



**SPACE
RESEARCH
INSTITUTE**
RUSSIAN
ACADEMY
OF SCIENCES
50 YEARS

**ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ
НАУК
50 ЛЕТ



ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

TO SCIENTISTS AND ENGINEERS
OF THE SPACE RESEARCH INSTITUTE
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
WHO DEDICATED THEIR LIVES
TO SPACE AND EARTH RESEARCH,
TO THEIR PURSUITS AND FINDINGS,
TO THEIR ACHIEVEMENTS
AND DISCOVERIES,
SPACECRAFT AND INSTRUMENTS,
FAILURES AND MISFORTUNES,
VICTORIES AND JOYS
THIS ANNIVERSARY EDITION

**SPACE
RESEARCH
INSTITUTE**
RUSSIAN
ACADEMY
OF SCIENCES
50 YEARS

EDITOR-IN-CHIEF
ACADEMICIAN
LEV M. ZELENYI

MOSCOW 2015



SPACE
RESEARCH
INSTITUTE
OF RAS

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ
НАУК

50 ЛЕТ

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ
АКАДЕМИКА
Л. М. ЗЕЛЁНОГО

УЧЁНЫМ И СОТРУДНИКАМ
ИНСТИТУТА,
ВСЮ СВОЮ ЖИЗНЬ
ЗАНИМАЮЩИМСЯ
ИССЛЕДОВАНИЕМ
ЗЕМЛИ И КОСМОСА,
ПОСВЯЩАЕТСЯ
ЮБИЛЕЙНОЕ ИЗДАНИЕ
ИНСТИТУТА
КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК

МОСКВА 2015

ХРОНИКИ
IKICHRONICLES
1965 - 2015

СПУТНИКИ
IKISATELLITES

СОДЕРЖАНИЕ

Создание и становление
Института космических исследований
Российской академии наук
от первых высотных ракет
для космических исследований,
запуска Первого спутника,
через эпоху выдающихся
космических достижений
советского периода
до современных проектов

Страницы с 10 по 37

TABLES OF CONTENT

History of Space Research Institute
of the Russian Academy of Sciences,
its foundation and progress, starting
from the first rockets, the eve of space
exploration, and Sputnik, through the
age of space discoveries in the Soviet
Union to modern projects

Pages 10 to 35

Космические проекты
с участием учёных
и специалистов Института.
Идеи и решения. Космические
миссии, их цели и задачи,
научные инструменты
и оборудование,
международное сотрудничество
и основные научные
результаты исследований

Страницы с 38 по 99

Space projects with IKI's
participation. Ideas and their
implementation. Space missions,
their goals and objectives, science
instruments and equipment,
international collaboration
and main scientific findings

Pages 38 to 99

СОТРУДНИКИ IKIPEOPLE

Институт космических исследований
Российской академии наук сегодня.
Его руководство и структура,
научные школы, отделы, лаборатории
и секторы. Ведущие специалисты.
Выполненные, настоящие
и будущие проекты. Молодое
поколение исследователей
и работа со студентами
и школьниками

Страницы с 102 по 287

Space Research Institute of the Russian
Academy of Sciences today. Its leaders
and organization, scientific schools,
departments, laboratories, and sectors.
Leading experts. Completed, present,
and future projects. Young researchers
and students' training

Pages 102 to 289

ПРАЗДНИКИ IKIHOLIDAYS

Исследование космоса — наша
профессия и наша жизнь! Институт
живёт не только повседневной
работой — его сотрудники
организуют и принимают активное
участие в конференциях и
симпозиумах, выставках, читают
научно-популярные лекции;
отдыхают и занимаются спортом,
путешествуют и ставят спектакли

Страницы с 290 по 295

Space exploration is our profession and
our life too! The days of IKI are filled not
only with quotidian activities — his
employees organize conferences and
symposia, participate in exhibitions and
give popular lectures, play sports and
stage performances

Pages 291 to 295

ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ !

WELCOME!



**Директор Института
космических исследований
Российской академии наук,
академик, вице-президент
Российской академии наук,
Лев Матвеевич Зеленый**

*Director of the Space
Research Institute
of the Russian
Academy of Sciences
vice President of the Russian
Academy of Sciences,
Academician,
Lev M. Zelenyi*

Дорогие коллеги, друзья, читатели!

Институт космических исследований, которому посвящена эта книга, — очень молодой институт в системе Российской академии наук. Идея его образования принадлежит «Теоретику космонавтики», президенту Академии наук СССР Мстиславу Всеволодовичу Келдышу. В июле 1963 года он написал обращение, как тогда говорили, в директивные органы. Много позже оно было опубликовано под заголовком «Об организации Института космических исследований». Вот что говорилось в нём:

«Расширение фронта космических исследований, усложнение стоящих перед наукой о космосе задач, привлечение в настоящее время к космическим исследованиям многочисленных научных и конструкторских организаций настоятельно требуют создания в Советском Союзе научно-методического центра этих исследований. Наличие такого центра существенно упорядочит ведущиеся работы, сделает целеустремлёнными и планомерными, исключит параллелизм в работе, обеспечит необходимое развитие всех направлений научных знаний о космосе и даст возможность получить наибольшее количество данных о космосе при наименьших затратах.

Для выполнения функций такого центра предлагается создать в системе Академии наук СССР Объединённый институт космических исследований. Основной задачей института должно быть систематическое исследование космического пространства с помощью унифицированных малых (а в дальнейшем и более тяжёлых) искусственных спутников Земли, создаваемых нашей промышленностью. <...>

Создание такого института позволит обеспечить и закрепить в ближайшие годы ведущее положение Советского Союза в освоении космического пространства и противопоставить его достижения многочисленным специализированным научным космическим центрам США».

Космос в конце 1950-х годов стал любимым детищем Первого секретаря ЦК КПСС Никиты Сергеевича Хрущёва. Вообще роль Никиты Сергеевича в бурном старте отечественной космической программы трудно переоценить. Но если в США грандиозный успех программы АПОЛЛОН тесно связан в общественном сознании с именем президента Кеннеди, то в России за долгие и нудные годы брежневского правления память о его предшественнике была тщательно вычищена из народного сознания.

Dear colleagues and friends!

This book is about Space Research Institute (also named IKI) — one of the youngest organizations within Russian Academy of Sciences. It was conceived in the early 1960's by Mstislav Keldysh, the "Theoretician of Cosmonautics" and the president of the USSR Academy of Sciences. In July 1963 he submitted a letter to the so-called "decision-making authorities". Many years later it was published under the title "On the organization of Space Research Institute". Below are several extracts from it:

The broadening of the space research frontier, more complex tasks, which emerge before space science, and the fact that many scientific and engineering organizations are being involved into space research — these factors require that a scientific and methodological centre for this research is established in the Soviet Union. Such a centre shall streamline the works, which are already implemented, make them more targeted and systematic, exclude parallel works, ensure that every field of space science gets proper development, and make it possible to acquire as much data as possible for the least possible costs.

To carry out the tasks of such centre, we propose to organize a Joint Space Research Institute within the Academy of Sciences of the USSR. Its main task shall be systematic research of space with the help of standard small (and, later, more heavy) artificial Earth satellites, built by our industry. <...>

Such institute will provide and ensure the leading position of the Soviet Union in space exploration in the nearest years and set off its achievements against many specialized space science centres of the USA.

Space in the late 1950's became the favourite child of Nikita Khrushchev, the First Secretary of Central Committee of the USSR Communist Party. It is hard to overestimate the role he played for the national space program's rapid launch. However, while the grand success of Apollo's program is justly tributed to the US president Kennedy, in Russia the memory of Khrushchev was meticulously erased from public awareness, after he was succeeded by Leonid Brezhnev.

Благодаря позиции Хрущёва руководство страны поддержало инициативу Мстислава Всеволодовича. Постановление Совета Министров Союза ССР «О создании Института космических исследований» было выпущено 15 мая 1965 года как совершенно секретное и рассекречено лишь в 2010 году. Первым директором ИКИ стал академик Георгий Иванович Петров.

В этом году институту исполнилось 50 лет. В его истории были взлёты и падения, удачные проекты, такие как ВЕГА и ИНТЕРБОЛ, и аварийные пуски, периоды расцвета и выживания.

Демаркационной линией, разделившей историю Института на два разных периода, стали декабрь 1991 года и разрушение СССР. «Звёздные» годы ИКИ, связанные с именем его второго директора, академика Рояльда Зиннуровича Сагдеева, в 1990-е годы, остались позади.

Самое трудное время пришлось на годы директорства академика Альберта Алубакировича Галеева. Много было потеряно за эти годы. Тем не менее, Институт вышел из этого периода, сохранив свою целостность, основные научные подразделения и уверенность в будущем.

51-й год работы Института совпадает со временем вступления в действие новой Федеральной космической программы России на 2016–2025 годы. Фундаментальные космические исследования, то есть космическая наука, и в том числе работы, которые будут проводиться в ИКИ РАН, занимают в этой программе заметное и достойное, на мой взгляд, место. Но от самых красивых планов до их подлинной реализации — дистанция огромного размера. Тем не менее, в дни юбилея Института, думая о нашем уже долгом и непростом пути, я остаюсь оптимистом.

Сейчас я хочу пригласить вас в небольшое путешествие по нашему Институту — его истории, его отделам — и познакомить вас с нашими сотрудниками!

Лев Матвеевич Зеленый

Going back to early 1960's, let's remember that it is thanks to Khrushchev's position, that the state government supported Keldysh's idea. The classified Decree of the USSR Council of Ministers under the title «On the establishment of the Space Research Institute» was issued on May 15, 1965 and declassified in 2010. Academician Georgy Petrov was appointed the first director of the Institute.

This year IKI celebrates its 50-year anniversary. It's not much, but its history already counts several rises and depressions, successes, such as VEGA or *Interball* projects, and failures, periods of prosper and survival.

Demarcation line, which split IKI's history into two completely different parts, was December 1991 and the fall of the USSR. IKI's "star" years, connected with the name of its second director, academician Roald Sagdeev, were left in the past.

The hardest times fell on the period, when academician Albert Galeev was the director of the Institute, or 1990's. It is true that we lost a lot during those years. Still, IKI managed to keep its integrity, main scientific departments, and confidence in the future.

The fifty-first year of the Institute coincides with the beginning of the new Federal Space Program of Russian Federation for 2016–25. Fundamental space research, i.e. space science, including the works planned in IKI, constitutes a noticeable and adequate part of this program. Still, a vast distance lays between the plans and their implementation. Nevertheless, in these days of anniversary, I remain optimistic about the future, having in mind our long and sometimes not that easy history.

