможности вычислительной техники привели к значительному увеличению сложности телеметрических систем (циклическая, адаптивная, цифровая адресная телеметрия), комплекса бортовой научной аппаратуры (появились бортовые вычислительные машины), объемов регистрируемой информации. Соответственно, возросла сложность наземных систем обработки телеметрической информации. Стало возможным получать информацию с полигона и Научно-измерительных пунктов (НИП) по телефонному и широкополосному каналам связи, что значительно сократило время обработки и позволило выполнять ее в реальном времени. С появлением каждого следующего поколения ЭВМ менялись носители информации (магнитные ленты, магнитные диски, компакт-диски CD, стриммерные магнитные ленты) и, соответственно, создавались архивы на современных носителях.

В 1994 году в связи с амортизацией больших вычислительных машин и магнитофонов для чтения 9-ти дорожечных магнитных лент, физическим износом части магнитных лент с данными проектов 10-15 летней давности, а также из-за морального устаревания средств доступа к накопленной информации возникла необходимость создания системы архивирования и распределения научных космических данных на новой программно-аппаратной базе и с использованием новых подходов. С этой целью произведена перезапись данных спутников „Прогноз-7, -8, -9, -10", проектов АРКАД-3, „Активный", „Гамма", хранившихся более чем на 2000 „больших" магнитных лент, на современные носители. Это, без преувеличения, позволило спасти информацию для ее будущего использования (М.И.Шевченко, М.Н.Боярский, В.Д.Маслов, Л.В.Рудневская., В.В.Ходакова). Одновременно с этим реализован программный комплекс, позволивший обеспечить открытый доступ к этим данным удаленным пользователям, используя технологии WWW. Комплекс лег в основу системы архивирования данных проекта „Интербол", что позволило обеспечить прием, сохранность и распределение данных среди сотен участников проекта из 12 стран (М.И.Шевченко, М.Н.Боярский).

К сожалению, с середины 90-х годов на деятельности отдела сказались трудности, переживаемые всей страной. Кроме „Интерболов" не было запущено ни одного отечественного научного космического аппарата. Часть сотрудников в поисках более обеспеченной жизни покинула отдел. Но оставшиеся продолжали свою работу, сохраняя верность космическим исследованиям. Выполняется целый ряд исследовательских работ в нескольких перспективных российских и европейских проектах по анализу возможностей реализации космических миссий (Н.А.Эйсмонт), построению траекторий полета к кометам и астероидам (А.А.Суханов), оценке точности определения орбит, стратегии проведения измерений и коррекций (Б.Ц.Бахшиян, М.И.Войсковский), созданию системы информационной поддержки проекта „Спектр-РГ" (Н.Хавенсон), по интерпретации и архивации данных в реализованных проектах.

Развитие Интернет дало возможность для удаленных пользователей получать информацию, находящуюся на серверах ИКИ, позволило создать целый ряд проектно-ориентированных сайтов, содержащих как разнообразные данные проектов на стадии их подготовки, реализации и архивации данных, так и программы, позволяющие по запросу удаленного пользователя производить необходимые расчеты. В этих работах принимают постоянное участие М.Н.Боярский, Н.П.Беляева, В.И.Прохоренко, Е.Е.Рязанова, Н.Г.Хавенсон, М.И.Шевченко, Н.А.Эйсмонт, М.Л.Пивоваров.

Завершая историю отдела, было бы несправедливым не упомянуть о замечательных работниках секретариата отдела: Н.Борисовой, Л.В.Зайцевой, Т.Ю.Краюшкиной и, наконец Л.К.Стеценко. Все они внесли свою лепту в плодотворную деятельность отдела, оказывая неоценимую помощь „шефу" и сотрудникам. И навсегда останется в памяти голос „Пал Ефима", обращенный к своим верным помощницам, которых он очень любил и всегда ласково называл по именам: Ниночка, Людочка, Танечка, Любочка.

Some members changed the filed of activity. The rest continued to work in space research. The department's staff conducts studies for several future Russian and European missions in the analysis of the space missions possibility (N.A.Eismont), design of flight trajectories towards comets and asteroids (A.A.Sukhanov), assessment of the orbit determination accuracy, the strategy of the fulfillment measurements and corrections (B.Ts.Bakhshiyan and M.I. Voiskovsky), the creation of the system for the Spectrum-RG information support (N.Khavenson) and the data interpretation and archiving for the implemented missions.

Internet development provided for a possibility of an access of remote users to the data on the IKI servers and enabled creation of several mission-oriented sites presenting both various missions at the stage of their preparation, implementation and data archiving and the programs for the calculations necessary for remote users. M.N.Boyarsky, N.P.Belyaeva, V.I.Prokhorenko, Ye.Ye.Ryazanova, N.G. Khavenson, M.I.Shevchenko, N.A.Eismont and M.L.Pivovarov constantly participated in this work.

Completing the history of the department it would be right to mention the wonderful secretaries (N.Borisova, L.V.Zaitseva, T.Yu.Krayushkina and L.K.Stetsenko). They contributed a lot to the department's fruitful activity providing assistance for the colleagues and the „chief", who affectionately called them by names.

pictures see page 191

Лаборатория разработки и эксплуатации информационных систем



Laboratory for Development and Maintenance of Information Systems

Обработка телеметрической информации как самостоятельное направление существует в Институте с 1966 года. За прошедшее время в ходе своего развития оно неоднократно претерпевало различные структурные изменения: объединялись подразделения, занимающиеся обработкой телеметрической информации и баллистическими расчетами, создавались новые структуры. Особо значим событием стала организация в 1977 г. Терминальной станции ИКИ в Центре Дальней Космической Связи (ЦДКС) в г. Евпатория. Отделом обработки телеметрической информации в то время руководил Г.И.Забиякин. В 1986 г. для обеспечения работы компьютерных средств Института и решения задач экспресс-обработки создаётся отдел вычислительной техники, а часть специалистов, занимающихся обработкой других уровней, объединяется с отделом баллистики. Отдел вычислительной техники возглавил С.П.Перелыгин. В его состав вошли лаборатории и группы: основных вычислительных машин Института (А.Б.Александров); парка мини-ЭВМ (Э.Р.Черкасова); организации и сопровождения каналов связи (В.Ф.Старинец); специализированных аппаратных средств (Л.Р.Меламед); информационных систем (Ю.Г.Кругов), а также Терминальная станция в ЦДКС (В.В.Кравцов). Основным направлением работы отдела стала разработка и эксплуатация систем, обеспечивающих экспресс-обработку научной телеметрической информации и оперативное управление бортовыми научными комплексами, поэтому вычислительный парк больших ЭВМ уже через два года выводится из состава отдела в самостоятельное подразделение.

За короткий срок сотрудниками отдела вычислительной техники был разработан и введен в эксплуатацию целый ряд систем, способствовавших реализации большого числа научных космических проектов.

Так, для проекта „Квант“ разработана система ввода и обработки телеметрической информации нижнего уровня (В.Н.Назаров и Л.Р.Меламед). Комплекс базировался на микро-ЭВМ типа „Электроника-60“ и при низкой стоимости как самой системы, так и её эксплуатации обладал лучшими функциональными характеристиками среди существовавших в то время аналогичных систем, построенных на базе компьютеров серии ЕС-ЭВМ и М-6000. Система также была введена в эксплуатацию на Тер-

Telemetry data processing as an independent field of activity began in the Institute in 1966. Over the time passed its structure changed more than once. Subdivisions engaged in telemetry processing and ballistics were joined, and new structures were formed. Establishment of the IKI Terminal station at the Deep Space Communications Center in Evpatoriya in 1977 became one of the most important events. At that time G.I. Zabiyakin headed the department for telemetry processing. In 1986 a computer department was formed in order to maintain IKI computers and to perform express-processing. Some specialists involved in the other processing options joined the department for ballistics. S.P. Perelygin headed the computer department. This department integrated several laboratories and teams of: IKI mainframe computers (A.B. Alexandrov), mini-computers (E.R. Cherkasova), arrangement and operation of the communications channels (V.F. Starinets), specialized hardware (L.R. Melamed), information systems (Yu.G. Krougov) and the Terminal station at the Deep Space Communications Center (V.V. Kravtsov). The main direction of the department activity consisted in the development and maintenance of the systems for the scientific telemetry data express-processing and on-line control of the onboard scientific instruments. Thus in two years the computer park was drawn out of the department in a separate subdivision.

Within a short period of time the computer department developed and put into operation several systems which advanced many scientific missions.

In particular a system of the low level telemetry processing was developed for the Kvant project (V.N. Nazarov and L.R. Melamed). The system was based on a micro-computer of the LSI-II type. The system design and operation cost was low, however the performance was better compared to the similar systems based on the IBM 370 and M-6000 series computers. The system was put into operation at the IKI Terminal station in the Deep Space Communications Center. It serviced various scientific missions (Phobos, Active, APEX, Coronas and Granat) for several years until it was replaced with a more perfect development based on IBM PC compatible computer.

иллюстрации стр. 193

минальной станции Института в ЦДКС и в течение нескольких лет обеспечивала работы по различным научным космическим проектам („Фобос", „Активный", АПЕКС, „Коронас" и „Гранат"), пока не была заменена на более совершенную разработку, базирующуюся на IBM PC совместимом компьютере.

Для испытаний комплексов научной аппаратуры проекта „Фобос" разработана система РОМАНС – Распределённая Обрабатывающая Мобильная Архитектура Наземных Средств (Ю.Г.Кругов, В.В.Барке, А.А.Венкстерн, В.Н.Назаров, А.Е.Третьяков и др.). В основу системы были положены методы распределённой обработки – вычислительный комплекс построен на базе нескольких микро-ЭВМ, объединенных между собой. Помимо низкой стоимости, высокой производительности и надёжности (за счет горячего резервирования компьютеров комплекса) это решение обеспечивало мобильность системы и позволяло проводить с её помощью работы в ИКИ, на космодроме Байконур и Терминальной станции в ЦДКС.

Созданная под руководством В.Н.Назарова в отделе система экспресс-обработки проекта „Активный" – „РОМАНС-Активный" (А.И.Лисович, А.Е.Третьяков, Я.И.Марков и др.), благодаря применению целого ряда новаторских идей и методов, обеспечивала приём научной телеметрической информации, запись её на магнитные носители, обработку и визуализацию результатов в графическом виде в реальном масштабе времени. Приём телеметрии осуществлялся на пункте ИЗМИРАНа (г. Троицк), а визуализация – в ИКИ. Обработка проводилась параллельно на вычислительных комплексах в ИЗМИРАНе и ИКИ. С целью уменьшения сроков и стоимости разработки, а также сокращения расходов и упрощения эксплуатации в системе использовались международные информационные стандарты и форматы. Для достижения наиболее высокой эффективности применялись компьютеры различных архитектур. Так, для приёма информации и управления радиочастотным комплексом и обработки нижнего уровня использовались компьютеры типа LSI-11; обработка высокого уровня, управление всем комплексом и вычисления выполнялись на компьютерах типа PDP-11 и специализированных матричных процессорах; визуализация результатов осуществлялась на IBM PC совместимых компьютерах. Для обмена информацией между ИЗМИРАНом и ИКИ РАН организован специализированный канал связи; вычислительные средства, расположенные в этих узлах системы, объединялись по сети DECNet, компьютеры визуализации объединены в локальную сеть NetWare. Впервые в отечественной космической отрасли для систем экспресс-обработки применялись мировые сетевые технологии. Система вызвала большой интерес у специалистов отечественных и зарубежных организаций космической отрасли, обсуждалась на различных международных конференциях, а в 1990 году была установлена на пункте приема научной телеметрической информации Кубинской Академии наук.

Управление комплексом научной аппаратуры всегда представляло собой сложную и ответственную задачу, а с развитием функциональных возможностей бортовых средств её решение стало невозможным без применения средств автоматизации. Разработка таких средств стала одним из направлений работ отдела (С.А.Горский, А.П.Мельник, Н.О.Вайсберг, Ф.Н.Гнучев и О.В.Муравьёва). Начиная с 1989 года и по настоящее время, эти разработки обеспечивают подготовку циклограмм управления бортовыми комплексами научной аппаратуры проектов „Активный", АПЕКС, „Коронас" и „Интербол".

The ROMANCE system (the Russian abbreviation of the Distributed Processing Mobile Architecture of Ground Facilities) was developed for the tests of the Phobos mission scientific instrumentation (Yu.G. Krougov, V.V. Barke, A.A. Venkstern, V.N. Nazarov, A.E. Tretiakov et al.). The system was based on the distributed processing techniques when the hardware is based on several interconnected micro-computers. In addition to the low cost, high performance and reliability due to the computers hot backup this solution provided system mobility and enabled its usage at IKI, at Baikonur and the Terminal station at the Deep Space Communications Center.

For the Active project the department developed the ROMANCE-Active express-processing system (A.I. Lisovich, A.Ye. Tretiakov. Ya.I. Markov et al.) under V.N. Nazarov's supervision. This system based on many innovations received telemetry data, recorded it on magnetic media, processed and vizualised the results as graphs in a real time. Telemetry was received at the IZMIRAN terminal (Troitsk) and viewed at IKI. The data was processed in parallel at IZMIRAN and IKI. In order to reduce the development terms and the cost as well as the operational cost and to ease the operation the system was based on the international data standards and formats. Various architecture computers enabled the top efficiency. So computers of the LSI-11 type were used for data reception, radio frequency system control and low level processing; computers of the PDP-11 type and specialized array processors – for the high level processing, the whole system control and calculations. The results were displayed on the IBM PC-compatible computers. A special communications channel was arranged for data exchange between IZMIRAN and IKI RAN. The computers at the system's nodes were connected via the DECNet and the computers for the results visualization were integrated in the local NetWare network. The world network technologies were applied for the express-processing systems in the Russian space sector for the first time. This system aroused interest among specialists from the national and foreign space institutions; it was discussed at various international conferences. In 1990 this system was installed at the station for the scientific telemetry reception of the Cuba Academy of Sciences.

Scientific payload control has always been a difficult and important task. With the development of the onboard hardware functional capabilities its solution became impossible without automatic facilities. Their development was one more trend of the department's activity (S.A. Gorsky, A.P. Melnik, N.O. Vaisberg, F.N. Gnuchev and O.V. Muraviova). Since 1989 until now these developments ensure preparation of the cyclograms for scientific payload control for the Active, APEX, Coronas and Interball missions.

Developments and studies conducted by the department have always considered the most up-to-date and sophisticated computation techniques and technologies. The first local computer networks (Yu.G. Krugov, A.Ye. Tretiakov, V.N. Nazarov, Ya.I. Markov et al.), transfer of certain tasks from mainframes to mini- and micro-computers (Yu.G. Krugov, V.N. Nazarov, A.Ye. Tretiakov, A.I. Lisovich et al.), usage of optical devices for the data transfer (S.P. Perelygin, L.R. Melamed, A.G. Sadchikov et al.) – this is an incomplete list of the innovations introduced by the department. The staff members put into operation the e-mail (S.V. Polunin, A.V. Ananiev, N.Yu. Sokolova and

pictures see page 193

Разработки и исследования, проводимые в отделе, всегда выполнялись на переднем крае вычислительных методов и технологий. Первые локальные вычислительные сети (Ю.Г.Кругов, А.Е.Третьяков, В.Н.Назаров Я.И.Марков и др.), перевод ряда задач и мэйн-фрэймов на мини- и микро-ЭВМ (Ю.Г.Кругов, В.Н.Назаров, А.Е.Третьяков, А.И.Лисович и др.), использование оптических средств передачи информации (С.П.Перелыгин, Л.Р.Меламед, А.Г.Садчиков и др.) – неполный список инноваций отдела. Сотрудниками отдела были введены в эксплуатацию и первые средства электронной почты (С.В.Полунин, А.В.Ананьев, Н.Ю.Соколова и А.М.Беляев). В этот же период были проведены первые работы по протоколу TCP/IP (А.М.Беляев и С.В.Белова), обеспечившие последующее подключение Института к сети Интернет.

Проблемы с финансированием космической отрасли в целом не могли не сказаться и на отделе. Многие специалисты ушли из Института, темп технического перевооружения снизился. В отделе остались лишь энтузиасты космических исследований, но атмосфера исследовательской работы, неформальный подход к разработкам и дух истинного творчества продолжали привлекать молодых ученых и специалистов. В 1993–1994 годах в отдел пришла плеяда выпускников МГУ, МИФИ и ряда других естественно-научных и технических ВУЗов, которые в настоящий момент составляют основной костяк разработчиков.

Реализация поставленных перед отделом задач в тяжелых финансовых условиях потребовала поиска новых не только эффективных, но и недорогих решений. Особенно ярко это проявилось при создании оперативного информационного контура проекта „Интербол". Большие объёмы данных с четырёх космических аппаратов, разнородная научная аппаратура, а также значительное число отечественных и зарубежных участников проекта привели к необходимости создания уникальной по своим характеристикам системы, в которой использовался бы накопленный опыт предыдущих разработок, а также современные информационные технологии. Руководил разработкой В.Н.Назаров, а в работах принимали участие все сотрудники отдела. Создаваемые в рамках этого проекта комплексы не имели аналогов в отечественной космической отрасли. Особо следует отметить разработанный А.Е.Третьяковым метод программной обработки входного телеметрического сигнала, на основе которого был создан ряд систем ввода и регистрации телеметрической информации с уникальными не только функциональными, но и экономическими характеристиками. Решения, предлагаемые отделом, были настолько нетрадиционны, что зачастую не принимались чисто психологически. Например, для предоставления экспериментаторам информации, полученной в ходе испытаний в НПО им.С.А.Лавочкина, требовался лишь один оператор и один персональный компьютер. При реализации обычной схемы задействовалось большое количество аппаратуры и людей, а для доставки магнитных лент отправлялся грузовик.

Разработка элементов системы, необходимых для летного периода реализации проекта, велась параллельно с решением задач информационного обеспечения испытаний. Большой вклад в обеспечение испытаний внесли Н.Б.Шитикова, М.В.Стекольщикова, Т.В.Федотова и М.Н.Санько.

Система „РОМАНС-Интербол" представляет собой распределенную интегрированную систему для решения задач оперативной обработки научной телеметрической информации и управления комплексами научной аппаратуры. Развертывание

A.M. Belyaev). The first work on the TCP/IP protocol was fulfilled also at that period (A.M. Belyaev and S.V. Belova) and provided for the Institute integration into the Internet.

Problems of the space industry funding took their toll on the department also. Many specialists left the Institute and the rate of the hardware upgrading reduced. Only enthusiastic specialists remained in the department. However the atmosphere of research, informal approach to the developments and the spirit of an actual creativity were still attracting young scientists and specialists. In 1993–1994 the graduates from Moscow State University, Moscow Engineering Physical Institute and other higher educational establishments joined the department. At present they form the skeleton of the development team.

The problems put for the department in the difficult financial situation required for a search for new efficient and cheap solutions. Creation of the ground information system for the Interball mission is the brightest example. Tremendous amount of the data from four spacecraft, different scientific instruments and many national and foreign participants forced the creation of a unique in its performance system based on the experience gained in the previous designs and the contemporary technologies. V.N. Nazarov supervised the work and the whole staff was involved. The unique systems created within the framework of this project had no analogs in the national space industry. The technique of the input telemetry signal processing developed by A.Ye. Tretiakov needs particular attention. It served a base for the creation of several systems for telemetry input and registration with unique both the performance and the economic efficiency. The solutions proposed by the department were so far from the traditional one that rather often they could not be accepted psychologically. In particular only one operator and one personal computer could present the information obtained during tests at the Lavochkin Association to the experimentalists. The nominal scenario involves a lot of hardware and staff, including magnetic tapes delivery to users by a truck.

The system's elements needed for the flight stage of the mission implementation were developed simultaneously with the test information support. A great contribution to the test support was done by N.B.Shitikova, M.V.Stekolshchikova, T.V. Fedotova and M.N. Sanko.

The ROMANS-Interball system is a distributed integrated system for the scientific telemetry timely processing and the scientific payload control. This large-scale system deployment and introduction into operation required a great deal of organizational and managerial efforts. IKI deputy director G.M. Tamkovich took upon himself the main part of these efforts. He developed and proposed the main ideas and terms as well as the better concept for the scientific telemetry express-processing.

A standard access to the system resources (A.Ye. Tretiakov, V.N. Nazarov et al.) enabled users to get the information at all stages of the project implementation, including tests at IKI RAN and the Lavochkin Association and during the flight, both on-line and in off-line modes without any firmware upgrading. This technology application made it possible to increase the development efficiency and the system reliability due to parallel designing of the information system.

Up-to-date telecommunications technologies and distributed processing techniques (V.F. Starinets, O.V. Batanov, Yu.G. Krugov, A.P. Melnik, V.N. Nazarov and A.Ye. Tretiakov)

иллюстрации стр. 193

и ввод в эксплуатацию столь масштабной системы потребовали больших усилий организационного и административного плана, основной груз которых нес заместитель директора Института Г.М.Тамкович, который также лично разработал и предложил основные понятия и термины и более совершенную концепцию экспресс-обработки научной телеметрической информации.

Стандартные средства доступа к ресурсам системы (А.Е.Третьяков, В.Н.Назаров и др.) позволили пользователям получать информацию на всех этапах реализации проекта (во время испытаний в ИКИ РАН и НПО им.С.А.Лавочкина, в полёте) как в реальном времени, так и в послесеансном режиме без каких-либо доработок своих средств. Использование такой технологии позволило повысить эффективность процесса разработки и увеличить надежность системы за счет применения методов параллельного проектирования информационных систем.

Применение современных телекоммуникационных технологий и методов распределенной обработки (В.Ф. Старинец, О.В. Батанов, Ю.Г. Кругов, А.П. Мельник, В.Н. Назаров и А.Е. Третьяков) обеспечивает надежное и эффективное функционирование системы в условиях пространственной разнесенности узлов. Внутренняя база данных и стандартные средства пользовательского интерфейса (В.Н.Назаров, А.Е.Третьяков, Н.Л.Харитонова и Г.А.Харченко) позволяют потребителям выполнять основные операции с любого компьютера, имеющего доступ к системе, без разработки собственного программного обеспечения и, следовательно, упрощают и повышают эффективность их работы.

Различные элементы системы „РОМАНС-Интербол" были введены в эксплуатацию и с успехом использовались в космических организациях Франции, Чехии, Австрии и др. стран.

В апреле 1996 года отдел вычислительной техники был реорганизован. На его основе созданы три подразделения: лаборатория разработки и эксплуатации информационных систем (заведующий В.Н.Назаров), которая наследовала основные функции отдела по созданию систем; группа обеспечения связи под руководством В.Ф.Старинца и группа эксплуатации на Терминальной станции в ЦДКС, возглавляемая А.В.Коробковым. Функции организационного взаимодействия между подразделениями были возложены на А.А.Суханова. Общее руководство созданной структурой подразделений осуществляет заместитель директора Института Г.М.Тамкович.

Результат реорганизации не замедлил сказаться на интенсификации создания системы экспресс-обработки проекта „Марс-96". Г.М.Тамковичем была организована широкая кооперация участников работ, включая представителей Украины (В.А.Литвинов и др.), Франции (Д.Фурнье, Ф.Римберт, Ж.Лапайан и др.), различных подразделений ИКИ (А.А.Суханов, А.В.Кондабаров и др.) и НПО им.С.А.Лавочкина (С.И.Зацепин, Ю.В.Зайко и др.). Созданная в кратчайшие сроки система „РОМАНС-Марс" обеспечивала решение задач экспресс-обработки (А.Е.Третьяков, О.В.Батанов, А.П.Мельник и Г.А.Харченко) проекта „Марс-96" и предоставления её результатов потребителям на Терминальной станции в ЦДКС (г. Евпатория), ИКИ (г. Москва) и различных научных отечественных и зарубежных лабораториях в квази-реальном масштабе времени. Система построена на базе нескольких компьютеров типа SUN SPARC и IBM PC. Для надежной передачи информации помимо низкоскоростных телефонных каналов связи (В.Ф.Старинец) совместно с представителями Франции и Украины под руководством Г.М.Тамковича организован спутниковый канал для передачи

ensure reliable and efficient operation of a system with the spaced nodes. The internal database and the standard user interface (V.N. Nazarov, A.Ye. Tretiakov, N.L. Kharitonova and G.A. Kharchenko) enable users to perform any operation from any computer with an access to the system without the development of particular software. Consequently their work becomes easier and more efficient.

Different elements of the ROMANCE-Interball system were put into operation and highly assessed at various space firms of France, Czech, Austria and others.

In April 1996 the computer department was restructured. Three subdivisions were formed, including the laboratory for information system development and maintenance (headed by V.N. Nazarov) which inherited the department's main functions in systems development; a group for communications support headed by V.F. Starinets and a team for information systems maintenance at the Terminal station of the Deep Space Communications Center headed by A.V. Korobkov. A.A. Sukhanov coordinated the interdepartmental interaction. G.M. Tamkovich supervises all these subdivisions.

The reorganization immediately intensified the development of the express-processing system for the Mars-96 mission. G.M. Tamkovich organized a wide cooperation of all participants from the Ukraine (V.A. Litvinov et al.), France (D. Fournier, F. Rimbert, J. Lapaian et al.), different IKI subdivisions (A.A. Sukhanov, A.V. Kondabarov et al.) and the Lavochkin Association (S.I. Zatsepin, Yu.V. Zaiko et al.). The ROMANCE-Mars system created within the shortest terms solved the express-processing problem (A.Ye. Tretiakov, O.V. Batanov, A.P. Melnik and G.A. Kharchenko) of the Mars-96 mission. It also provided the processing results on-line delivery to users at the Terminal station in the Deep Space Communications Center (Evpatoria), at IKI (Moscow) and to various national and foreign research laboratories. The system was based on several computers of the SUN SPARC and IBM PC types. For the reliable data transmission a satellite channel was also arranged for the data exchange between the Deep Space Communications Center, IKI and CNES (Toulouse) in addition to the low data rate telephony (V.F. Starinets). This work was fulfilled in cooperation with the representatives from France and Ukraine under supervision of G.M. Tamkovich.

A Center for controlling scientific payload within the framework the Mars-96 and Interball missions was created at IKI on the basis of the laboratory. The Center has workplaces for various users, including scientific and technical leaders of space experiments, representatives of the control teams, experimentalists and others. The Center is equipped with the advanced telecommunications facilities. In addition to access via Internet the special channels with Flight Control Center at the Lavochkin Association (Khimki, Moscow region) and the Terminal station at the Deep Space Communications Center have been arranged for the data, voice and video communications.

The experience gained in the implementation of information systems in the space industry enables the laboratory to not only develop the existing systems without decrease of their reliability and operation stopping, but also fulfill new developments. At present the laboratory is developing new user interfaces (Ye.B. Taltykin, A.V. Korotkov, D.V. Yefanov, G.A. Kharchenko, A.Ye. Tretiakov and A.P. Melnik). The architecture of the infor-

pictures see page 193

данных между ЦДКС, ИКИ и Национальным центром космических исследований Франции (г. Тулуза).

Для управления комплексами научной аппаратуры проектов „Марс" и „Интербол" на базе лаборатории в Институте организован Центр управления комплексом научной аппаратуры, в котором оборудованы рабочие места для различных категорий пользователей: научных и технических руководителей космических экспериментов, представителей групп управления, экспериментаторов и т.д. В состав Центра включены развитые телекоммуникационные средства. Доступ к его ресурсам может осуществляться по сети Internet. Помимо этого, для передачи данных, голосовой и видео связи организованы специализированные каналы с ЦУПом НПО им.С.А.Лавочкина (г. Химки) и Терминальной станцией в ЦДКС.

Приобретенный опыт реализации информационных систем в космической отрасли позволяет лаборатории не только развивать существующие системы и комплексы без снижения надежности функционирования и остановок в работе, но и выполнять новые разработки. В настоящее время в лаборатории ведутся работы по созданию новых средств пользовательского интерфейса (Е.Б.Талтыкин, А.В.Коротков, Д.В.Ефанов, Г.А.Харченко, А.Е.Третьяков и А.П.Мельник). Разрабатываются концепции построения информационных систем для перспективных научных космических проектов „Рой" и „Резонанс". Совместно с АКЦ ФИАН проводятся работы по созданию системы обработки телеметрической информации проекта „Радиоастрон".

Новые информационные системы создаются на современном техническом уровне с учетом мирового опыта. Для систематизации передовых технологий в рамках Российской Федеральной космической программы в лаборатории создана база данных мировых информационных ресурсов космической отрасли (В.Н.Назаров, О.В.Батанов, А.П.Мельник и М.М.Веригин).

Как в существующих, так и в новых разработках учитываются специфические для космической отрасли требования высокой надежности и эффективности систем, а также информационной безопасности.

Разработанные лабораторией системы внедрены на Терминальной станции Института в ЦДКС. Значительный вклад в развитие и модернизацию средств Терминальной станции внесли А.П.Куменко, В.В.Кравцов, А.В.Антонов, А.А.Суханов, А.В.Коробков и др.

mation systems for the future scientific space missions Roy (Swarm) and Resonance. In cooperation with ASC of the Lebedev Physical Institute they are designing the telemetry data processing system for the Radioastron mission.

New information systems are being developed at the front edge of technology taking into account the world experience. In order to classify the up-to-date technologies within the framework of the Federal space program the laboratory has created a database of the world information resources for the space industry (V.N. Nazarov, O.V. Batanov, A.P. Melnik and M.M. Verigin).

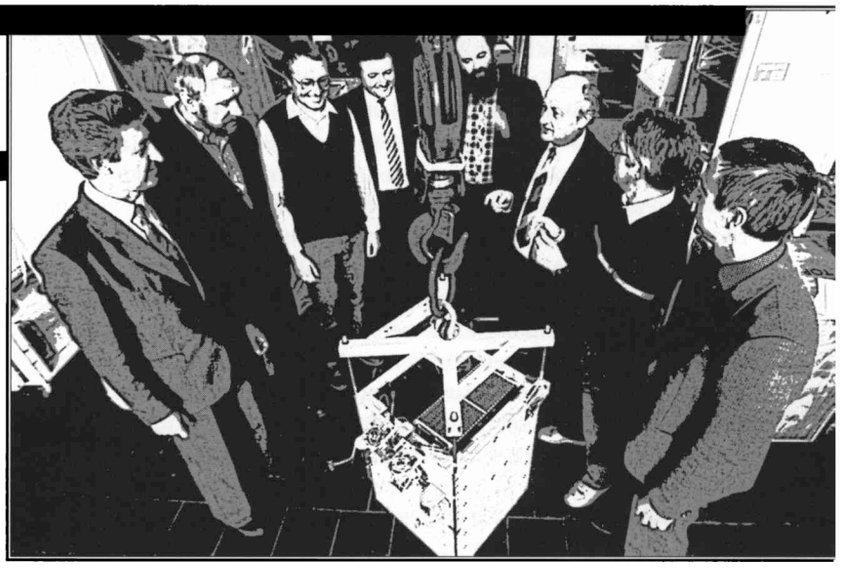
Both the existing and new developments consider specific for the space industry requirements for high reliability and efficiency of the systems as well as the information safety.

The developed systems have been put into operation at the IKI Terminal station at the Deep Space Communications Center. A.P. Kumenko, V.V. Kravtsov, A.V. Antonov, A.A. Sukhanov, A.V. Korobkov and others have made a considerable contribution to the development and upgrading of the facilities at the Terminal station.

иллюстрации стр. 193

Комплексно-проектный отдел

Department for Integrated Design Support



Важное место в деятельности ИКИ занимают исследования, выполняемые на борту орбитальных станций и пилотируемых кораблей. Для решения вопросов, связанных с проведением этих исследований, в 1967 г. была создана лаборатория во главе с Ю.В.Новиковым, которая затем вошла в состав отдела разработки программ и координации космических исследований. В разное время отделом руководили С.И.Карманов, А.А.Большой, А.С.Качанов. В 1986 г. отдел был реорганизован, и на его базе создается комплексно-проектный отдел с задачами реализации экспериментов Академии наук на орбитальной станции „Мир" и ее научных модулях. Заведующим отделом назначается О.Ф.Прилуцкий. Спустя два года ему поручается возглавить вновь организованный по инициативе Р.З.Сагдеева отдел системных исследований, а руководство комплексно-проектным отделом с января 1988 года возлагается на В.Г.Родина. Сегодня в отделе работает 18 человек.

Одной из первых заметных вех в деятельности отдела стал проект „Гамма-1" (научный руководитель – А.М.Гальпер (МИФИ), технический – В.Г.Родин). „Научный штаб" проекта в ИКИ представляла лаборатория В.Е.Нестерова, в которой гигантский объем работ выполнял В.В.Акимов, заряжающий всю кооперацию проекта (ИКИ, МИФИ, ФИАН, ЛФТИ, организации CNES и АН Польши, РКК „Энергия" и ОКБ ИКИ) своей энергией и энтузиазмом.

На комплексно-проектный отдел была возложена вся оперативная техническая и организационная работа по проекту в целом, согласование характеристик комплекса научной аппаратуры и специализированного космического аппарата – „Гамма-модуль", а также разработка системы кодирования апертуры телескопа (совместно с РКК „Энергия") и звездного датчика (с Центром космических исследований Польской Академии наук и РКК „Энергия").

Но, пожалуй, наиболее значительный объем работ отдела пришелся на проект „Международная обсерватория „Рентген" на модуле „Квант" орбитальной станции „Мир" (научный руководитель проекта – Р.А.Сюняев, технический – В.Г.Родин). Проект готовился в условиях достаточно сложной международной и внутренней кооперации, что создавало дополнительные трудности при решении комплексных вопросов. Тем не менее,

Studies conducted from onboard the orbital stations and manned spaceships occupy an important place in the IKI activity. In order to solve the problems arising during these studies a laboratory headed by Yu.V. Novikov was established in 1967. Then it was included into the department for space research programs development and coordination. The department was headed by S.I. Karmanov, then A.A. Bolshoi and finally A.S. Kachanov. In 1986 the department was restructured and transformed into the department for integrated design support. The new department's tasks consisted in the implementation of experiments of the Academy of Sciences onboard the orbital station Mir and its scientific modules. O.F. Prilutsky was appointed the head of the department. Two years later he became a head of the department for system studies organized on the Sagdeev's initiative, and V.G. Rodin headed the department for integrated design support since January 1988. At present 18 people work at the department.

The Gamma-1 mission became one of the first remarkable milestones in the department activity. A.M. Galper (Moscow Engineering Physical Institute – MIFI) was responsible for the scientific issues and V.G. Rodionov – for the technical aspects. The laboratory headed by V.Ye. Nesterov was the mission „scientific headquarters" at IKI. Laboratory employee V.V. Akimov fulfilled a tremendous amount of work and charged all the participants from IKI, MIFI, FIAN, LFTI, CNES, Polish Academy of Sciences, RKK Energiya and OKB IKI with his energy and enthusiasm.

The department for integrated design support was responsible for the engineering and management work on the project as a whole. Its staff also provided the compatibility of the scientific payload and the special spacecraft Gamma-module and developed the coding system for the telescope's aperture (in cooperation with the RKK Energiya) and the star tracker (in cooperation with the Space Research Center of the Polish Academy of Sciences and the RKK Energiya).

The department's most significant contribution was for the Roentgen International Observatory project on the Kvant module of the orbital station Mir (R.A. Sunyaev – project scientific supervisor and V.G. Rodin – technological supervisor). The project was developed by a fairly complicated international and national

pictures see page 194

при постоянной поддержке и благожелательном отношении проектной службы РКК „Энергия" (Л.А.Горшков) и технического руководства ОК „Мир" (Ю.И.Григорьев) все работы были успешно завершены, и в марте 1987 г. обсерватория „Рентген" выведена в космос. Правда, не обошлось без стрессовых ситуаций и нештатных стыковок. В конечном итоге ученые получили в свои руки новый уникальный инструмент, с помощью которого уже вскоре обнаружили жесткое излучение Сверхновой 1987А, вспыхнувшей как раз перед запуском.