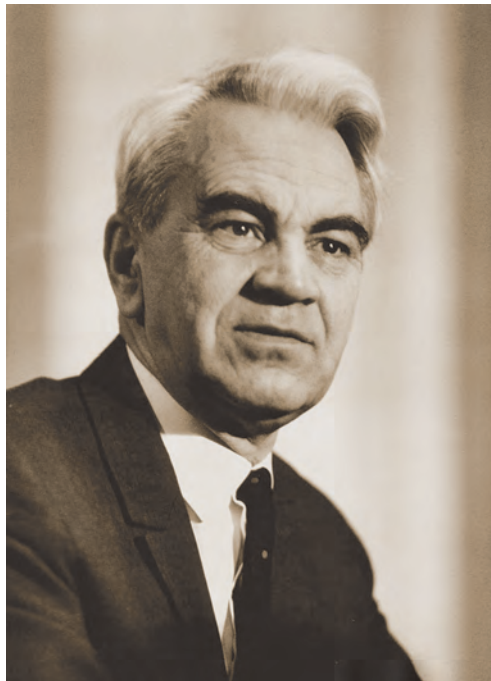
I am glad to invite you to a short travel along our Institute — its history, departments, and people.

Lev M. Zelenyi



ХРОНИКИ
IKI CHRONICLES

1965–2015



«ТЕОРЕТИК КОСМОНАВТИКИ», президент Академии наук СССР, академик Мстислав Всеволодович Келдыш

Academician Mstislav V. Keldysh, "Theoretician of Cosmonautics", President of the Academy of Sciences of the USSR



«ГЛАВНЫЙ КОНСТРУКТОР» космической техники, академик Сергей Павлович Королёв

Academician Sergey P. Korolev, "Chief Designer" for rocket technology



Президент Академии артиллерийских наук, академик Анатолий Аркадьевич Благонравов

Academician Anatoly A. Blagonravov, President of the Academy of Artillery Sciences

Заместитель председателя Специальной комиссии при Президиуме АН СССР по «объекту Д» — искусственному спутнику Земли — Михаил Клавдиевич Тихонравов

Mikhail K. Tikhonravov, Deputy Chairman of the special Commission for Artificial Earth Satellites ("D" Object) of the Academy of Sciences of the USSR — the first artificial satellite



Учёный секретарь Специальной комиссии при Президиуме АН СССР по «объекту Д» — искусственному спутнику Земли — Геннадий Александрович Скуридин

Gennady A. Skuridin, academic secretary of the special Commission for Artificial Earth Satellites ("D" Object) of the Academy of Sciences of the USSR — the first artificial satellite



Академическая наука была тесно связана с ракетостроением с самого начала работ по созданию ракетно-космической техники. Осенью 1948 года испытываются первые отечественные комплексы с управляемыми баллистическими ракетами, и уже в 1949 году с их помощью учёные приступили к изучению верхних слоёв атмосферы. В 1951 году начинаются систематические медико-биологические исследования на базе высотных ракет. Руководит экспериментами вместе с С. П. Королёвым крупнейший отечественный специалист в области механики, президент Академии артиллерийских наук, в дальнейшем директор Института машиноведения АН СССР академик А. А. Благонравов.

27 августа 1957 года состоялся первый успешный запуск межконтинентальной баллистической ракеты — знаменитой королёвской «семёрки», открывшей возможность реализации давней мечты учёных — доставки научных приборов в космическое пространство. Начинается подготовка к запуску искусственного спутника Земли, который одновременно должен был стать первой научной космической лабораторией. Для координации работ по созданию научных приборов для спутника создаётся специальный рабочий орган при Президиуме АН СССР — Специальная комиссия по осуществлению научного руководства при создании объекта «Д» во главе с академиком М. В. Келдышем. Его заместителями назначаются С. П. Королёв и М. К. Тихонравов, учёным секретарём — Г. А. Скуридин.

Academic science has been closely associated with space rocket technology from the first day when rocket science was created. In the autumn of 1948 the first Soviet controlled ballistic missile systems were tested, and in 1949 scientists began to use them to explore the upper atmosphere. In 1951 systematic biomedical research began that involved high-altitude rockets. S. P. Korolev supervises the experiments back to back with an outstanding Soviet expert in mechanics, president of the Academy of Artillery Sciences, future director of the Institute of Mechanical Engineering (Academy of Sciences of the USSR), academician A. A. Blagonravov.

On August 27, 1957, the first successful launch of an intercontinental ballistic missile was made. It was the famous Korolev's *Semerkka* (the Seven), which made the long-standing dreams of scientists to put scientific instruments in space come true. Preparation for the launch of the first artificial satellite began, the one which also was to become the first scientific laboratory in space. A special working group, the Commission for Artificial Earth Satellites ("D" Object) of the Academy of Sciences, headed by M. V. Keldysh, was established to coordinate development of scientific instruments for the spacecraft. S. P. Korolev, M. K. Tikhonravov were appointed his deputies and G. A. Skuridin — the scientific secretary.



Белка и Кусачка перед стартом

Belka and Kusachka before the launch



Мягкая посадка головной научно-исследовательской части баллистической ракеты Р-1 с собаками-предшественниками людей в полётах на ракетах

Soft landing of the R 1 nose cone with scientific equipment and dogs — human predecessors in space flights



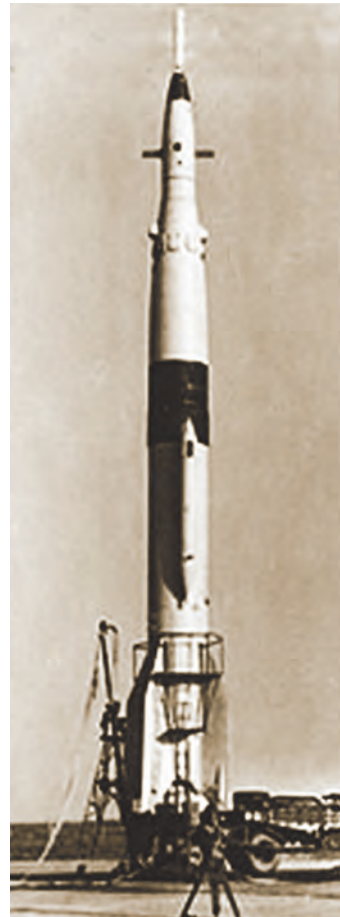
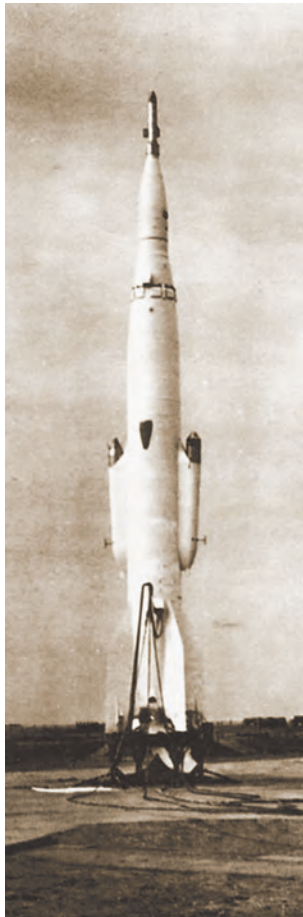
27 августа 1957 года. Первый успешный старт тяжёлой ракеты С. П. Королёва Р-7 (8К71)

August 27, 1957. The first successful launch of S. P. Korolev's R 7 (8K71) heavy rocket



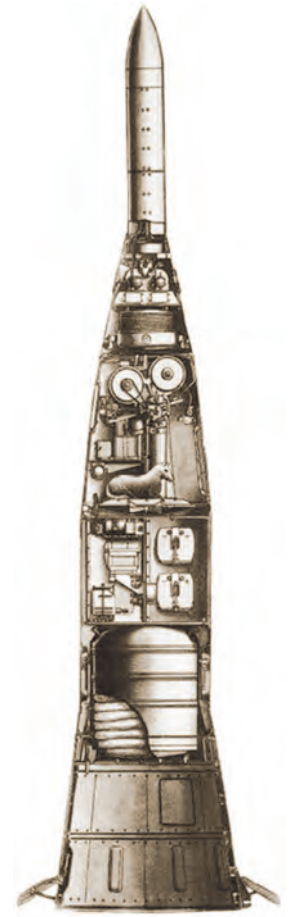
Белка и Кусачка после полёта

Belka and Kusachka after the flight



Научно-исследовательские баллистические ракеты Р-1 и Р-2 и схема полезной нагрузки — контейнера с научной аппаратурой

R 1 and R 2 scientific ballistic missiles and scientific payload diagram



Непутёвый и ЗИБ после полёта

Neputevyy and ZIB after the flight



4 ОКТЯБРЯ 1957 ГОДА — НАЧАЛО НОВОЙ — КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

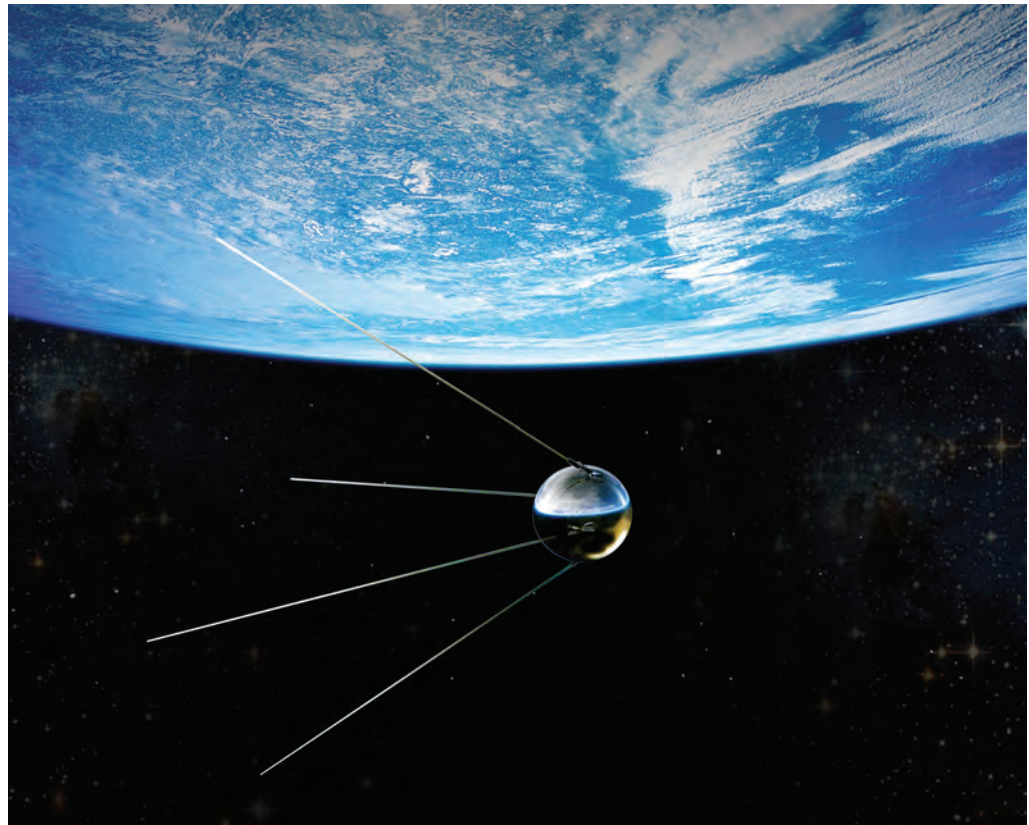
OCTOBER 4, 1957 —
THE BEGINNING
OF SPACE AGE
OF HUMAN HISTORY