В проекте „Рентген" комплексно-проектный отдел получил бесценный опыт проведения исследований на борту орбитального комплекса, взаимодействия с его информационными и навигационными системами, службами ЦУПа. Когда вышел из строя детектор телескопа ТТМ, и было решено заменить его на новый, доставленный на станцию грузовым кораблем „Прогресс", в отделе был разработан специальный инструмент, с помощью которого за два выхода в космос, по 6 часов каждый, удалось демонтировать старый и установить и подключить новый детекторный блок диаметром 650 мм и весом порядка 60 кг. На начальных этапах лидером проекта в отделе был О.Ф.Прилуцкий, основные работы по комплексным испытаниям выполнила группа В.Г.Лякишева, включая заключительные испытания на космодроме, А.В.Прудкогляд – бессменный представитель отдела в ЦУПе. На заключительных этапах подготовки к запуску на космодроме эффективное общее руководство от ИКИ осуществлял Г.М.Тамкович, в короткий срок решавший массу возникающих проблем.

Следующей большой работой отдела на станции „Мир" стал эксперимент МИРАС, который готовился совместно с Институтом космической аэрономии Бельгии и фирмой ONERA Франции. (Научный руководитель проекта от ИКИ – В.М.Балебанов, технический – В.Г.Родин). Эксперимент предусматривал создание инфракрасного телескопа-спектрометра, позволяющего, в частности, получить картину глобального загрязнения верхней атмосферы газами промышленного происхождения (хлор и фторсодержащие). Весь комплекс был успешно доставлен на орбиту на модуле „Спектр", и космонавты А.Соловьев и А.Титов смонтировали телескоп на внешней площадке модуля. Однако через две недели вышел из строя изготовленный в США преобразователь напряжения в усилительном устройстве выходного сигнала, а после разгерметизации модуля „Спектр" в результате столкновения с транспортным кораблем ремонт телескопа МИРАС оказался невозможным.

В работах по МИРАСу активное участие принимали группы В.Г.Лякишева (комплексные испытания) и А.М.Владыкина (информационный адаптер), а также О.Н.Андреев (механические и термовакуумные испытания). Подготовка технической документации по проекту в основном была за И.М.Кизенковым. Подразделение О.А.Евсеева разработало и изготовило высококачественную ИК-оптику для телескопа. Неоценимую помощь проекту оказал главный инженер Института В.В.Высоцкий, на которого выпала основная нагрузка по созданию испытательной базы в ИКИ для квалификационных испытаний телескопа.

Совместно с другими подразделениями ИКИ комплексно-проектный отдел выполнил на станции „Мир" еще несколько экспериментов. В их числе REM (совместно с Цюрихским институтом П.Шерера), ТРЕК, „Нейтрал", ТВК, „Микросвит".

Так сложилось, что деятельность отдела не ограничивалась рамками орбитальной станции „Мир". В частности, сотрудники

cooperation that caused additional difficulties in solving the integrated problems. Nevertheless the work was successfully completed owing to a constant support and favorable attitude of the RKK Energiya design service (L.A. Gorshkov) and the engineering supervisors of the Mir orbital station (Yu.I. Grigoriev). In March 1987 the Roentgen observatory was delivered to orbit. However several stress situations and abnormal dockings occurred. Finally scientists got a novel unique tool which soon provided for a discovery of the hard radiation of the Supernova 1987A. This Supernova had flared up just before the launch.

In the Roentgen project the department for integrated design support gained an invaluable experience in both conducting experiments onboard an orbital station and communications with the information and navigation systems and the Flight control center services. In particular the department developed a special tool which allowed disintegration of the failed TTM telescope's old detector and attachment of the new unit with a diameter of 650 mm and a mass of about 60 kg during two EVA. This new detector was delivered by the Progress cargo ship. O.F. Prilutsky headed the project at the first stages of its implementation. V.G. Lyakishev's team fulfilled the principal work on the integrated tests, including the final tests at the launch site. G.M. Tamkovich efficiently governed the activity as a whole at the final stages of the launch preparation at the launch site and solved a great totality of the arosed problems within a short period of time.

The MIRAS experiment on the Mir orbital station was the department's next large project. This experiment was prepared in cooperation with the Institute for Space Aeronomy, Belgium, and the ONERA company, France (V.M. Balebanov was a scientific leader of the project from IKI and V.G. Rodin was responsible for the engineering problems). The MIRAS experiment envisaged the creation of an infrared telescope and spectrometer dedicated in particular to monitoring the upper atmosphere global pollution with the industrial gases (chlorine and fluorine-containing gases). The Spektr module delivered this instrument to an orbit. Cosmonauts A. Soloviov and A. Titov mounted the telescope on the module's external platform. However in two weeks a voltage converter of the output signal amplifier manufactured at the U.S. failed. After the Spektr module depressurization because of the collision with the cargo ship the MIRAS instrument repair turned out impossible.

Teams headed by V.G. Lyakishev (integrated tests), A.M. Vladykin (information adapter) and O.N. Andreev (mechanical and thermovacuum tests) actively participated in the Miras works. I.M. Kizenkov was responsible for the technical documentation preparation. The O.A. Yevseev's subdivision developed and manufactured a high quality optics for the telescope. The Institute's chief engineer V.V. Vysotsky gave an invaluable assistance to the project implementation. He was responsible for the creation of an experimental site at IKI for the telescope qualification tests.

In cooperation with other IKI subdivisions the department for integrated design support fulfilled several other experiments on the Mir station, including REM (in cooperation with the Zurich P.Sherere Institute), TREKS, Neitral, TVK and Mikrosvit.

The department's activity was not limited with the Mir orbital station only. In particular the department actively participated in the development of the Mars rover's manipulator. Fast

иллюстрации стр. 194

отдела принимали активное участие в разработке манипуляторного комплекса марсохода. В составе уникального астрофизического комплекса „Гранат" успешно работала разработанная в отделе быстроповоротная платформа наведения „Подсолнух", обладающая рекордной скоростью разворота (90°/с по каждой оси). На протяжении нескольких лет в отделе выполняются комплексные работы по проекту „Спектр-УФ" по контракту с Институтом астрономии РАН.

В течение последних четырех лет отдел активно ведет проектно-конструкторские работы по проектам „Наука-НАСА" и „МКС-Наука", в результате которых несколько разработок из числа предложенных отделом, или в которых он непосредственно участвует, утверждены в качестве ОКР на этапе развертывания российского сегмента Международной космической станции. Совместно с другими подразделениями ИКИ, а также с РКК „Энергия", ЦНИИМаш и фирмой „Боинг" отдел участвует в разработке серии космических аппаратов, которые будут монтироваться на МКС из отдельно доставляемых на ее борт узлов и блоков, оснащаться ЭРДУ и солнечными батареями большой площади, а затем уходить от станции в самостоятельный полет.

Первые из этих аппаратов были экспериментальные „Модуль-М" и „Модуль-М2" (научные руководители В.М.Линкин и С.И.Климов) и предназначены для полета в точку либрации L_1, третий – „Марс-Модуль" (научный руководитель А.А.Галеев) – к Марсу и обратно к Земле, возможно, с доставкой в аэрогелях пылевой компоненты из окрестностей спутников Марса. Для „Модуля-М" отдел разрабатывает совместно с СКБ КП (г. Таруса) комплекс бортовых систем, включающий компьютер на основе однокристального 8С51, систему телеметрии, электропитания и т.д., а также участвует в создании научной аппаратуры.

Сотрудники комплексно-проектного отдела задействованы и в таких, прошедших жесткий конкурсный отбор на реализацию в российском сегменте МКС проектах, как монитор всего неба (научный руководитель Р.А.Сюняев); планетный мониторинг, предусматривающий установку на МКС ИК-телескопа для наблюдений атмосфер планет (научный руководитель В.И.Мороз); сверхмалый электромагнитно-чистый спутник в инфраструктуре МКС (научный руководитель С.И.Климов). Большой вклад в проектные разработки отдела для российского сегмента МКС внесли А.В.Прудкогляд и Н.Ф.Саякина. По проектам „Модуль-М" и „Модуль-М2" работают все сотрудники отдела.

За работы на ОК „Мир" четырем сотрудникам отдела Указом Президента РФ присвоено почетное звание „Заслуженный конструктор России" (О.Н.Андреев, В.Г.Лякишев, А.В.Прудкогляд и В.Г.Родин). В.Г.Родин удостоен звания Лауреата Ленинской премии. Пять сотрудников награждены орденами и медалями СССР и России (А.М.Владыкин, И.М.Кизенков, В.Г.Лякишев, И.Л.Розенталь и В.Г.Родин).

Федерация Космонавтики СССР отметила работы отдела Дипломом им.Ю.А.Гагарина.

rotating pointing platform Podsolnukh (Sunflower) developed for the unique astrophysical system Granat had a record rotation speed of 90°/s in each axis. The department is conducting versatile works on the Spektr-UV according to the contract with the Institute for Astronomy of the Russian Academy of Sciences.

Over the last four years, the department has been involved in the R&D of the Nauka-NASA and MKS-Nauka projects. This activity has resulted in the approval of several proposals made by the department for the Russian segment of the International Space Station. In cooperation with the other IKI departments, RKK Energiya, TsNIIMash and the Boeing company the department participates in the spacecraft series development. These spacecraft will be integrated on the International Space Station from separate units and systems, equipped with the electric propulsion unit and large solar arrays. Then the spacecraft will leave the station for an independent flight.

The first spacecraft of this series, an experimental Module-M and then Module-M2 (scientific supervisors – V.M. Linkin and S.I. Klimov) are destined for a flight to the libration point L_1. The third spacecraft Mars-Module (PI – A.A. Galeev) will fly towards Mars and back to Earth. It will possibly deliver dust particles from the space near to the Martian moons in aerogels. For the Module-M spacecraft the department is developing onboard systems, including a computer based on the 8C51 chip, telemetry and power supply systems and others in cooperation with SKB KP (Tarusa, Moscow region). The department participates in the scientific payload development also.

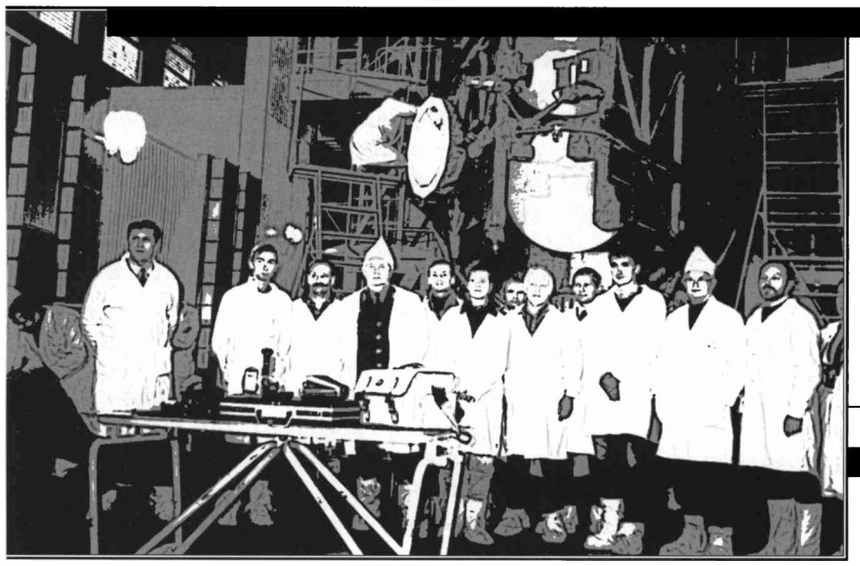
The department for integrated design support is also involved in the following projects; all sky monitor (PI – R.A. Syu-niaev); planetary monitoring by an infrared telescope installed on the International Space Station (ISS) for the observation of the planets' atmospheres (PI – V.I. Moroz) and an extra-small electromagnetically pure satellite within the ISS infrastructure (PI – S.I. Klimov). These projects were included into the ISS Russian segment after a tough competition. A.V. Prudkoglyad and N.F. Sayakina have made a large contribution to the department design work for the ISS Russian segment. All staff members work within the framework of the Module-M and Module-M2 projects.

Four department's employees were awarded a title of the Honored Designer of Russia (O.N. Andreev, V.G. lyakishev, A.V. Prudkoglyad and V.G. Rodin) by a decree of the RF President for their work on the Mir orbital station. V.G. Rodin became the Lenin prizewinner. Five employees are awarded with orders and medals of the USSR and Russia (A.M. Vladykin, I.M. Kizenkov, V.G. Lyakishev, I.L. Rozental and V.G. Rodin).

The USSR Federation of Cosmonautics has awarded the department with the Gagarin Diploma.

pictures see page 194

Отдел научно-технического обеспечения



Department for Scientific-Engineering Support

В 1973 г. в ИКИ была образована лаборатория научно-технического обеспечения, в задачу которой входила техническая реализация научных проектов на борту космических аппаратов. В дальнейшем лаборатория была реорганизована в отдел с теми же задачами. И лабораторию, и отдел с момента образования по настоящее время возглавляет Е.М.Васильев.

Комплексы научной аппаратуры (КНА), устанавливаемые на космических аппаратах (КА), как правило, не только не повторяются от одного аппарата к другому, но и существенно различаются. Кроме того, служебные системы КА – телеметрическая, программно-временная, радиоканал – не всегда полностью удовлетворяют требованиям эксперимента. Поэтому каждый раз приходится создавать блоки управления КНА, стыковочные блоки, дополнительные бортовые системы сбора и регистрации, хранения и сброса научной информации, контрольно-испытательное оборудование для проверки научных приборов на всех стадиях испытаний в ИКИ, на заводе и космодроме. Все это входит в задачи отдела. Им также разрабатывается полный комплект эксплуатационно-технической документации на КНА. Сотрудники отдела участвуют в приемке научной аппаратуры и всех видах ее испытаний, а также в управлении работой научных приборов в полете.

Так, для проекта „Марс-69" отделом разработана автоматическая система проведения комплексных испытаний (В.И.Дворецкий), совместно с НИИМикроПрибор создана бортовая система сбора, сжатия и регистрации научной информации, в которой впервые на научных КА использовались старт-стопные цифровые магнитофоны (Е.М.Васильев, В.Ф.Николаев, К.А.Михалюк). Совместно с вычислительным центром ИКИ (Н.Г.Злотин, В.М.Покрас), также впервые, был реализован прямой ввод информации в ЭВМ во время испытаний (В.Ф.Николаев).

Для проекта „Марс-71" разработаны: бортовая одноканальная система сжатия данных „Старт" для советско-французского эксперимента СТЕРЕО (И.Д.Скобкин); КИА для испытаний мини-комплекса „Стерео-Старт" (Б.С.Новиков, В.И.Евгенов). Для проекта „Марс-73" – 2-х канальная система сжатия данных „Старт-М" (Б.С.Новиков, В.И.Евгенов); бортовая сис-

In 1973 a laboratory for scientific-engineering support was formed at IKI. Its task concerned the technological aspects of scientific missions implementation onboard the spacecraft. Then the laboratory was transformed into a department with the same tasks. Ye.M. Vasiliev has headed both the laboratory and the department from the very beginning until now.

As a rule onboard scientific payload differs for different spacecraft. In addition spacecraft housekeeping systems, including TT&C system and a radio channel, often do not meet the requirements of a particular experiment. That is why each time it is necessary to create payload control units, interfaces, auxiliary systems for scientific data collection, storage and downlinking as well as the processing instrumentation for the scientific payload verification at all stages of testing at IKI, at the plant and the launch site. The department's tasks cover all these aspects. In addition the staff develops a complete set of instructions and engineering specifications for the scientific payload and participates in the payload control in flight.

For the Mars-69 mission the department developed an automated system for conducting integrated tests (V.I. Dvoretsky) and an onboard system for scientific data collection, compression and registration. The latter was created in cooperation with the NIIMicropribor and was based on start-stop digital tape recorders (Ye.M. Vasiliev, V.F. Nikolaev and K.A. Mikhalyuk) which were used onboard the spacecraft for the first time. In cooperation with the IKI computer center (N.G. Zlotin and V.M. Pokras) the department implemented the direct data input into the computer during tests (V.F. Nikolaev). This procedure was done for the first time also.

Within the framework of the Mars-71 mission the onboard single channel data compression system Start for the Soviet-French experiment Stereo (I.D. Skobkin) and the processing instrumentation for the mini-system Stereo-Start testing (B.S. Novikov and V.I. Yevgenov) were developed. For the Mars-73 mission the department designed a two-channel data compression system Start-M (B.S. Novikov and V.I. Yevgenov), an onboard scientific data collection and compression

иллюстрации стр. 195

тема сбора и сжатия научных данных (И.Д.Скобкин, К.А.Михалюк) и КИА для ее испытаний (К.А.Михалюк).

Для межпланетных станций серии „Венера" разработаны: блоки сопряжения научных приборов „Альт" со служебными системами (И.Д.Скобкин), а для орбитальных аппаратов „Венера-15, -16" выполнена комплексная завязка научных приборов (С.А.Аust).

В проекте ВЕГА отдел выполнял работы по комплексу научной аппаратуры спускаемого аппарата (В.И.Субботин, Е.Г.Панков, В.И.Дворецкий, В.Н.Цветков). Для автоматизированной проверки научных приборов на испытательном стенде Института отделом (Е.М.Васильев, Ю.М.Штарьков, С.А.Аust) совместно с СКБ ММС Института кибернетики Академии наук Украины (М.И.Дианов, В.И.Дианов) была разработана и создана система обработки и отображения научной информации в реальном времени (АСОД – „Океан-Дельта"). С помощью этой системы проводилась в дальнейшем визуализация телевизионных отображений в реальном времени в момент пролета КА в хвосте кометы Галлея (В.И.Лазарев, А.Е.Стефанович).

Для аппаратов „Фобос-1, -2" разработаны: бортовая система сбора и регистрации научной информации „Морион" (И.Д.Скобкин, С.И.Смирнов); наземная автоматизированная система автономных и комплексных испытаний (Е.М.Васильев, С.А.Аust, В.Н.Цветков); система регистрации и экспресс-обработки научной информации и отображения ее в реальном времени (С.А.Аust, В.Н.Цветков); информационная сеть для приема с наземных командно-измерительных пунктов научной информации и раздачи ее по сети экспериментаторам (С.А.Аust, В.Н.Цветков).

Для проекта „Марс-96" разработаны: автоматизированная система управления автономными и комплексными испытаниями (СКАИ) (Е.М.Васильев, С.А.Аust); универсальная КИА для проверки научной аппаратуры (С.А.Аust, Ю.С.Шамаев); система распределительной обработки результатов испытаний в реальном времени (С.А.Аust, М.В.Матюк); система регистрации и экспресс-обработки информации во время комплексных испытаний научной аппаратуры в составе КА на заводе и раздачи ее по информационной сети экспериментаторам (С.А.Аust, А.В.Кондабаров); система регистрации, экспресс-обработки и хранения научной информации в Центре управления полетом Центра дальней космической связи (ЦУП ЦДКС), а также развернута информационная сеть обеспечения оперативного управления научной аппаратурой в полете и доведения информации до экспериментаторов (С.А.Аust, А.В.Кондабаров). Были выполнены работы по использованию помехоустойчивого кодирования для передачи научной информации с малой станции (МС) на орбитальный аппарат и, совместно с сотрудниками Государственной Академии аэрокосмического приборостроения (ГААП, С.Петербург), по улучшению схемы декодирования для сжатых изображений, передаваемых с комплекса „Аргус" по магистральной радиолинии с орбитального аппарата (В.Ф.Бабкин).

Техническим руководителем по КНА межпланетных станций „Венера-9, -10" был В.И.Субботин, по всем остальным межпланетным станциям – Е.М.Васильев.

Помимо автоматических межпланетных станций отдел участвовал в отработке КНА на заводе и космодроме, в управлении работой приборов в полете на космических аппаратах „Наука" (Л.В.Песоцкий), высокоапогейных спутниках „Прогноз" (А.М.Певзнер); обеспечивал техническое сопровождение многосистем (*I.D. Skobkin and K.A. Mikhalyuk*) *and the corresponding processing instrumentation (K.A. Mikhalyuk).*

Interfaces between the Alt (Viola) scientific instrumentation and the housekeeping systems (I.D. Skobkin) for the interplanetary stations of the Venera series and an integrated onboard scientific instrumentation system for the Venera-15, -16 orbiters (S.A. Aust) were developed.

For the VEGA mission the department worked on the scientific instruments of the descent module (V.I. Subbotin, Ye.G. Pankov, V.I. Dvoretsky and V.N. Tsvetkov). A system for the scientific data on-line processing and visualization (ASOD-Okean-Delta) was developed in cooperation with the SKB MMS of the Institute for Cybernetics of the Ukrainian Academy of Sciences. The system was designed to ease an automated check-out of the scientific instruments at the IKI testing bench (Ye.M. Vasiliev, Yu.M. Shtarkov and S.A. Aust). Then this system visualized TV images in real time when the spacecraft flew through Halley's comet tail (V.I. Lazarev and A.Ye. Stefanovich).

For the Phobos-1, -2 spacecraft the department developed an onboard system Morion for the scientific data collection and registration (I.D. Skobkin and S.I. Smirnov), ground automated system for autonomous and integrated tests (Ye.M.Vasiliev, S.A.Aust and V.N. Tsvetkov) a system for the scientific data registration, express-processing and on-line visualization (S.A.Aust and V.N. Tsvetkov), and information network for the scientific data reception from the TT&C centers and its distribution to experimentalists via the network (S.A.Aust and V.N.Tsvetkov).

For the Mars-96 mission the department developed an automated system for controlling autonomous and integrated tests (SKAI) (Ye.M. Vasiliev and S.A. Aust); universal processing instrumentation for the scientific payload checkout (S.A. Aust and Yu.S. Shamaev); a system of distributed on-line processing of the test results (S.A. Aust and M.V. Matyuk); a system for the information registration and express-processing during scientific payload complex tests at the plant after integration with the spacecraft as well during this data delivery to experimentalists via the network (S.A. Aust and A.V. Kondratov); a system of the scientific data registration, express-processing and storage at the Flight control center of the Deep Space Communications Center (TsUP TsKDS); and an information system for the scientific payload timely control in flight and the data delivery to experimentalists (S.A. Aust and A.V. Kondabarov). The error-control coding was used for the data transmission from the small station to the orbiter. Decoding of the compressed images transmitted from the Argus complex via the main radio line from the orbiter (V.F. Bab-kin) was implemented in cooperation with the State Academy of Aerospace Device Engineering (St.Petersburg).

V.I. Subbotin was responsible for the engineering problems of the scientific payload of the Venera-9, -10 interplanetary stations, Ye.M. Vasiliev – for all the other interplanetary stations.

In addition to the interplanetary stations the department was involved in scientific payload processing at the plant and the launch site as well as in its control during the flight of Nauka spacecraft (L.V. Pesotsky) and high apogee satellites of the Prognoz series (A.M. Pevzner). The department also provided for the engineering support of the MKF-6 camera installed on the manned orbital station Salyut and Soyuz spaceships (L.V. Pesotsky).

pictures see page 195

гоканальной фотокамеры МКФ-6, установленной на пилотируемой станции „Салют" и на кораблях „Союз" (Л.В.Песоцкий).

Для спутников „Прогноз" для привязки научных измерений в пространстве отделом разработаны и, совместно со СНИИПом (И.П.Карпинский), изготовлены, откалиброваны и испытаны датчики ориентации (А.Е.Стефанович), а также разработаны блоки стыковки и размножения функциональных команд (А.Б.Беликова). Ведущим по научной аппаратуре космических аппаратов „Прогноз" был Л.В.Песоцкий. Ответственным за испытания КНА на заводе, космодроме и управлению научными приборами в полете – А.М.Певзнер.

Для проекта „Интершок" разработаны бортовые блоки выдачи и размножения команд и кроссировки для стыковки КНА со служебными системами КА (А.Б.Беликова); система „Орион" для регистрации научной информации от системы БРОД (И.Д.Скобкин, С.И.Смирнов) и сама система БРОД для управления работой КНА в полете по признакам, вырабатываемым научными приборами (В.Ф.Бабкин).

Для наземных испытаний созданы автоматизированная система управления работой КНА на базе вычислительной машины ДЗ-28 (В.И.Лазарев, А.Е.Стефанович); универсальные проверочные модули (УПМ) (Т.П.Лесина).

Отработка комплексов научной аппаратуры космических аппаратов „Интербол-1, -2" на стенде в ИКИ и на заводе в составе КА проводилась с использованием современных персональных компьютеров и универсальной автоматизированной системы управления автономными и комплексными испытаниями (С.А.Ауст, В.Н.Цветков, А.В.Кондабаров, Ю.С.Шамаев). Были разработаны блоки для стыковки КНА со служебными системами КА (Т.А.Лесина, Ж.В.Дикарева), и подготовлена необходимая эксплуатационно-техническая документация. Кроме того, для КА „Интербол-2" разработана система телеметрического обеспечения (СТО) и антенно-фидерное устройство (Г.И.Терехин). Техническим руководителем по КНА обоих КА проекта Интербол был Л.В.Песоцкий. Сотрудники отдела входили в состав оперативной научной группы и непосредственно участвовали в работах по управлению КНА в полете (Т.П.Лесина – „Интербол-1"; Ж.В.Дикарева – „Интербол-2").

Отдел участвовал в испытаниях на космодроме комплексов научной аппаратуры французского спутника СНЕГ-3 и малых французских спутников МАС, которые запускались советской ракетой-носителем (ведущие: Е.М.Васильев, Б.С.Новиков, В.И.Евгенов).

Отдел проводил отработку и испытания комплекса научной аппаратуры и участвовал в управлении работой КНА практически всех спутников серии „Интеркосмос". Для проекта „Интеркосмос-Болгария-1300" был разработан бортовой блок автоматики научного комплекса и управления работой приборов в полете (В.И.Субботин, Е.Г.Панков, В.И.Дворецкий, Е.В.Ларионов). На „Интеркосмосе-15" проведены летные испытания Единой телеметрической международной системы (ЕТМС) (от ИКИ – научный руководитель В.В.Андриянов, технический – Г.Н.Терехин).

На спутнике „Ореол-3", запущенном по программе АРКАД, помимо исполнения обязанностей ведущего по отработке КНА, Г.И.Терехин осуществлял техническое сопровождение установленной в составе научной аппаратуры широкополосной телеметрической системы ТМС (Франция). Техническое сопровождение бортовой вычислительной машины CN-2B и согласующего

For the Prognoz series satellites the department designed and in cooperation with SNIIP (I.P. Karpinsky) manufactured, calibrated and tested attitude control sensors (A.E. Stefanovich). These units served for the scientific measurements location in space. The department also developed interfaces for the functional commands transfer (A.B. Belikova). L.V. Pesotsky headed the work on the Prognoz spacecraft payload. A.M. Pevzner was responsible for the scientific payload tests at the plant and the launch site as well as for its control in flight.

For the Intershock project the department developed onboard units for the command output, copying and crossing in order to interface the payload and the spacecraft housekeeping systems (A.B. Belikova), the Orion system for the registration of scientific data from the BROD system (I.D. Skobkin and S.N. Smirnov) as well as the system BROD itself for controlling the payload in flight based on the signal generated by the scientific instruments (V.F. Babkin).

For the ground tests an automated system for controlling payload based on the DZ-28 computer (V.I. Lazarev and A.Ye. Stefanovich) and universal verification modules (T.P. Lesina) were created.

The payload of the Interball-1, -2 spacecraft was processed at the IKI benches and at the plant after its integration with the spacecraft. The tests were performed using contemporary computers and the universal automated system for controlling autonomous and integrated tests (S.A.Aust, V.N.Tsvetkov, A.V.Kondabarov and Yu.S.Shamaev). Interfaces for the payload integration with the spacecraft housekeeping systems were developed and the required instructions and technical specifications were prepared (T.A.Lesina and Zh.V. Dikareva). In addition a telemetry system (STO) and an antenna feeder (G.I. Terekhin) were developed for the Interball-2 spacecraft. L.V. Pesotsky was responsible for the engineering problems on the payload for the both Interball spacecraft. The department's staff members were also included in the operative scientific team and directly participated in the payload in-flight control (T.P. Lesina – Interball-1 and Zh.V. Dikariova – Interball-2).

The department participated in the tests of the scientific payload of the French satellite SNEG-3 and small French satellites MAS at the launch site. These satellites were launched by the Soviet launch vehicle (leading experts: Ye.M. Vasiliev, B.S. Novikov and V.I. Yevgenov).

The department processed and tested the scientific payload of almost all the Intercosmos series satellites. The staff members also participated in this scientific instrumentation control in flight. For the Intercosmos-Bolgaria-1300 project an onboard automatics unit was developed for the payload in-flight control (V.I. Subbotin, Ye.G. Pankov, V.I. Dvoretsky and Ye.V. Larionov). Flight tests of the Common telemetry international system (ETMS) were fulfilled at the Intercosmos-15 satellite (from IKI V.V. Andriyanov was responsible for the scientific aspects and G.N. Terekhin – for the engineering problems).

For the Oreol-3 satellite launched within the framework of the ARCAD mission G.I. Terekhin was responsible for the engineering control for the French wideband telemetry system TMS operation. I.D. Skobkin provided for the engineering support of the onboard computer CN-2B and the interface between the CN-2B and telemetry system (designed by IKI RAN).

иллюстрации стр. 195

устройства между CN-2B и ТМС (разработка ИКИ РАН) выполнял И.Д.Скобкин.

Ведущим по комплексу НА автоматических универсальных орбитальных станций (АУОС), „Ионозонд", „Коронас", „Интеркомос-24, -25" был Е.Г.Панков. Техническим руководителем по автоматическим универсальным орбитальным станциям (АУОС) – Е.М.Васильев.

Работы с АУОС начались в отделе в 1973 году. Тогда же в отдел научно-технического обеспечения из отдела, возглавляемого В.В.Андриановым, была переведена группа Г.И.Терехина, которая занималась там созданием аппаратуры для дистанционного зондирования Земли из космоса. Таким образом, группа Г.И.Терехина помимо разработок блоков для управления КНА в полете занималась созданием самой аппаратуры.

По программе исследования Мирового океана под научным руководством. Ю.К.Ходарева и техническим руководством Г.И.Терехина с участием МГИ АН УСССР, ИФА АН СССР, института Океанологии им.Ширшова АН СССР, ИРЭ АН СССР, а также ИКИ АН ГДР и Будапештского политехнического института был разработан КНА для дистанционного зондирования Земли. Он включал в себя Систему сбора и передачи научной информации (ССПИ) с сетью наземных „буйковых" станций, многоканальный спектрометр МКС, радиометр и магнитометр. Программа реализовывалась на станциях „Интеркосмос-20" и „Интеркосмос-21" и затем продолжалась на орбитальных станциях „Салют" и „Мир".

Отдел принимал непосредственное участие в отработке комплексов научной аппаратуры высотных атмосферных (ВЗА) и астрофизических зондов (ВЗАФ-С) (Ю.А.Плахов). Для этого в ИКИ был создан специальный испытательный стенд. Управление работой научных приборов и контроль их функционирования осуществлялся системой программного управления (СПУ), разработка и изготовление которой проводились ОКБ МЭИ (ведущий по СПУ – О.Б.Кукушкин).

Большую организационно-техническую работу в качестве секретаря Государственной Комиссии по запуску и управлению автоматических станций „Прогноз-4, -5, -6, -7, -8, -9, -10", „Интербол-1, -2", астрофизических обсерваторий „Астрон", „Гранат", межпланетной станции „Марс-96" выполнял А.М.Певзнер, а автоматических универсальных орбитальных станций „Интеркосмос-15, -16, -17, -18, -19, -20, -21, -24, -25", „Ореол-3", „Коронас-И" – А.Д.Рябова.

В целом, за время существования отдела его сотрудниками был выполнен полный цикл работ с комплексами научной аппаратуры, включая разработку технической документации, проведение испытаний в ИКИ, на заводе, космодроме, управление работой КНА в полете по 20 межпланетным станциями („Марс", „Венера", „Фобос"), 9 высокоапогейным ИСЗ („Прогноз"), 12 автоматическим универсальным орбитальным станциям АУОС, 5 высотным атмосферным и астрофизическим зондам (ВЗА, ВЗАФ-С) и 4 космическим аппаратам „Наука".

Заведующий отделом Е.М.Васильев удостоин звания Лауреата Ленинской премии в области науки и техники. Сотрудники отдела – В.И.Субботин, Л.В.Песоцкий, Г.И.Терехин, В.И.Мосальков и А.Д.Рябова – награждены Орденами.

Ye.G. Pankov was responsible for the scientific payload of the universal orbital stations (AUOS), Ionozond, Koronas and Intercosmos-24, -25. Ye.M. Vasiliev controlled engineering aspects for the automated universal orbital stations.

The department began to work on the AUOS in 1973. At that time a team headed by G.I, Terekhin was transferred from the V.V. Andrianov's department to the department for scientific-engineering support. This team was developing instruments for Earth remote sensing from space. Thus the G.I. Terekhin's team was designing payload in addition to the development of the units for the payload control in flight.

Payload for Earth remote sensing was developed within the framework of the World Ocean Research Program supervised by Yu.K. Khodyrev. G.I. Terekhin was responsible for the engineering problems. MGI AN USSR, IFA AN USSR, Shirshov Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences, IRE AN USSR, IKI AN GDR and the Budapest Polytechnical Institute participated in this work. This scientific instrumentation included a system for the scientific data collection and transmission (SSPI) and a net of the ground buoy-type stations, a multichannel spectrometer MKS, a radiometer and a magnetometer. At first the mission was implemented on the Intercosmos-20 and Intercosmos-21 stations. Then it was continued on the orbital stations Salyut and Mir.

The department processed the scientific instruments for the high-altitude atmospheric (VZA) and astrophysical probes (VZAF-S) (Yu.A. Plakhov). For this a special test bench was created at IKI. OKB MEI developed and manufactured a programmable control system (SPU) for controlling and monitoring the scientific payload operation (O.B. Kukushkin).

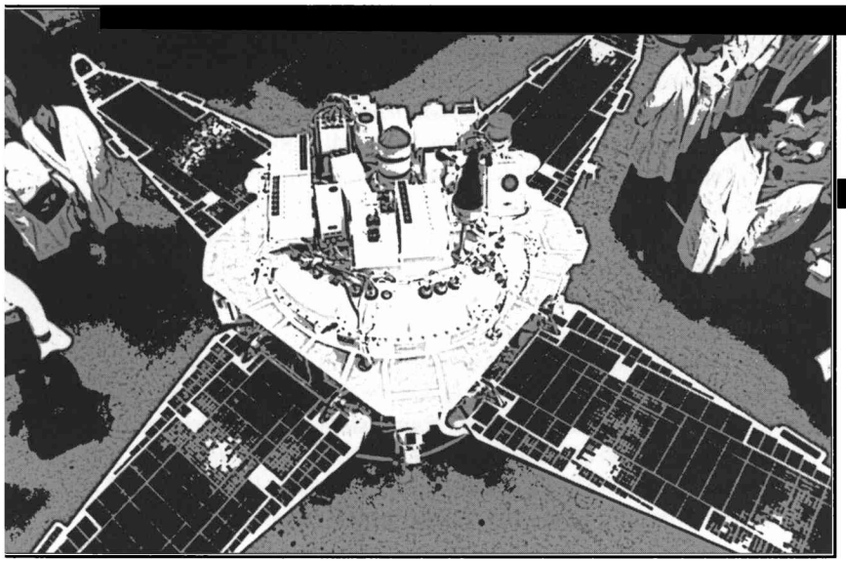
A.M. Pevzner being a Secretary of the State Commission contributed a lot to the solution of management and engineering problems on the launch and flight control of the automated stations Prognoz-4, -5, -6, -7, -8, -9, -10, Interball-1, -2, astrophysical observatories Astron, Granat and the interplanetary station Mars-96, A.D. Ryabova – of the automated universal orbital stations Intercosmos-15, -16, -17, -18, -19, -20, -21, -24, -25, Oreol-3 and Coronas-I.

On the whole from the first days of the department establishment its staff fulfilled the whole cycle of work for the scientific instruments, including development of the engineering specifications, tests at IKI, at the plant, the launch site and in-flight payload control for 20 interplanetary stations (Mars, Venera, Phobos), 9 high apogee satellites (Prognoz), 12 automated universal orbital stations AUOS, 5 high-altitude atmospheric and astrophysical probes (VZA, VZAF-S) and 4 Nauka spacecraft.