Внизу: первая полоса газеты «Правда» от 6 октября 1957 года с сообщением об успешном запуске в СССР первого искусственного спутника Земли

Bottom. The first page of "Pravda" daily from October 6, 1957, announcing the successful launch of the first artificial satellite of the Earth

Справа: Первый искусственный спутник Земли — первое в истории Человечества рукотворное космическое тело

Right. Sputnik — the first artificial satellite of the Earth and the first man-made space body



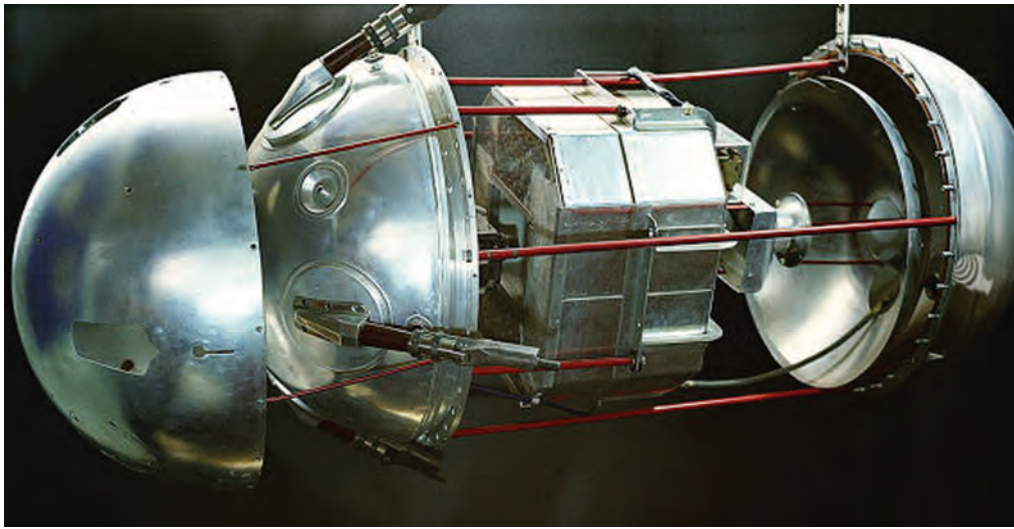
4 октября 1957 года. Старт ракеты-носителя Р-7 (8К71ПС) с первым искусственным спутником Земли
October 4, 1957. The launch of R 7 rocket launcher (8K71ПС) carrying the first Sputnik



Мстислав Всеволодович Келдыш и Сергей Павлович Королёв на космодроме Байконур

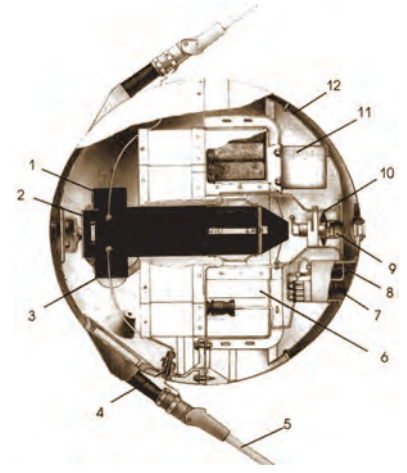
Mstislav V. Keldysh and Sergey P. Korolev at Baikonur cosmodrome





Компоновка Первого искусственного спутника Земли ПС-1

Inner configuration of the first artificial satellite of the Earth (PS 1)



Размещение аппаратуры в первом ИСЗ:
 1 — двоянное термореле системы терморегулирования ДТК-34; 2 — радиопередатчик Д-200; 3 — контрольные термореле и барореле; 4 — гермовывод; 5 — антенна; 6 — блок питания; 7 — штексельный разъём; 8 — пяточный контакт; 9 — вентилятор; 10 — диффузор; 11 — дистанционный переключатель; 12 — экран

Payload layout of the first artificial satellite of the Earth:
 1 — dual thermal switch of the thermoregulation system DTK 34; 2 — radio transmitting unit D 200; 3 — control thermal switch and barometric switch; 4 — seal; 5 — antenna; 6 — power supply; 7 — plug-and-socket joint; 8 — heel connection; 9 — fan; 10 — diffuser; 11 — remote switch; 12 — shield



Все хотели сами увидеть рукотворное чудо-СПУТНИК — движущуюся звёздочку

Everyone wanted to marvel at the moving star — the man-made Sputnik



Снимок трека Спутника, сделанный в Австралии

The image of the Sputnik's track made in Australia

Проблем с созданием и самого спутника, и научной аппаратуры для него возникло достаточно много, и он был выведен в космос только 15 мая 1958 года. Тем не менее, наша страна первой доставила на околоземную орбиту рукотворное небесное тело. Им стал объект ПС — простейший спутник, запущенный 4 октября 1957 года. Следующим 3 ноября 1957 года стартует второй космический аппарат (КА), впервые доставивший в космос живое существо — собаку Лайку. (Официально оба аппарата были запущены в рамках Международного геофизического года — с 1 июля 1957 года по 31 декабря 1958 года.) И только после этого подошла очередь спутника, который первоначально должен был стать первым. Это был уже полноценный аппарат, обладающий всеми системами, присущими современным космическим разработкам. Впервые бортовые устройства принимали и исполняли команды, переданные с Земли. На спутнике работали научные приборы, разработанные семью группами советских учёных. Результаты исследований передавались на Землю по радиоканалам.

Many issues, which arose during construction of the satellite itself and its instruments, postponed the launch as late as May 15, 1958. Still, the USSR was the first to put a man-made celestial body into orbit. The so called “simplest satellite” (or PS object) was launched on October 4, 1957. It was followed by the second spacecraft that for the first time brought a living creature, Laika the dog, into space on November 3, 1957. (Officially both launches were dedicated to the International Geophysical Year: July 1 1957 – December 31, 1958). And only then it was the turn of the satellite, which had originally had to be the first. Dubbed “The Third Sputnik”, it was already a full-fledged spacecraft sporting all the systems inherent to modern ones. For the first time onboard devices received and executed commands sent from the ground. Instruments built by seven different groups of Soviet scientists operated onboard the satellite. Research results were downlinked to the Earth.

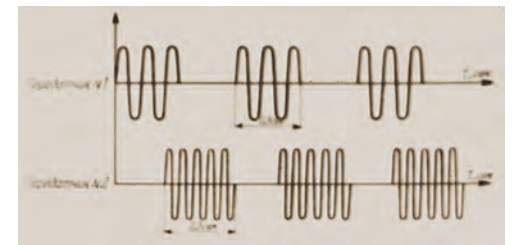


Схема генерации сигналов «бип-бип» передатчиками Первого спутника

Scheme depicting “beep-beep” generation by the Sputnik's radio transmitters

Первые полосы зарубежных газет

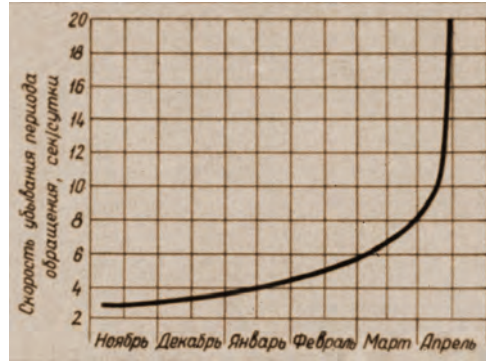
First pages of world newspapers





Пассажир второго искусственного спутника Земли — собака Лайка

Laika the dog — the passenger of the second artificial satellite of the Earth



Торможение спутника верхними слоями атмосферы по результатам полёта второго искусственного спутника Земли

Braking in the upper atmosphere by the results of the second Sputnik's flight

Третий спутник — объект Д — стал первой космической лабораторией, оснащённой обширным комплексом приборов:

- магнитометр;
- фотоумножители для регистрации корпускулярных потоков;
- солнечные батареи;
- прибор для регистрации фотонов в космических лучах;
- магнитный и ионизационный манометры;
- ионные ловушки;
- электростатические флюксометры;
- масс-спектрометрическая трубка;
- прибор для регистрации потоков геоактивных частиц;
- датчик для регистрации частиц космической пыли,

которые предназначались для исследований:

- ионосферы;
- концентрации заряженных частиц;
- электростатических полей;
- магнитного поля Земли;
- космических лучей;
- корпускулярного излучения Солнца;
- давления и плотности атмосферы;
- частиц космической пыли

The third Sputnik — Object 'D' was the first space laboratory, which carried a significant scientific payload:

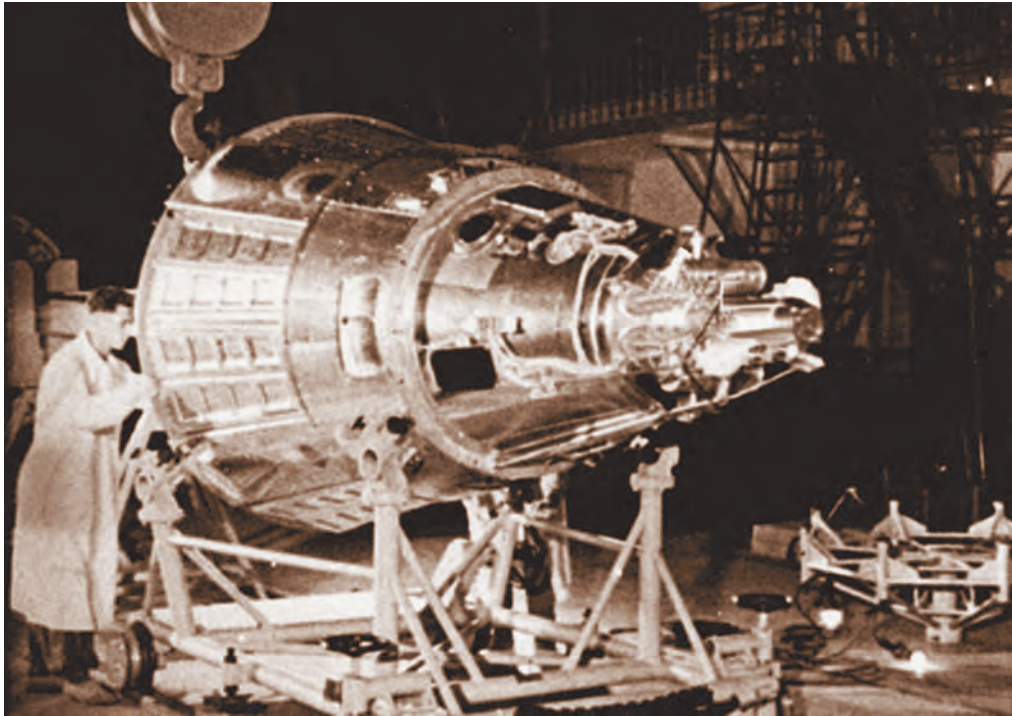
- magnetometre;
- photomultiplier detector for particle fluxes;
- solar batteries;
- cosmic rays photon detector;
- magnetic and ionization gages;
- ion traps;
- electrostatic flux metres;
- mass spectrometre tube;
- cosmic radiation intensity detectors;
- detectors for space dust particles,

which were used to study:

- ionosphere;
- concentration of charged particles;
- electrostatic fields;
- cosmic rays;
- Solar particle radiation;
- atmospheric pressure and density;
- space dust particles

Комплекс приборов и оборудования третьего спутника

Payload and service equipment of the third Sputnik



Третий искусственный спутник Земли — первая в истории заатмосферная орбитальная научная станция в цехе предприятия

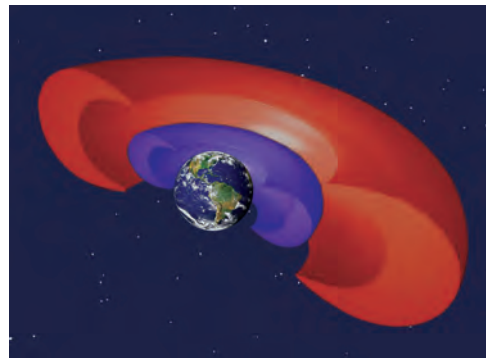
The third Sputnik — artificial satellite of the Earth — the first orbital scientific station in the workshop

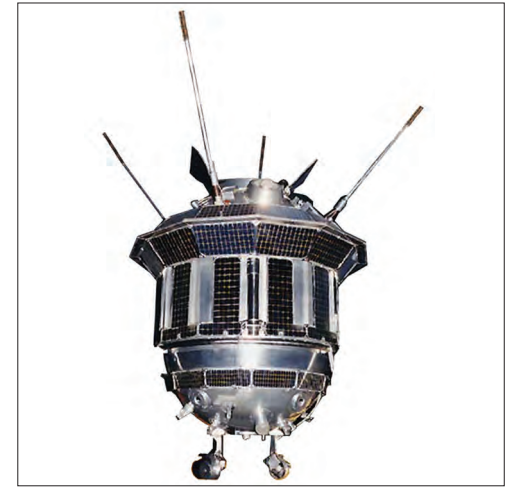
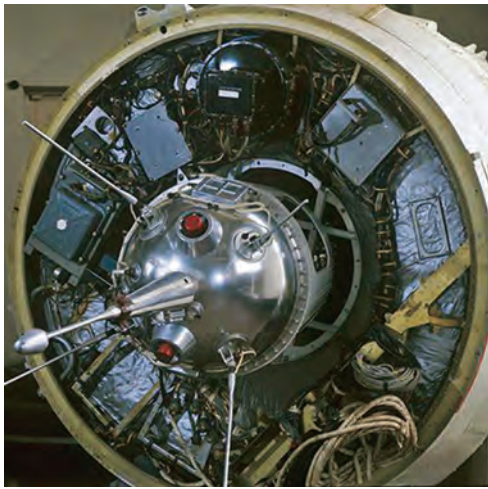
Благодаря третьему спутнику впервые был открыт внешний радиационный пояс Земли С. Н. Верновым и А. Е. Чудаковым

The outer radiation belt was discovered by S. N. Vernov and A. E. Chudakov with the help of the third sputnik

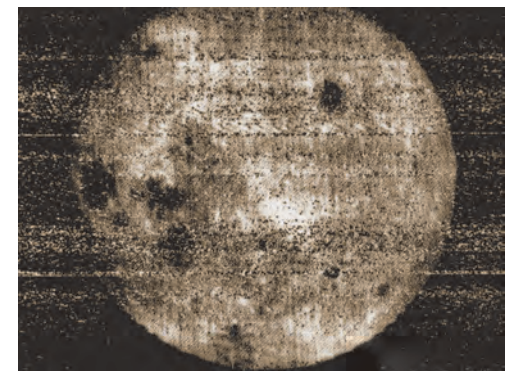
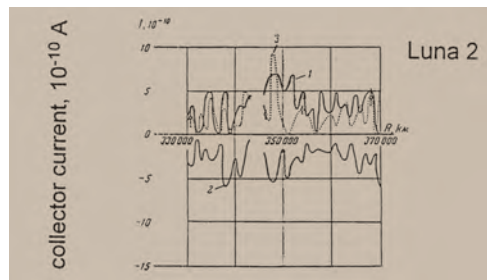
Академик Сергей Николаевич Вернов — выдающийся советский учёный, стоявший у истоков новой науки — космической физики, появившейся благодаря прямым экспериментам в космосе в 50-60-х годах XX века

Academician Sergey N. Vernov — prominent Soviet physicist, one of the originators of a new science — space physics, which emerged thanks to the immediate space experiments in space in 1950–1960s





13.09.1959 года. «Луна-2» впервые в мире достигла поверхности Луны в районе Моря Ясности. Аппарат на разгонной ступени ракеты 8К72, место попадания в Луну и первые наблюдения потоков межпланетной плазмы. Научные результаты: впервые в мире установлено отсутствие у Луны глобального магнитного поля со значительной напряжённостью; впервые в мире прибором К. И. Грингауза выполнены прямые измерения потоков межпланетной плазмы
 Sept. 13, 1959. Luna 2 was the first to reach the surface of the Moon in the region of Mare Serenitatis (the Sea of Serenity). The spacecraft attached to the booster of the 8K72 rocket launcher, the place of touchdown, and the first results of the interplanetary plasma studies. Scientific results: no significant lunar global magnetic field was found; the instrument developed by K. I. Gringauz measured interplanetary plasma fluxes for the first time ever



07.10.1959 года. АМС «Луна-3» (вверху) впервые передала на Землю изображения обратной стороны Луны и осуществила гравитационный манёвр вблизи другого космического тела. Масса аппарата: 278,5 кг

Top. Oct. 7, 1959. Luna 3 interplanetary station was the first to transmit the images of the lunar far side to the Earth and to make a gravitational manoeuvre near another space body. The mass of the spacecraft — 278.5 kg

В это же время решением ЦК КПСС и Совета Министров СССР Комиссия Академии наук по искусственным спутникам Земли преобразуется в Межведомственный научно-технический совет по космическим исследованиям (МНТС по КИ). Её председателем назначается М. В. Келдыш. Совет работает как орган, который разрабатывал рекомендации для Президиума АН СССР и Комиссии Президиума Совета Министров СССР по военно-промышленным вопросам. Деятельность Совета существенно способствовала активизации космических исследований в стране.

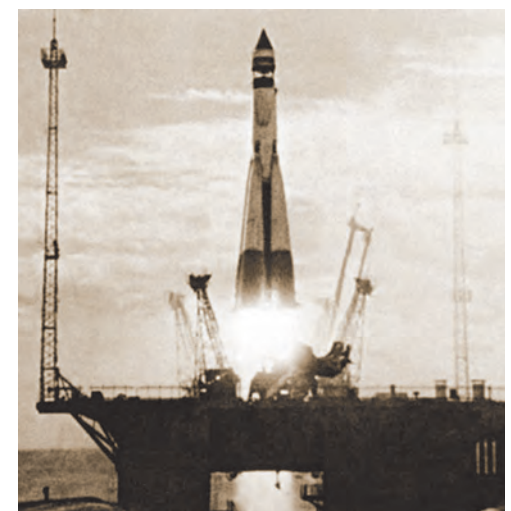
Достижение второй космической скорости позволило начать исследования Луны и планет Солнечной системы. Полёты пилотируемых кораблей знаменовали начало непосредственного проникновения человека в космос. Основным принципом программы дальнейшего освоения и использования космического пространства стало решение всё более сложных задач в интересах не только науки и техники, но и для хозяйственных целей. Одновременно развивается международное сотрудничество в подготовке и реализации космических проектов. Координацию и научно-техническое руководство этими работами осуществляет Академия наук СССР. Ракетная техника, космические исследования становятся одним из самых наукоёмких направлений человеческой деятельности.

At the same time, following the decision of the USSR Government, the Commission of Academy of Sciences for Artificial Earth Satellites was transformed into the Interdepartmental Scientific and Technical Council on Space Research (most commonly known as its Russian abbreviation MNTS po KI). M. V. Keldysh was appointed its chairman. The Council acted as an advisory body for the Presidium of the USSR and the Commission of the Presidium of the Council of Ministers for military and industrial Issues.

Exploration of the Moon and the Solar system started as soon as the escape velocity was achieved. Human space flights marked the advent of direct space exploration. Outer space exploration program was based on gradual solutions of more and more complex tasks not only for the sake of science and technology, but also for economic purposes. International cooperation in space projects was emerging at the same time. The Academy of Sciences coordinated and supervised these activities as scientific and technological manager. Rocketry, space exploration became one of the most science-intensive areas of human activity.

Развитие ракеты Р-7 — носитель 8К72. «Луна-1, -2, -3»

Progress of R 7 — 8K72 rocket launcher. Luna 1, Luna 2, Luna 3





Успешный полёт первого в истории космического корабля-спутника «Восток-1» с собаками Белкой и Стрелкой и возвращение их на Землю — важнейший этап подготовки полёта человека в космос

Successful flight of the first spaceship Vostok 1, which carried the dogs Belka and Strelka and returned them to the Earth, was an important stage on the way to the human spaceflight



19.08.1960 года с космодрома Байконур осуществлён пуск ракеты-носителя «Восток-8К72», которая вывела на околоземную орбиту второй корабль-спутник с собаками Белкой и Стрелкой. «Восток-1», сер. № 2 выведен на орбиту с параметрами: наклонение орбиты — 64,95°; период обращения — 90,7 мин; минимальное расстояние от поверхности Земли (в перигее) — 306 км; максимальное расстояние от поверхности Земли (в апогее) — 339 км

August 19, 1960. Vostok 8K72 launcher lofted from the Baikonur cosmodrome the Second spaceship with the dogs Belka and Strelka to the near-Earth orbit. Vostok 1, No. 2 series was put into the orbit with the following parameters: inclination 64,95 deg; period — 90,7 min; minimal distance from the Earth (in the perigee) — 306 km; maximal distance to the Earth (in the apogee) — 339 km



20.08.1960 год. На территории СССР совершил мягкую посадку спускаемый аппарат второго корабля-спутника. Впервые на Землю из космоса благополучно вернулись живые существа — собаки Белка и Стрелка. На пресс-конференции в Академии наук СССР героев представил академик Олег Газенко

Aug. 20, 1960. Soft landing of the Spaceship 2 lander on the territory of the USSR. For the first time ever living beings — dogs Belka and Strelka — successfully returned to the Earth after having been in space. Academician Oleg Gazenko presented the heroes at the press conference in the Academy of Sciences of the USSR



АМС «Венера-1». 12.02.1961 года с космодрома Байконур осуществлён пуск ракеты-носителя «Молния-8К78», которая вывела на траекторию полёта к Венере советскую автоматическую межпланетную станцию «Венера-1». Аппарат был оборудован приборами для измерения интенсивности космических лучей, напряжённости межпланетных магнитных полей, регистрации микрометеоритов и т. п. С аппарата «Венера-1» были получены данные о параметрах солнечных космических лучей в окрестностях Земли, а также до расстояния почти в 2 миллиона километров от Земли. Данные аппарата «Венера-1» подтвердили наличие межпланетной плазмы в космическом пространстве

Venera-1 interplanetary station. Feb. 12, 1961. Molniya 8K78 rocket launcher started from Baikonur cosmodrome and put Venera-1 — the first Soviet automatic interplanetary station — into the cruise trajectory to Venus. The spacecraft carried instruments for measuring cosmic rays intensity, strength of interplanetary magnetic fields, micrometeorite registration, etc. Venera-1 provided data on solar cosmic rays parameters in the vicinity of the Earth and up to the distances of approximately 2 million kilometers from it. Venera-1 data proved the existence of interplanetary plasma in space

Исследования в космосе существенно дополнили традиционные методы физических измерений, открыли совершенно новые горизонты в научном поиске. Одним из первых результатов этих работ стало обнаружение динамического характера атмосферы выше 100...150 километров, исследование её состава на больших высотах.