Head of department Ye.M. Vasiliev became the Lenin prize winner in science and technology. The department staff members were awarded with orders (V.I. Subbotin, L.V. Pesotsky, G.I. Terekhin, V.I. Mosalkov and A.D. Ryabova).

pictures see page 195

Отдел бортовых программно-управляемых систем



Department for Onboard Program Controlled Systems

Отдел бортовых программно-управляемых систем создан в 1981 г. для решения задач проектирования и реализации научных комплексов межпланетных аппаратов; высокоточных автоматических следящих платформ; бортовых систем, логики управления, сбора и передачи информации; программ работы научных приборов при наземных испытания и в полете; а также комплексного организационно-технического обеспечения работ по проекту; создания и обслуживания испытательных стендов и контрольно-испытательной аппаратуры. На должность заведующего отделом был избран Б.С.Новиков. В состав отдела вошли лаборатории бортовых управляемых систем (Б.С.Новиков); проектирования бортовых управляемых электромеханических систем (Г.Г.Сасин); бортовых специализированных систем (В.Д.Глазков). В 1988 г. эта лаборатория была выведена из состава отдела. В 1992 г. в отдел вошла лаборатория бортовых информационных систем, возглавляемая И.Д.Скобкиным.

Одной из первых практических работ отдела стало проектирование и реализация комплекса научной аппаратуры пролетного КА ВЕГА для исследования кометы Галлея. В дальнейшем отделу поручается выполнение работ по проектам „Гранат“, АСП-Г-М, „Фобос“, „Марс-96“ и „Спектр-Рентген-Гамма“.

При проектировании и испытаниях комплекса научной аппаратуры на пролетных космических аппаратах ВЕГА-1 и ВЕГА-2 решен целый ряд организационных и технических проблем, позволивших сократить время наземных испытаний без ущерба для надежности функционирования научных приборов в полете. Впервые проведены комплексные стыковочные испытания лабораторных макетов научных приборов и системы логики управления, сбора и передачи информации, в состав которой входили БЛИСИ (ведущий В.Д.Глазков) и БУНА (ведущий В.И.Евгенов). Создан стенд с использованием полноразмерного пролетного космического аппарата ВЕГА и специализированной системы обезвешивания платформы АСП-Г с видео-спектральным комплексом непосредственного наблюдения и слежения за ядром кометы Галлея. На стенде проверялось функционирование технологического и летного комплексов научной аппаратуры с имитацией полетных программ на трассе перелета и при пролете около кометы Галлея, а также отрабатывались выходы из возможных аварийных ситуаций с целью повышения надежности функционирования комплекса научной аппаратуры.

иллюстрации стр. 196

The department for onboard program controlled systems was formed in 1981. The tasks were design and implementation of the scientific payload for interplanetary spacecraft, precise automated steering platforms, onboard systems, control logistics, data collection and transmission logistics, cyclograms for scientific instrumentation operation during ground tests and in flight. The department also has to provide for an integrated managerial and engineering support of projects, creation and maintenance of the testing benches and processing instrumentation. B.S. Novikov was elected the head of this department. The department included the laboratories for onboard controlled systems (B.S. Novikov), for onboard controlled electromechanical systems (G.G. Sasin) and for onboard specialized systems (V.D. Glazkov). In 1988 the latter was expelled from the department, and in 1992 a laboratory for onboard information systems headed by I.D. Skobkin joined the department.

One of the first works consisted in the payload designing and integration for the VEGA spacecraft targeted to study Halley's comet. Then the department was entrusted to work on the Granat, ASP-G-M, Phobos, Mars-96 and Spectrum-Gamma-Roentgen projects.

The department solved many organizational and engineering problems while designing and testing the scientific instruments for the VEGA-1 and VEGA-2 spacecraft. These solutions reduced the time for ground-based tests without loss of the payload operation reliability. The complex integration tests of the laboratory mock-ups of the scientific instruments and the logistics system for the data control, collection and transmission, including BLISI (V.D. Glazkov – a supervisor) and BUNA (V.I. Yevgenov – a supervisor), were carried out for the first time. A bench for the full- scale VEGA spacecraft and a specialized weightlessness platform ASP-G with the imaging spectral system for direct observation and tracking the Halley's comet nucleus was created. The bench was used for checking out the operation of the engineering and flight models of the scientific instruments with the imitation of the flight programs for the transfer flight stage and for the flyby stage. In addition possible emergency recovery situations were processed on this bench in order to increase the reliability of the scientific payload operation.

Научно-техническое руководство проектом по вопросам, связанным с проведением испытаний и подготовкой к запуску комплекса научной аппаратуры на космодроме Байконур, а также управлением ею в полете из ЦДКС (г. Евпатория) возглавлял заместитель директора Г.М.Тамкович.

О масштабности этих работ можно судить даже по их далеко не полному перечню. На космодроме Байконур были созданы две чистовые камеры для испытаний КА; построено специальное здание для работы иностранных специалистов; организована экспедиция для приема, размещения специалистов и прибывающих грузов; организован прямой репортаж с места старта на космодроме Байконур о запуске космических аппаратов ВЕГА-1 и ВЕГА-2, а также была предоставлена возможность специалистам ИКИ А.Н.Устинову и Б.С.Новикову снять на видеопленку весь процесс подготовки и запуск космических аппаратов.

Впервые иностранные специалисты приняли непосредственное участие в испытаниях и подготовке комплекса научной аппаратуры к запуску на космодроме Байконур.

В Центре дальней космической связи была подготовлена и оснащена аппаратурой приема и обработки научной информации Терминальная станция ИКИ (С.П.Перелыгин и руководитель Терминальной станции А.П.Куменко). С целью бесперебойного энергопитания наземных станций ЦДКС при пролете 6 и 9 марта 1986 г. космических аппаратов ВЕГА вблизи кометы Галлея по инициативе Г.М.Тамковича была достигнута беспрецедентная договоренность с руководством Крымской республики о том, чтобы промышленные предприятия г. Евпатория в эти дни не использовали технику, которая могла привести к сбоям и перерывам в обеспечении электроэнергией.

Для управления космическими аппаратами ВЕГА из ЦДКС отделом бортовых программно-управляемых систем был создан специальный комплекс наземной аппаратуры, который позволил оперативно обрабатывать информацию с целью управления научным комплексом и готовить циклограммы функционирования научных приборов в полете. При пролете кометы Галлея полностью проведены все запланированные эксперименты, несмотря на выход из строя некоторых приборов из-за попадания в них пылевых кометных частиц и отказ на КА ВЕГА-2 из-за разрядов статического электричества телевизионного процессора наведения на ядро кометы платформы АСП-Г с видео-спектральным комплексом. Это, в частности, убедительно доказало, что принципы многократного функционального резервирования, заложенные в проекте и отработанные на стенде в ИКИ, себя полностью оправдали. По сигналу остановки телевизионного процессора наведения автоматически произошел переход на аналоговый датчик наведения на центр яркости ядра кометы Галлея. „Нет худа без добра“ – это позволило получить самое лучшее изображение ядра кометы. Комплекс научных приборов продолжал функционировать и после пролета, несмотря на выход из строя некоторых научных приборов из-за ударного воздействия пылевых кометных частиц, летящих со скоростью 78 км/с. Были проведены дополнительные калибровки телевизионной системы и научных приборов для более точной обработки научной информации и телевизионного изображения ядра кометы.

В комплексных испытаниях научных приборов и системы управления, сбора и передачи информации в ИКИ, НПО им.С.А.Лавочкина и на космодроме Байконур, а также в управлении комплексом в полете принимали активное участие Б.С.Новиков, Г.В.Бабкина, И.П.Максименкова, А.Н.Богомо-

Deputy Director G.M. Tamkovich was the project scientific and technological supervisor responsible for the payload tests and preparation for the launch at Baikonur as well as the payload control in flight from the Deep Space Communications Center, Evpatoria.

The large scope of work is evident even from the incomplete list of activity. Two clean chambers were built at the Baikonur launch site for testing spacecraft; a special building was erected for the work of foreign specialists; a dispatch office was organized for the accommodation of the specialists and cargoes; direct broadcasting from the Baikonur launch site of the VEGA-1 and VEGA-2 spacecraft launch was provided. In addition IKI staff members A.N. Ustinov and B.S. Novikov got a permission to shoot a film about the whole process of the spacecraft preparation and launch.

For the first time foreign specialists were directly involved in the payload tests and preparation for the launch at the Baikonur launch site.

IKI terminal was prepared and equipped for the scientific data reception and processing at the Deep Space Communications Center at Evpatoria (S.P. Perelygin and A.P. Kumenko, head of the terminal). In order to guarantee failure-free power supply for the ground stations of the Deep Space Communications Center during the VEGA spacecraft flyby Halley's comet on March 6 and 9, 1986 G.M. Tamkovich initiated and achieved an unprecedented agreement with the leaders of the Crimea Republic – on these days the industrial enterprises of Evpatoria had not to use the facilities and systems which could cause power supply system failures.

In order to control the VEGA spacecraft from the Deep Space Communications Center the department created a special ground-based system which provided for the data timely processing. This information was used for the payload control and preparation of cyclograms for the scientific instruments operation in flight. While the spacecraft passed by Halley's comet the planned experiments were fulfilled completely despite the failure of several instruments caused by collisions with dust comet particles and the failure of the pointing TV processor of the ASP-G platform with the imaging spectral instrumentation. This breakdown occurred due to electrostatic discharge. In particular this proved that the principles of multiple functional back-up designed and tested at the IKI bench were correct. The TV pointing processor failure signal initiated the analog sensor to point at the brightness center of the Halley's comet nucleus. Every cloud has a silver lining – this provided for the best image of the comet's nucleus. The scientific payload continued operation after the spacecraft flyby the comet despite the failures of several instruments caused by the collisions with the comet dust particles flying at a speed of 78 km/s. Additional calibration was fulfilled for the TV system and the scientific instruments. It was done in order to get more precise results of the scientific data and the comet nucleus TV image processing.

B.S. Novikov, G.V. Babkina, I.P. Maximenkova, A.N. Bogomolov, V.I. Yevgenov, Ye.V. Larionov, G.Ye. Makarov, G.R. Yakovlev, N.I. Kolesova, I.A. Katkova, B.O. Barbarash, O.N. Sobolev, L.A. Roslik and Ye.N. Gorbachiova were involved in the integrated tests of the payload and the system for control and data collection and transmission at IKI, the Lavochkin Association and Baikonur. They also participated in flight control. The system for

pictures see page 196

лов, В.И.Евгенов, Е.В.Ларионов, Г.Е.Макаров, Г.Р.Яковлев, Н.И.Колесова, И.А.Каткова, Б.О.Барбараш, О.Н.Соболев, Л.А.Рослик, Е.Н.Горбачева. В разработке и испытаниях системы управления, сбора и передачи информации, состоящей из приборов БУНА и БЛИСИ – В.И.Евгенов (ведущий по БУНА и КИА БУНА), А.Н.Богомолов, О.Н.Соболев, М.П.Соловьев, О.А.Шмелев, В.Д.Глазков (ведущий по БЛИСИ и КИА БЛИСИ), Н.М.Антонов, А.М.Владыкин, М.И.Куделин, Г.С.Даревский, И.Н.Турчанинова, О.Э.Боброва, Л.М.Хамитов, Л.А.Рослик, Е.Н.Горбачева и венгерские специалисты во главе с Шандором Салаи.

Одной из центральных задач проекта ВЕГА стало проведение телевизионной съемки и исследование кометы Галлея с помощью видеоспектрального комплекса, установленного на автоматической стабилизированной платформе АСП-Г. Для увеличения функциональной надежности наведения АСП-Г на ядро кометы и в связи с априорной неопределенностью фотометрической модели кометы Галлея особое внимание уделялось наземной отработке системы наведения платформы, которая включала в себя три канала слежения: от специального аналогового датчика наведения АДН, от телевизионного датчика наведения ТДН и дополнительного датчика ТДН-А с быстрой логикой обработки телевизионного изображения ТВС. Был создан специальный стенд с адаптивной системой обезвешивания платформы в зависимости от угла поворота и подвижным имитатором кометы, воспроизводящим условия пролета КА вблизи ядра кометы. В разработке и реализации АСП-Г и наземных стендов принимали участие Г.Г.Сасин, Г.И.Зубенко, А.Н.Матвеев, Е.В.Ларионов, Д.А.Воронов, А.Б.Киселев, А.Е.Бубнов, Н.К.Борисова, Е.В.Зарецкая, И.В.Рождественский, Г.Е.Макаров, а также чехословацкие специалисты во главе с Иржи Речеком.

За успешную реализацию проекта ВЕГА специалисты отдела В.И.Евгенов, Г.В.Бабкина, Г.Г.Сасин, Г.И.Зубенко, А.Н.Матвеев, Л.А.Рослик, В.Д.Глазков, Н.М.Антонов награждены орденами и медалями СССР, а Б.С.Новиков удостоин звания Лауреата Государственной премии СССР в области науки и техники.

В 1987 г. принимается решение использовать для реализации научных экспериментов на орбитальной станции „Мир" внешнюю платформу, аналогичную установленной на КА ВЕГА. После модификации и доработки в отделе создается платформа АСП-Г-М, которая устанавливается на одном из блоков станции. На платформе был размещен видео-спектрометрический комплекс для наблюдения Земли. Одна из особенностей конструкции платформы – возможность замены космонавтами установленных на ней научных приборов. Управление платформой АСП-Г-М осуществлялось с Земли из ЦУП или космонавтами, непосредственно с борта станции. С помощью платформы АСП-Г-М успешно реализована программа исследования атмосферы и поверхности Земли.

В создании и реализации платформы АСП-Г-М принимали участие Г.Г.Сасин, Д.А.Воронов, А.Н.Матвеев, Г.И.Зубенко, А.Б.Киселев, А.Е.Бубнов, чехословацкие специалисты во главе с Иржи Речеком, а также специалисты отдела №72 (зав.отделом В.Г.Родин). Платформа АСП-Г-М продолжает фунционировать, и в ее управлении принимают участие Г.И.Зубенко, А.Б.Киселев, А.Е.Бубнов.

В проекте „Фобос" отделу было поручено создание блока дальномера-объектива БДО для масс-анализатора ЛИМА, предназначенного для анализа элементного и изотопного состава грунта марсианского спутника при пролете над ним на высо-

control and data collection and transmission consisting of two subsystems BUNA (payload control system) and BLISI (logical and synchronizing system) was designed and tested by V.I. Yevgenov (responsible for BUNA and corresponding processing instrumentation), A.N. Bogomolov, O.N. Sobolev, M.P. Soloviov, O.A. Shmeliov and V.D. Glazkov (reponsible for BLISI and corresponding processing instrumentation), N.M. Antonov, A.M. Vladykin, M.I. Kudelin, G.S. Darevsky, I.N. Turchaninova, O.E. Bobrova, L.M. Khamitov, L.A. Roslik, Ye.N. Gorbachiova and the Hungarian specialists headed by Shandor Szalai.

One of the VEGA mission main tasks consisted in the TV imaging and studies of Halley's comet by an imaging spectral system mounted on an automated stabilized platform ASP-G. In order to improve the reliability of the ASP-G pointing to the comet's nucleus and taking into account a priory uncertainty of Halley's comet photometrical model, a particular attention was paid to the ground-based processing of the platform's pointing system. This system included three tracking channels: from a special analog pointing sensor (ADN), a TV pointing sensor (TDN) and an auxiliary sensor TDN-A with a fast logic of TV image processing. A special bench with the adaptive weightlessness system for the platform different rotation angles was created. This bench was also equipped with a comet mobile imitator which simulated flight conditions nearby to the comet's nucleus. The following staff members participated in the ASP-G design and processing on the ground benches: G.G. Sasin, G.I. Zubenko, A.N. Matveev, Ye.V. Larionov, D.A. Voronov, A.B. Kiseliov, A.Ye. Bubnov, N.K. Borisova, Ye.V. Zaretskaya, I.V. Rozhdestvensky, G.Ye. Makarov and Czech specialists headed by Jiri Recek.

The department's specialists V.I. Yevgenov, G.V. Babkina, G.G. Sasin, G.I. Zubenko, A.N. Matveev, L.A. Roslik, V.D. Glazkov and N.M. Antonov were awarded with orders and medals of the USSR. B.S. Novikov won the USSR State prize in science and technology.

In 1987 a decision was made to use an outer platform similar to that of the VEGA mission for scientific experiments on the orbital station Mir. After certain modifications the ASP-G-M platform was created and mounted on one of the station's modules. This platform accommodated an imaging spectrometric system for Earth observations. The platform's distinctive feature consisted in a possibility of the instrumentation replacement by the astronauts. The ASP-G-M could be controlled both from the Flight Control Center and by astronauts directly from onboard the orbital station. The ASP-G-M platform usage contributed a lot to the efficiency of the terrestrial atmosphere and surface studies.

The following specialists participated in the work on the ASP-G-M platform – G.G. Sasin, D.A. Voronov, A.N. Matveev, G.I. Zubenko, A.B. Kiseliov, A.Ye. Bubnov, Czech specialists headed by Jiri Recek and specialists from the department headed by V.G. Rodin. The ASP-G-M platform is still operating. It is controlled by G.I. Zubenko, A.B. Kiseliov and A.Ye. Bubnov.

In the Phobos mission the department was responsible for the creation of a „range meter-lens" for the LIMA mass-analyzer. This instrument had to analyze the element and isotope composition of the Martian moon soil from an altitude of about 30–80 m above its surface. „Range meter-lens" was a system of the laser beam adaptive focusing depending on the flight altitude above the Phobos surface. It underwent large-scope special

иллюстрации стр. 196

те 30–80 м. БДО представлял собой систему адаптивного фокусирования лазерного пучка в зависимости от высоты пролета над поверхностью Фобоса. При создании БДО проведен большой объем его специальных испытаний с контролем параметров фокусировки на реальной дистанции пролета, в том числе, с имитацией рельефа поверхности Фобоса.

В этих работах принимали участие Г.И.Зубенко, А.Н.Матвеев, Е.В.Ларионов, Н.М.Антонов, А.М.Владыкин, В.В.Еремин, Е.В.Зарецкая, А.Е.Бубнов, П.К.Цветков, специалисты лаборатории Г.Г.Манагадзе, а также чехословацкие специалисты во главе с Иржи Речеком и специалисты Ленинградского института точной механики и оптики (ЛИТМО).

Одной из основных задач проекта „Марс-96" было проведение телевизионной стереосъемки и видео-спектральных исследований поверхности планеты Марс с орбиты его искусственного спутника с помощью стерео-видео-спектрометрического комплекса „Аргус". Проектирование и реализация комплекса „Аргус" были поручены отделу (совместно с отделом Г.А.Аванесова). В состав комплекса кроме научной аппаратуры входила многопроцессорная вычислительная система МВС для управления стабилизированной по трем осям платформой ТСП, на которой и был установлен комплекс.

Для наземных испытаний ТСП и комплекса „Аргус" в ИКИ и в составе космического аппарата в НПО им.С.А.Лавочкина отделом создается уникальное стендовое оборудование с системами обезвешивания и аппаратурой, позволяющей подготавливать и проводить испытания в автоматическом режиме с оперативным представлением результатов испытаний. Впервые реализована бортовая информационная магистраль со скоростью 1 Мбод.

В работах по реализации комплекса от отдела участвовали Б.С.Новиков, Г.И.Зубенко, А.Н.Матвеев, С.В.Благий, В.В.Еремин, Е.В.Зарецкая, А.Б.Киселев, А.Е.Бубнов, Н.К.Борисова, специалисты отдела №74 (зав.отделом, профессор Г.А.Аванесов), ВНИИТрансМаш, а также немецкие и французские специалисты.

В проекте „Марс-96" наиболее остро стояла проблема надежности информационного обеспечения научных приборов и служебного комплекса космического аппарата. Эта задача решалась созданной в лаборатории И.Д.Скобкина специальной системой „Морион-С", которая обеспечивала прием, хранение и передачу в радиоканал со скоростью до 132 кбод научной и служебной информации космического аппарата и спускаемых аппаратов, что существенно повышало надежность получения информации на Земле.

В работах по системе „Морион-С" принимали участие И.Д.Скобкин, С.И.Смирнов, Р.Г.Богаутдинов, Л.И.Молодцова, Д.П.Суконщиков, А.Ю.Кукушкин, а также международная кооперация фирм Франции (CNES), ESA (ESTEC) и Германии (Dornier).

В 1985 г. отделу бортовых программно-управляемых систем поручается проектирование и реализация на космическом аппарате „Гранат" комплекса научной аппаратуры для астрофизических исследований рентгеновских и гамма-источников, включая создание бортовой системы управления КНА и КИА БУНА (ведущий В.И.Евгенов), механической системы перемещения коллиматоров телескопов АРТ-С (ведущий Е.В.Зарецкая), стенда и специализированной аппаратуры для наземных испытаний и управления в полете. Выполненные на стенде ИКИ наземные испытания впервые позволили отказаться от

tests with the control of the focusing parameters along the real flight distance, including Phobos surface relief imitation.

G.I. Zubenko, A.N. Matveev, Ye.V. Larionov, N.M. Antonov, A.M. Vladykin, V.V. Yeriomin, Ye.V. Zaretskaya, A.Ye. Bubnov and P.K. Tsvetkov conducted these work in cooperation with the specialists from the laboratory headed by G.G. Managadze, Czech specialists headed by Irzhi Recek and specialists from the Leningrad Institute for Precise Mechanics and Optics (LITMO).

One of the Mars-96 mission's main tasks consisted in TV stereo imaging and spectral imaging of the Martian surface from the orbit of the Martian artificial satellite using a stereo imaging spectrometric system ARGUS. The department was responsible for the ARGUS development and implementation. This work was conducted in cooperation with the department headed by G.A. Avanesov. In addition to the scientific instruments this system included a multiprocessor computer (MVS) for controlling the three-axis stabilized platform (TSP) on which the ARGUS system was mounted.

The department developed a unique bench with the weightlessness system and instrumentation for the tests in automated mode with the on-line output of the test results. This bench was used for TSP and ARGUS tests at IKI and at the Lavochkin Association. For the first time an onboard bus for the data transfer had a rate of 1 Mbod.

The following staff members were involved in this activity: B.S. Novikov, G.I. Zubenko, A.N. Matveev, C.V. Blagiy, V.V. Yeriomin, Ye.V. Zaretskaya, A.B. Kiseliov, A.Ye. Bubnov, N.K. Borisova, specialists from the department headed by Prof. G.A. Avanesov, VNIITransMash and German and French experts.

The problem of the reliability of the data support for the payload and the spacecraft housekeeping systems was the most critical for the Mars-96 mission. This task was solved by the laboratory headed by I.D. Skobkin in which a special system Morion-C was developed. This system received, stored and transferred to the radio channel scientific and housekeeping data from the spacecraft and the descent modules at a rate of up to 132 kbod. This system significantly increased the reliability of the data reception on Earth.

The works on the Morion-C system were conducted with the participation of I.D. Skobkin, S.I. Smirnov, R.G. Bogautdinov, L.I. Molodtsov, D.P. Sukonshchikov, A.Yu. Kukushkin and specialists from France (CNES), ESA (ESTEC) and Germany (Dornier).

In 1985 the department for program controlled systems was entrusted with the scientific payload development and its implementation on the Granat spacecraft. This payload was destined for astrophysical studies of the X- and γ-ray sources. The department staff had to create an onboard payload control system and the BUNA processing instrumentation (V.I. Yevgenov), a mechanical system for transfer of the ART-S telescope's collimator (Ye.V. Zaretskaya), a bench and specialized equipment for ground tests and flight control. The ground tests fulfilled at the IKI bench made it possible not to conduct the payload tests with the spacecraft engineering model at the Lavochkin Association for the first time. This reduced the time needed for the flight model preparation for a launch. A ground-based system for the payload in-flight control from the Deep Space Communications Center was developed by the department in cooperation with the departments headed by R.A. Syuniaev and S.P. Perelygin. This

pictures see page 196

проведения испытаний КНА в НПО им.С.А.Лавочкина на технологическом космическом аппарате, что сократило сроки подготовки летного аппарата к запуску. Для управления КНА из ЦДКС (г. Евпатория) отделом совместно с отделами Р.А.Сюняева и С.П.Перелыгина создается комплекс наземной аппаратуры, который позволил автоматизировать подготовку и проведение научных сеансов наблюдения рентгеновских и гамма-источников, а также сеансов связи с КА. Был также разработан и реализован в ЦДКС имитатор потока научной информации, который обеспечивал подготовку наземной станции и прием без сбоев большого объема научной информации.

В работах по созданию, реализации и управлению КНА „Гранат" в полете от отдела принимали участие Б.С.Новиков, В.И.Евгенов, А.Н.Богомолов, С.В.Благий, О.Н.Соболев, Е.В.Ларионов, И.П.Максименкова, Н.И.Колесова, Г.Е.Макаров, а также сотрудники отделов Р.А.Сюняева, В.Г.Родина, Л.С.Чесалина, французские специалисты во главе с Жаком Шеном и датские во главе с Нильсом Лундом.

В 1989 г. в отделе бортовых программно-управляемых систем совместно с отделом академика Р.А.Сюняева начались работы по проекту „Спектр-Рентген-Гамма"; создается стенд комплексных испытаний научных приборов; наземные средства автоматизированной подготовки программ испытаний, имитирующих полетные, оперативной обработки и отображения научной информации, которая впервые будет передаваться со скоростью 1 Мбод. Проведены испытания технологического комплекса научной аппаратуры.

В настоящее время комплекс передан в НПО им.С.А.Лавочкина для проведения испытаний в составе КА „Спектр-РГ".

В этих работах от отдела принимают участие Б.С.Новиков, В.И.Евгенов, Е.В.Ларионов, А.Н.Богомолов, С.В.Благий, И.Д.Скобкин, Л.И.Молодцова, Д.П.Суконщиков, А.Ю.Кукушкин, Г.И.Зубенко, В.В.Еремин, Н.И.Колесова, И.А.Каткова, И.П.Максименкова, В.И.Рубановская, М.С.Рожина.

system allowed to automate the preparation and execution of the observations of the X- and γ-ray sources as well as communications sessions with the spacecraft. A scientific data flow imitator was also developed and used at the Deep Space Communications Center. This imitator provided for the preparation of the ground station operation and failure-free reception of large amounts of the scientific data.

The following specialists participated in the creation, implementation and flight control of the Granat mission payload: B.S. Novikov, V.I. Yevgenov, A.N. Bogomolov, S.V. Blagiy, O.N. Sobolev, Ye.V. Larionov, I.P. Maximenkova, N.I. Kolesova and G.Ye. Makarov. This job was conducted with the specialists from the departments headed by R.A. Syunyaev, V.G. Rodin and L.S. Chesalin, French specialists headed by Jacques Chene and the Dutch team headed by Niels Lund.

In 1989 the department for onboard program controlled systems together with the department headed by academician R.A. Syunyaev began the work on Spectrum-Gamma-Roentgen mission. The joined team developed a bench for the payload integrated tests, ground facilities for the automate preparation of the test programs in order to imitate the flight situations and for the scientific data timely processing and representation. This data will be transmitted at a rate of 1 Mbod for the first time. The engineering model of the scientific instruments has undergone the tests.

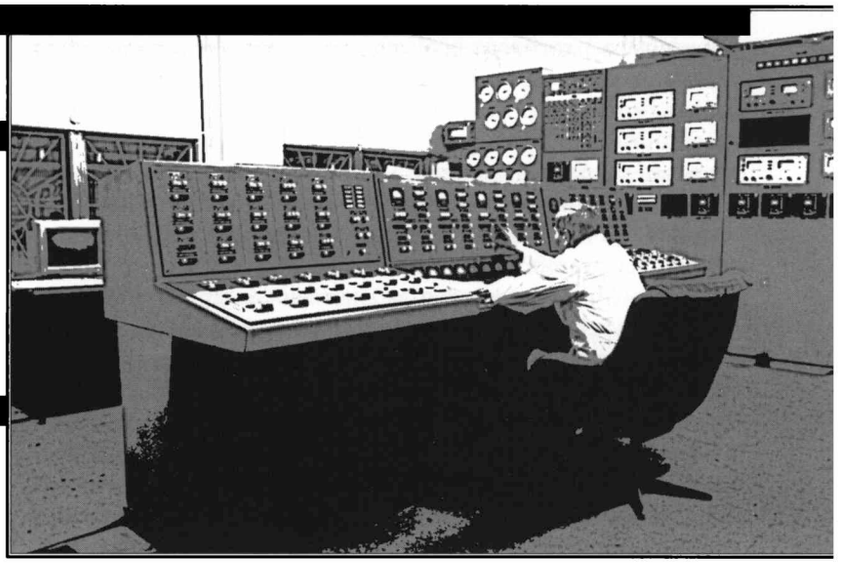
At present these instruments are at the Lavochkin Association for their integration with the Spektr-RG spacecraft and testing.

The following staff members are involved in this activity: B.S. Novikov, V.I. Yevgenov, Ye.V. Larionov, A.N. Bogomolov, S.V. Blagiy, I.D. Skobkin, L.I. Molodtsova, D.P. Sukonshchikov, A.Yu. Kukushkin, G.I. Zubenko, V.V. Yeriomin, N.I. Kolesova, I.A. Katkova, I.P. Maximenkova, V.I. Rubanovskaya and M.S. Rozhina.

иллюстрации стр. 196

Службы главного инженера

Chief Engineer's Services



Уже в первые годы существования ИКИ предпринимаются шаги по организации специальных служб, в задачу которых входило бы изготовление отдельных узлов и законченных в производстве научных приборов, предназначенных для установки на борту космических аппаратов; осуществление технического контроля на всех этапах их разработки и изготовления, а также проведение автономных и комплексных наземных испытаний.

Сегодня в состав этих служб входят: опытное производство; контрольно-измерительная и летно-испытательная станции; технический отдел с подразделением технического контроля; отдел охраны труда, техники безопасности, экологии и метрологии.

Опытное производство, как единое целое, было организовано лишь с завершением строительства первых секций главного корпуса Института. До этого оно функционировало на базе отдельных небольших мастерских при научных отделах, и его возможности были ограничены. И даже после их объединения на первом этапе оно могло осуществлять только изготовление макетных образцов бортовых приборов.

Положение изменилось лишь в 1978 г. после ввода в эксплуатацию еще одной секции главного корпуса. Опытное производство получило значительные дополнительные производственные площади, приобретается импортное оборудование новейших модификаций, измерительный и режущий инструменты. Все это позволило существенно расширить технологические возможности в изготовлении научных приборов, устанавливаемых на борту космических аппаратов. Стало возможным, в частности, обрабатывать не только плоские, но и эллиптические и сферические поверхности с точностью формы до 10 мкм и чистотой Ра 0,5 мкм без доводочных технологических операций.

На опытном производстве были изготовлены научные приборы для таких международных программ, как „Болгария-Интеркосмос-1300“, „Активный“, „Реликт“, „Гранат“, ВЕГА, „Фобос“, „Марс-96“. В настоящее время изготавливается серия приборов для систем звездной ориентации, разрабатываются приборы для системы солнечной ориентации телекоммуникационных геостационарных спутников „Ямал“, космических аппаратов серии „Спектр“ и Международной космической станции.

Special services were being formed from the very beginning of the IKI existence. These services had to manufacture onboard scientific instruments and their units, to provide technological control at all stages of their design and manufacture and to carry out autonomous and ground integration tests.

At present these services include an experimental production, verification and flight test stations, technical department with an inspection subdivision and a department for industrial hygiene, accident prevention, ecology and metrology.

Experimental production was completely formed only after the first sections of the Institute's main building had been finished. Earlier this subdivision consisted of small workshops included in the scientific departments. Therefore its capabilities were limited. Even after the integration at the first stage this production subdivision could only manufacture mock-ups of the flight instruments.

The situation changed in 1978 only when another section of the main building was completed. Production area was enlarged and the most up-to-date foreign equipment as well as measuring and cutting tools were purchased. This enabled considerable widening of the production capabilities for manufacturing onboard scientific instruments. In particular it became possible to process not only plane but also elliptical and spherical surfaces with the form accuracy up to 10 μm and the surface quality of Pa 0.5 μm without finishing operations.

The experimental production subdivision manufactured payload for the following international missions: Bolgariya-Intercosmos-1300, Aktivnyi, Relikt, Granat, VEGA, Phobos and Mars-96. At present a series of star trackers are being manufactured, and Sun coordinators for the telecommunications geostationary satellites Yamal, spacecraft of the Spektr series and the International Space Station are under development.

Yu.G. Bryankin headed the experimental production since 1975. The staff has strongly reduced in the recent years. At present it includes about 30 highly qualified specialists.

The technical department headed by V.N. Khudobin controls the instruments manufacture and tests, develops standards and specifications, conducts technical policy in applying electric and

pictures see page 198

С 1975 г. опытным производством руководит Ю.Г.Брянкин. Численность персонала производства в последние годы значительно сократилось. Сегодня в нем занято около 30 специалистов высокого класса.

Технический отдел (нач.отдела В.Н.Худобин) обеспечивает контроль за изготовлением и испытаниями приборов, разрабатывает нормативно-техническую документацию, осуществляет техническую политику в деле применения электро-радио изделий и конструкторской документации, учет и хранение ее подлинников. Метрологическая лаборатория отдела обеспечивает проверку и ремонт измерительных приборов.

Для проведения испытаний научных приборов, предназначенных для установки на борт космического аппарата, исследования их работоспособности в составе бортового комплекса и в условиях космического пространства ИКИ располагает Контрольно-испытательной (КИС) и Лабораторно-испытательной станциями (ЛИС), которые являются основной испытательной базой в системе Академии наук по космическому научному приборостроению. Они оснащены оборудованием, позволяющим проводить испытания на механические (вибрацию, удар, линейные перегрузки), термовакуумные и климатические воздействия, а также испытания на электрическую совместимость, электрические испытания с помощью радиотелеметрических средств и испытания на электрическую прочность изоляции. В ходе отработки на испытательной базе КИС и ЛИС научная аппаратура доводится до заданных технической документацией характеристик.

Техническое задание на строительство КИС, ее структуру и состав испытательного оборудования было разработано в 1971 г. под руководством зам. директора ИКИ В.М.Ратнера. В мае 1972 г. задание на строительство станции и состав испытательного оборудования было утверждено Президентом АН СССР М.В.Келдышем. Поскольку создание КИС требовало нескольких лет, а разрабатываемые в ИКИ приборы необходимо было испытывать, в апреле 1973 г. приказом директора ИКИ организуется небольшая экспериментальная лаборатория, оснащенная климатической камерой и вибростендом. Лаборатория временно разместилась в корпусе отдела главного энергетика.

Строительство корпуса для КИС было завершено в 1976 г. По мере окончания отдельных этапов строительства КИС оснащалась необходимым специальным оборудованием. Все работы проводились под руководством А.Л.Родина, который возглавил КИС в 1976 г. Во многом благодаря его усилиям в Институте была создана современная испытательная база космической научной аппаратуры, позволяющая выполнять все основные виды испытаний. В создании КИС активное участие принимали такие высококвалифицированные специалисты как ветераны Института В.Н.Логинов, А.М.Бородин, В.Г.Блохин и А.В.Титов. В 1989 г. начальником КИС назначается В.Е.Марков.

Для проведения испытаний научной аппаратуры в условиях, приближенных к космическому пространству по воздействию вакуума, „холодного и черного космоса" и солнечного излучения, используются одна большая и две малые вакуумные камеры.

Большая термовакуумная установка ТВУ-100Г-0,7 (объем 100 куб.м) изготовлена из нержавеющей стали с низким содержанием углерода. Внутренняя поверхность камеры отполирована. Габариты испытываемых объектов 2500x8500 мм, вес до полутора тонн. Стенки камеры закрыты криогенными панелями, охлаждаемыми жидким азотом. Все панели изготовлены из алюминия. Тепловая нагрузка распределена равномерно по всей по-

radio components and design specifications as well as record-keeping and archiving the originals of these documents. The department's laboratory for metrology inspects and repairs measuring instruments.