Был выполнен широкий комплекс ионосферных экспериментов до высот в несколько тысяч километров. Прямыми измерениями установлено распределение электронной концентрации по высоте, открыты радиационные пояса и обнаружено чрезвычайное многообразие процессов, протекающих в околоземном космическом пространстве в зависимости от электромагнитных и корпускулярных излучений Солнца. Стало ясно, что ионосфера — лишь нижняя часть обширной плазменной оболочки Земли. Выше неё находится магнитосфера — область, где поведение плазмы определяется, прежде всего, магнитным полем Земли и в значительной степени так называемым солнечным ветром — потоком заряженных частиц, постоянно испускаемых Солнцем.

Первые прямые измерения потоков солнечного ветра были выполнены в 1959 году на советской автоматической станции «Луна-2». Затем его параметры исследовались на других межпланетных станциях и искусственных спутниках Земли.

Space research expanded traditional physical methods and opened new horizons in science. One of the first results of this work was the discovery of the dynamic nature of the atmosphere above 100...150 km and study of its structure at high altitudes.

There was a wide range of ionosphere experiments up to altitudes of several thousand kilometers. Direct measurements have shown the distribution of electron concentration across altitudes. Radiation belts were discovered, and an extraordinary diversity of processes occurring in near-Earth space, depending on electromagnetic and particle radiation of the Sun. It became clear that ionosphere is only a lower part of the extensive plasma shell of the Earth. Above it resides the magnetosphere — the region where plasma behavior is determined primarily by the magnetic field of the Earth and largely by so-called solar wind, a stream of charged particles continuously emitted by the Sun.

The first direct measurements of solar wind streams were performed in 1959 on the Soviet automatic station Luna-2. Then other interplanetary stations and artificial satellites measured its parameters.



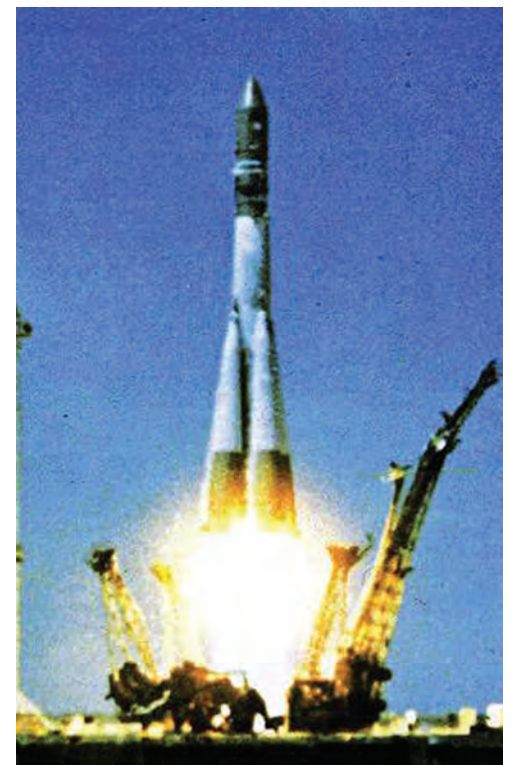
12 АПРЕЛЯ 1961 ГОДА, ПЕРВЫЙ В ИСТОРИИ ПОЛЁТ ЧЕЛОВЕКА В КОСМОС

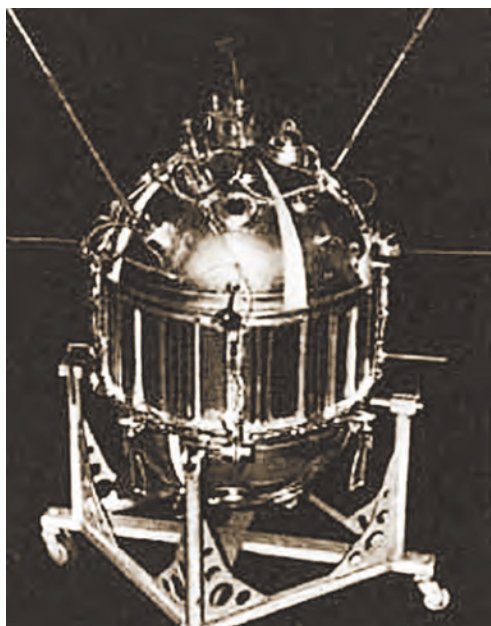
APRIL 12, 1961.
THE FIRST
HUMAN
SPACEFLIGHT



12.04.1961 год. Со стартового комплекса № 1 космодрома Байконур осуществлён пуск ракеты-носителя «Восток-8К72К», которая вывела на околоземную орбиту советский космический корабль «Восток». Корабль пилотировал космонавт Юрий ГАГАРИН. Дублёр: Герман ТИТОВ. Запасной космонавт: Григорий НЕЛЮБОВ. «Восток-3А», сер. № 3 был выведен на орбиту с параметрами: наклонение орбиты — 64,95°; период обращения — 89,34 мин; минимальное расстояние от поверхности Земли (в перигее) — 181 км; максимальное расстояние от поверхности Земли (в апогее) — 327 км. Полёт продолжался 1 час 48 минут. После совершения одного оборота вокруг Земли спускаемый аппарат корабля совершил посадку на территории СССР

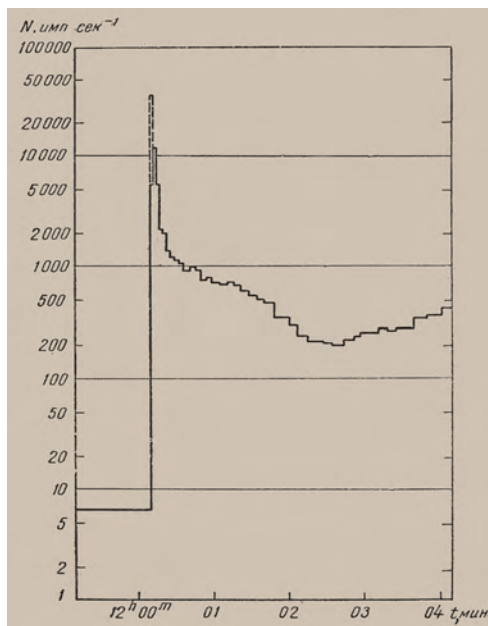
April 12, 1961. Vostok 8K72K rocket launcher started from the No. 1 launch pad at Baikonur cosmodrome, lofting Vostok Soviet spaceship to the near-Earth orbit. Yuri GAGARIN piloted the spaceship. Second flight pilot — German TITOV. Backup pilot — Grigory NELYUBOV. Serial Vostok 3A No. 3 was launched to the orbit with the following parameters: inclination — 64,95 deg.; period — 89,34 min; inclination — 64,95 deg.; period — 90,7 min; 181 km; maximal distance to the Earth (in the apogee) — 327 km. The flight lasted 1 hour 48 min. After the first orbit the spaceship's lander descended to the Earth on the territory of the USSR





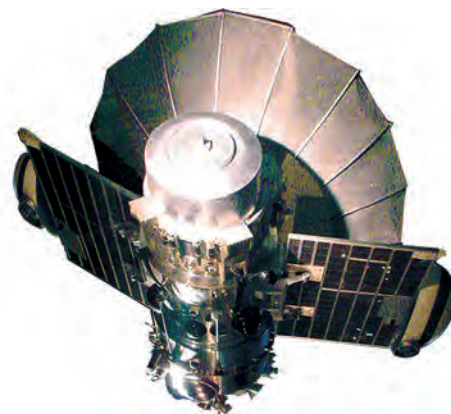
Аппарат «Космос-2» запущен 6 апреля 1962 года для изучения геоактивных потоков заряженных частиц у Земли. Масса аппарата — 285 кг; масса полезной нагрузки — 15 кг; высота в перигее — 211,6 км; высота в апогее — 1545,6 км; наклонение — 49°; период — 102,25'. Впервые в истории проведены прямые измерения ионной температуры земной ионосферы

Cosmos 2 spacecraft was launched on Apr. 6, 1962 to study the structure of the Earth's ionosphere. Mass of the spacecraft — 285 kg, payload mass — 15 kg; perigee — 211.6 km, apogee — 1545.6 km; inclination — 49 deg, period — 102.25 min. For the first the ion temperature of the Earth's ionosphere was measured



Скорость счёта экранированного счётчика Гейгера (импульсы в секунду) в поиски излучения от атмосферного взрыва американской термоядерной бомбы 9 июля 1962 года в 12:00:09,8, зарегистрированной спутником «Космос-5»

Count rate in pulses per second of the radiation burst after the explosion of the US thermonuclear bomb in the atmosphere on July 9, 1962 at 12:00:09.8, as registered by shielded Geiger count tube onboard Cosmos 5



«Марс-1». 1 ноября 1962 года с космодрома Байконур осуществлён пуск ракеты-носителя «Молния-8К78», которая вывела на траекторию полёта к Марсу советскую АМС «Марс-1». Связь с аппаратом прекратилась на расстоянии 50 млн км от Земли. Измерена интенсивность космических лучей, исследована напряжённость магнитного поля Земли и межпланетной среды, изучены потоки ионизированного газа, идущего от Солнца, исследовано распределение метеороидного вещества при пересечении двух метеороидных потоков на расстоянии от 1 до 1,24 а. е. от Солнца

Mars 1. On Nov. 1, 1962 lifted from the Baikonur cosmodrome carrying Soviet Mars-1 interplanetary station to the cruise trajectory to Mars. Communication with the spacecraft stopped at the distance of 50 million km from the Earth. Instruments onboard the station measured the intensity of cosmic rays, studied the strength on the Earth's and interplanetary magnetic fields, fluxes of ionized gas flowing from the Sun, and the distribution of meteoroid matter during crossing of two meteoroid streams at the distances from 1 to 1.24 a.u. from the Sun



«Космос-3». Аппарат запущен 24 апреля 1962 года и предназначен для исследования полярных сияний. Высота в перигее — 229 км, в апогее — 720 км, период обращения вокруг Земли — 93,8; угол наклона плоскости орбиты к плоскости экватора Земли — 48°59'. Спутник имел аппаратуру для исследования частиц малых энергий

Cosmos 3, launched on April 24, 1962, aimed at auroral studies. Perigee — 229 km, apogee — 720 km, inclination — 48.59 deg, period — 93.8 min. The satellite payload included instruments to measure low-energy particles

Тщательная обработка экспериментального материала, полученного первыми разведчиками космоса, значительно расширила, а в ряде случаев существенно изменила имевшие место теории и представления о физико-химических характеристиках верхней атмосферы и околоземного космического пространства.

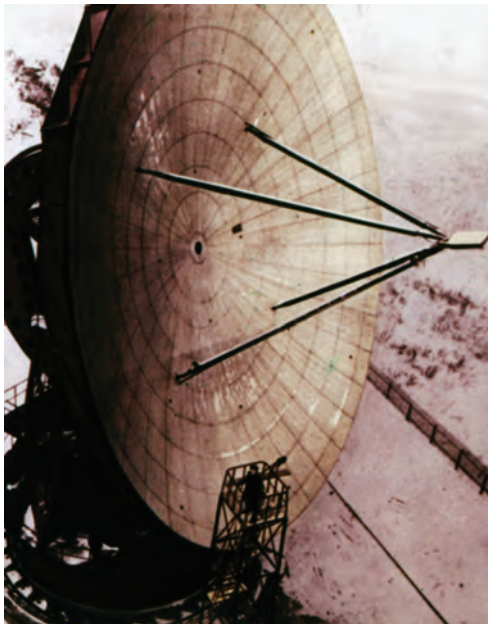
Советские учёные и конструкторы ракетно-космической техники получили целый ряд выдающихся результатов, определивших ведущее положение Советского Союза в этой отрасли науки и техники. Подтвердилась и правильность основных направлений начатых в стране космических исследований. Но это были только первые шаги на пути познания Вселенной.

Исследования проводились отдельными институтами Академии наук, конструкторскими и промышленными организациями разных министерств и ведомств. На первых этапах такая форма проведения космических экспериментов вполне оправдывала себя, поскольку они выполнялись на базе единичных, по сути, уникальных запусков космических аппаратов. Дальнейшие исследования, направленные на более детальное, углублённое изучение космического пространства, планомерное накопление и обобщение научных данных, необходимость в специализированных экспериментах, ориентированных на решение более сложных проблем и подготовку новых этапов проникновения человека в космос, требовали

Careful processing of experimental data of the first explorations of the outer space significantly expanded, and sometimes even changed our understanding of the physical and chemical characteristics of the upper atmosphere and near-Earth space.

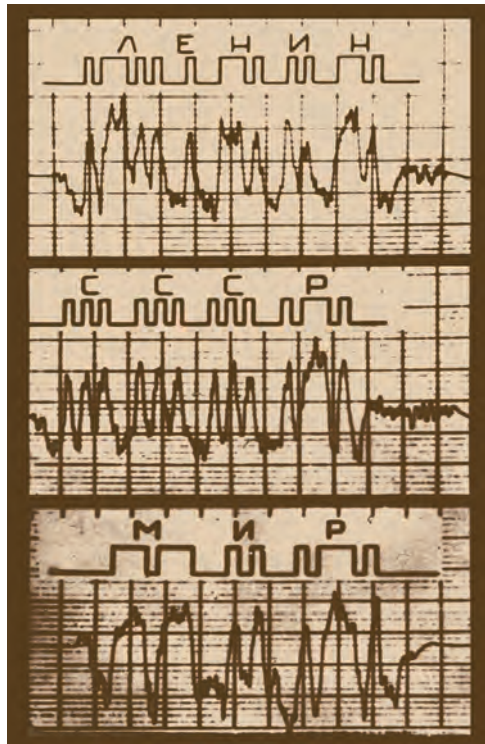
Soviet scientists and rocket engineers obtained many outstanding results, which determined the leading position of the Soviet Union in this field of science and technology. But those were only the first steps on the path of exploration of the Universe.

At that time space research was made by separate institutes of the Academy of Sciences, as well as by engineering and industrial facilities of various ministries and departments. At the dawn of the space era this form of space experiments fully justified itself, because launches were singular and every space experiment was installed aboard, in fact, unique spacecraft. Further research aimed at a more detailed, in-depth study of outer space, systematic accumulation and compilation of data, specialized experiments demanded not just a broader field of research and new scientific and engineering organizations, but their effective cooperation as well.



Крупнейший в СССР серпуховский параболический радиотелескоп и радиолокационные сигналы, переданные в ноябре 1962 года им на Венеру, отражённые от неё и принятые на Земле

The largest radio telescope in the USSR (Serpukhov) and radio location signals, which were transmitted in November 1962 to Venus, reflected from the planet, and were received on the Earth



Спутник «Электрон»
Elektron spacecraft



Спутник «Стрела»
Strela spacecraft



Спутник «Космос-11»
Cosmos 11 spacecraft

не просто расширения фронта исследований, привлечения к ним новых научных и конструкторских организаций, но и обеспечения их эффективного взаимодействия.

Эта задача могла быть решена путём создания некоего научно-методического космического центра, что позволило бы существенно упорядочить ведущиеся работы, исключило бы параллелизм, сделало их более целеустремлёнными и планомерными, обеспечило необходимое развитие всех направлений научных знаний о космосе, наконец, дало бы возможность получить наибольшее количество новых данных при наименьших затратах.

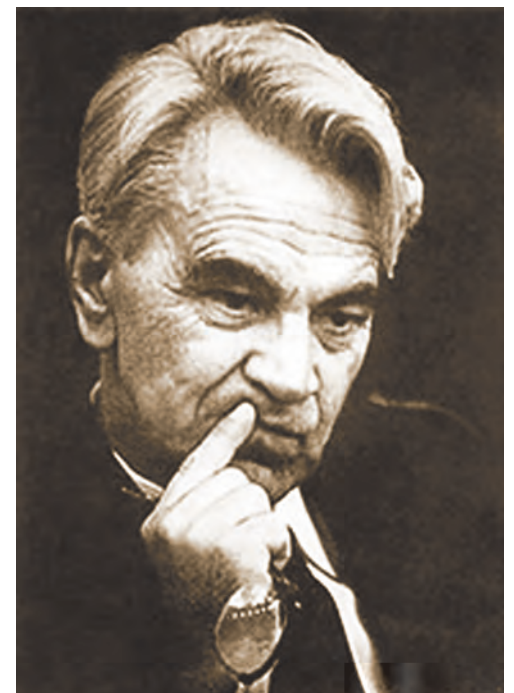
В июле 1963 года Президент Академии наук СССР академик М.В. Келдыш обратился с письмом в директивные органы страны с предложением организовать в системе Академии наук Объединённый институт космических исследований. Основной его задачей должно было стать систематическое исследование космического пространства с помощью унифицированных малых, а затем и тяжёлых искусственных спутников Земли, создаваемых отечественной промышленностью. При этом Институт должен разрабатывать и изготавливать научную аппаратуру, монтировать её на серийно изготавливаемые космические аппараты, проводить их испытания, выполнять предстартовую подготовку и участвовать в запусках.

This problem could be solved by the establishment of a scientific and methodological space center, which would significantly streamline the work underway, eliminate overlaps, and make the activities more structured, so that all areas of scientific space knowledge would develop. Finally, such a center would make it possible to get as much new data as possible at the lowest cost.

In July 1963 the President of the Academy of Sciences of the USSR Academician Mstislav Keldysh proposed to organize a Joint Institute for Space Research within the Academy of Sciences. Its main goal was to start systematic exploration of outer space with standardized small and then heavy artificial satellites, made in the country. The Institute should develop and build scientific equipment, mount it on serially produced spacecraft, prepare them to launch, and participate in launch.

Мстислав Всеволодович Келдыш. Мысли о перспективах космических исследований

Mstislav V. Keldysh. Thinking on the future of space research



15 МАЯ 1965 ГОДА СОЗДАН ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АКАДЕМИИ НАУК СССР

MAY 15, 1965. SPACE
RESEARCH INSTITUTE
OF THE ACADEMY
OF SCIENCES
OF THE USSR —
IKI WAS FOUNDED



*Здание Института космических исследований
Академии наук СССР
IKI's building*

Самое же главное — Институт наделялся бы функциями заказчика по всем научным космическим аппаратам, что исключало диктат производителя: «Вот вам космический аппарат, не нравится — не берите, но другого не будет».

По мнению М. В. Келдыша, для выполнения задач, которые предлагалось поставить перед Объединённым институтом, он должен был иметь постоянный состав высококвалифицированных научных сотрудников, с опытом космических исследований, серьёзную опытно-конструкторскую и производственную базу, центр сбора и обработки научной информации, чтобы оперативно использовать результаты исследований, испытательный комплекс для полного объёма испытаний при подготовке спутников к запуску. Предполагалось, что Институт станет головной организацией по исследованию и использованию космического пространства в интересах фундаментальной науки.

Предложение М. В. Келдыша было принято и Институт создан, хотя и с существенно меньшими, чем первоначально планировалось, полномочиями.

Most importantly, the Institute would be the customer for all research satellites, thus avoiding their specifications to be imposed by manufacturer rather than scientists.

According to Keldysh, such Institute should have a regular staff of highly experienced scientists with background in space research; and a batch of well-equipped laboratories and production facilities, a data processing center for quick access to information, test facilities for pre-launch tests. The Institute was envisioned as the leading organization for basic science space research.

Keldysh's proposal was approved and the Institute was established, albeit with far less authority than had been planned initially.

*Этапы строительства здания Института
космических исследований Академии наук СССР
IKI's building. Phases of construction*



**Постановление Совета Министров СССР
«О создании Института космических исследований Академии наук СССР»**

№ 392-147 15 мая 1965 г.

СОВ. СЕКРЕТНО

В целях обеспечения дальнейшего развития в Советском Союзе исследований космического пространства, накопления и обобщения научных знаний о космосе Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Принять предложение Академии наук СССР о создании в 1965 году в г. Москве Института космических исследований Академии наук СССР.

2. Установить, что Институт космических исследований Академии наук СССР является головной организацией по научным исследованиям в области изучения космоса, разработке и изучению научных проблем по исследованию Луны и планет солнечной системы, связанных с космическими полётами, и является научно-методической базой Межведомственного научно-технического совета по космическим исследованиям при Академии наук СССР.

3. Возложить на Институт космических исследований Академии наук СССР:

— научно-методическое руководство и обобщение результатов работ, проводимых организациями Академии наук СССР, государственных комитетов, министерств и ведомств СССР по исследованию верхних слоёв атмосферы, космического пространства, Луны и планет солнечной системы;

— разработку перспективных комплексных планов исследований космического пространства, Луны и планет солнечной системы, изыскание путей и методов их выполнения в короткие сроки и с наименьшими затратами средств.