Verification and laboratory inspection stations are the main facilities for testing onboard scientific instrumentation in the Academy of Sciences. These stations allow to tests the instruments for their operation ability after integration with the spacecraft and in flight conditions. Their equipment makes it possible to conduct mechanical (vibration, shock and linear overloads), thermovacuum and environmental tests as well as tests for electric compatibility, electric tests using radio telemetry instrumentation and the tests for the insulation electrical endurance. At these stations the scientific instrumentation performance is brought up to the specifications' parameters.

Request for proposal for the verification station building, structure and testing equipment was completed in 1971. IKI Deputy Director V.M. Ratner supervised this activity. In May 1972 the President of the USSR Academy of Sciences M.V. Keldysh approved this request for building the station and the list of the testing facilities. Since the station's building construction needed several years and the being developed instruments had to be tested, in April 1973 the IKI Director gave an order to form a small experimental laboratory equipped with a chamber for environmental tests and a bench for vibration tests. The laboratory was temporarily located in the building of the Chief Power Engineer.

Construction of the building for the verification station was completed in 1976. After the completion of each construction stage the station was equipped with the necessary special facilities. A.L. Rodin headed the station since 1976 and supervised the work. Owing to his efforts modern testing facilities were created in IKI which made it possible to conduct all main kinds of tests for the scientific instrumentation. V.N. Loginov, A.M. Borodin, V.G. Blokhin and A.V. Titov, the IKI veterans and highly qualified specialists actively participated in the station creation. V.Ye. Markov was appointed the head of the verification station in 1989.

One large and two small vacuum chambers are used for testing scientific instruments in similar to space conditions, including imitation of vacuum, „cold and black space" and the solar radiation.

The large thermovacuum chamber TVU-100G-0.7 (100 m^3) is made of the stainless steel with low carbon contents. The interior surface is polished. The tested units' dimensions are 2500x8500 mm and the mass of up to 1.5 tons. The chamber's walls are coated with the cryogenic panels cooled with the liquid nitrogen. The panels are made of aluminum. The screens' emissivity factor is 0.9-0.93. The system of the high-vacuum pumping out is oil-free. Combination of four external turbo-molecular pumps with the pumping rate of 5000 l/s each and the inbuilt cryogenic pumps provide for ultrahigh vacuum. Mass-spectrometers are used for the gas composition online control. Working pressure is 5–10 mmHg at maximum. A stationary opening cover and a loading car with the lifting capacity of 1.5 tons provide for an instrument loading/unloading. The TVU-100 chamber showed good performance for the thermovacuum tests of spacecraft and their units and the payload of the VEGA, Phobos, Mars, Interball, SRG and other missions.

иллюстрации стр. 198

верхности экранов. Коэффициент черноты экранов 0,9–0,93. Система высоковакуумной откачки создана на базе безмасляных средств. Для получения „сверхчистого вакуума" применена комбинация из четырех внешних турбомолекулярных насосов со скоростью откачки 5000 л/сек каждый и встроенных криогенных насосов. Для оперативного контроля состава газа используются масс-спектрометры. Рабочее давление в камере – не более 5–10 мм рт.ст. Для загрузки и выгрузки изделия на камере предусмотрена стационарная открывающаяся крышка и загрузочная тележка, грузоподъемностью 1,5 т. Камера ТВУ-100 хорошо зарекомендовала себя при термовакуумной отработке космических аппаратов и их узлов, научной аппаратуры проектов ВЕГА, „Фобос", „Марс", „Интербол", СРГ и ряда других.

Одна из малых термовакуумных камер ТВУ-2,5 (общий объем – 2,5 м³, рабочий - 1 м³) объединена в единый комплекс с имитатором солнечного излучения ИСИ-0,8 (диаметр облучаемой зоны до 800 мм). Комплекс оснащен компьютеризованной системой регистрации температуры объекта испытаний и системой автоматического выключения имитатора солнца при аварийных ситуациях. Дополнительно, кроме стандартных азотных криоэкранов, камера может оснащаться азотным криоэкраном глубокого захолаживания (температура до 50 К, размер – 600x600 мм). ИСИ-0,8 размещен в отдельной вакуумной приставке, которая подстыковывается к вакуумной камере вместо торцевой крышки. В ИСИ-0,8 применена новая внеосевая двухзеркальная короткофокусная оптическая система (патент России № 1725769, опубликован в 1992 г.). Особенностью системы является возможность ее размещения в чрезвычайно малом объеме с сохранением при этом высоких (на уровне зарубежных образцов) параметров имитируемого излучения (облученность – одна солнечная постоянная – 1400 Вт/ м²; неравномерность облученности – ±7%; расходимость излучения – ±1,5°). Используемые в оптической системе составные зеркала с изменяемым профилем позволяют создать в уменьшенной рабочей зоне повышенную до 100 солнечных постоянных облученность. При использовании ксеноновой дуговой лампы в режиме лампы-вспышки облученность можно довести до 10000 солнечных постоянных в импульсе за 0,1 сек. В экране глубокого захолаживания в качестве хладагента используется жидкий азот. При откачке паровой фазы азота его температура падает до 50 К и ниже при последующей сублимации. Установка в полном объеме была введена в строй в 1993 г. За 1993–1997 гг. на ней были проведены многие термовакуумные испытания с одновременным воздействием солнечного излучения. В рамках программы „Рентген-Гамма" испытана тепловая модель комплекса приборов МОХЕ. Время непрерывного облучения модели Солнцем в условиях вакуума и „холодного черного космоса" составило 89 часов. В соответствии с программой „Марс-96" проведены: облучение грунта, имитирующего марсианский; термовакуумные испытания панорамной телекамеры и сканера. Проведены также комплексные испытания солнечных батарей американского производства, которые показали, что данная установка может быть использована и для этого типа испытаний. Общее время работы солнечного имитатора составило около 400 часов. За время работы установка продемонстрировала высокую надежность и стабильность параметров.

Для проведения климатических испытаний используются четыре камеры, позволяющие имитировать климатические условия самых различных районов Земли. Камеры различаются по

One of the small thermovacuum chambers TVU-2.5 (total volume is 2.5 m³, working – 1 m³) is integrated with the Sun imitator ISI-0.8 (the illumination area is up to 800 mm). This complex is completed with a computerized system for the tested unit temperature registration and the system for the Sun imitator automated switching off in emergency. In addition to the standard nitrogen cryogenic screens the chamber can be equipped with a nitrogen cryoscreen of high cooling (temperature is up to 50 K and dimensions – 600x600 mm). ISI-0.8 is located in a separate vacuum attachment used instead of the vacuum chamber's end cover. The ISI-0.8 design is based on a new off-axis two-mirror short-focus optical system (patented in Russia, No.1725769, published in 1992). The chamber is distinctive in an opportunity of its accommodation in a very small volume with the preservation of perfect parameters (similar to the foreign analogs) of the imitated radiation (irradiance is 1 solar constant, 1,400 W/m²; irradiance non-uniformity ±7%, radiation divergence ±1.5°). The optical system based on integrated active mirrors make it possible to create uprated irradiance (up to 100 solar constants) in the reduced working area. It is possible to achieve 10,000 solar constants in an impulse of 0.1s when using a xenon arch lamp in the flash mode. Liquid nitrogen serves as a coolant in the high cooling screen. During vapor phase pumping the nitrogen temperature drops down to 50 K and below after subsequent sublimation. The chamber' full-scale operation began in 1993. In 1993-1997 it was used for many thermovacuum tests with the simultaneous exposure to the solar radiation. A thermal model of the MOXE instruments was tested within the framework of the Roentgen-Gamma project. The model was continuously illuminated by the Sun in the vacuum and „cold and black space" for 89 hours. For the Mars-96 mission the soil imitating the Martian soil was illuminated, thermovacuum tests were fulfilled for the panoramic TV-camera and the scanner. The complex tests were carried out for the U.S. solar arrays. They proved that this chamber can be used for this kind of tests also. The total time of the Sun imitator operation was 400 hours. The chamber showed high reliability and performance stability.

Four chambers are used for the environmental tests. They make it possible to imitate the climatic conditions of various Earth' regions. The chambers differ in the operation volume and performance. The largest chamber provides for testing units with a length of 2,300 mm, width of up to 2,200 mm and height of 1,870 mm. Temperature of -50°C is achieved in two hours, +300°C – in an hour. The accuracy of temperature maintenance is 3°C. The chamber provides a vacuum of 20 torr in half an hour. Two other chambers have a usable volume of 0.63 m³ and similar performance. The chambers provide for a temperature of -75°C in 100 min and +100°C in 20 min. The chambers imitate a humid atmosphere with the temperature of the dew point of 5–75°C and the relative humidity range of 10–100% in 40 min. The fourth chamber has a usable volume of 3 m³ and allows to tests units with a length of 1500 mm, width 1,200 mm and a height of 1,650 mm. Temperature of -33°C is achieved in 90 min and +100°C in 30 min. This chamber imitates humid atmosphere with the same parameters as the chamber of 0.63 m³. There is a special chamber for testing small units in the conditions similar to those in the Martian atmosphere with the vacuum of up to 0.5 torr and the temperature range of -95°C to

pictures see page 198

объемам полезного пространства и рабочим параметрам. Камера с объемом полезного пространства 8 м³ позволяет испытывать объекты длиной до 2300 мм, шириной до 2200 мм и высотой до 1870 мм. Температура -50°С достигается за два часа, +300°С – за один час. Точность поддержания температуры 3°С. Камера позволяет получить разрежение до 20 торр за полчаса. Еще две камеры имеют объем полезного пространства 0,63 м³ и обладают схожими параметрами. Камеры позволяют получать температуру до -75°С за 100 мин и до +100°С за 20 мин. Камеры обеспечивают влажную атмосферу в полезном пространстве с общим диапазоном температуры точки росы 5–75°С и диапазоном относительной влажности 10–100% за 40 мин. Четвертая камера имеет объем полезного пространства 3 м³ и позволяет испытывать объекты с длиной 1500 мм, шириной 1200 мм и высотой 1650 мм. Температура -33°С достигается за 90 мин, +100°С за 30 мин. Можно получить влажную атмосферу с теми же параметрами, что и в камерах объемом 0,63 м³. Имеется также специальная камера, позволяющая испытывать малогабаритные объекты в условиях, напоминающих атмосферу Марса, с разрежением до 0,5 торр и температурами от -95° до +100°С. Камеры использовались для испытаний по всем проектам, осуществленным в ИКИ. Самыми значительными из них по объему работы были проекты „Фобос", „Марс-96", „Интербол".

Испытания на вибропрочность выполняются на установках TIRAVIB и ВЭДС-1500 (вибрационный электродинамический стенд). Так, установка TIRAVIB позволяет возбуждать определенные синусоидальные колебания с постоянной или скользящей частотой от 0 до 5000 Гц при удержании постоянными амплитуды или ускорения колебаний. Установка может также генерировать шумообразные управляющие сигналы с заданной широтой диапазонов и, таким образом, воспроизводить гармоничные и стохастические возбуждения колебаний. TIRAVIB в основном используется для испытаний механических, электрических и электронных изделий на их поведение при динамической нагрузке и резонансе. ВЭДС-1500 – для испытаний тех же изделий на устойчивость в работе при различных нагрузках. Вес испытываемых изделий до 80 кг.

Для испытаний изделий на ударную стойкость служит стенд STT-500. Величины выдаваемых им толкающих сил могут достигать 4000 Н. При этом форма кривой ускорения соответствует синусоидальной полуволне с выбросом около 30%. Проверка работоспособности изделий при воздействии на них линейных (центробежных) ускорений выполняется на центрифуге. Наибольшее достигаемое с ее помощью ускорение – 40 g, время разгона платформы – 2 мин, максимальная грузоподъемность – 100 кг, предельные габариты изделия 750x750x750 мм.

Электрическая прочность изоляции проверяется на пробойных установках УПУ-1М и АИИ-70. Универсальная пробойная установка имеет три поддиапазона – до 1, 3 и 10 кВ по постоянному и переменному напряжению. Пробойная установка АИИ-70 позволяет проводить испытания изделий в режиме до 70 кВ.

Важное место в процессе подготовки научной аппаратуры занимает ее проверка на электромагнитную совместимость и работоспособность в составе бортового комплекса. Для этих целей в ИКИ создан специальный стенд, представляющий собой автоматизированный комплекс, с помощью которого можно производить измерения и контроль излучаемых электрических и магнитных полей, а также величин излучаемых токов помех в соединительных цепях. Измерения проводятся в диапазоне час-

иллюстрации стр. 198

+100°C. These chambers were used for all the missions implemented at IKI. The most considerable scope of tests was fulfilled for the Phobos, Mars-96 and Interball missions.

TIRAVIB and VEDS-1500 (vibration electrodynamic bench) plants are used for vibration strength tests. TIRAVIB generates sine-shaped oscillations with a constant or sliding frequency from 0 to 5,000 Hz and the oscillations constant amplitude or acceleration. It can also generate noise-like control signals with the given range thus retrieving harmonic and stochastic oscillations. TIRAVIB is mainly used for testing mechanical, electric and electronic units for the dynamic loads and resonance. VEDS-1500 is intended for testing the same units for operational stability under different loads. Mass of the tested units is up to 80 kg.

On the SST-500 bench units are tested for shock resistance. The pushing force can reach 4,000 N. The acceleration curve shape corresponds to the sine-shape halfwave with the peaks of about 30%. Centrifuge is used for testing units for linear (centrifugal) accelerations. The maximum possible acceleration is 40 g, platform acceleration time is 2 min, maximum carrying capacity is 100 kg and the maximum dimensions are 750x750x750 mm.

Insulation electric strength is checked at breakdown plants UPU-1M and AII-70. UPU-1M has three subranges of less than 1, 3 and 10 kV for dc and ac. AII-70 enables tests with a voltage of up to 70 kV.

Scientific payload tests for electromagnetic compatibility and operation ability after its integration with the housekeeping systems is very important for the flight preparation. For this IKI has created a special bench which is an automated complex able to measure and control the electric and magnetic fields and the values of the generated noise currents in the circuits. Measurements are done in the frequency range of 30 Hz to 30 MHz; noise currents are measured within the range of 300 Hz to 30 MHz; electric field intensity is 1 kHz to 30 MHz and the magnetic field intensity is 1 kHz to 300 kHz. A protocol with the graphs drawn by the measurements is output. The bench is located in a special screened chamber with the fixed antennas and current collector. Payload of such mission as Mars-96, Interball, Phobos and SGR with a tremendous number of the scientific instruments was tested at this bench.

In order to widen capabilities and to increase the test quality the testing process and the measurement registration procedures are being automated.

A universal measuring system SIT-KAMAK has been used in thermovacuum tests for many years. It makes it possible to measure the values of voltage, current and resistance of sensors and to present the measured data as a particular physical parameter. The system consists of the standard CAMC (Computer Application Measurement Standards on Nuclear Electronics) modules, a standard measuring unit and an IBM-type computer electrically integrated in a single system with a common software. The system's accuracy is defined by the measuring unit used. At present the system can measure voltage and resistance in 176 channels with a measuring cycle of 3 min (a measurement per channel is 0.5 s). If necessary the performance and the measuring ability can be improved (e.g. measurements of the gas pressure and composition, automated regulation and control, etc.).

тот от 30 Гц до 30 МГц; токов помех в диапазоне 300 Гц – 30 МГц; напряженности электрического поля 1 кГц – 30 МГц; напряженности магнитного поля 1 кГц – 300 кГц. По окончании испытаний выдается протокол с графиками полученных измерений. Стенд располагается в специальной экранированной камере с установленными антеннами и токосъемниками. На этом стенде проводились испытания научных приборов по таким аппаратурно-насыщенным проектам как „Марс-96", „Интербол", „Фобос", СРГ.

С целью расширения возможностей и повышения качества испытаний ведутся работы по автоматизации испытательного процесса и регистрации результатов испытаний.

Уже длительное время при термовакуумных испытаниях используется универсальная измерительная система СИТ-КАМАК, позволяющая выполнять измерения напряжений, токов и сопротивлений датчиков и представлять результаты измерений в виде тех или иных физических характеристик. Система состоит из стандартных модулей КАМК (CAMC – Computer Application Measurements Standards on Nuclear Electronics), стандартного измерительного прибора и компьютера типа IBM-PC, объединенных электрически и программно в единый комплекс. Точностные характеристики системы определяются применяемым измерительным устройством. В настоящее время система позволяет измерять напряжение и сопротивление по 176 каналам с циклом измерения 3 мин (время измерения одного канала 0,5 сек). При необходимости технические характеристики и возможности измерительной системы термовакуумных испытаний могут быть расширены (например, измеряется давление и состав газа, вводится автоматическое регулирование и управление процессами и т.д.).

При испытаниях научной аппаратуры используется бортовая телеметрическая система, представляющая собой многоканальное устройство (256 каналов) для кодирования, хранения, выдачи информации на наземную станцию и в ЭВМ. Бортовая система стыкуется с приборами научного комплекса. Наземная станция предназначена для приема информации и ее регистрации на магнитофоны и графопостроители и визуального отображения в аналоговом и цифровом виде.

Наземный испытательный комплекс ИКИ аккредитован в качестве комплексного испытательного центра Российской Академии наук и входит в федеральную систему сертификации космической техники (ФССКТ) с правом проведения сертификационных испытаний научной целевой аппаратуры космических аппаратов и бортовой аппаратуры народнохозяйственного назначения, в том числе испытаний на электромагнитную совместимость.

An onboard telemetry system being a multichannel unit (256 channels) is used for data coding, storage and output to the ground station and the main computer. This telemetry system is connected with the scientific payload instruments. The ground station receives the data, registers it on tape recorders and plotters and visualizes in the analog or digital form.

The IKI ground testing base is accredited as the integrated testing center of the Russian Academy of Sciences. It is included in the Federal space technology certification system and has a right to conduct certification tests of the scientific instruments and onboard systems of the economy-oriented spacecraft, including tests for electromagnetic compatibility.

pictures see page 198

Специальное конструкторское бюро космического приборостроения ИКИ РАН



Special Design Bureau for Space Device Engineering of the Space Research Institute (SKB KP IKI)

Датой рождения СКБ КП ИКИ принято считать принятие Президиумом АН СССР 30 июня 1978 г. решения о создании в г. Таруса Калужской области опытного производства приборостроительного профиля для научных космических исследований.

Строительство опытного производства началось в 1980 г. на одном из высоких тарусских холмов. Курировал его заместитель директора ИКИ по капстроительству К.П.Метелкин. В 1984 году была сдана первая очередь производственных площадей (3,4 тыс. м^2), параллельно шло формирование коллектива.

В 1986 году принимается новое решение об организации на базе Тарусского производственного подразделения ИКИ Специального Конструкторского Бюро Космического Приборостроения (СКБ КП) как самостоятельного комплексного приборостроительного отделения Института, включающего в себя проектно-конструкторские подразделения разработчиков, опытное производство и необходимую для сертификации приборов испытательную базу.

Основными направлениями его деятельности должны были стать: НИР и ОКР в области космического приборостроения; изготовление и испытания опытных и летных бортовых приборов и КИА; разработка и внедрение в производство новейших методов проектирования и технологий изготовления бортовой научной аппаратуры; совершенствование конструкторской и производственной базы. Реализация этих задач, в свою очередь, потребовала создания оптимальной структуры управления СКБ, комплексного подхода к формированию коллектива и созданию современной, развитой производственной и социально-бытовой инфраструктуры.

Основой кадровой политики стало привлечение опытных руководящих и инженерно-технических специалистов, хорошо знающих специфику проектирования, изготовления и испытаний бортовой и наземной научной аппаратуры, из разных регионов СССР, а также молодых, перспективных выпускников ведущих технических вузов страны. Базовыми специалистами, уже имевшими большой опыт решения подобных задач, были переведенные в Тарусу ведущие специалисты из ОКБ ИКИ в г. Фрунзе. Кроме того, привлекались опытные инженерно-технические кадры из научных и конструкторских организаций Министерств общего и среднего машиностроения, научных центров АН СССР.

иллюстрации стр. 200

June 30, 1978 is considered a birthday of SKB KP IKI. On this day, the Presidium of the USSR Academy of Sciences adopted a decision on the establishment of an experimental device engineering plant in Tarusa (Kaluga region) for space-oriented studies.

In 1980 construction of the experimental plant was begun on one of the Tarusa hills. IKI Deputy Director for major construction, K.P. Metiolkin, supervised the work. In 1984 the first production sites (3,4 thousand sq. m.) were finished. In parallel the plant's staff was being formed.

Initially the decision was to crete the Institute's production facilities only. Then this concept was reconsidered because of both the disintegration processes, which began in the USSR in 1985 and the growing difficulties in co-operation with subcontractors. In 1986 a new decision was adopted – to create a Special Design Bureau for Space Device Engineering on the base of the IKI Tarusa branch. This autonomous complex device-engineering branch of the Institute should include design departments, experimental workshops and testing facilities needed for the instrumentation certification.

The main directions of the activity should be the following: R&D for space device engineering, manufacture and tests of the experimental and flight models of onboard instruments and of the corresponding testing instrumentation, development and usage of the up-to-date design techniques and technologies for manufacturing onboard scientific instrumentation and improvement of the design and production facilities. In its turn these tasks solution required for optimal management structure, a complex approach to the team formation and creation of the up-to-date production and social infrastructure.

Managers, engineers and technicians experienced in design, manufacture and tests of onboard and ground-based scientific instrumentation were invited from the USSR various regions as well as promising students educated at the leading technical institutes. The basic team consisted of the leading specialists from the IKI branch at Frunze – the Special Design Bureau (OKB IKI) who had a considerable experience in solving similar tasks. In addition, engineers and technicians from scientific and design institutions of the Ministries for General and Atomic Machinebuilding and from scientific centers of the USSR Academy of Sciences were also invited.

Большой вклад в создание и развитие СКБ КП в разные годы внесли: В.В.Щербаков, возглавлявший организацию с 1979 г. по 1985 г. (с 1985 г. по 1992 г. – зам. директора СКБ по основной деятельности – руководитель проектно-конструкторской службы); М.Б.Добриян – руководитель организации с 1985 г. по 1986 г. и директор СКБ с 1986 г. по настоящее время; В.И.Фукс – главный инженер СКБ с января 1987 г. по февраль 1990 г.; А.Н.Наумов – зам. главного инженера с 1989 по 1990 г., главный инженер СКБ с 1990 г. по настоящее время, В.Н.Ангаров – начальник отдела с 1990 г. по 1992 г. и зам. директора СКБ по основной деятельности – руководитель проектно-конструкторской службы с апреля 1992 г. по настоящее время.

Сегодня СКБ КП структурно состоит из: проектно-конструкторской службы, в которую входят подразделения разработчиков, выполняющих НИР и ОКР; опытного производства с испытательной и ремонтной базой; АУП и вспомогательных подразделений.

В составе проектно-конструкторской службы три основных отдела: комплексный, точной механики и оптики и технической документации.

Комплексный отдел разработки информационно-измерительных систем, в свою очередь, состоит из групп и секторов разработчиков, специализирующихся на НИР и ОКР выносных датчиков (детекторов), аналоговой электронике, вторичных источниках электропитания, микропроцессорной технике, вычислительных системах, автоматизированных комплексах контрольно-испытательной аппаратуры, программном обеспечении и математическом моделировании, расчете надежности, применяемости ЭРИ, тепловых расчетах и радиостойкости, методах физической калибровки приборов, разработках САПР, разводках печатных плат, конструировании электронных блоков и ВИП, бортовых автоматизированных электроприводах.

Отдел точной механики и оптики специализируется в области конструирования механизмов точной механики, оптоэлектронных бортовых датчиков, спектрофотометрии и оптики.

В отдел технической документации входят технический архив, бюро стандартизации, нормоконтроля и бюро научно-технической информации с библиотекой.

Разработчики проектно-конструкторской службы оснащены современными средствами вычислительной техники, создана разветвленная локальная компьютерная сеть с выходом в Интернет. Проекты ведутся в реальном времени с другими организациями. Выход в Интернет дает разработчикам доступ к мировым информационным ресурсам, существенно повышая уровень проводимых разработок.

Опытное производство СКБ КП ИКИ имеет в своем составе металлообрабатывающий цех с заготовительным участком, участками механической и электроэрозионной обработки, термическим и сварочным участками; цех по изготовлению печатных плат, а также монтажно-сборочный, гальванический и молярный участки. В состав опытного производства входит и контрольно-испытательная станция (КИС) для испытаний выпускаемой научно-космической аппаратуры и отдельных ее узлов. КИС оснащена разнообразным оборудованием и установками для моделирования в наземных условиях воздействия на аппаратуру факторов активного участка, орбитального полета, спуска на Землю и т.д.

Большое внимание при создании новой техники и технологии уделяется в СКБ КП задачам обеспечения высокой точности, достоверности, сопоставимости и единства измерений. Это одна из основных задач отдела главного метролога.

The following people made a considerable contribution to the SKB KP creation and development: V.V. Shcherbakov (headed SKB KP from 1979 to 1985; from 1985 to 1992 – the SKB KP Deputy Director for general affairs, head of the design branch), M.B. Dobriyan (headed SKB KP from 1985 to 1986; SKB KP Director from 1986 up until now), V.I. Fuks (SKB KP Deputy Chief Engineer from January 1987 to February 1990), A.N. Naumov (Deputy Chief Engineer from 1989 to 1990; SKB KP Chief Engineer from 1990 up until now) and V.N. Angarov (headed a department from 1990 to 1992; SKB KP Deputy Director for general affairs; head of the design branch from 1992 up until now).

At present the SKB KP structure includes a design branch consisting of the design departments which perform R&D, an experimental production division with testing and repair facilities, administration, managerial staff and blue-collar workers.

The design devision includes three main departments – an integrated support department, a precise mechanics and optics department and a technical documentation department.

The integrated support department for the development of information-measurement systems consists of groups of specialists conducting R&D for remote sensors (detectors), analog electronics, secondary power sources, micro-processors, computers, automated testing instrumentation, software and mathematical simulation, reliability calculation, calculations of the thermal and radiation resistance values, techniques for the instrument physical calibration, development of the automated design systems, fabrication of the printed-circuit boards and design of electronics, secondary power supply sources and onboard automated electric drives.

The department for precise mechanics and optics specializes in designing precise mechanics mechanisms, optoelectronic onboard sensors, spectrophotometry and optics.

The department for technical documentation includes a technical archive, a standardization bureau and a scientific and technical information bureau with a library.

The design branch is equipped with modern computers integrated in a local network with an access to the Internet. Designers can contact other organizations in real time. They have an access to the world information resources via the Internet thus considerably increasing the level of designing.

The SKB KP IKI testing facilities include a workshop for metal processing with the sites for half-finished products, mechanical and electric erosion processing and the thermal and welding sites; a workshop for manufacturing printed-circuit boards and the assembly, electroplating and molar sites. The experimental production sites include also the verification division for testing scientific space instrumentation and its units. This division equipped with various instrumentation and benches for onground simulation of the factors influencing the instruments during active, orbital and descent flight stages.

While developing new technological items, SKB KP pays considerable attention to the provision of high accuracy, reliability, comparability and unity of measurements. This is one of the main tasks of the Chief metrologist department, which is equipped with the reference instruments for radiotechnical, electrical, and geometrical measurements.

IKI together with the SKB KP branch helped Tarusa town to build life-support facilities, including an electric power plant

pictures see page 200

СКБ КП в г. Таруса создавалось как градообразующее предприятие. Через ОКС ИКИ и ОКС СКБ строились объекты жизнеобеспечения города (электрическая подстанция, котельная, головной водозабор, очистные сооружения, микрорайон на 5 тыс. жителей, детские сады, передаточные устройства и т.д.). Для обеспечения работ на промплощадке создан и функционирует энерго-механический отдел. Организована группа связи и телекоммуникаций, которая обслуживает охранную и пожарную сигнализацию СКБ, автоматизированные системы станочного парка, в том числе и станки с ЧПУ, устройства проводной связи. Совместно со специалистами ИКИ эта группа обслуживает антенный комплекс, находящийся на территории СКБ, а также участвует в сеансах приема телеметрической информации со спутников и ее обработке.

Несмотря на резкое сокращение в последние годы бюджетного финансирования, удалось сохранить работоспособный коллектив примерно из 300 высококвалифицированных специалистов (физиков, электронщиков, оптиков, конструкторов, механиков), способных обеспечить НИР и ОКР и изготовление бортовой аэрокосмической служебной и научной аппаратуры по таким направлениям, как создание автоматизированных систем управления, сбора и обработки информации, включая телеметрию, на основе многопроцессорных бортовых ЭВМ; спектрометрических приборов ионизирующих излучений; спектрофотометрических приборов; звездных и солнечных систем ориентации; оптико-механических и электромеханических приборов; компоновку и конструирование малых и микроспутников; конструкции точной механики; автоматизированных электроприводов; систем электропитания малых космических аппаратов и систем вторичного бортового электропитания (регулируемых высоковольтных и низковольтных); автоматизированных контрольно-измерительных систем для наземных испытаний летных приборов и комплексов; широкого спектра приборов народнохозяйственного назначения (медицинские приборы, газоанализаторы и течеискатели, приборы технического контроля и т.д.).

В СКБ КП были разработаны, изготовлены, испытаны и успешно отработали в условиях космического полета многие блоки и приборы научной аппаратуры созданные для проектов ВЕГА, „Фобос", „Гранат", „Интербол", орбитального комплекса „Мир", КА „Марс-96".

В настоящее время в стадии разработки или изготовления опытных и летных образцов источники вторичного электропитания блока определения координат звезд (БОКЗ) для спутников „Ямал-100", „Ямал-200", „Ямал-300" и проекта „Спектр"; система управления, сбора и обработки информации микроспутников „Компас", „Предвестник", „Компас-1РК", система электропитания малого спутника „Модуль-М"; центральный бортовой процессор и блок управления и электроснабжения ионно-плазменных двигателей; система солнечной ориентации микроспутника „Компас"; детектор быстрых нейтронов HEND для проекта НАСА Mars-Surveyor-2001 и система адаптеров интерфейсов стенда наземных испытаний самолетов СУ-30М.

Выполнены компоновочные работы по созданию микроспутников „Компас", „Компас-1РК", „Предвестник", изготовлены опытные образцы датчиков магнитометров ОНЧ/УНЧ для них.

Ведутся работы по созданию различных перспективных приборов народнохозяйственного значения.

иллюстрации стр. 200

substation, a boiler house, a main water supply, purifiers, dwellings for 5 thousand people, kindergartens, etc. A telecommunications group was created for the SKB KP guard and fire alarm systems, automated systems for processing machines, including computerized ones, and wire communications facilities. This group, together with the IKI specialists, services the antennas located at SKB KP and participates in the sessions for telemetry reception from satellites and this data processing.

Despite the recent budget funding sharp reduction, SKB KP succeeded in retaining the team of about 300 specialists highly qualified in physics, electronics, optics, design and mechanics. They are able to provide R&D and manufacture of onboard aerospace scientific and housekeeping instrumentation for the automated control systems, systems for the scientific and telemetry data collection and processing based on onboard multi-processor computers, spectrometers for ion radiation, spectrophotometers, star and sun attitude control systems, optomechanical and electromechanical instruments, design of small and micro spacecraft, precise mechanics, automated electric drives, power supply systems for small s/c and secondary power sources (controlled high- and low-voltage), automated control and measuring systems for the flight instrumentation ground-based testing and a wide spectrum of instruments for economy (medical instruments, gas analyzers, leakage analyzers, instruments for technical check-out, etc.).

SKB KP specialists developed, manufactured and successfully tested in space many units and instruments for the VEGA, Phobos, Granat, Interball and Mars-96 missions and the orbital station Mir.

At present SKB KP is developing or manufacturing experimental and flight models of the power supply sources for the star reference unit (BOKZ) for the Yamal-100, Yamal-200 and Yamal-300 spacecraft and the Spektr mission, the control and data collection and processing system for the Compass, Predvestnik (Precursor) and Compass-1RK micro satellites, the power supply system for the small spacecraft Modul-M, the onboard central processor and the control and power supply units for the ion-plasma propulsion units, the sun attitude control system for the Kompas micro satellite, the fast-neutron detector HEND for the NASA Mars Surveyor-2001 mission and the interface adapters for the SU-30M aircraft ground testing bench.

Designs for the Compass, Compass-1RK and Predvestnik micro satellites have been completed. Experimental models of the sensors for the VLF and ULF magnetometers of these satellites have been manufactured.

Various instruments for economy are being developed.

Особое конструкторское бюро ИКИ

IKI Special Design Bureau



Особое Конструкторское Бюро ИКИ только на два года моложе самого Института. Оно было создано в 1967 г. на базе Государственного конструкторско-технологического бюро приборостроения Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР (ГКТБП).

Первым директором ОКБ назначается Т.Ш.Шакиров, главным инженером – В.Т.Ласский; главным технологом – Г.Т.Дилекторский; заместителем директора – А.И.Иванов; заместителем главного инженера по технологии (с 1972 г. по 1987 г. главным инженером ОКБ) – В.И.Фукс; заместителем главного инженера по конструкторской части (главным конструктором ОКБ) – Б.Н.Пяк.

Активно занимались становлением ОКБ второй его директор с 1970 г. по 1986 г. – Т.И.Курманалиев; заместитель директора – А.А.Суганеев, ведущие специалисты Ю.Ф.Башмачников, Г.И.Величко, Б.К.Ветохин, С.Г.Наместник, Д.М.Нейман, В.А.Ноткин, Э.И.Рожавский, С.Р.Табалдыев, В.В.Щербаков, Ю.К.Яблонский.

В короткое время были реконструированы или построены заново инженерные и производственные корпуса, в которых организованы оснащенные необходимым оборудованием специализированные участки, лаборатории и службы. Разработаны и внедрины в производство целый ряд принципиально новых технологических процессов таких как изготовление различными методами печатных плат, в том числе многослойных; деталей сложной конфигурации с использованием электрохимических, электроэрозионных, ультразвуковых методов обработки; прецизионных деталей из труднообрабатываемых материалов методом гальванопластики, порошковой металлургии; деталей для оптических приборов типа диафрагм, бленд, зеркал на металлических, стеклобериллиевых и стеклотитанитовых подложках; волоконно-оптических коллекторов; гибридных интегральных схем и ряд других.Была освоена герметизация узлов и блоков полимерными материалами, нанесение различных покрытий и паст с целью обеспечения заданных тепловых, электроизоляционных и других режимов работы изготавливаемых изделий.

В 1970 году в ОКБ организуется экспериментальный отдел микроэлектроники по освоению производства изделий из серийно выпускаемых микросхем и созданию собственных схем в микроэлектронном исполнении. В 1971–1972 годах изготавливаются

The IKI Special Design Bureau (OKB IKI) is only two years younger than the Institute. It was established in 1967 on the basis of the State Design-Technological Bureau for Device Engineering of the USSR Ministry for device engineering, automation facilities and control systems (GKTBP).

T.Sh. Shakirov was the first OKB director, V.T. Lassky – the chief engineer, G.T. Dilektorsky – the chief production engineer, A.I. Ivanov – a deputy director, V.I. Fuks – a deputy chief engineer for technology (from 1972 to 1987 – the OKB chief engineer), B.N. Pyak – a deputy chief engineer for design activity (the OKB chief designer).

OKB second director (from 1970 to 1986) T.I. Kurmanaliev, deputy director A.A. Suganeev, leading specialists Yu.F. Bashmachnikov, G.I. Velichko, B.K. Vetokhin, S.G. Namestnik, D.M. Neiman, V.A. Notkin, E.I. Rozhavsky, S.R. Tabaldyev, V.V. Shcherbakov and Yu.K. Yablonsky actively participated in the OKB formation.

Within a short period of time engineering and production buildings with specialized sites equipped with the necessary instrumentation were built or reconstructed. Laboratories and services were created which made it possible to develop and introduce a number of principally new technological processes into production. These processes were the manufacture of printed-circuit boards by various techniques including multilayer boards; of parts with a complex configuration using electrochemical, electro-erosion and ultrasonic processing techniques; of precision parts made of hardly processed materials including ceramics by electroforming and powder metallurgy; of parts for optical devices like diaphragms, baffles, mirrors on metal, glass-beryllium and glass-titanium substrates; optical fiber collectors; hybrid chips and others. The following technologies were mastered: sealing of joints and units by polymeric materials, coating with various materials and pastas in order to provide the required thermal and electric insulation of the manufactured articles.

In 1970 the experimental department for microelectronics was formed at OKB for the production of instruments with the mass-produced chips and development of microchips. First instruments based on chips were manufactured in 1971–1972. Since then the OKB developments integrated these new components only.

pictures see page 202

первые приборы на интегральных микросхемах, и с этого времени все дальнейшие разработки в ОКБ ведутся только на новой элементной базе.

Были также организованы специализированные подразделения и службы: датчиков, аналоговой и цифровой техники, оптики, бортовых источников питания, контрольно-измерительной аппаратуры, обеспечения надежности, средств автоматизации и вычислительной техники, испытательные лаборатории, конструкторские отделы и опытное производство.

Первые разработанные и изготовленные в ОКБ в 1967–1969 гг. летные образцы научных приборов были установлены на спутниках серии „Прогноз" (с первого по третий) и составили 60% их бортовой научной нагрузки. Приборы предназначались для изучения солнечной активности и ее влияния на межпланетную среду и магнитосферу Земли.

Следующая партия приборов, созданных в ОКБ, устанавливалась в период с 1972 по 1975 г. на спутниках серии „Космос". . Наиболее интересными приборами этой серии были: спектрометр ЦФ-1 для анализа ионной и электронной составляющей космической плазмы в области энергий от 0 до 25 эВ; спектрометр ГГ-2М для анализа потоков квантов и заряженных частиц в первичном космическом излучении в области энергий от 50 до 5000 МэВ; рентгеноспектрометр РС-5 для регистрации жесткого рентгеновского и мягкого гамма-излучения в области 30–600 кэВ; ливневый спектрометр СЭЗ-11М для определения потоков и энергетического спектра электронов и позитронов высокой энергии от 40 до 10000 МэВ.

Разработанные в ОКБ приборы неоднократно устанавливались на искусственных спутниках серии „Интеркосмос": в 1974 г. фоторегистрирующий спектрометр БФБ-С для изучения космических лучей высокой энергии за пределами атмосферы (СССР, Польша, Чехословакия и Монголия); в 1979 г. – электростатический анализатор, предназначенный для измерения дифференциальных интенсивностей электронов с энергиями от 10 эВ до 15 кэВ с высоким временным разрешением (СССР, Польша, Чехословакия, ГДР и Болгария). На ряде спутников „Интеркосмос" успешно функционировали изготовленные в ОКБ блоки управления и соединений (БУС), предназначенные для управления режимами работы телеметрической системы, коммутации электрических цепей по командам и их кроссировки.

Для приема информации со спутников в ОКБ была изготовлена наземная аппаратура единой телеметрической системы, которая успешно эксплуатировалась на территории бывшего Советского Союза, Болгарии и Кубы.

С 1968 г. ОКБ принимает активное участие в совместных советско-французских экспериментах „Омега" и „Аракс". Для эксперимента „Омега" (1968–1972 гг.) разрабатывается радиометр космических лучей РКЛ-4А. Для эксперимента „Аракс" (1975 г.) – быстродействующий анализатор энергий электронов „Ушба".

На орбитальной станции „Салют-4" были установлены разработанные и изготовленные в ОКБ приборы: „Эмиссия" – для изучения взаимосвязи солнечной активности с процессами в верхних слоях атмосферы, и „Спектр" – для анализа воздействия разреженной атмосферы на движение станции.

Для научных комплексов автоматических межпланетных станций „Марс-3", „Марс-4", „Марс-5" и „Марс-6" созданы: блок счетных каналов БСК, измеритель влажности ИВ-2, представляющий собой специальный интерференционно-поляризационный фотометр, система электропитания СЭП-1, блок авто-

Specialized subdivisions and services for sensors, analog and digital instrumentation, optics, onboard power sources, verification instruments, reliability provision, automation facilities, computers, testing laboratories, design departments and an experimental production were organized.

The first flight models of the scientific instruments developed and fabricated at OKB in 1967–1969 were installed on the Prognoz series (Prognoz-1, -2 and -3) spacecraft. These instruments composed 60 percent of their scientific payload and were destined for studying solar activity and its influence on the interplanetary space and the terrestrial magnetosphere.

The next series of the instruments created at OKB was installed onboard the Cosmos series spacecraft within a period from 1972 to 1975. The following instruments of this series were the most interesting: the TsF-1 spectrometer for analyzing the ion and electron plasma components in an energy range from 0 to 25 eV; the GG-2M spectrometer for analyzing the quantum and charged particle fluxes in the primary cosmic radiation within an energy range from 50 to 5,000 MeV; the RS-5 X-ray spectrometer for registering the hard X-ray and soft gamma-ray emission in an energy range from 30 to 600 keV; the SEZ-11M energy-mass spectrometer for detecting fluxes and energy spectra of the high energy (from 40 to 10,000 MeV) electrons and positrons.

The developed at OKB instruments were installed on many Intercosmos series satellites: in 1974 – the BFS-S spectrophotometer for the extra-atmosphere studies of the high energy cosmic rays (USSR, Poland, Czech and Slovak Republic and Mongolia); and in 1979 – an electrostatic analyzer for high temporal resolution measurements of the differential intensities of the electrons with the energies from 10 eV to 15 keV (USSR, Poland, Czech and Slovak Republic and Bulgaria). The manufactured at OKB control units and interfaces successfully operated on several Intercosmos satellites. They were destined for controlling telemetry system operation modes, electric circuit commutation by commands and their crossing.

In order to receive space-borne data OKB fabricated instrumentation for the ground facilities of a common telemetry system, which effectively operated in the former USSR, Bulgaria and Cuba.

The RKL-4A cosmic ray radiometer was developed for the Omega experiment (1968–1972). The Ushba fast-response analyzer of the electron energy was developed for the Araks experiment (1975).

The Salyut-4 orbital station accommodated the following instruments developed and manufactured at OKB: Emissiya – for studying an interaction between the solar activity and the processes in the upper atmosphere; and Spektr – for the analysis of the rarefied atmosphere influence on the station motion.

The following instruments were created for the scientific payload of the Mars-3, Mars-4, Mars-5 and Mars-6 automated interplanetary stations: a sampling channel unit (BSK); a humidity meter IV-2 which was a special interference-polarization photometer; a power supply system CEP-1; and automatics. All these instruments successfully operated at both the Mars approaching and descent stages. BSK was destined for counting electric pulses received from scientific instruments, temporal data storage, data compression and preliminary processed data output via the control unit to the telemetry system. The power

иллюстрации стр. 202

матики, которые успешно выполнили свои функции как на подлете к планете, так и при спуске на ее поверхность. БСК предназначался для счета электрических импульсов, поступающих с научных приборов, временного хранения накопленной информации, сжатия данных и вывода предварительно обработанной информации через блок управления на телеметрическую систему. Система электропитания СЭП-1 для стабилизации напряжения бортовой сети и ее преобразования в низковольтное напряжение, необходимое для питания комплекса радиоэлектронных приборов.

Системы вторичного электропитания для различных классов научной аппаратуры получили дальнейшее развитие. Был разработан целый ряд бортовых вторичных низковольтных (от 1,5 до 250 В) и высоковольтных источников питания (от 300 до 8000 В), а также источники питания с возможностью программного управления.

Если в экспериментах на автоматических межпланетных станциях „Венера-7, -8, -9 и -10" ОКБ участвовало как изготовитель отдельных узлов и блоков, то на последующих станциях „Венера-11, -12, -13 и -14" устанавливаются приборы, полностью созданные в ОКБ. В их числе прибор „Гроза", предназначенный для поиска грозовых разрядов и изучения распространения радиоволн в атмосфере Венеры. Весь прибор умещался в объеме небольшого транзисторного приемника, потреблял мощность около 1 Вт и вместе с антенной весил лишь 1,3 кг. Измеритель освещенности атмосферы Венеры (ИОАВ), установленный на борту спускаемых аппаратов АМС „Венера-11" и „Венера-12", предназначался для определения спектрального и углового распределения солнечного излучения в атмосфере планеты

Для проекта ВЕГА ОКБ создал ультрафиолетовый спектрометр для анализа состава газовой оболочки Венеры ИСАВ. Источником ультрафиолетового излучения в спектрометре служила импульсная лампа, свет которой выходил в атмосферу, поглощался атмосферными газами и возвращался обратно в анализатор, где разлагался на спектральные составляющие. Прибор позволил изучить пространственную структуру распределения поглотителей в атмосфере и, соответственно, уточнить картину фотохимических циклов, ответственных за образование облачного слоя планеты.

Другой прибор ОКБ для проекта ВЕГА – пылеударный масс-анализатор ПУМА работал непосредственно во время встречи космических аппаратов с кометой Галлея.Прибор имел столь высокое разрешение, что позволил определить изотопные соотношения в кометной пыли.

В ОКБ создана и значительная часть аппаратуры для международного проекта „Фобос", в том числе, система ЛИМА-Д для лазерного масс-спектрометрического анализа состава грунта Фобоса, информационно-вычислительная система радиолокационного комплекса ИВС РЛК, блок автоматики долгоживущей автономной станции и система сбора и обработки всей научной информации „Морион".

Заметное место в деятельности ОКБ занимает создание приборов для астрофизических исследований. Четыре таких прибора уже более десяти лет работают на модуле „Квант" орбитального комплекса „Мир" в составе международной космической обсерватории „Рентген". Это импульсный рентгеновский анализатор ИРА телескопа „Пульсар Х-1", бортовой амплитудный анализатор „Спектр-3", блок управления режимами считывания информации БУРС и блок фильтров БФ.

supply system SEP-1 stabilized the onboard voltage and transformed it into the low voltage required for feeding the radio electronics.

The secondary power supply sources for various instruments were further modified. A number of onboard low voltage secondary sources (from 1.5 to 250 V) and high voltage sources (from 300 to 8,000 V) as well as programmable power sources were developed.

For the automated interplanetary stations Venera-7, -8, -9 and -10 OKB only manufactured several units. However OKB completely developed the payload instruments of the subsequent stations of this series – Venera-11, -12, -13 and -14. One of them – the Groza (Thunderstorm) instrument was destined for searching storm discharges and investigation of the radiowaves propagation in the Venus atmosphere. The whole device fitted a volume of a small transistor receiver and consumed about 1 W. Its mass was only 1.3 kg, including an antenna. The Venus atmosphere illumination measurer (IOAV) operated onboard the Venera-11 and Venera-12 stations' descent modules. It measured spectral and angular resolution of the solar radiation in the Venus atmosphere.

OKB designed an ultraviolet spectrometer for the analysis of the Venus gas shell composition (ISAV) within the framework of the VEGA mission. Pulse lamp served as an ultraviolet radiation source. The light came out into the Venus atmosphere, was absorbed by the atmospheric gases, and came back onto the analyzer where was split into spectral components. Thus ISAV allowed to study the atmospheric absorption spatial structure and to clarify the nature of the photochemical cycles responsible for the planet's cloudiness formation.

The dust-impact mass-analyzer PUMA was another instrument developed at OKB for the VEGA mission. It operated during the spacecraft rendezvous with Halley's comet and carried out the first direct contact analysis of the comet's dust. The resolution was so high that the instrument defined isotope ratios in the comet dust.

OKB also created a considerable part of the Phobos mission instrumentation, including the LIMA-D laser mass-spectrometer which was used for the Phobos soil analysis; a computer system of the radar complex IVS RLK, automatics of the long-living station and the scientific data collection and processing system Morion.

Development of astrophysical instrumentation occupies an important place in the OKB activity. Four astrophysical instruments have been operating for more than ten years on the Mir orbital station's module Kvant as a part of the Roentgen space observatory. They are a pulse X-ray analyzer IRA of the Pulsar X-1 telescope, the onboard amplitude analyzer Spektr-3, a control unit for the data readout modes (BURS) and a filter unit BF.

The OKB creation – the largest in the world space gamma-telescope Gamma-1, was developed for registering the gamma-ray emission of the galaxy and the extra-galaxy origin within a range of 50–50,000 MeV. Its sensitive area was 1.5 sq.m. This was three times larger than that of the similar U.S. telescope. Wide-gap spark chamber was used in the Gamma-1 telescope design for the first time. Due to this chamber the spatial coordinates determination accuracy was improved and false events introducing distortions into the observations were rejected.

Specialists from the Space Research Institute (IKI), the

pictures see page 202

„Детище" ОКБ – один из самых крупных в мире космический гамма-телескоп „Гамма-1", предназначенный для регистрации гамма-излучения галактического и внегалактического происхождения в диапазоне 50–500 МэВ. Чувствительная площадь телескопа – 1,5 м^2, что в три раза выше, чем у аналогичного американского инструмента. В телескопе „Гамма-1" впервые применена широкозазорная искровая камера, благодаря которой улучшается точность определения пространственных координат, и исключаются ложные события, искажающие картину наблюдений.

В создании „Гамма-1" участвовали специалисты ИКИ, МИФИ, ФИАН, ЛФТИ, НПО „Энергия", Польши, Франции.

Важным этапом работы ОКБ стала разработка и изготовление позиционного рентгеновского телескопа АРТ-П – одного из двух основных инструментов космической обсерватории „Гранат".

Наконец, в ОКБ создана многозональная сканирующая система (МСС) „Фрагмент", предназначенная для проведения экспериментальных работ по исследованию природных ресурсов Земли из космоса.

Практически для каждого изделия в ОКБ разрабатывается специализированная контрольно-испытательная аппаратура (КИА), и в частности создана уникальная аппаратура СКАИ (система для комплексных и автономных испытаний информационных систем и научных приборов), которая имитирует работу электрических интерфейсов служебных систем космического аппарата и обеспечивает проведение наземных как комплексных, так и автономных испытаний бортовой аппаратуры. Управление работой СКАИ осуществляется от персонального компьютера.

Советом „Интеркосмос" в свое время была поручена ОКБ с учетом его ведущей роли в области научного космического приборостроения организация и проведение трех международных семинаров по вопросам создания научной космической аппаратуры, которые и состоялись в 1976, 1978 и в 1989 годах. Из общего количества докладов и сообщений на долю специалистов ОКБ пришлось не менее половины. Это еще более упрочило связи ОКБ с учеными и техническими специалистами всего мира. Вопрос и его авторитет в сфере международного сотрудничества: целый ряд разработок специалисты ОКБ выполнили совместно с конструкторами из Польши, Болгарии, Кубы, Чехословакии, Венгрии, Франции, Германии, США, Дании, Нидерландов, Швейцарии.

С распадом СССР ОКБ ИКИ осталось в составе Кыргызской Республики. В 1993 году ОКБ было преобразовано в акционерную фирму ОКБ „Аалам", сохранив даже в новом названии свою специфику деятельности (в переводе с киргизского „аалам" – космос, вселенная). К новым работам ОКБ уже в статусе акционерной фирмы относится участие в проектах „Марс-96", „Интербол", „Радиоастрон", „Спектр-Рентген-Гамма" (СРГ), „Альфа", MOMS-2P, „Реликт-2". Так для проекта „Интербол" разработаны, изготовлены и успешно отработали на орбите приборы ВДП, ВДП-С, ДФП, АНАПУРНА, ДМЭ. Для международной космической обсерватории СРГ в настоящее время изготавливаются фокальные рентгеновские детекторы ФРД для главного прибора „Содарта", рентгеновский монитор СПИН-Х, ультрафиолетовый телескоп „Еувита", система массовой памяти СММ. В стадии НИР и ОКР монитор всего неба для Международной космической станции.

иллюстрации стр. 202

Moscow Engineering-Physical Institute (MIFI), the Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (FIAN), the Leningrad Physical and Technological Institute, the Research Production Association Energiya (NPO Energiya), as well as from the Polish and French institutions participated in the Gamma-1 creation.

The positioning X-ray telescope ART-P design and manufacture became an important stage of the OKB activity. The telescope was one of the two main instruments of the Granat space observatory.

Finally OKB developed a multi-band scanning system Fragment for conducting experiments on Earth research from space.

Special verification instrumentation is created for practically each instrument. In particular OKB created the unique system SKAI (a system for the complex and autonomous tests of information systems and scientific instruments) that simulated electric interfaces of the spacecraft housekeeping systems. SKAI provides for the onboard instrumentation ground complex and autonomous tests. It is controlled by a special computer.

Some time ago the Intercosmos Council entrusted OKB to organize three international workshops taking into account its leading role in the scientific space device engineering. The workshops' agendas included questions on the space scientific instrumentation development. Three workshops took place in 1976, 1978 and 1989. OKB specialists presented no less than 50 percent of the reports. This strengthened their relation with world scientists and technicians even more. The OKB authority in the international cooperation also grew. OKB specialists fulfilled many developments in cooperation with designers from Poland, Bulgaria, Cuba, Czech and Slovak Republic, Hungary, France, Germany, the USA, Denmark, the Netherlands and Switzerland.

After the USSR collapse the OKB IKI remained in the Kirghiz Republic. In 1993 OKB was transformed into a joint-stock company OKB „Aalam". However it did not change the field of its activity („aalam" is the translation of the words „space" or „universe" into the Kirghiz language). OKB as a joint-stock company participated in the Mars-96, Interball, Radioastron, Spectrum-Roentgen-Gamma (SRG), Alpha, MOMS-2R and Relikt-2 missions. VDP, VDP-S, DFP, ANAPURNA and DME instruments were developed for the Interball project and successfully operated in orbit. At present the company is developing the following instrumentation for the International space observatory SRG: focal X-ray detectors FRD for the main telescope Sodart; the X-ray monitor SPIN-X; the ultraviolet telescope Fuvita; and an SMM mass memory system. The all sky monitor for the International space station is at the R&D stage.



События и лица

Events and Personalities

Отдел астрофизики

Department for Astrophysics

1. И.С.Шкловский и Н.С.Кардашев
   I.S. Shklovsky and N.S. Kardashev

2. И.С.Шкловский и А.Г.Масевич
   I.S. Shklovsky and A.G. Masevich

3. Сборка гамма-телескопа „Гамма-1“ в ОКБ ИКИ (Фрунзе)
   Assembly of the gamma-ray telescope Gamma-1 at OKB IKI (Frunze)

4. Г.А.Скуригин
   G.A. Skurigin

5. С учениками (Г.Б.Шоломицкий, И.С.Шкловский, Н.С.Кардашев)
   I.S. Shklovsky with followers G.B. Sholomitsky, I.S. Shklovsky, N.S. Kardashev)

6. И.С.Шкловский и Я.Б.Зельдович
   I.S. Shklovsky and Ya.B. Zeldovich

7. Астрофизический модуль „Гамма“
   Astrophysical module Gamma

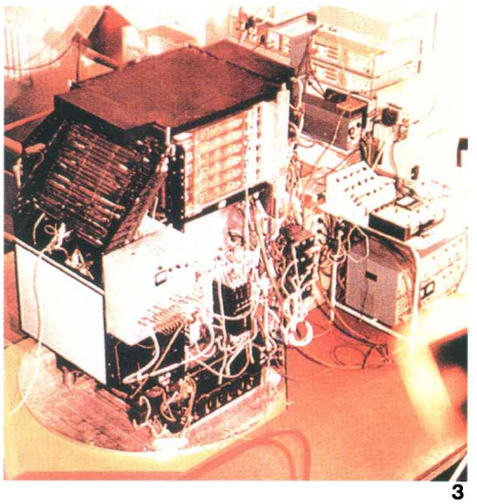
8. В.Г.Курт (четвертый слева) стал действительным членом МАФ
   V.G. Kurt (4th from the left) became the member of IAF



1



2



3



4

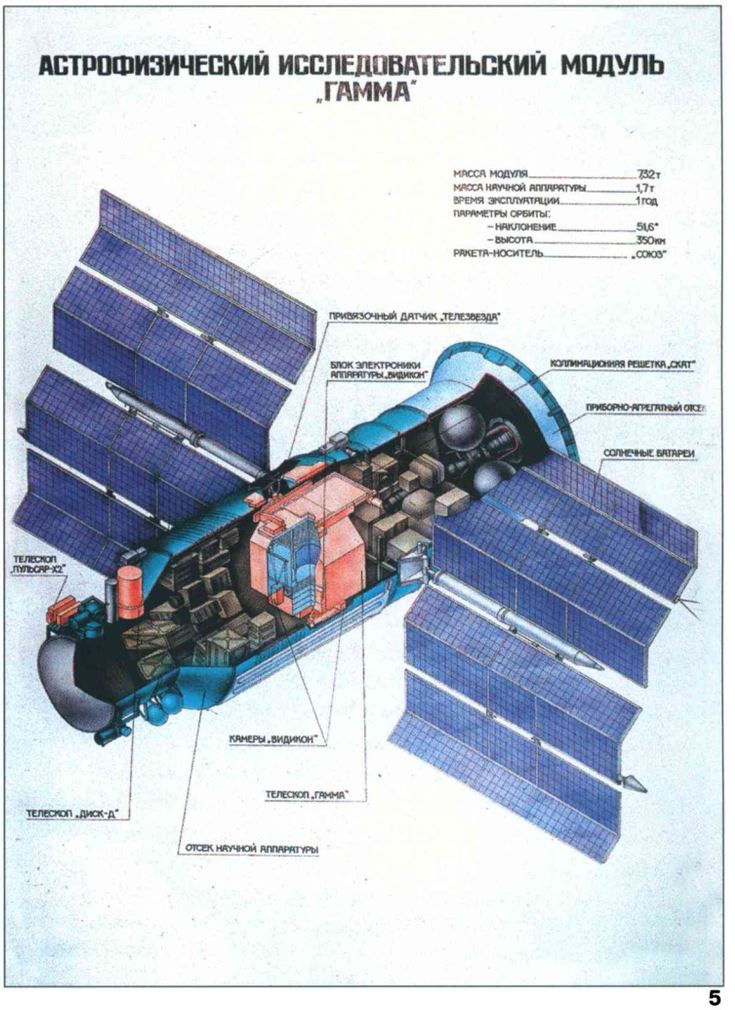


5

текст стр. 21



6



5

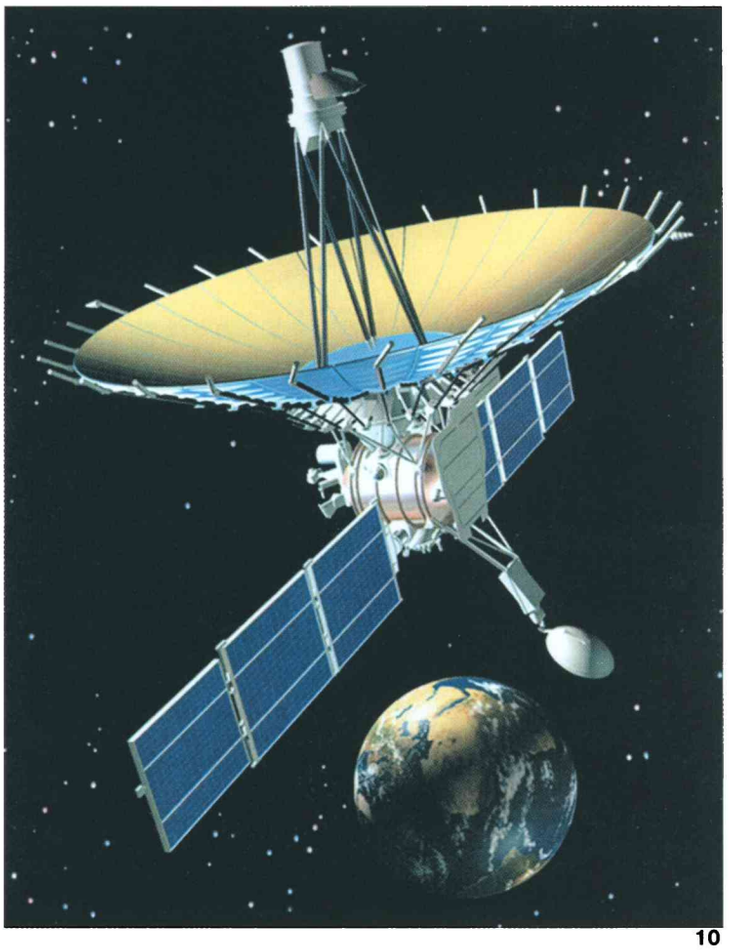


7

texts see page 21



9



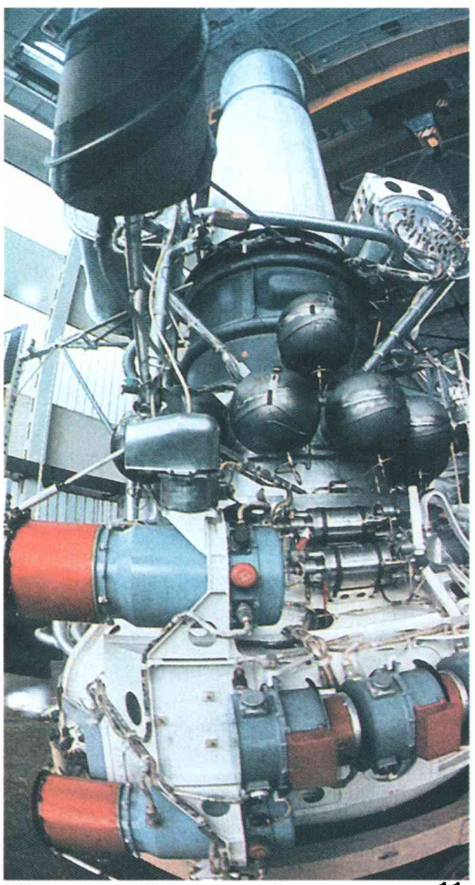
10

9. Т.Голд (справа) – гость ИКИ, в Крыму с В.Г.Куртом
T. Gold (right), IKI guest from the USA, in the Crimea with V.G. Kurt

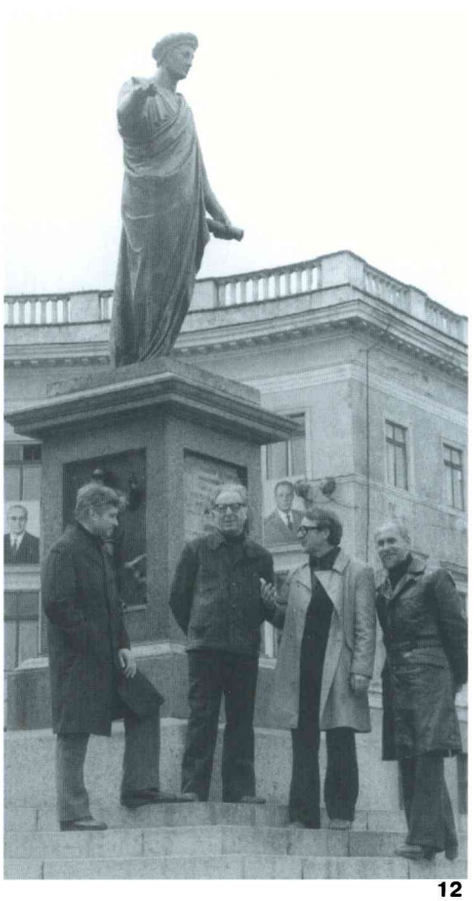
10. Космический аппарат „Радиоастрон"
Radioastron spacecraft

11. Наземные испытания спутника „Астрон"
Ground tests of the Astron satellite

12. „Бригада" научных консультантов фильма „Петля Ориона" в Одессе (слева направо – Н.С.Кардашев, И.С.Шкловский, Р.З.Сагдеев, Ю.И.Зайцев)
A team of scientific consultants of the „Orion Loop" movie in Odessa (left to right N.S. Kardashev, I.S. Shklovsky, R.Z. Sagdeev, Yu.I. Zaitsev)



11



12

текст стр. 21

Отдел астрофизики высоких энергий

Department for Physics of the Solar System's Planets and Small Bodies

1. Р.З. Сагдеев и Я.Б. Зельдович
R.Z. Sagdeev and Ya.B. Zeldovich

2. Слева направо: Кен Паундз (Англия), Стюарт Боер (США) и Р.А.Сюняев
Left to right: Ken Ponds (Great Britain), Stuart Bower (USA) and R.A. Syuniaev

3. Астрофизическая обсерватория „Гранат"
Astrophysical observatory Granat

4. Астрофизический модуль „Квант"
Astrophysical module Kvant



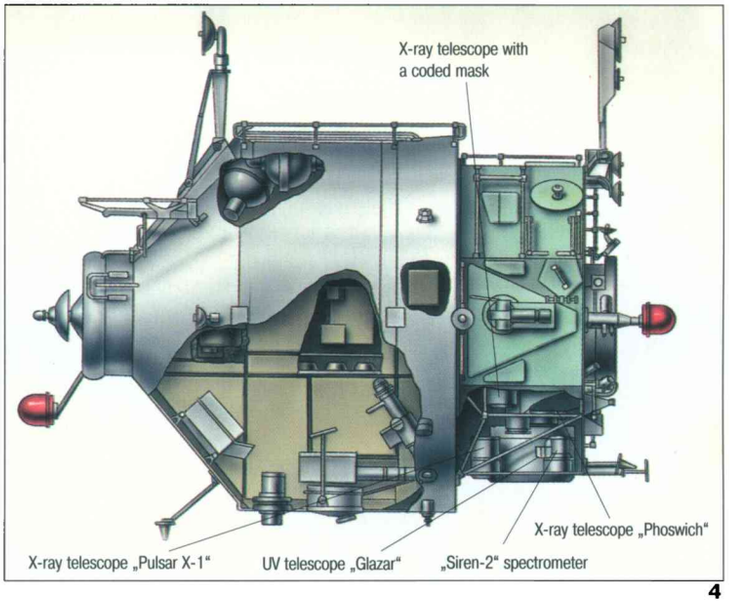
1



2



3



4

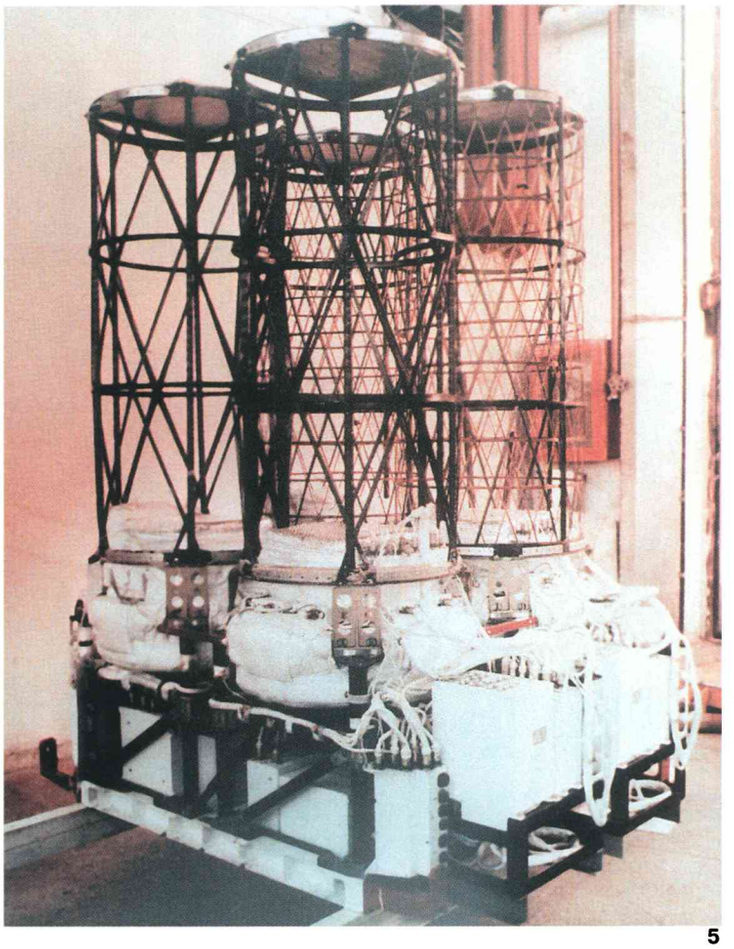
texts see page 28

5. Телескоп АРТ-П
Telescope ART-P

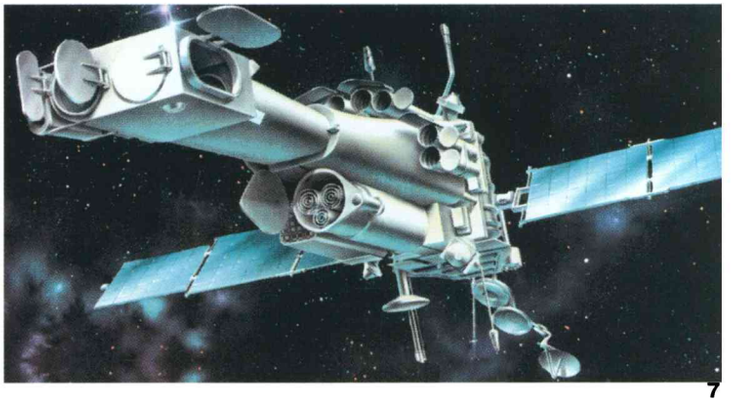
6. Карта области центра Галактики (16°x16°) в диапазоне 35–75 кэВ, полученная телескопом СИГМА в 1990–1998 гг. Полное время наблюдений составило около 8 миллионов секунд
Map of the Galaxy's center (16°x16°) within a range of 35–75 keV compiled based on the Sigma telescope data (1990–1998). The total observation time was about 8 mln seconds

7. Рентгеновская астрофизическая обсерватория „Спектр-Рентген-Гамма"
X-ray astrophysical observatory Spectrum-Roentgen-Gamma

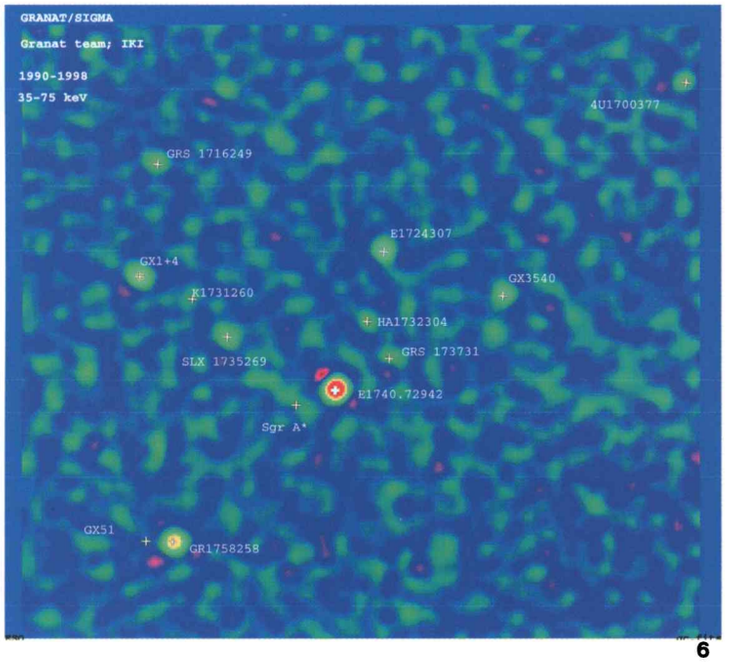
8. Сборка вибро-тепло модели телескопа „Содарт" для проекта „Спектр-Рентген-Гамма" в НПО им. С.А.Лавочкина
Integration of the thermal and vibration model of the Sodart telescope for the Spectrum-Roentgen-Gamma mission at the Lavochkin Association



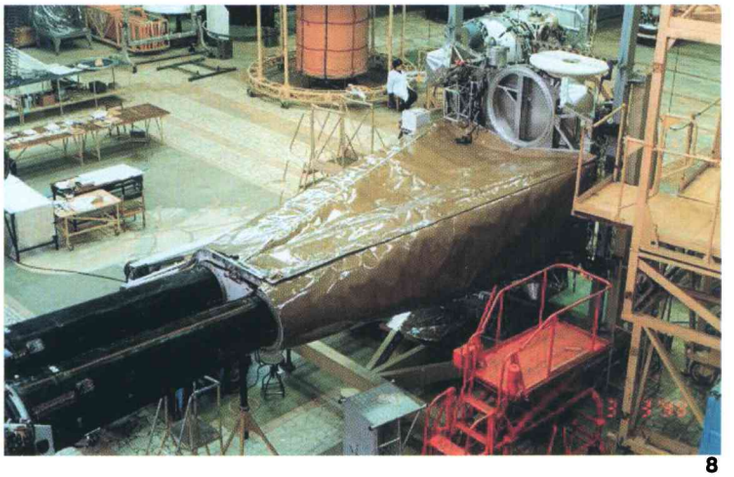
5



7



6



8

текст стр. 28

Отдел Луны и планет

Department for studying the Moon and planets

1. А.П.Виноградов передает ученым Индии образцы лунного грунта, доставленные станцией „Луна-16“
Vinogradov passes lunar soil samples delivered by the Luna-16 station to the scientists from India