4. Академии наук СССР в двухмесячный срок разработать и представить согласованное с Министерством общего машиностроения и Министерством обороны СССР Положение об Институте космических исследований Академии наук СССР, а Комиссии Высшего совета народного хозяйства СССР по военно-промышленным вопросам рассмотреть и утвердить это Положение.

5. Разрешить Академии наук СССР построить в 1965-1967 годах, в виде исключения, в г. Москве для размещения Института космических исследований лабораторные корпуса общей рабочей площадью основного назначения до 30 тыс. кв. метров.

Мосгорисполкому отвести Академии наук СССР для строительства указанных корпусов земельный участок. Строительство корпусов Института космических исследований возложить на Главспецстрой при Государственном производственном комитете по монтажным и специальным строительным работам СССР.

6. Разрешить Академии наук СССР и Госплану СССР, в виде исключения, включить в план капитальных работ на 1965-1966 годы строительство лабораторно-производственных корпусов Института космических исследований без наличия утверждённой в установленном порядке проектно-сметной документации.

Госбанку СССР впредь до утверждения проектно-сметной документации финансировать строительство указанных объектов по проектам и сметно-финансовым расчётам, составленным по рабочим чертежам.

Председатель Совета Министров Союза ССР А. Косыгин

Управляющий Делами Совета Министров СССР М. Смиртюков

АП РФ. Ф.93. Коллекция постановлений и распоряжений СМ СССР за 1965 г. Заверенная копия на бланке.

Советская космическая инициатива в государственных документах. 1946–1964 гг. / Под ред. Ю. М. Батурина. М.: Изд-во «РТСофт», 2008.



Институт космических исследований (ИКИ) был создан как головной институт Академии наук СССР по исследованию космического пространства в интересах фундаментальных наук на основании постановления Совета Министров СССР от 15 мая 1965 года № 392-147 и структурно сформирован согласно Постановлениям Президиума Академии наук СССР от 9 июля 1965 года № 403-006 и от 5 августа 1966 года № 588-014.

В 1986 году Институт награждён Орденом Ленина за значительный вклад в развитие отечественной космической науки и техники.

В 1992 году ИКИ АН СССР преобразован в Институт космических исследований Российской академии наук.

В настоящее время полное наименование института Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук. Устав ИКИ РАН соответствует действующему законодательству и утверждён приказом ФАНО РФ от 05.11.2014 года № 884.

ИКИ РАН получил Свидетельство Московской регистрационной палаты от 6 января 1995 года серия МРП, регистрационный номер 001.386-У, реестр № ОКП-02698692.

ИКИ РАН получена Лицензия Российского космического агентства № 910К от 31.03.2008 года на осуществление космической деятельности с бессрочным сроком действия.

Институт имеет Аттестат аккредитации испытательного центра № ФСС. КТ.134.01.6.4.761600.01.07. от 16 июля 2007 г. на право проведения сертификационных испытаний научной и другой целевой аппаратуры космических аппаратов и испытаний на электромагнитную совместимость.

Space Research Institute (IKI) was founded as principal organisation of the Academy of Sciences of the USSR for space research and exploration for fundamental science under the Government Resolution from May 15, 1965 No. 392-147 and was formed under the Resolutions of the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR from July 9, 1965 No. 403-006 and August 5, 1966 No. 588-014.

In 1986 IKI was awarded with the Order of Lenin for significant contribution to national science and technology development.

In 1992 IKI of the Academy of Sciences of the USSR was transformed into the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. Now its full name Federal State Budgetary Scientific Institution Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. The organization charter complies with the Russian legislation in force and was approved by the Order of Federal Agency of Scientific Organizations from November 5, 2014, No. 884.

IKI RAN got a Certificate of Moscow Registration Chamber from January 6, 1995, MRP series, reg. No. 001.386-Y. List No. ОКПО — 02698692. IKI also got a Licence of Russian Space Agency No. 910 K from March 31, 2008, which permits it to run space activities with no fixed term.

Institute has Test Centre Accreditation Certificate No. FSS. КТ.134.01.6.4.761600.01.07 from July 16, 2007, granting a right to run certificate tests of scientific and other special-purpose equipment of spacecraft, and tests for electromagnetic compatibility.



1728

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
АРХИВ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
117218, Москва, ул. Новочеремушкинская, 34
тел. 129-19-10, факс: 129-19-66
e-mail: archive_ran@mail.ru, academ_archive@mail.ru

Заместителю директора
Института космических
исследований РАН
Назирову Р.Р.

09.10.06 № РАН/5471/355

На № _____

АРХИВНАЯ ВЫПИСКА

из Постановления Президиума АН СССР №403-006 «О создании
Института космических исследований АН СССР» от 09 июля 1965 г.

Архив РАН сообщает, что в Постановлении Президиума АН СССР №403-006 «О создании Института космических исследований АН СССР» от 09 июля 1965 г. значится:

«Совет Министров СССР постановлением №392-147 от 15 мая 1965 г.:

1. Принял предложение о создании в 1965 г. в г. Москве Института космических исследований Академии наук СССР.
2. Установил, что Институт космических исследований Академии наук является головной организацией по научным исследованиям в области изучения космоса, разработке и изучению научных проблем, связанных с космическими полетами, и является научно-методической базой Междуведомственного научно-технического совета по космическим исследованиям.

Президиум Академии наук СССР постановляет:

1. Создать в системе Академии наук СССР Институт космических исследований АН СССР.

Президент Академии наук СССР
академик

М.В. Келдыш

Главный Ученый секретарь
Президиума АН СССР
академик

Н.М. Сисакян».

Основание: Архив РАН, Ф.530с, оп.26, д.70, лл.47-50.

Директор Архива РАН

В.Ю. Афиани

Зав.отделом

Т.Г. Краснова



Архивная выписка
из Постановления Президиума
АН СССР №403-006 «О создании
Института космических
исследований АН СССР»
от 9 июля 1965 года

Excerpt from an Archive. Resolution
of the Presidium of the Academy
of Sciences of the USSR No. 403-006
"On the foundation of the Space
Research Institute of the Academy
of Sciences of the USSR" from
July 9, 1965

1. Отд. Луны и Марса } Флаксманов, 34, 76, 1
 Сирнов, 15чч. 2

2. Автоматизация и радиосвязи } Старашин, 10ч.
 Шолохов, 10ч.

3. Отд. комплексной науки } Топорков, 7чч. 0чч.
 24 - 25чч.

4. Отд. комплексной гидродинамики } Петров, 20ч.

5. Отд. научных методов освоения земли и планет.
 Саурин, 1чч.
 Мухомов, 1чч.
 2чч.

6. Комплексная подготовка и тренировки } Буцаев, 3ч.

7. Бюро научной информации } Андрианов, 1чч.
 Марс-69, 18ч.

8. Радиотехника } Эткинд, 1чч.
 9чч.

9. Научно-техническая служба } Васильев, 13чч. Марс, КСР.
 13чч.

10. Коммунальное хозяйство } Петров, 1чч.

11. Отд. биологии растений } Давыдов, 1чч.

12. ОА/А. } Злотин, 88ч.

13. Отд. научных исследований Хелдыш, 15чч.
 15. Отд. инженерии. Занков, 1чч.

14. Отд. хозяйственных программ Новиков, 1чч.

15. Биологическая } Мухомов, 1чч.

Масляков
 КСР.

1720. 220. 450ч.
 80%. ИКИ. 700 шт. 100 разуме.

ИКИ 430ч.
 290ч.
 140ч.

Работы. 12+3

1) Планеты

2) Промыш. Т.Ф.С.С. 2
 Экономические условия. 310ч/100

3) Автоматизация. Ретман.
 Прогноз.
 Всп. станции на Луне.
 Отд. биологии. 1чч.
 50ч.

1967. 330ч.
 1968. 700ч.
 1969. 250 500

Архив РАН, дело 1729, описание 2, документ 172, страницы 2 и 3. Наброски М.В. Келдыша структуры Института космических исследований (ИКИ) с количеством штатных единиц в подразделениях. Автограф [1970]

Archive of the RAS, File 1729, List 2, Doc. 172, pages 2 and 3. Drafts by M.V. Keldysh on the structure of Space Research Institute (IKI) with staff numbers per departments. Autograph [1970]

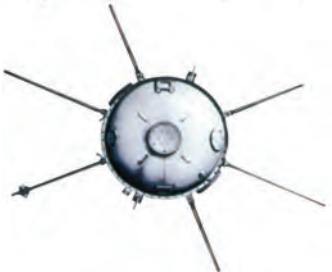


Президент Академии наук СССР Мстислав Всеволодович Келдыш и будущий директор ИКИ Георгий Иванович Петров на киевском заводе «Арсенал» 1964 год

Mstislav V. Keldysh, president of the Academy of Sciences of the USSR, and Georgy I. Petrov, future director of IKI at the Arsenal plant, Kyiv, 1964

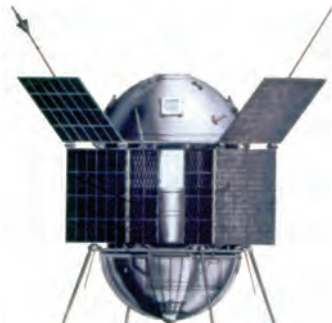
Базовая платформа научно-исследовательского спутника с химическими источниками энергии ДС-У1

Base platform of the scientific satellite with chemical batteries DS-U1



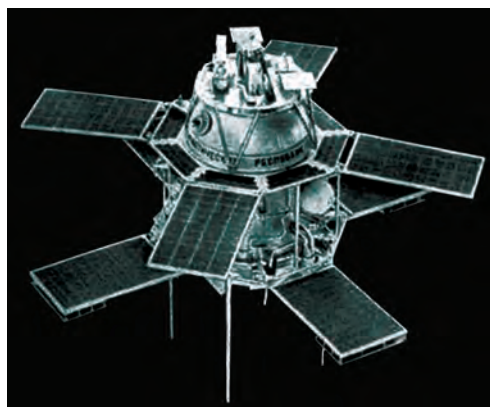
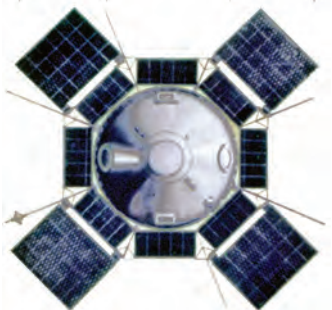
Базовая платформа научно-исследовательского спутника с солнечными батареями ДС-У2

Base platform of the scientific satellite with solar batteries DS-U2



Внизу: базовая платформа научно-исследовательского спутника с солнечной ориентацией ДС-У3

Bottom. Base platform of the scientific satellite with orientation to the Sun DS-U3



В. М. Ковтуненко — главный конструктор спутников ОКБ-586

V. M. Kovtunenکو, chief designer of the OKB-586 satellites



К. И. Грингауз — выдающийся исследователь Космоса, разработчик передатчика первого спутника

K. I. Gringauz, prominent space scientist, designer of the transmitter for the first Sputnik



Платформа «Прогноз» НПО им. С. А. Лавочкина, на которой построено 12 спутников. Главный конструктор Г. Н. Бабакин

Prognoz platform, built by Lavochkin Association, which was a base for 12 spacecraft. Chief designer G. N. Babakin

В янгелевском ОКБ-586 (Днепропетровск) под руководством В. М. Ковтуненко был разработан малый унифицированный спутник серии ДС-У в трёх основных модификациях: с химическими источниками тока ДС-У1, с солнечными батареями ДС-У2 и с системой солнечной ориентации ДС-У3.