2. „Луноход-1“
Lunokhod-1

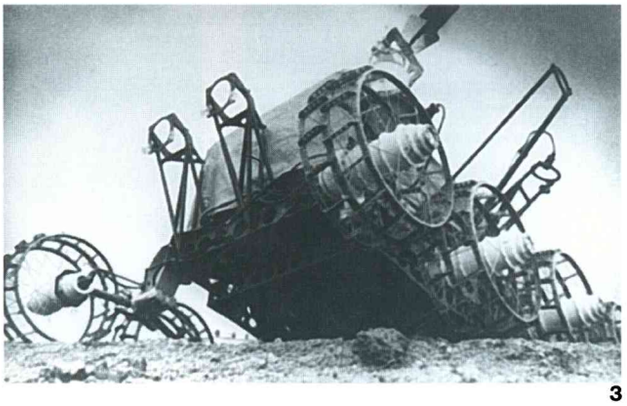
3. Наземная отработка шасси лунохода
Ground processing of the Lunokhod's chassis

4. „Путевое“ измерительное оборудование лунохода
Measuring equipment of the Lunokhod

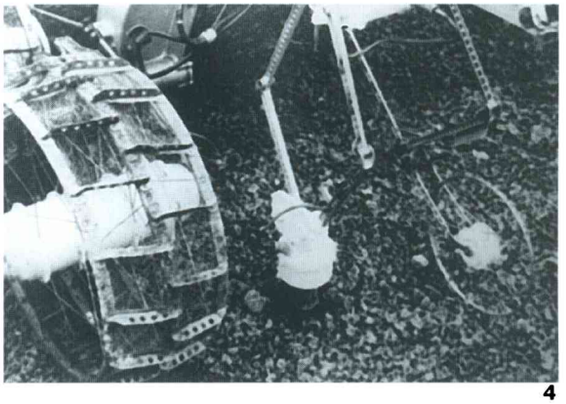
5. К.Б.Шингарева, В.Г.Курт и К.П.Флоренский, Лейпциг
K.B.Shingareva, V.G. Kurt and K.P. Florensky, Leipzig



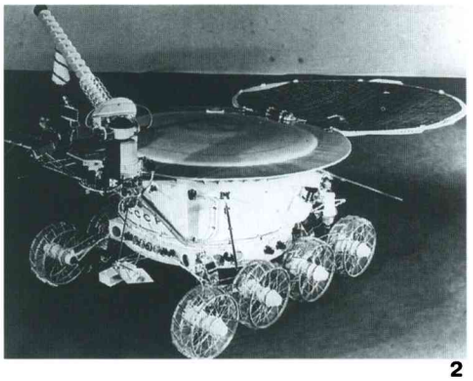
1



3



4



2



5

texts see page 40

Отдел физики планет и малых тел солнечной системы

Department for Physics of the Solar System's Planets and Small Bodies

1. Слева направо: В.А.Краснопольский, Л.М.Мухин, В.И.Мороз, В.В.Кержанович
Left to right: V.A.Krasnopolsky, L.M. Mukhin, V.I.Moroz, V.V.Kerzhanovich

2. Слева направо: В.И.Мороз, Л.В.Ксанфомалити, Н.С.Кардашов
Left to right: V.I. Moroz, L.V. Ksanfomality, N.S.Kardashov

3 (а и б). Спектрофотометры ИОАВ и ИОАВ-2, с помощью которых измерено содержание водяного пара в атмосфере Венеры
(a and b) IOAV and IOAV-2 spectrophotometers which measured the water vapor contents in the Venus atmosphere

4. Космический аппарат ВЕГА
VEGA spacecraft

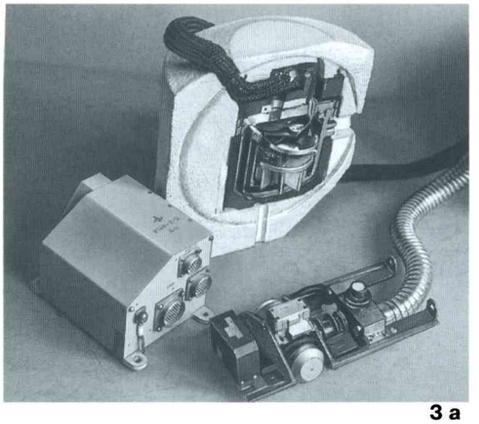
5. В.Г.Истомин, отработка аппаратуры
V.G. Istomin, instrumentation tests



1



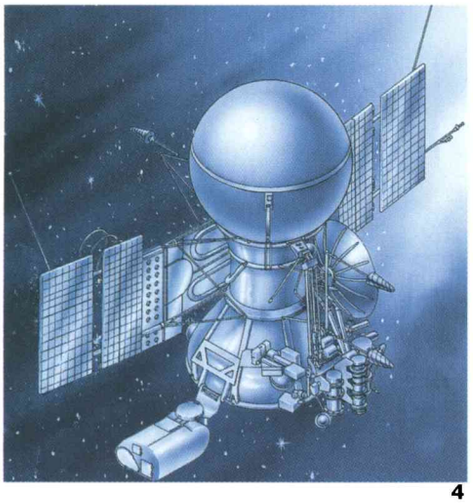
2



3 а



3 б



4



5

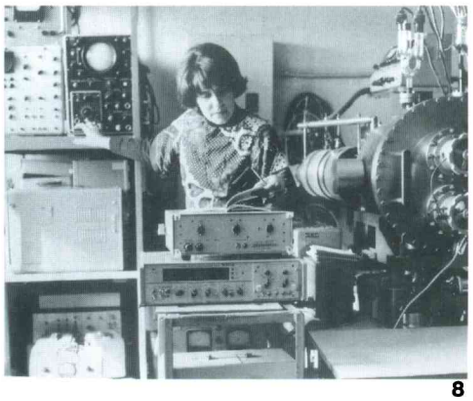
текст стр. 44



6



7



8



9

6. Калибровка прибора ИОАВ на лабораторном стенде
IOAV calibration on the laboratory bench

7 Прибор „Гроза“
Groza instrument

8. Т.К.Бреус проводит лабораторный эксперимент
T.K.Breus conducts lab experiment

9. Прибор „Лидар“, установленный на посадочном аппарате „Марс-Сервейор-98“
Lidar of the landing probe of the Mars-Surveyor-98 mission



10

10. Л.И.Хлюстова у спускаемого венерианского аппарата, для которого она разработала и испытывала блок датчиков давления
L.I. Khlyustova near the descent probe for studying Venus for which she developed and tested pressure encoders



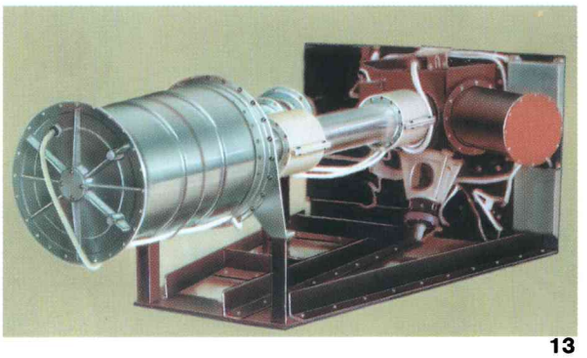
11

11. Французские ученые-участники проекта „Марс-96” на Байконуре. Крайний слева Г.М.Тамкович – руководитель испытаний КА на космодроме
French scientists – participants of the Mars-96 mission at Baikonur. G.M. Tamkovich (left) – supervisor of spacecraft tests at the launch site

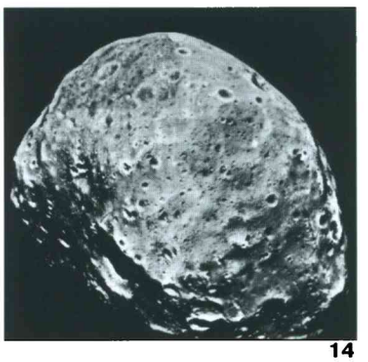
texts see page 44



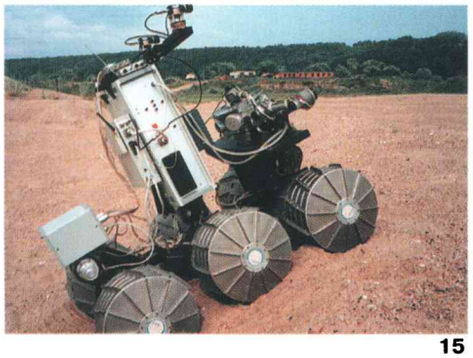
12



13



14



15

12. 6 марта 1986 г. на экранах мониторов ИКИ появились первые изображения ядра кометы Галлея
On March 6, 1986 the first images of the Halley's comet nucleus appeared on the IKI monitors

13. Прибор ПУМА
PUMA instrument

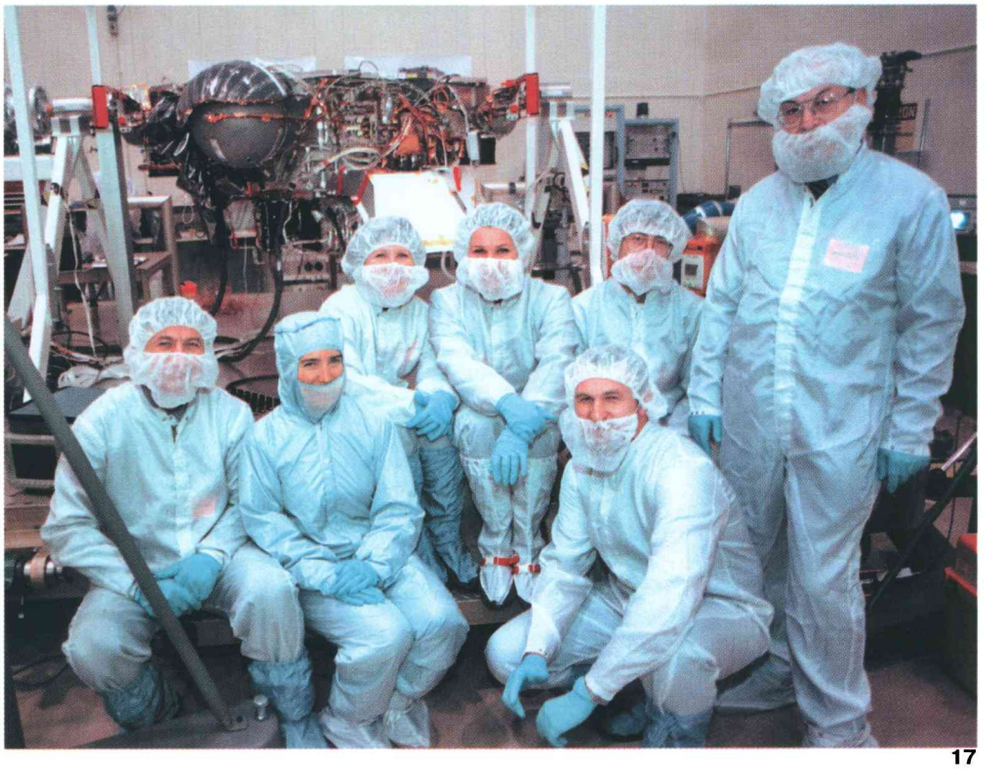
14. Спутник Марса – Фобос
The Martian moon – Phobos

15. Отработка марсохода на тарусском полигоне
Mars rover tests in Tarusa



16

16. Парад марсианских роверов в Калифорнии. В центре – марсоход (инженерная модель), изготовленный ТрансМаш и ИКИ РАН
Parade of Mars rovers in California. The Mars rover (an engineering model) manufactured by TransMash and IKI RAN (in the center)



17

17. Специалисты ИКИ вместе с американскими инженерами на сборке посадочного аппарата „Марс-Сервейор-98“
IKI specialists and U.S. engineers during integration of the Mars-Surveyor-98 landing probe

текст стр. 44

Отдел геофизики – физики космической плазмы

A department for geophysics and space plasma physics

1. Г.А.Скуридин вручает вице-президенту АН СССР В.А.Котельникову диплом академика Международной федерации астронавтики
G.A. Skuridin presents a diploma of the academician of the International Astronautics Federation to V.A. Kotelnikov, Vice-President of the USSR Academy of Sciences

2. 1958 г. Геофизическая станция по наблюдению свечения ночного неба и полярных сияний (г.Звенигород) – Ю.И.Гальперин, С.Чепмен, В.И.Красовский
1958. Geophysical station for the observation of airglow and aurora (Zvenigorod, Moscow region) – Yu.I. Galperin, S. Chepman, V.I. Krassovsky

3. Подготовка к работе установки моделирования плазменных процессов в космосе
A unit for simulating plasma processes in space. Preparation for work

4 (а и б). Испытания научной аппаратуры проекта АРКАД
Payload for the ARCAD mission undergoes tests



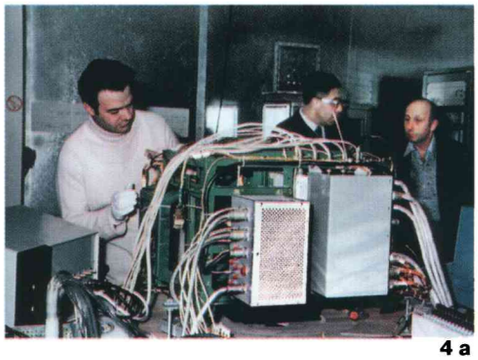
1



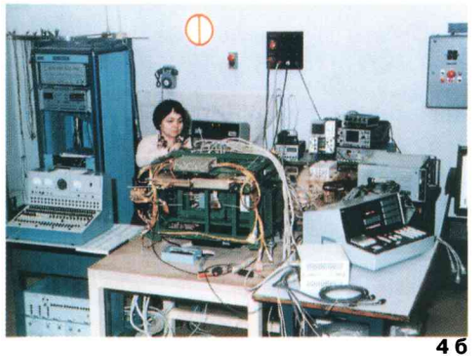
2



3

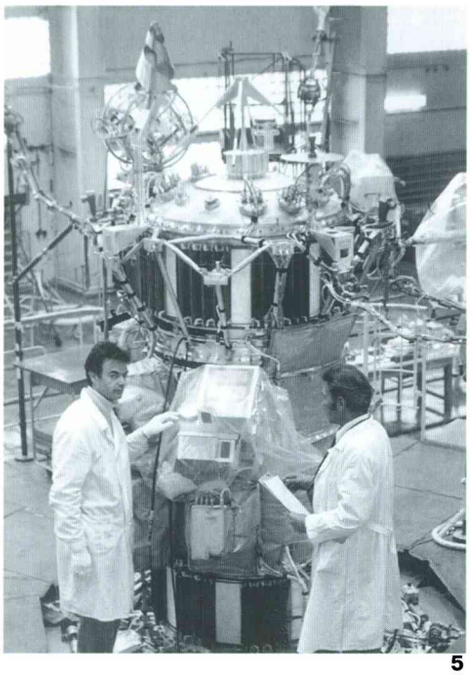


4 а



4 б

texts see page 53



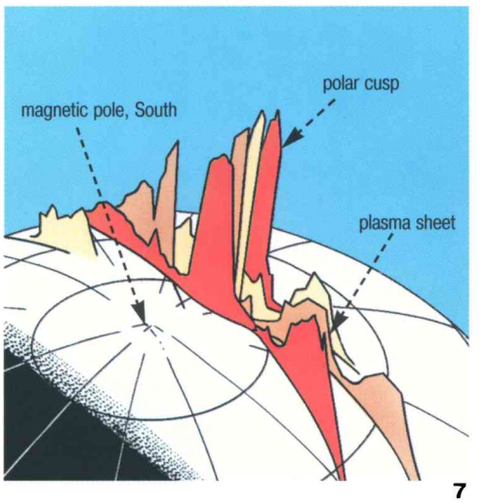
5



6

5. Испытания спутника „Ореол“ на космодроме
AUREOL satellite tests at cosmodrome

6. Прием в мэрии г. Тулуза участников симпозиума по проекту АРКАД-3
Reception at the Toulouse City Hall for the participants of the Symposium dedicated to the ARCAD-3 mission



7

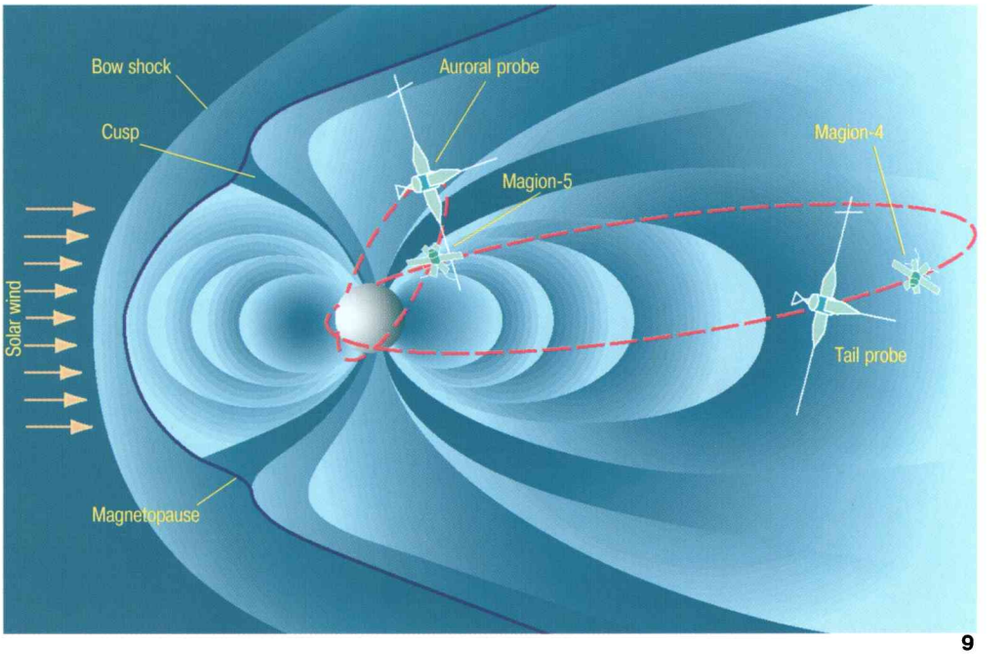


8

7. Профили высыпания частиц, полученные в нескольких последовательных прохождениях спутника „Ореол“ через район полярного каспа
Profiles of the particles precipitation obtained during several successive AUREOL spacecraft orbits above the polar cusp

8. „Интеркосмос-19“. Советские и болгарские специалисты проводят автономную проверку научной аппаратуры
Intercosmos-19. Soviet and Bulgarian specialists conduct autonomous checkout of the payload.

9. Орбиты спутников системы „Интербол“
Orbits of the Interball system satellites

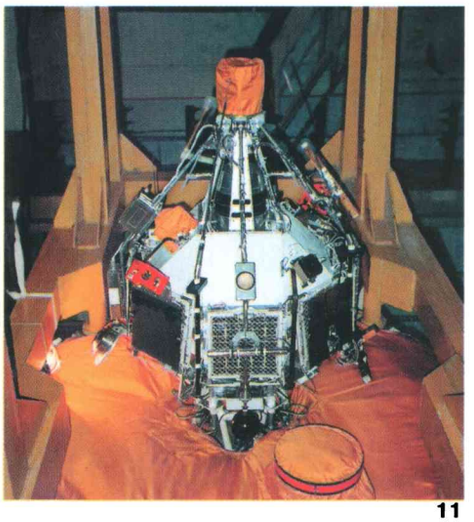


9

текст стр. 53



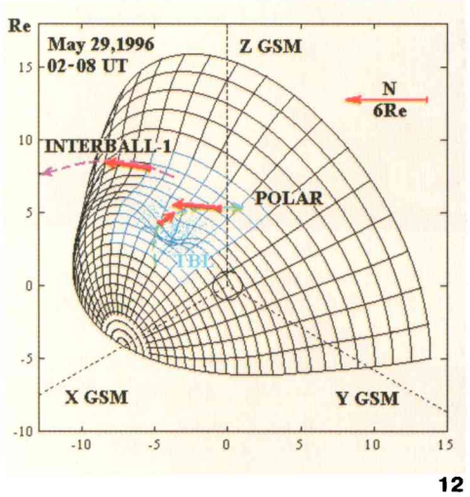
10



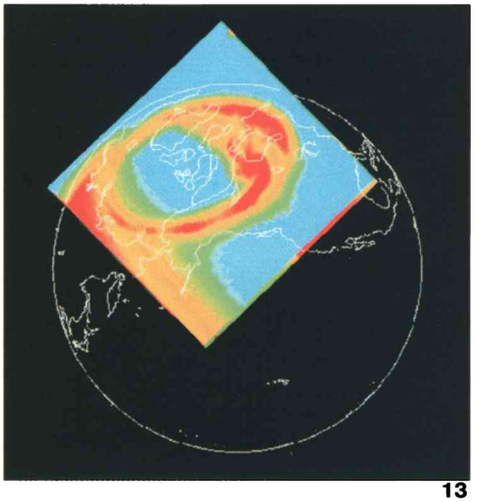
11

10. 1979 г., ИКИ. Участники международного симпозиума „Солнечный ветер – результаты прямых и радиоастрономических наблюдений“
1979. IKI. Participants of the international symposium „Solar wind – results of direct and radio astronomical observations“.

11. Спутник „Магион-4“
Magion-4 satellite



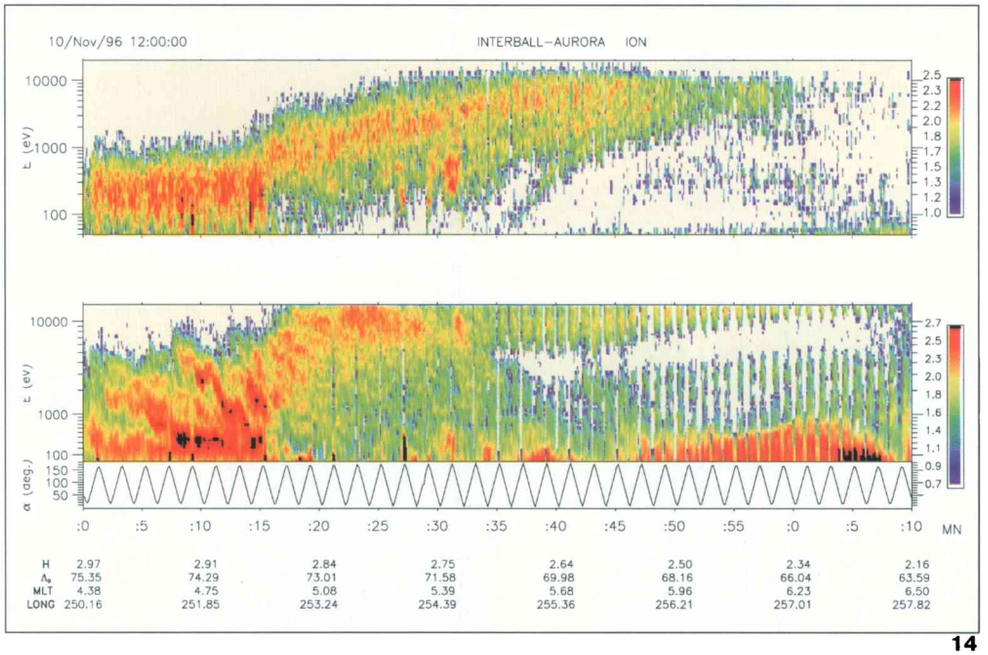
12



13

12. Пересечение магнитопаузы спутниками „Интербол-1“ и „Полар“
Interball-1 and Polar satellites cross the magnetopause

13. Наблюдения динамики овала полярных сияний в период возмущения магнитосферы (российско-канадский эксперимент UVAI)
Observation of the auroral oval dynamics during disturbances of the magnetosphere: Russian-Canadian experiment UVAI.



14

14. Энерговременная спектрограмма потоков электронов (вверху) и ионов (внизу), выходящих из ионосферы. Шкала интенсивности потоков приведена справа. Измерения проводились прибором ИОН, установленным на КА „Авроральный зонд“
Energy-time spectrogram for the electron fluxes (top) and ion fluxes (bottom) escaping from the ionosphere. The flux intensity scale is given to the right. The measurements were performed by the ION instrument mounted on the Auroral probe.

texts see page 53

Отдел космической газовой динамики

Department for Space Gas Dynamics

1. Академик Г.И. Петров.
Academician G.I. Petrov

2. Коллектив отдела, 1982 год
Staff of the department for space gas dynamics, 1982

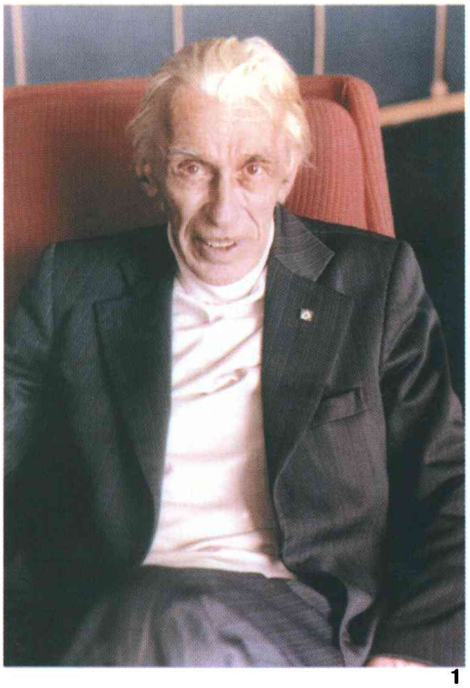
3. Делегация ИКИ в Берлине. В центре Г.И. Петров, Г.А. Скуридин – справа, С.Н. Карманов – слева во втором ряду
IKI delegation in Berlin. G.I. Petrov (in the center), G.A. Skuridin (right to him), S.N. Karmanov (left in the second raw)

4. Всесоюзная геофизическая конференция (Байкал, бухта Песчаная, август 1967 г.) Слева направо В.Б.Леонас, В.Б.Баранов, М.Я.Маров.
All-Union Geophysical Conference (Baikal, Peschanaya Bay, August 1967), left to right - V.B. Leonas, V.B. Baranov and M.Ya. Marov

5. Первая Всесоюзная конференция по теории плазмы (Киев, 1971 г.). Р.З.Сагдеев – третий справа, В.Б.Баранов – крайний слева.
The First All-Union Conference on the Plasma Theory (Kiev, 1971). R.Z. Sagdeev (third from the right), V.B.Baranov (left)



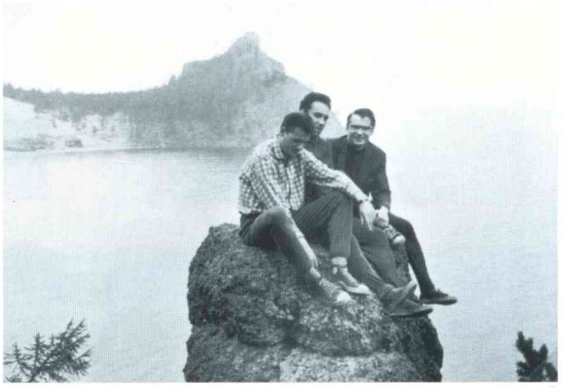
2



1



3



4



5

текст стр. 68

Отдел космической миллиметровой и субмиллиметровой астрономии и инфракрасной техники

Department for Applied Millimeter and Submillimeter Space Astronomy and Infrared Technology

1. Техническое совещание по проекту „Реликт-1“ (слева направо: В.В.Корогод, Б.З.Каневский, А.С.Косов, И.А.Струков, В.Э.Бекер
Discussion of engineering problems of the Relict-1 mission (left to right: V.V. Korogorod, B.Z. Kanevsky, A.S. Kosov, I.A. Strukov and V.E. Becker)

2. Подписание соглашения о сотрудничестве (И.А.Струков(слева) и Л.Кэрофф)
Cooperation agreement signing (I.A. Struckov (left) and L.Caroff)

3. Приятное с полезным. Деловые переговоры в круизе на теплоходе
Combining business with pleasure. Business talks onboard a river cruiser

4. Аппаратура „Реликт-1“
Relict-1 instruments

5. Карта неба, полученная в диапазоне 8 мм в эксперименте „Реликт-1“
Map of the celestial sphere obtained in the waveband of 8 mm (Relict-1 mission)

6. Орбита спутника „Реликт-2“
Relict-2 satellite orbit

7. Общий вид космического аппарата НИКА-И с телескопом ИКОН
NIKA-I spacecraft with the ICON telescope. General appearance



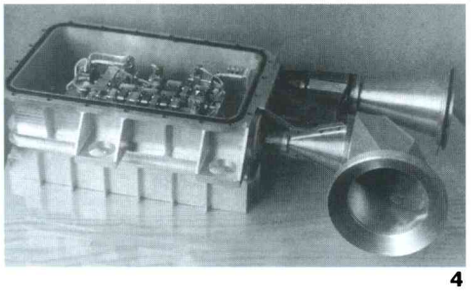
1



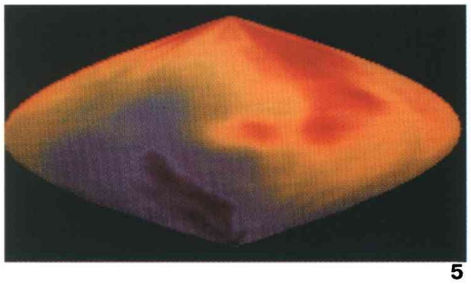
2



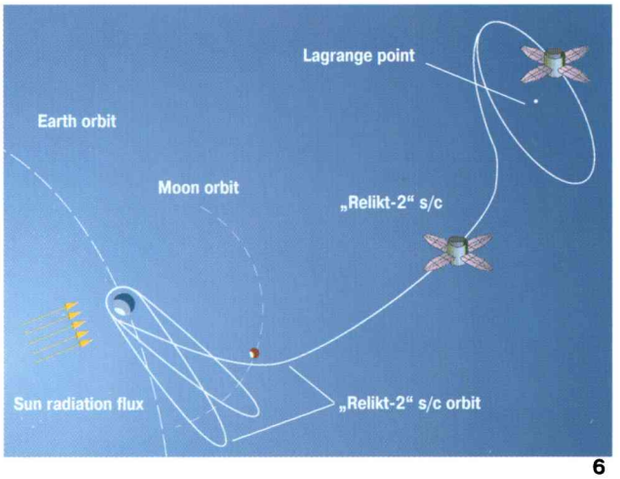
3



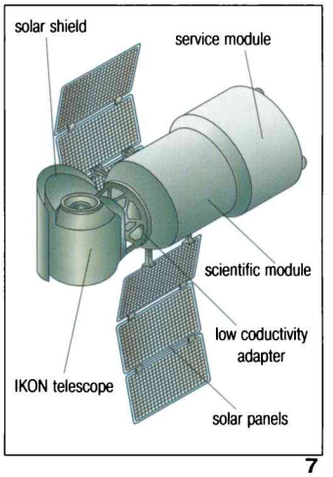
4



5



6



7

texts see page 73

Отдел оптико-физических измерений

Department for Optico-Physical Measurements

1. Г.А.Аванесов дает интервью в Германии по работе самолетной лаборатории
G.A. Avanesov gives an interview in Germany on the aircraft lab operation

2. Пресс-конференция по итогам летно-конструкторских испытаний МКФ-6 (справа налево: Х.Фишер – директор ИКИ АН ГДР, К.Мюллер – главный конструктор МКФ-6, Р.З.Сагдеев, Ю.К.Ходарев, Я.Л.Зиман)
Press-conference at IKI devoted to the MKF-6 flight test completion (right to left: H. Fisher – director of IKI GDR, K. Muller – MKF-6 chief designer, R.Z. Sagdeev, Yu.K. Khodarev, Ya.L. Ziman)

3. Ю.М.Чесноков (справа) готовит экипажи космического корабля „Союз-22“ к работе с камерой МКФ-6
Yu.M. Chesnokov (right) is training the Soyuz-22 spaceship crews to handle with the MKF-6 camera

4. На рабочей встрече в Йене (Германия) обсуждаются результаты совместной разработки системы „Астро“ для орбитального комплекса „Мир“
The results of joint development of the Astro system for the Mir orbital station are discussed at the meeting in Jena (Germany)

5. Многозональный космический фотоаппарат МКФ-6, разработаный немецкими и российскими специалистами
Multiband space photo camera MKF-6 developed by German and Russian specialists



1



2



3

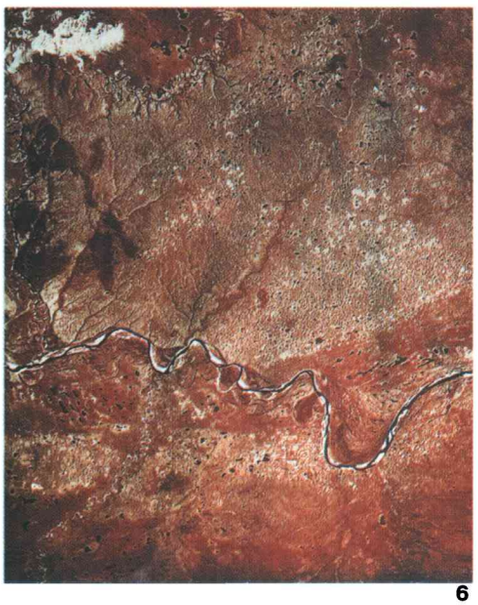


4

текст стр.81



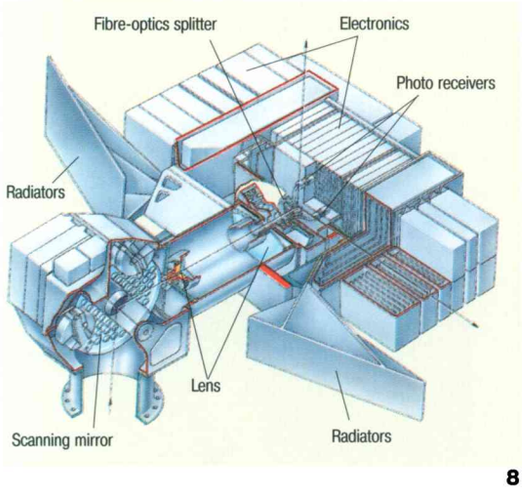
5



6



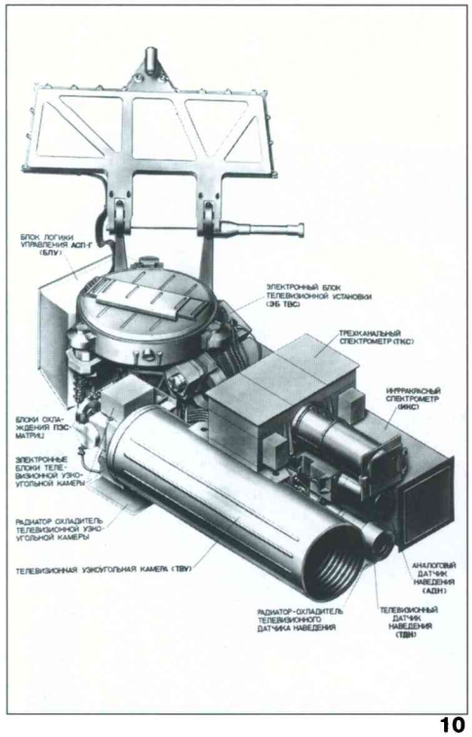
7



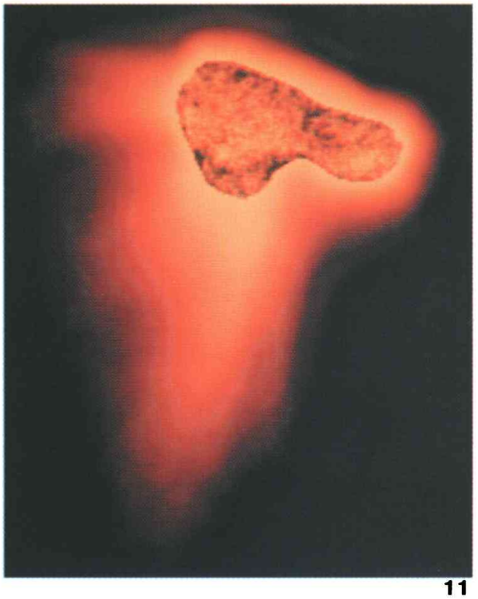
8



9



10



11

6. Цветное синтезированное изображение реки Вилюй, полученное МКФ-6 с космического корабля „Союз-22“
Color synthesis of the Vilyui river image obtained by the MKF-6 camera from the Soyuz-22 spaceship

7. Анализ панорам лунной поверхности, (слева направо: Ю.И. Фивенский, Б.Н.Родионов, Б.С.Дунаев)
Processing of the Lunar surface panoramas (left to right: Yu.I. Fivensky, B.N. Rodionov and B.S. Dunaev)

8. Схема цифровой многоспектральной сканирующей системы „Фрагмент“
Design of the digital multispectral scanner Fragment

9. Цветное синтезированное изображение дельты Дуная, полученное сканирующей системой „Фрагмент“ с разрешением 80 м с КА „Метеор-Природа“
Color synthesis of the Danube delta image obtained by the Fragment system (Meteor-Priroda spacecraft) with a resolution of 80 m

10. Автоматическая следящая поворотная платформа межпланетной станции ВЕГА с комплексом видеоспектрометрической аппаратуры
Automated tracking rotating platform with the spectrometric imaging instrumentation of the interplanetary station VEGA

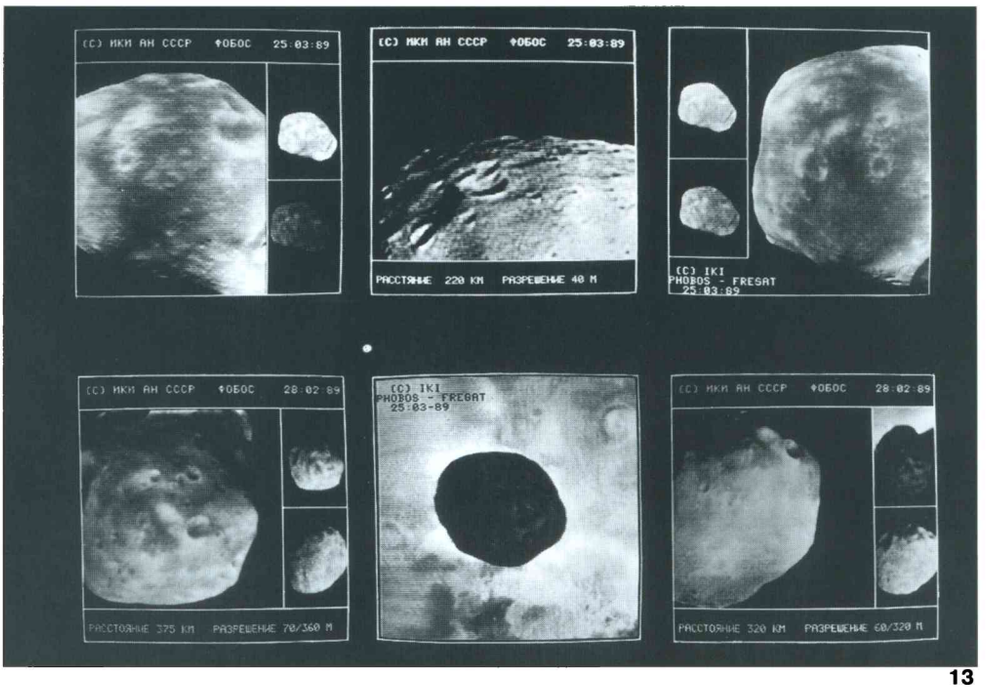
11. Телевизионное изображение ядра кометы Галлея, полученное с ВЕГА-2
TV image of the Halley's comet nucleus obtained from the VEGA-2 station

texts see page 81



12

12. Г.А.Аванесов (справа) и Л.М.Мухин – ветераны ИКИ
G.A. Avanesov (right) and L.M. Mukhin – IKI veterans



13

13. Серия снимков Фобоса, переданных с межпланетной станции „Фобос-2". Внизу в центре – Фобос на фоне Марса
Series of Phobos images transmitted from the Phobos-2 interplanetary station. Below in the center - Phobos against the background of Mars

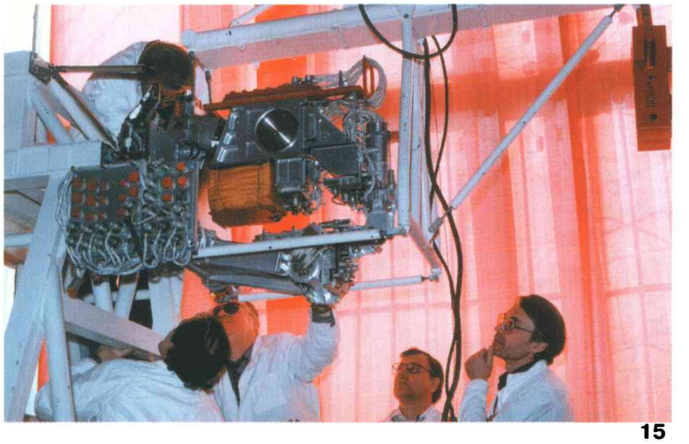


14

14. Представители ИКИ и ВНИИТрансМаш подводят итоги работ по платформенному комплексу „Аргус" проекта „Марс-96" (слева направо: Г.А.Пейсахович, Г.А.Аванесов, П.М.Астафуров, А.А.Галеев)
IKI and VNIITransMash representatives discuss the completion of work on the Argus complex of the Mars-96 mission (left to right: G.A. Peisakhovich, G.A. Avanesov, P.M. Astafurov, A.A. Galeev)

15. Комплекс „Аргус" проходит предполетные испытания на стенде обезвешивания
Argus complex preflight tests on the weightlessness bench

16. В. Панферов готовит термовакуумные испытания звездного координатора БОКЗ
V. Panfiorov prepares star tracker BOKZ for therovacuum tests



15



16

текст стр.81



17



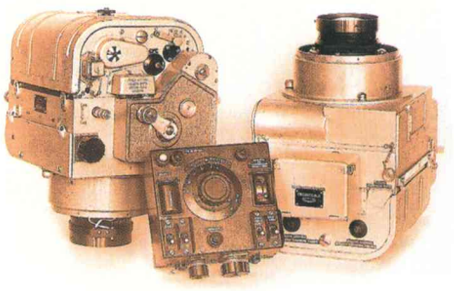
18



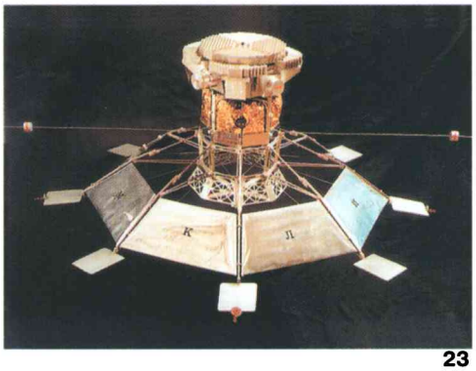
19



20



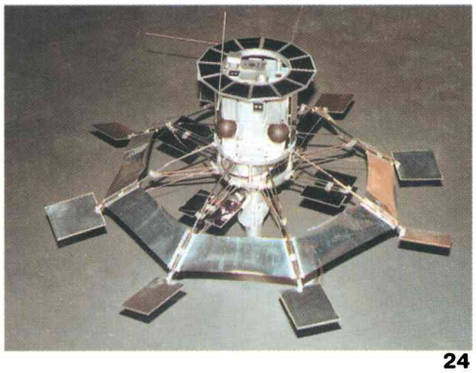
21



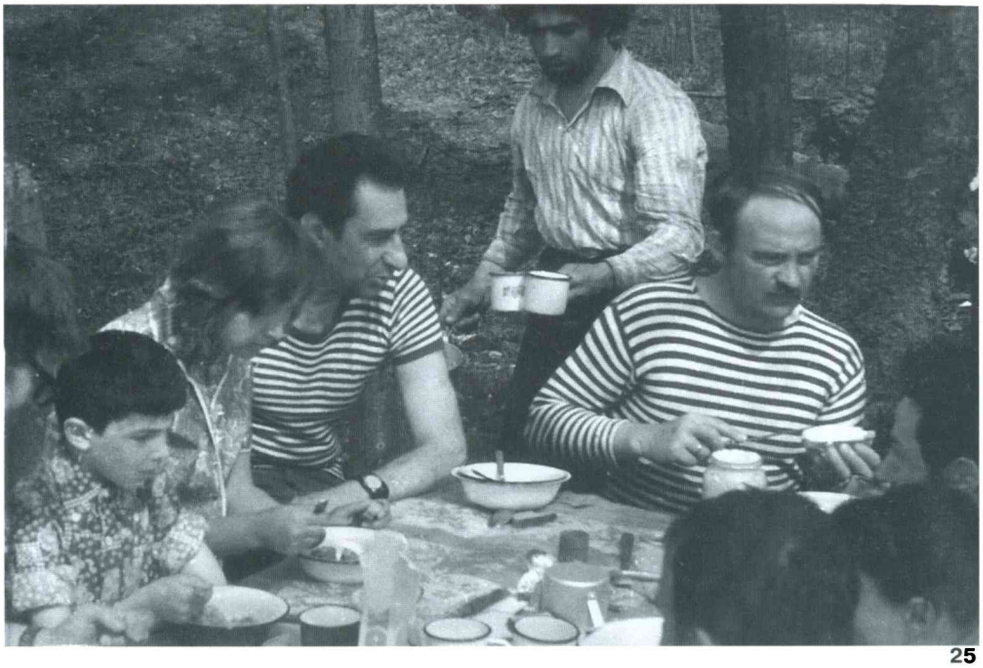
23



22



24



25

17. Звездный координатор БОКЗ
Star reference unit BOKZ

18. БОКЗ-М
BOKZ-M

19. Астроизмерительная система АИС
Astromeasuring system AIS

20. Комплект звездных координаторов БОКЗ для Международной космической станции
A set of BOKZ star coordinators for the International Space Station

21. Фотокамеры орбитальной станции „Салют“, созданные в ИКИ для съемок звезд и земной поверхности
Photo cameras of the Salyut orbital station developed at IKI for imaging stars and the Earth's surface

22. 8-е Марта в отделе. И так каждый год
Annual celebration of the 8th of March at the department

23-24. Инженерные модели малых КА „Регата“, предназначенных для патрулирования солнечной активности и плазмофизических исследований
Engineering models of the small spacecraft Regatta developed for the solar activity patrol and plasmaphysical studies

25. Вместе на работе, вместе на отдыхе
Together at work, together on holiday

texts see page 81

Отдел прикладной космической физики – исследований Земли как экологической системы

Department for Applied Space Physics – Space Research of Earth as an Ecological System

1. В.С.Эткин
   V.S. Etkin

2. Коллектив отдела, 1991 г.
   The department staff, 1991

3. Коллектив отдела, 1999 г.
   Department staff, 1999

4. Самолет-лаборатория АН-12
   Aircraft lab AN-12

5. Научный состав самолета-лаборатории на отдыхе
   Research team of the flying laboratory on holiday

6 Подготовка научной аппаратуры к лабораторным экспериментам
   Scientific instrumentation preparation for laboratory experiments

7. „Алмаз-1“
   Almaz-1

8 На семинаре отдела, выступает С.Н.Родионов
   At the department's seminar. S.N. Rodinov is making presentation



1



2

текст стр.90



3



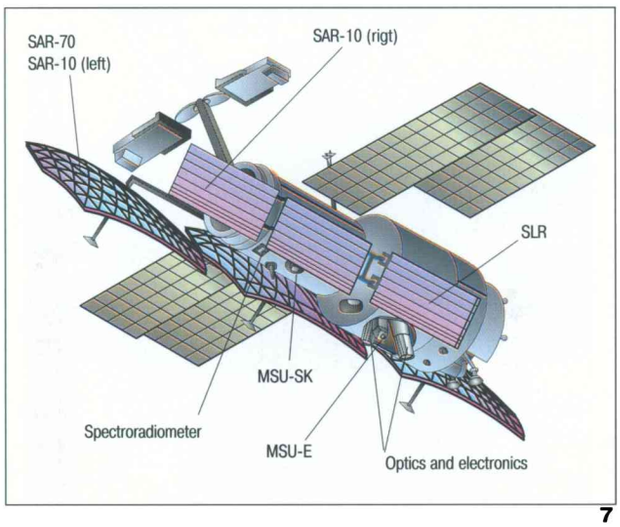
4



5



6



7



8

texts see page 90

Отдел космогеофизики

CosmoGeophysics Department

1. Члены научно-технического совета отдела
Department's scientific council

2. Н.С.Ерохин и С.С.Моисеев
N.S. Erokhin and S.S. Moiseev

3. Бортовой лидар для проекта „Mars Surveyor"
Onboard lidar for the Mars Surveyor mission

4. Зам.зав.отделом Н.К.Смирнов (слева) и ведущий специалист В.М.Веселов
N.K. Smirnov, deputy head of the department (left), and V.M. Veselov, a leading expert

5. Сотрудники отдела в лаборатории лазерных методов мониторинга
The department's scientists at the laboratory for laser monitoring



1



2



3



4



5

текст стр. 97

Лаборатория методов дистанционного зондирования

Laboratory for Remote Sensing Techniques

1. Сотрудники лаборатории перед экспедицией, 1959 г.
The laboratory staff before expedition, 1959

2. А.К.Городецкий на борту самолета-лаборатории ИЛ-14
A.K. Gorodetskiy onboard the IL-14 aircraft-lab

3. В эру ламповых усилителей Е.М.Козлов проводит настройку стокс-поляриметра
Ye.M. Kozlov adjusts the Stocks-polarimeter at the era of the lamp amplifiers

4 Многоканальный спектрофотометр МКС-М
multiband spectrophotometer MKS-M

5. Модуль „Природа“ с аппаратурой дистанционного зондирования
Priroda module with the remote sensing instruments

6. Аппаратура МОЗ-ОБЗОР для модуля „Природа“ станции „Мир“
MOZ-OBZOR instrument for the Priroda module of the orbital station Mir



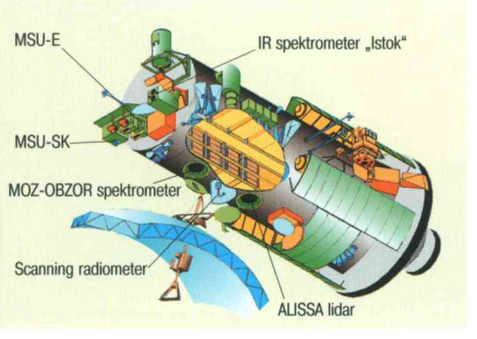
1



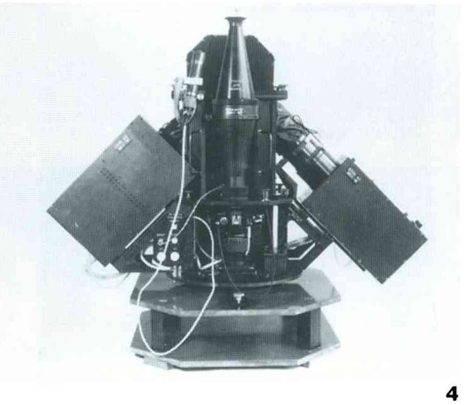
2



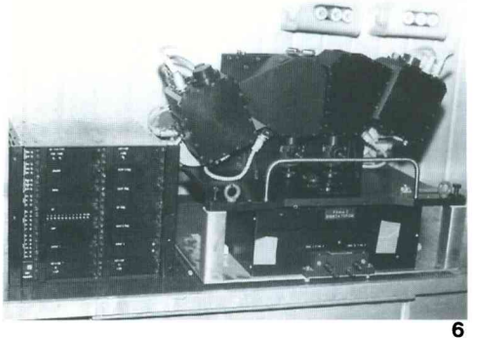
3



5



4



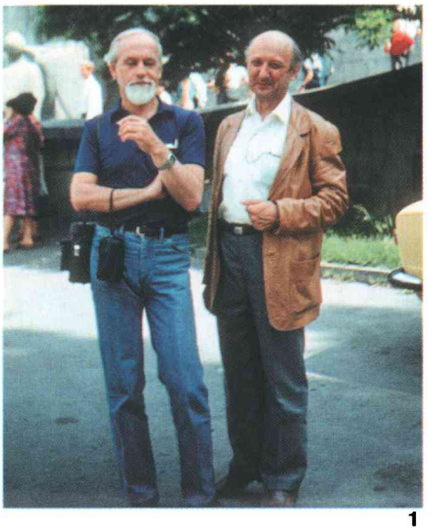
6

texts see page 103

Лаборатория сверхдальней радиоинтерферометрии

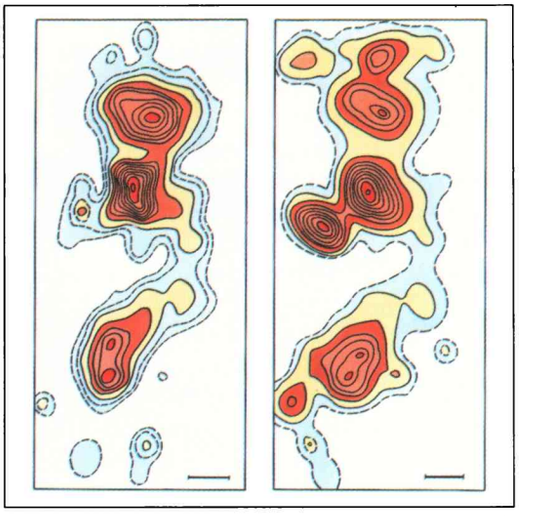
Laboratory for Very-Long-Baseline Radio Interferometry

1 Л.И.Матвеенко и И.И.К.Паулини-Тос (Институт радиоастрономии им.Макса Планка, Германия)
L.I. Matveyenko and I.I.K Paulini-Toth, Max Planck-Institut for Radioastronomy



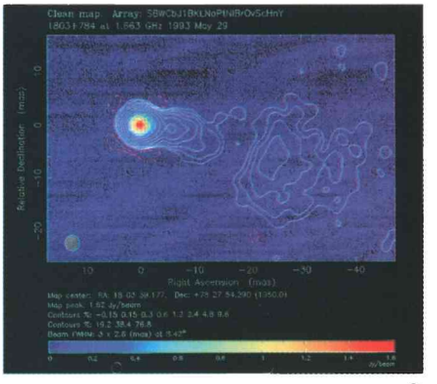
1

2. Первые радиокарты ядра сейфертовской галактики NGC-1275 на длинах волн 2,8 и 1,35 см. Переход к более коротким волнам позволил выявить более тонкую структуру ядра источника
First radio maps of the NGC-1275 seifert galaxy's nucleus at 2.8 and 1.35 cm. A shift to shorter waves allowed to reveal a fine structure of the nucleus



2

3. Изображение квазара 1803+704 получено на глобальной радиоинтерферометрической сети с участием 70-метровой антенны в Евпатории, 64-метровой в Медвежьих озерах и 22-метровых в Пущино и Симеизе
1803+704 quasar. The image was obtained by the global radio interferometric network integrating the 70 m antenna at Evpatoria, 64 m antenna at Medvezhii Ozera and two 22 m antennas at Pushchino and Simeiz

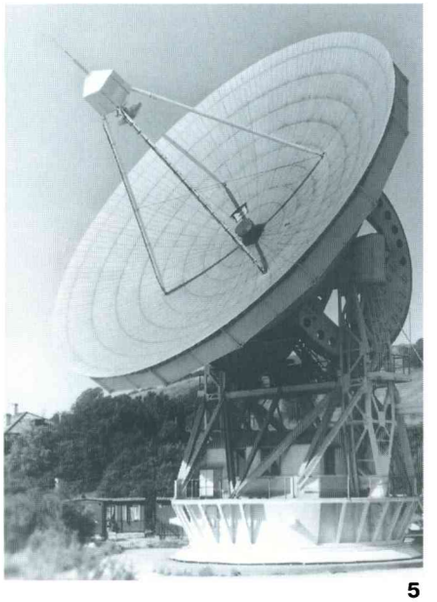


3



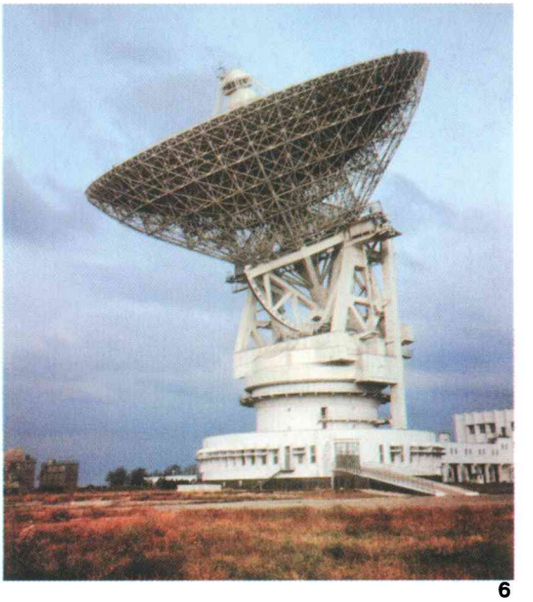
4

4. Структура области супермазерного H_2O-излучения в туманности Ориона. Цепочка ярких источников соответствует протопланетным кольцам, наблюдаемым с ребра
Structure of the H_2O supermaser radiation region in the Orion nebula. A chain of bright sources corresponds to protoplanetary rings observed from the edge



5

5. Антенна РТ-22 в Симеизе (Крым)
RT-22 antenna in Simeiz (Crimea)



6

6. 70-м антенна в Центре дальней космической связи (Евпатория)
70 m antenna at the Deep Space Communications Center (Evpatoria)

текст стр.107

Лаборатория спектрометрии космического гамма-излучения

Laboratory for Cosmic Gamma-Ray Spectrometry

1. Клод Бара (Франция) и И.Г. Митрофанов обсуждают данные прибора ВГС, полученные с космического аппарата „Фобос-2“ на марсианской орбите
Claude Barat (France) and I.G. Mitrofanov are discussing the VGS data received from the Phobos-2 spacecraft orbiting Mars

2. Участники эксперимента ПГС на совещании в НАСА
PGS experiment participants at meeting in NASA

3. Испытания прибора ПГС для проекта „Марс-96“ (США, Лос-Аламос)
Tests of the PGS instrument for the Mars-96 mission (USA, Los Alamos)

4. Байконур. Проект „Марс-96“. Космический аппарат пристыкован к ракете-носителю
Baikonur. Mars-96 mission. The spacecraft has been integrated with the launch vehicle



1



2



3



4

texts see page 112

Лаборатория активной диагностики

Laboratory for Active Diagnostics

1. Г.Г.Манагадзе и Е.Н.Евланов на испытаниях комплекса ДИОН
G.G. Managadze and Ye.N. Yevlanov during the DION complex tests

2. Команды ИКИ (справа) и ИПГ (слева) на полигоне Капустин Яр (эксперимент „Вертикаль“)
IKI (right) and IPG (left) teams at the Kapustin Yar proving range (the Vertikal experiment)

3. К.И.Грингауз, Г.Г.Манагадзе и С.Б.Ляхов в гостях у В.Риллера в Граце (Австрия)
K.I. Gringauz, G.G. Managadze and S.B. Lyakhov at V. Ridler's in Graz (Austria)

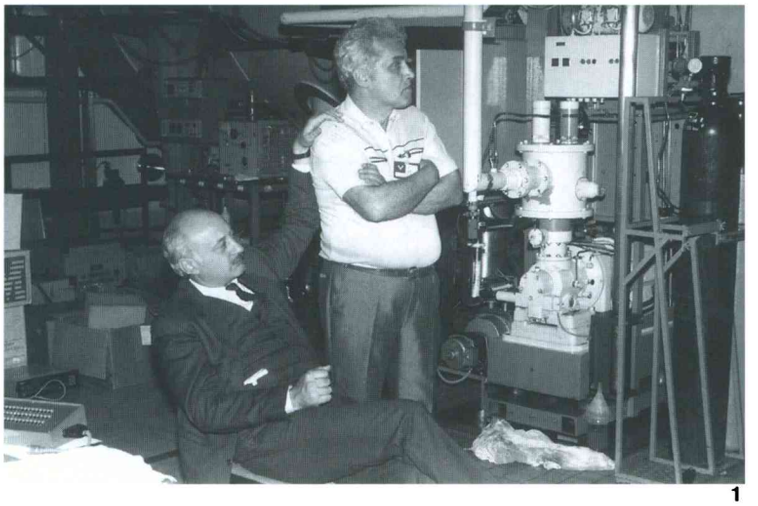
4. Бортовой фольговый масс-рефлектор МТОФ
Onboard foil mass-reflector MTOF

5. Магнитосферная конфигурация проекта „Аракс“
The Araks project magnetosphere configuration

6. Наземный комплекс к наблюдению искусственных полярных сияний готов
Ground-based facilities a ready for the artificial aurora observation

7. Ракета „Эридан“ готова к старту с о. Кергелен
The Eridan rocket is ready for the blast-off (the Kergelen Island)

8. Комплекс ЛИМА-Д
LIMA-D complex



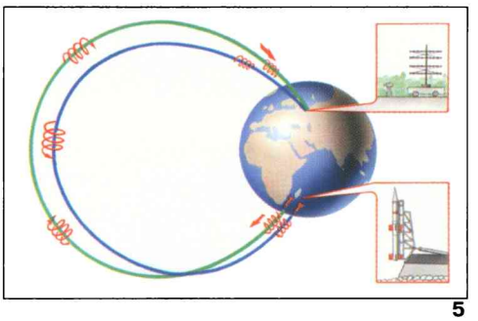
1



2



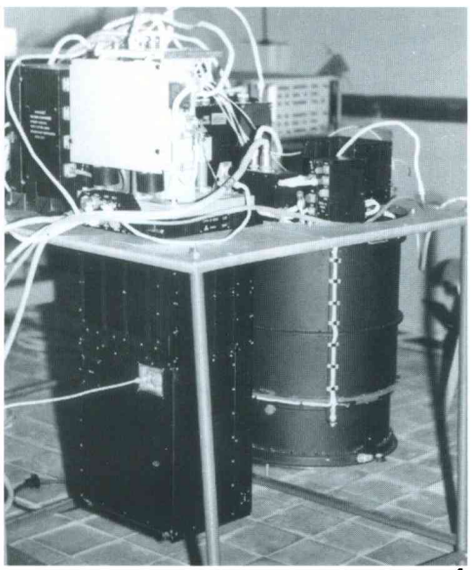
3



5



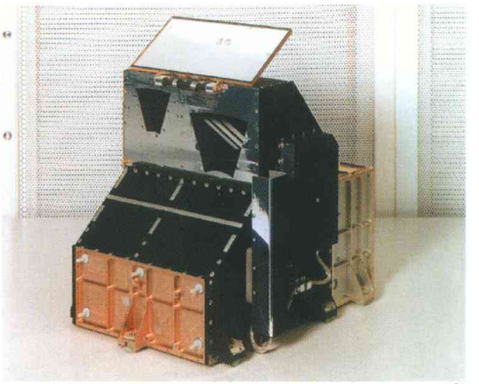
6



4



7



8

текст стр.117

Отдел космической динамики и математической обработки информации

Department for Space Dynamics and Mathematical Data Processing

1. Ветераны отдела обработки научной информации
Veterans of the department for scientific data processing

2. П.Е.Эльясберг
P.Ye. Eliasberg

3. В.М.Покрас
V.M. Pokras

4. Р.З.Сагдеев знакомит гостей института с работой Центра обработки научной информации
R.Z. Sagdeev introduces the Center for scientific data processing to the guests

5-6. Ввод в действие ЭВМ серии ЕС в ИКИ, 1973 г.
ES series computer start-up at IKI, 1973



1



2



3



4



5



6

texts see page 123



7



8



9



10

7. Обсуждение с французскими специалистами вопросов обработки информации с дальних космических аппаратов
Discussion with the French specialists of the problems of data processing for deep space spacecraft

8. Франция. Рабочая группа
France. Working group

9. Проект ВЕГА. Заседание научного совета
VEGA mission. Scientific council meeting

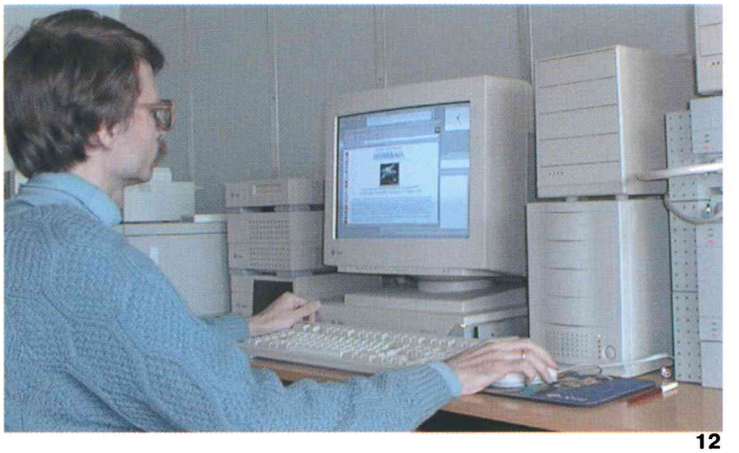
10. Обсуждение проблем обработки навигационных данных с французскими и американскими специалистами
Discussion of navigation processing problems with the French and U.S. specialists

11. Н.Г.Хавенсон – ведущий специалист отдела по баллистическому обеспечению
N.G. Khavenson – the department's leading specialist for ballistic support

12. М.Н.Боярский – ведущий специалист сети Интернет
M.N. Boyarsky - a leading expert for Internet



11



12

текст стр.136

Лаборатория разработки и эксплуатации информационных систем

Laboratory for Development and Maintenance of Information Systems

1. Работы во время сеанса приема научной телеметрической информации
During a telemetry session

2. Подготовка к сеансу управления комплексом научной аппаратуры проекта „Интербол“
Preparation for a session of controlling the Interball payload

3. Конфигурация средств системы экспресс-обработки проекта „Активный“ (1989 г.)
Architecture of the express-processing system for the Active mission, 1989

4. Программа управления комплексом научной аппаратуры
An example of the program for controlling the scientific instruments

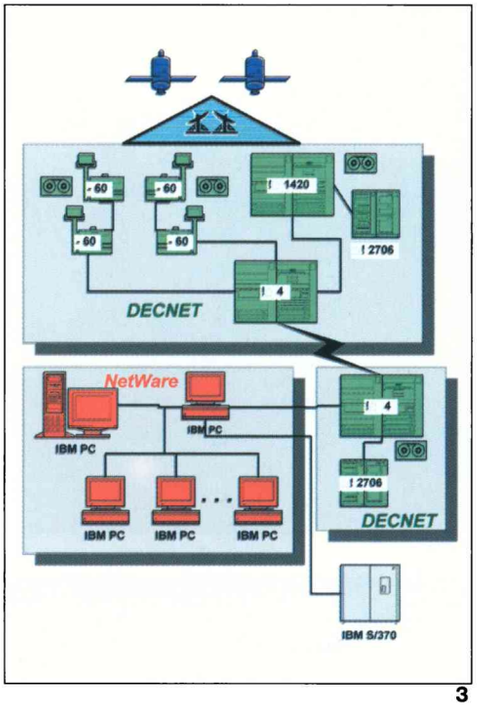
5. Настройка системы компьютерной видео-конференц связи
Adjustment of the computer video-teleconferencing system

6. Рабочее совещание (крайний слева — В.Н.Назаров)
Discussion at the laboratory (left: V.N. Nazarov)

7. Пример работы базы данных по зарубежным компаниям космической отрасли
An example of the database for the foreign space-oriented companies


1

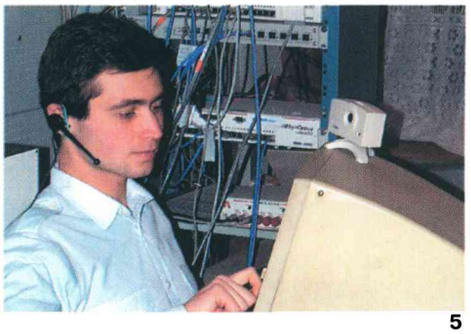

2



3



4


5


6



7

texts see page 136

Комплексно-проектный отдел

Department for Integrated Design Support

1. В.Г.Родин и О.Ф.Прилуцкий
V.G. Rodin and O.F. Prilutsky

2. Сотрудники комплексно-проектного отдела с главным инженером ИКИ В.В.Высоцким
Staff of the department for integrated design support and the IKI chief engineer V.V. Vysotsky

3. Космодром Байконур (слева направо: В.Г.Родин, А.А.Галеев, А.К.Недайвода, Г.М.Тамкович
Baikonur (left to right: V.G.Rodin, A.A.Galeev, A.K.Nedaivoda and G.M.Tamkovich)

4. В Институте Макса Планка (ФРГ) у рентгеновского телескопа, первым „увидевшего" Сверхновую
At the Max-Planck-Institut (FRG) near the X-ray telescope which was the first to observe the Supernova

5. Подготовка гамма-телескопа к калибровке на ускорителе заряженных частиц
Gamma-telescope adjustment at the charged particle accelerator

6. За сутки до запуска гамма-телескопа
A day before the gamma-telescope launch



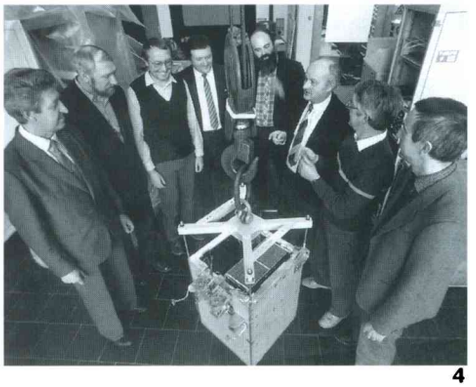
1



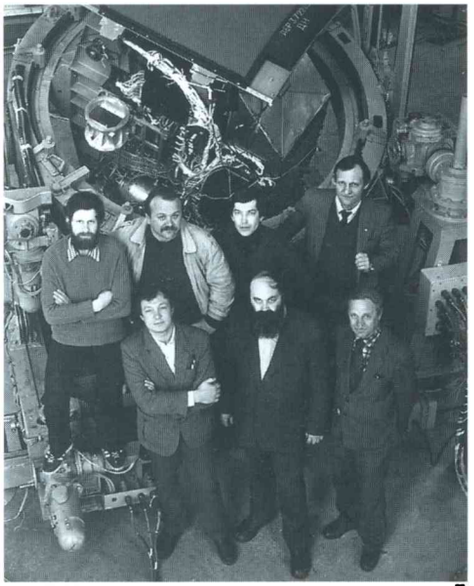
2



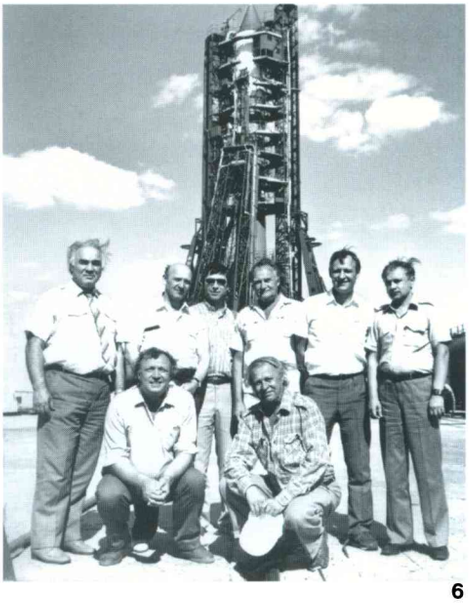
3



4



5



6

текст стр.141

Отдел научно-технического обеспечения

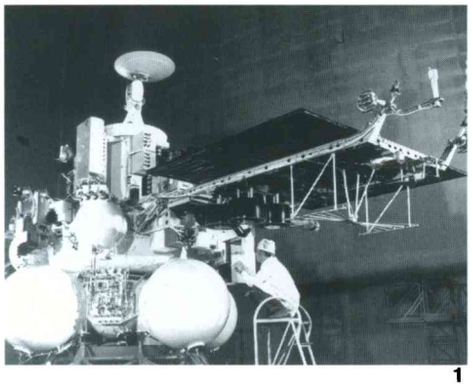
Department for Scientific-Engineering Support

1. Космический аппарат „Фобос-1“ Комплексные испытания
Phobos-1 spacecraft. Integration tests

2. Участники работы по проекту „Интершок“ на стартовой позиции Байконура
Intershock mission team at the Baikonur launch site

3. Е.М.Васильев, А.А.Галеев, А.М.Певзнер
Ye.M. Vasiliev, A.A. Galeev and A.M. Pevzner

4. Участники заключительных испытаний космического аппарата „Марс-96“
Participants of the Mars-96 spacecraft final tests



1



2



3



4

texts see page 144

Отдел бортовых программно-управляемых систем

Department for Onboard Program Controlled Systems

1. Коллектив отдела, 1982 г.
The department staff, 1982

2. Заключительные операции
Final operations

3. КА „Прогноз“ после завершения испытаний
Prognoz spacecraft after tests

4. Стенд платформы АСП-Г для проекта ВЕГА. Чехословакия, 1983 г.
ASP-G platform bench for the VEGA mission, Czech, 1983

5. Автономные испытания аппаратуры проекта „Астрон“
Autonomous tests of the Astron mission payload

6. Участники работ по проекту СРГ на технологическом стенде ИКИ
SRG mission participants at the IKI engineering bench

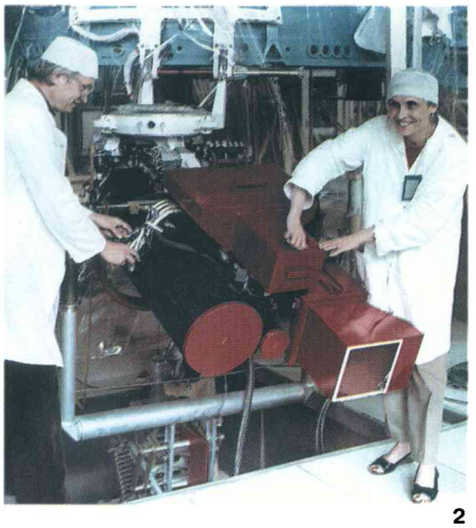
7. „АРКАД-3“ – автономные испытания
ARCAD-3 mission, autonomous tests

8. „Интербол-2“ пристыкован к ракете-носителю
Interball-2 has been integrated with the launcher

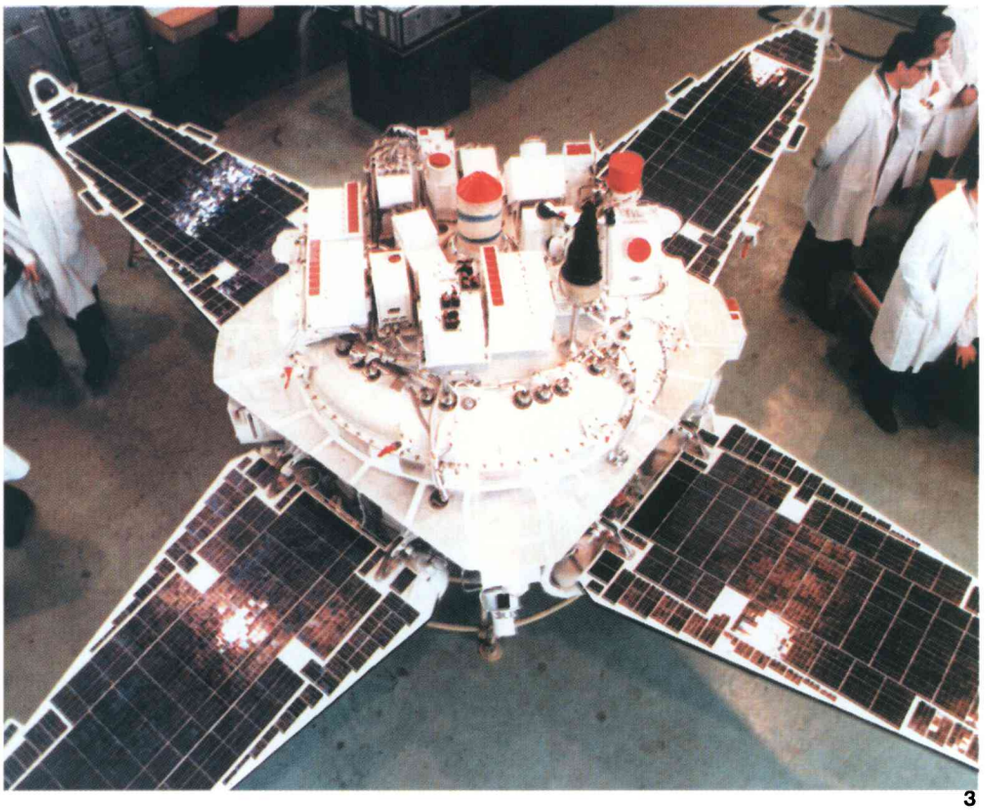
9. Автономные испытания технологических комплектов телескопов проекта СРГ
Autonomous tests of the engineering models of the SRG telescopes



1



2

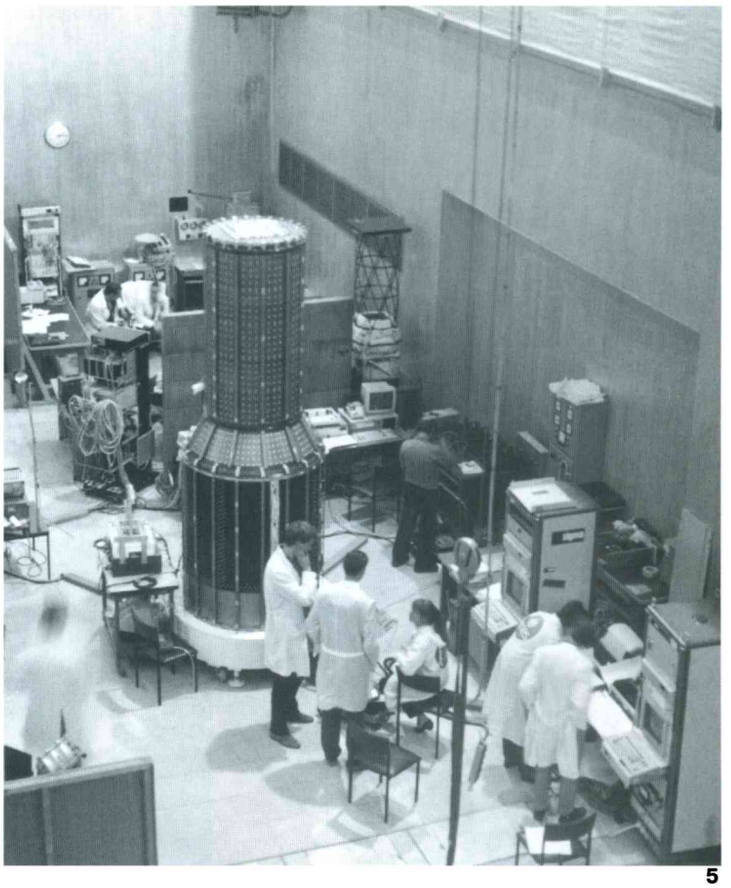


3

текст стр. 148



4



5



6



7



8



9

texts see page 148

Службы главного инженера

Chief Engineer's Services

1. А.Л.Родин — первый начальник КИС
A.L. Rodin, the first head of the verification station

2. В.В.Высоцкий, главный инженер ИКИ
V.V. Vysotsky, IKI chief engineer

3. В.Е.Марков, начальник КИС
V.Ye. Markov, the head of the verification station

4. Ю.Г.Брянкин, начальник опытного производства
Yu.G. Bryankin, head of the experimental production

5. В.Н.Худобин, начальник техотдела
V.N. Khudobin, head of the engineering department

6. Вибростенд
Vibration test bench

7. Зал климатических испытаний
Environmental test site

8. Зал вакуумных испытаний
Vacuum test site

9. Коллектив КИСа, 1980 г.
Staff of the verification station, 1980

10. Вакуумная камера с солнечным имитатором
Vacuum chamber with the Sun imitator

11. Пульт управления вакуумной камерой ТВУ-100Г
Control panel of the vacuum chamber TVU-100G

12. Стенд проверки на электромагнитную совместимость
Bench for the electromagnetic compatibility tests

13. Подготовка к термовакуумным испытаниям
Preparation for the vacuum tests


1


2


3


4


5


6

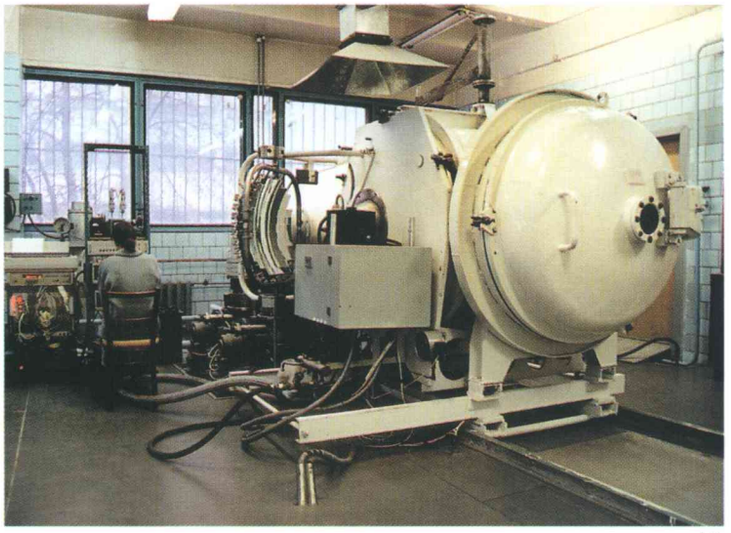

7


8

текст стр.153



9



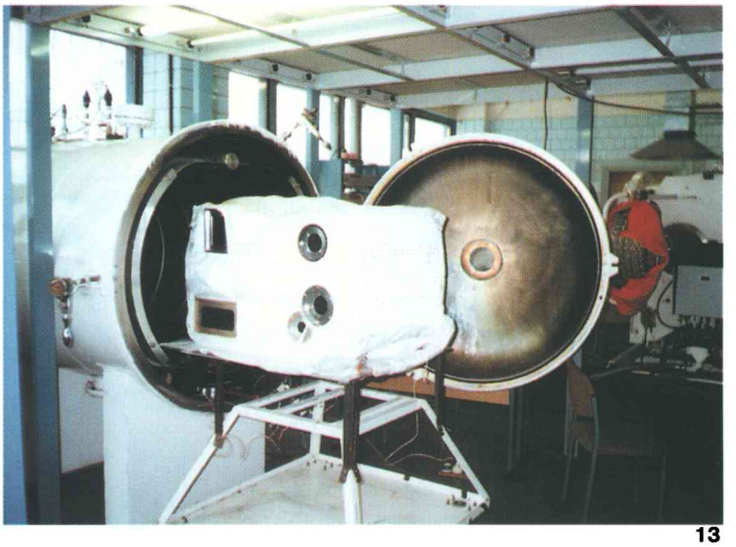
10



11



12



13

texts see page 153

Специальное конструкторское бюро космического приборостроения ИКИ РАН

Special Design Bureau for Space Device Engineering of the Space Research Institute (SKB KP IKI)

1. М.Б.Добриян, директор СКБ
   M.B. Dobriyan, SKB director

2. А.Н.Наумов,главный инженер
   A.N. Naumov, chief engineer

3. В.Н.Ангаров, заместитель директора по проектированию
   V.N.Angarov, deputy director for designing

4. В.И.Фукс, главный инженер СКБ (в период с 1987 по 1990 г)
   V.I.Fuks, SKB chief engineer (1987-1990)

5. Ведутся компоновочные работы на уменьшенном 1:4 макете микроспутника „Компас" (по заказу ИЗМИРАН)
   Compass micro-satellite layout for a reduced scale (1:4) mock-up (IZMIRAN is a customer)

6. Антенный комплекс ИКИ в г. Таруса для приема телеметрической информации со спутников
   IKI antenna facilities in Tarusa for telemetry reception from satellites

7. Инженерно-производственные корпуса СКБ КП в г. Таруса
   SKB KP. Design and production sites. Tarusa (Moscow region)

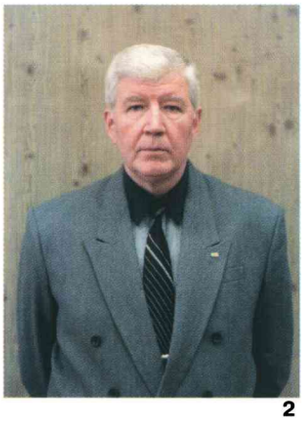
8. Гостиница ИКИ „Интеркосмос" в г. Таруса
   IKI Intercosmos Hotel. Tarusa

9. Разработчики бортовых источников вторичного электропитания БОКЗ проекта ЯМАЛ – Ф.А.Маслюков и В.В.Летуновский
   F.A. Maslyukov and V.V. Letunovsky – designers of the onboard secondary power supply units for the BOKZ star reference units, Yamal project

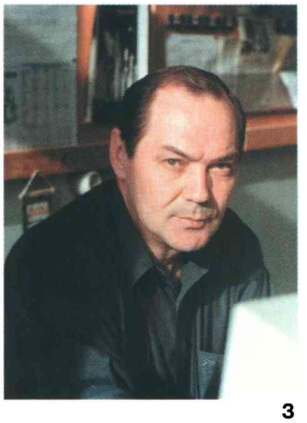
10. Монтажный участок
    Integration site



1



2



3



4



5



6

текст стр.158



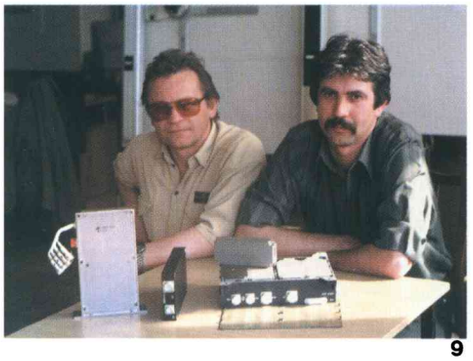
7



8



17



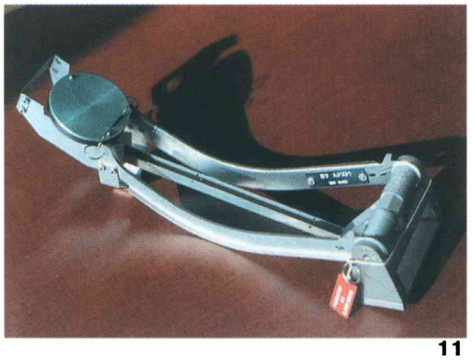
9



10

11. Выносное устройство для установки на поверхность Марса блока датчиков альфа-спектрометра с малой станции (посадочного аппарата) проекта „Марс-96“
Manipulator for positioning sensors of the α-spectrometer from the small station (landing probe) onto the Martian surface, Mars-96 mission

12. Испытательное оборудование КИС
Testing facilities of the verification station



11



12

13. Блок оптики многозонального спектрофотометра „СВЕТ“ для исследования поверхности Марса
Optics of the multispectral spectrophotometer SVET for the Martian surface studies

14. Блок фороптики и электроники сканирующего устройства „ОМЕГА“ для французского ИК-спектрометра проекта „Марс-96“
Foreoptics and electronics of the OMEGA scanner for the French IR-spectrometer, Mars-96 mission

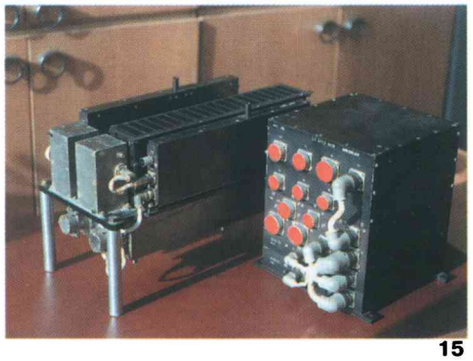


13



14

15. Анализатор рентгеновских излучений АРИЗ прошел трехгодичные ЛКИ с составе орбитального комплекса „Мир“
X-ray analyser ARIZ has passed three-year flight tests on the orbital station Mir



15



16

16. Группа ведущих разработчиков сектора специализированных вычислительных систем
Group of the leading designers of the sector for specialized computing systems

17. Исследовательский прибор АНОД для спутника „Авроральный зонд“ проекта „Интербол“
ANOD instrument for Auroral probe, Interball mission

texts see page 158

Особое конструкторское бюро ИКИ

IKI Special Design Bureau

1. Главный корпус ОКБ
OKB main building

2. Участок гибридных микросхем
Hybrid chip production site

3. Монтажный участок одного из цехов
Integration site of one of the works

4. Подготовка узла частного назначения в микроисполнении
Microchip manufacture

5-6. Подготовка аппаратуры к испытаниям в барокамере
Instrumentation preparation for tests in a pressure chamber

7. Источник вторичного электропитания ИВЭП-А3 в микроисполнении для аэростного зонда
Secondary power supply source IVEP-A3 for a balloon

8. Разработчики гамма-телескопа, 1981 г.
Gamma-telescope designers, 1981

9. Группа разработчиков АРТ-П у летного образца прибора
ART-P designers near to the instrument flight model

10. Юстировка АРТ-П
ART-P adjustment

11. Обсуждение ТЗ на комплекс гамма-телескопа „Скала“
Discussion of technical specifications for the gamma-telescope Skala

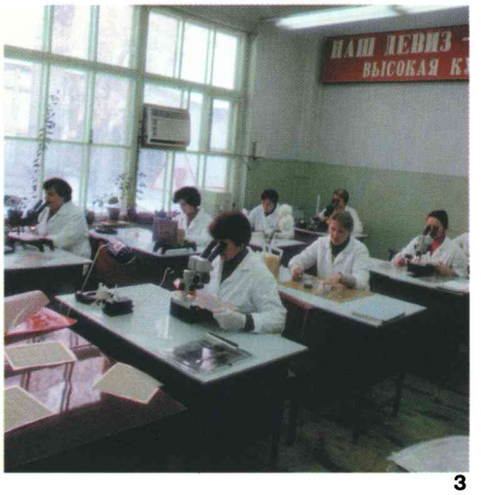
12. Президент АН СССР А.П.Александров знакомится с работой ОКБ
President of the USSR Academy of Sciences A.P. Alexandrov at OKB

13. Рабочий момент
During the work

14. Разработчикам приборов для космоса приходится осваивать новые технологические процессы
Designers of space instrumentation had to adopt new technologies


1


2



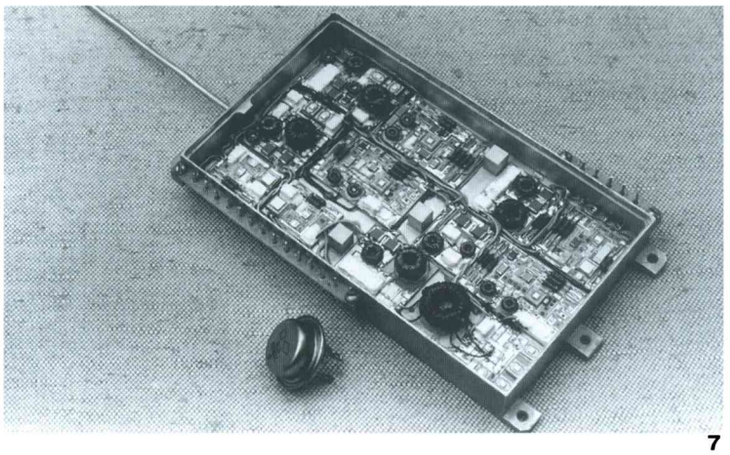
3


4


5


6

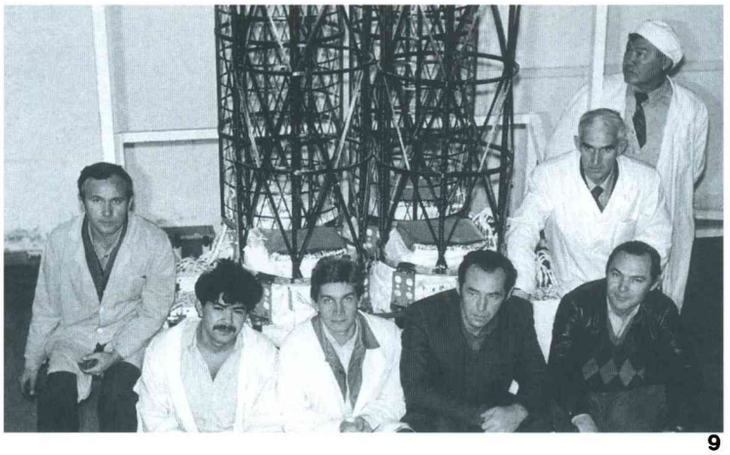
текст стр. 161



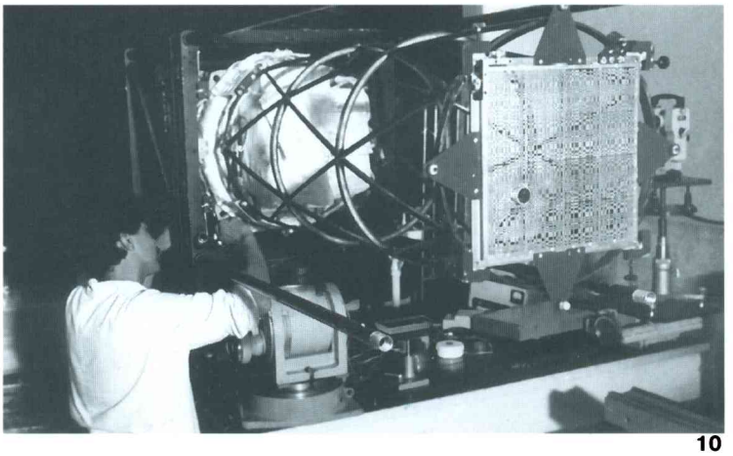
7



8



9



10



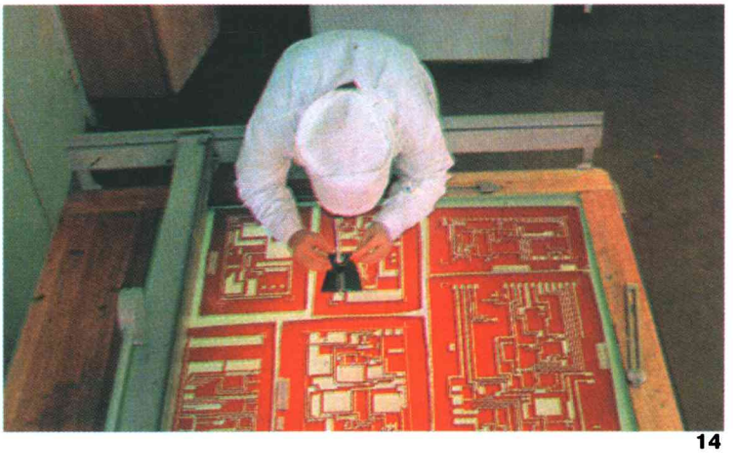
11



12

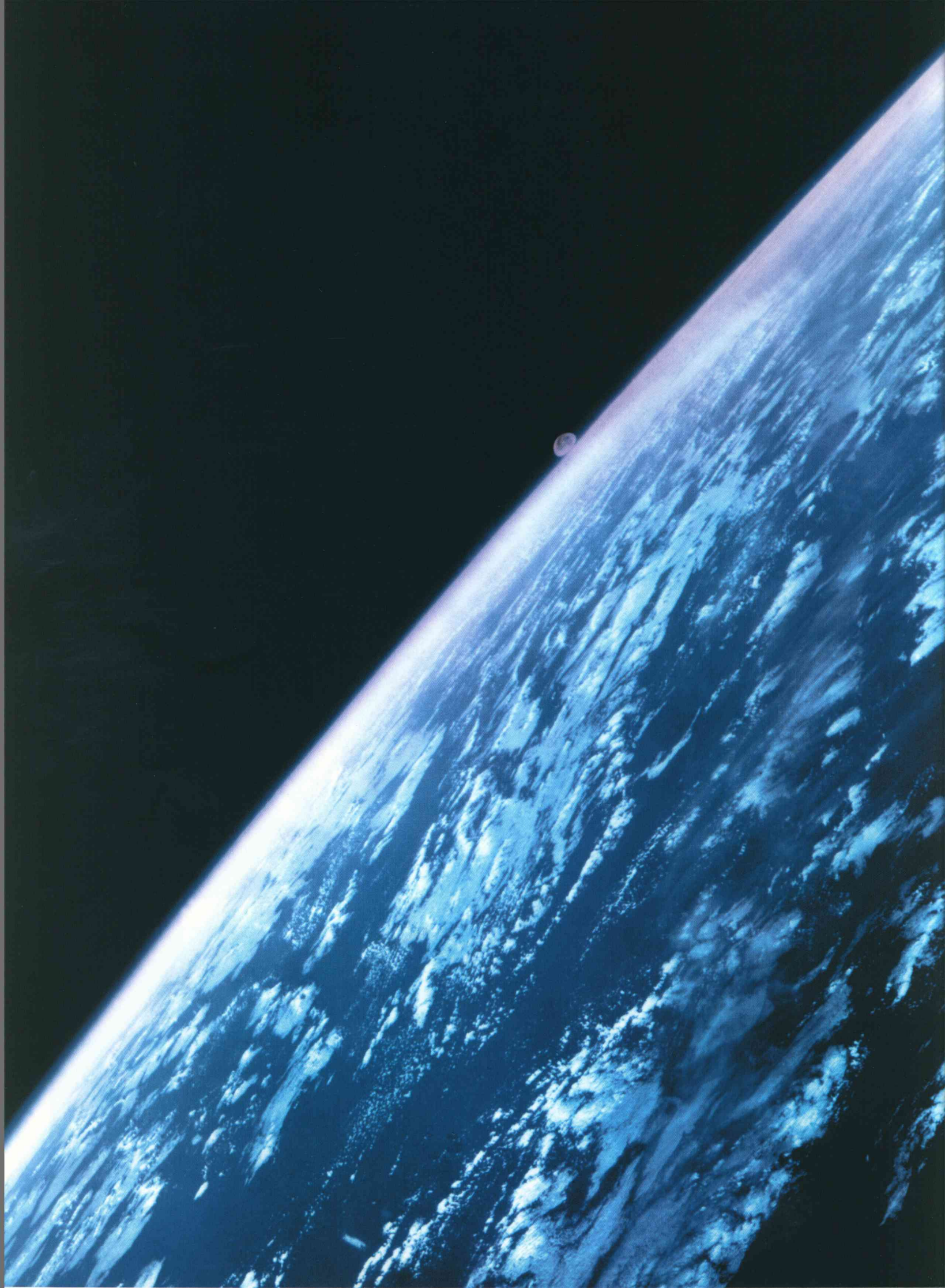


13



14

texts see page 161



В данном, приуроченном к 35-летнему юбилею Института космических исследований, издании авторский коллектив ставил своей целью изложить основное содержание реализованных за прошедшие годы исследований и полученных при этом результатов через непосредственных участников тех или иных проектов, прежде всего, конечно, сотрудников ИКИ, их коллег из смежных организаций – институтов Академии Наук и других ведомств, конструкторских и производственных предприятий, всех тех, кто своим трудом обеспечил, в конечном счете, успех достаточно сложных, а во многих случаях и уникальных экспериментов. Авторы стремились поименно упомянуть всех непосредственных участников работ, но естественно по причине ограниченности человеческой памяти могли кого-то и упустить, за что приносят свои искренние извинения.

Коллектив ИКИ РАН считает своим долгом выразить признательность руководству всех ведомств и организаций, тесно взаимодействовавших с Институтом на протяжении 35 лет его существования – Академии Наук, различных Министерств, Российского космического агентства, без помощи которых деятельность Института космических исследований была бы невозможна. В их числе, в первую очередь, по праву следует назвать Ракетно-космическую корпорацию „Энергия" им.С.П.Королева, Научно-производственное объединение им.С.А.Лавочкина, НПО „Машиностроение", ГКНПЦ им.М.В.Хруничева, КБ „Южное" и ВНИИЭМ.

Особое место в обеспечении реализации замыслов ученых ИКИ всегда занимали космодромы, обеспечивающие на последнем этапе подготовки реализацию космических программ. В этой связи авторы считают необходимым упомянуть имена хотя бы отдельных их руководителей, таких как генералы В.И.Вознюк, Ю.А.Пичюгин, В.Н.Столяренко, В.Л.Иванов, А.Г.Захаров, А.А.Курушин, Ю.А.Жуков, А.А.Шумилин и А.М.Долгов.

Центр дальней космической связи (г. Евпатория) на протяжении всех прошедших лет органично входил в информационное пространство обеспечения космических проектов. Коллектив ИКИ всегда с благодарностью будет помнить руководителей Центра Г.А.Сыцко, Н.И.Бугаева, Д.В.Терехина, В.И.Иванова, Г.А.Самарина, В.Т.Дурасова, С.М.Мальвинского и других. Оказавшись за пределами России, Центр и сегодня продолжает сохранять с ИКИ коммуникационные и партнерские отношения, и за это большая благодарность руководству Национального Космического Агентства А.А.Негоде, В.Г.Комарову и В.А.Литвинову.

Авторский коллектив надеется, что это не последнее издание, посвященное ИКИ РАН, – у космических исследований не может не быть достойного будущего. В новых изданиях авторы постараются исправить ошибки и неточности, допущенные в этом труде, и вспомнить всех тех, кого они забыли упомянуть.

This publication is specially for the 35th anniversary of the Space Research Institute. The authors' goal is to present the main contents of the studies carried out during the recent years and the results obtained by the projects' participants. First and foremost they are the IKI employees, their colleagues from the related institutions, including the institutes of the Academy of Sciences and other departments, design and industrial organizations. All of them have contributed to the success of rather sophisticated, and in many cases, unique experiments. The authors aspired to name almost every participant of each project. However human memory is limited and the authors apologize for missing anybody.

The Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences has a duty to acknowledge the leaders of all the departments and institutions which closely cooperated with the Institute over the 35 years of its existence. These are the Academy of Sciences, various Ministries and the Russian Space Agency. The activity of the Space Research Institute would have been impossible without their assistance. The following organizations should be mentioned first and foremost: the Koroliov Rocket Space Corporation Energiya, the Lavochkin Association, the Research Production Association Machinostroyenie, the Khrunichev State Research and Production Space Center, the Design Bureau Yuzhnoye and the All-Russian Research Institute for Electromechanics.

Launch sites have always played a particular role in the implementation of the ideas of the IKI scientists. Their facilities provide for the last stage of space missions implementation. That is why at least a few of these names of the launch sites' leaders should be mentioned: Generals V.I.Voznyuk, Yu.A.Pichugin, V.N.Stoliarenko, V.L.Ivanov, A.G.Zakharov, A.A.Kurushin, Yu.A.Zhukov, A.A.Shumilin and A.M.Dolgov.

The Deep Space Communications Center (Evpatoria) was organically integrated into the structure for the information support of space missions. IKI always recollects with gratitude the leaders of the Center G.A.Sytsko, N.I.Bugaev, D.V.Teriokkhin, V.I.Ivanov, G.A.Samarin, V.T.Durasov, S.M.Malvinsky and others. Although the Center is now located abroad it still preserves communications and cooperation with IKI. The Institute expresses great gratitude to the leaders of the National Space Agency A.A.Negoda, V.G.Komarov and V.A.Litvinov.

The authors hope that this will not be the last publication devoted to IKI RAN. Space research has a future.

Содержание

	текст text	иллюстрации pictures
Вступление *Introduction*	7	10
Отдел астрофизики Department for Astrophysics	21	166
Отдел астрофизики высоких энергий Department for High Energy Astrophysics	28	169
Отдел Луны и планет Department for studying the Moon and planets	40	171
Отдел физики планет и малых тел солнечной системы Department for Physics of the Solar System's Planets and Small Bodies	44	172
Отдел геофизики – физики космической плазмы Department for Geophysics and Space Plasma Physics	53	175
Отдел космической газовой динамики Department for Space Gas Dynamics	68	178
Отдел прикладной астрофизики и миллиметровой, субмиллиметровой и инфракрасной техники Department for Applied Millimeter and Submillimeter Space Astronomy and Infrared Technology	73	179
Отдел оптико-физических измерений Department for Optico-Physical Measurements	81	180
Отдел прикладной космической физики – исследований Земли как экологической системы *Department for Applied Space Physics – Space Research of Earth as an Ecological System*	90	184
Отдел космогеофизики Department for Space Geophysics	97	186
Лаборатория методов дистанционного зондирования *Laboratory for Remote Sensing Techniques*	103	187
Лаборатория сверхдальней радиоинтерферометрии Laboratory for very-long-baseline radio interferometry	107	188

	текст text	иллюстрации pictures
Лаборатория спетрометрии космического гамма-излучения *Laboratory for Cosmic Gamma-Ray Spectrometry*	112	189
Лаборатория активной диагностики *Laboratory for Active Diagnostics*	117	190
Отдел космической динамики и математической обработки информации Department for Space Dynamics and Mathematical Data Processing	123	191
Лаборатория разработки и эксплуатации информационных систем *Laboratory for Development and Maintenance of Information Systems*	136	193
Комплексно-проектный отдел *Department for Integrated Design Support*	141	194
Отдел научно-технического обеспечения *Department for Scientific-Engineering Support*	144	195
Отдел бортовых программно-управляемых систем *Department for Onboard Program Controlled Systems*	148	196
Службы главного инженера *Chief Engineer's Services*	153	198
Специальное конструкторское бюро космического приборостроения ИКИ РАН *Special Design Bureau for Space Device Engineering of the Space Research Institute (SKB KP IKI)*	158	200
Особое конструкторское бюро ИКИ *IKI Special Design Bureau*	161	202
Заключение *Conclusion*	205	
Содержание *Contens*	208	

“Институт космических исследований РАН. 35 лет”

Научно-популярное издание

Под общей редакцией академика А.А.Галеева
и доктора технических наук Г.М.Тамковича

Утверждено к печати Институтом космических исследований РАН.

Редактор-составитель Ю.И. Зайцев.
Художественный и технический редактор И.В. Полянский

Перевод и редактирование английских текстов
О.Я. Клименко, Е.Б. Краснопевцева

Дизайн, макет и предпечатная подготовка — “КОСМОС-ГРАФИКС”
Руководитель И.В. Полянский
Художник С.Л. Солтан
Подготовка иллюстраций А.Ю. Куденко, Ю.А. Новожилов
Администратор Н.В. Красикова

Корректор О.Н. Григорьева

Подписано в печать 09.08.1999
Формат 70x100 $^{1}/_{8}$. Гарнитура Литературная. Бумага мелованая.
Усл. печ. л. 26. Тираж 3000 экз.

Отпечатано в Венгрии, при участии фирмы «ИНТЕРПРЕСС»

Все права на текстовые и иллюстративные материалы,
представленные в данной книге, принадлежат
Институту космических исследований РАН.
© ИКИ РАН, 1999.

All rights reserved. © IKI RAN, 1999.



Настоящая книга посвящается Институту космических исследований РАН – признанному центру российской космической науки. Цель издания – познакомить читателей с историей создания и становления Института, с основными направлениями его научно-технической деятельности, кратко рассказать о наиболее интересных работах, полученных результатах и о многогранной творческой деятельности нашего коллектива, своим трудом вносящего скромную лепту в прогресс общества.

This book is dedicated to the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, the recognized center of Russian space science. The goal of this edition is to present the history of the Institute establishment and the main trends of its research and engineering activity as well as to give brief information about the most interesting projects, the results obtained and about diverse creative activity of our staff as they make their modest contribution to society progress.

ИКИ РАН
Россия 117810 Москва
ул. Профсоюзная 84/32

Space Research Institute
84/32 Profsoyuznaya str.
117810 Moscow, Russia