Защита эскизного проекта спутника состоялась летом 1964 года с участием главного конструктора ОКБ-586 М. К. Янгеля и Президента АН СССР М. В. Келдыша, представителей предприятий-смежников и институтов Академии наук. Докладывал проект В. М. Ковтуненко. В ходе обсуждения не обошлось и без ложки дёгтя. К. И. Грингауз из Радиотехнического института АН СССР, уже имевший опыт проведения исследований на борту космических аппаратов, заявил, что рассматриваемый проект — вчерашний день космонавтики: герметичный корпус и, как следствие, для размещаемой на борту спутника полезной нагрузки останется, в лучшем случае, не более трети от общей массы космического аппарата. Особой полемикой это заявление не вызвало. Все отлично понимали, что в стране нет электроники для работы в открытом космосе. Но неприятный осадок остался. Тем не менее, проект был принят.

Ранее в королёвском ОКБ-1 были созданы малые спутники (МС), запущенные под наименованием «Космос-2, -3 и -5». В ОКБ-586 считали, что аббревиатура МС расшифровывается как «московский спутник» и назвали свой ДС, что означало «днепропетровский спутник».

Универсальная платформа М-71 НПО им. С. А. Лавочкина, на которой были построены большие серии аппаратов для исследования Марса, Венеры, кометы Галлея, астрофизические обсерватории «Астрон» и «Гранат». Главный конструктор Г. Н. Бабакин

M 71 universal platform designed by Lavochkin Association was a base for large series of spacecraft for Mars, Venus, and Comet Halley exploration, as well as Astron and Granat astrophysical observatories. Chief designer G. N. Babakin



Soon, a group under the leadership of Prof V. M. Kovtunenکو (Design Bureau ОКБ-586, Dnepropetrovsk) developed a standardized series of DS-U small satellite, with three main versions: a) chemically powered DS-U1, b) with solar panels DS-U2, and c) DS-U3 with solar orientation system.

In summer of 1964 V. M. Kovtunenکو presented the satellite study design to the ОКБ-586 chief designer M. K. Yangel, representatives of industry, Academy of Science, and its President M. V. Keldysh. K. I. Gringauz of Radio-Technical Institute of the USSR who had been already experienced in space experiments, remarked that the project was already out of date, since it had a heavy pressurized body, which would leave to scientific payload one third of overall spacecraft mass at best. Even though everybody on the meeting understood that the nation at that time didn't have electronic components capable of working in the open space, this remark left an uneasy feeling. Still, the project was adopted.

S. A. Korolev's Design Bureau ОКБ-1 had earlier built small satellites (MS, 'Maly Sputnik' in Russian), launched under names *Cosmos 2, 3, 5*. ОКБ-586 experts assumed that MS stood for 'Moscow Sputnik' and called their orbiters DS, which meant 'Dnepropetrovsk Sputnik'.

Для Академии наук предусматривалось изготовление 18 малых спутников серии ДС-У. Они предназначались для продолжения исследований, начатых в 1962 году по программе «Космос» с целью накопления статистических данных, а также проведения ряда новых исследований, в том числе параметров верхней атмосферы, вариаций космического излучения, вспышек на Солнце в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, прохождения в ионосфере сверхдлинных волн, метеоритного вещества в окрестностях Земли, выполнения мировой магнитной съёмки и других целей.

В дальнейшем в ОКБ-586 были разработаны и запущены в производство более тяжёлые автоматические унифицированные орбитальные станции (АУОС) в двух модификациях. Они использовались в отечественной космической программе начиная со спутника «Космос-261», но особенно активно — в международной программе ИНТЕРКОСМОС.

Предложение М. В. Келдыша монтировать научную аппаратуру на серийно изготавливаемые летательные аппараты в тот период полностью оправдало себя. В ходе развития программы космических исследований унификация серийных спутников трансформировалась в создание базовых платформ для установки на них научной аппаратуры, в соответствии с задачами эксперимента (двенадцать спутников серии «Прогноз», нынешние платформы «Навигатор» и «Карат»).

Вместе с тем, права заказчика на научные космические аппараты Институту космических исследований (ИКИ) так и не были даны. Министерство общего машиностроения — производитель и одновременно заказчик космической техники — здесь стояло насмерть. Возможно, это и стало одной из причин сегодняшнего ослабления научных космических позиций России.

Исчезло из предлагаемого М. В. Келдышем названия Института и слово «Объединённый», хотя формировался он, как и планировалось, на базе многих отделов и лабораторий, работавших ранее по космической тематике в различных институтах Академии наук и других ведомств, а также в конструкторских и промышленных организациях, в том числе королёвском ОКБ-1.

Институту вменялось выполнение экспериментальных работ 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 также поручались подготовка программ научных космических исследований; разработка и испытания комплексов научной аппаратуры по проектам, включённым в отечественную космическую программу.

18 small DS-U satellites were planned for the Academy of Science. They should have continued the *Cosmos* program, which began in 1962, as well as performed some new tasks, for example, study of upper atmosphere, cosmic radiation variation, solar bursts in UV and X-ray bands, propagation of very low-frequency waves in the ionosphere, meteorites in near-Earth space, global magnetic survey, etc.

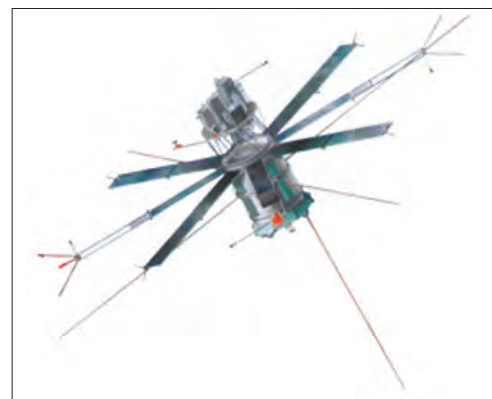
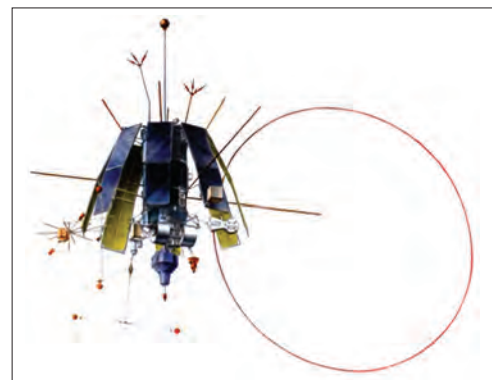
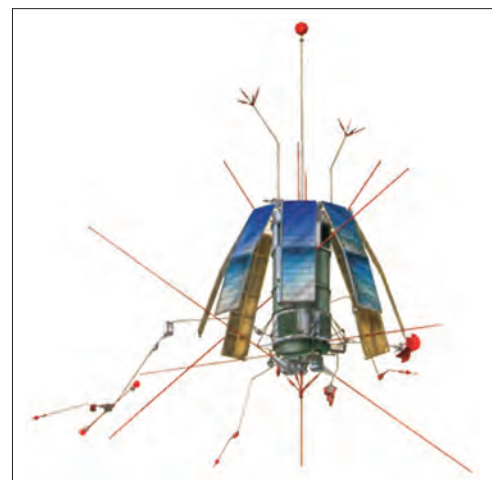
Later OKB-586 developed and built a series of standardized heavy automatic orbital stations (AUOS in Russian) in two versions. They were used for the national space program starting from the *Cosmos 261* satellite, but especially for the international program *Intercosmos*.

Prof. Keldysh's idea to install scientific instruments on serially built spacecraft has worked. As space research program evolved the concept of standardized satellites transformed into the concept of unified platforms, where scientific instruments could be mounted according to the needs of specific space mission (for example, 12 *Prognoz* satellites, current *Karat* and *Navigator* platforms).

At the same time, the Space Research Institute (or IKI, short for Institut Kosmicheskikh Issledovaniy in Russian) was not granted the customer's rights for scientific spacecraft. Ministry of General Machine Building Industry, then the producer and the customer of space technology at the same time, was uncompromising in this question. Perhaps, this was one of the reasons for today's weakening of Russia's positions in space research.

Neither was the Institute named "Joint" as had been initially proposed by M. Keldysh's, although it was formed from many divisions and departments of the institutes of Academy of Science and other bodies (including S. Korolev's OKB-1), that had dealt with space research.

The Institute was in charge for experimental activities in the following fields of space physics: astrophysics; physics of planets and small bodies of the solar system, solar physics and solar-terrestrial interactions, space plasma research and nonlinear geophysics. It also was commissioned with development of space research programs; development and testing of technologies for the projects included in the national space program.



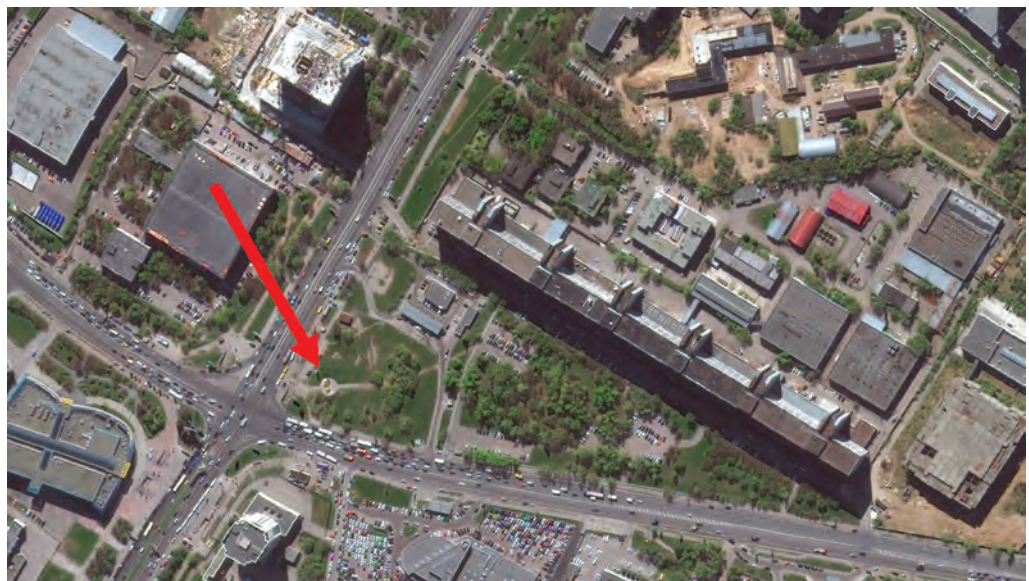
Научно-исследовательские спутники ОКБ-586 различного назначения на унифицированной платформе АУОС (автоматическая универсальная орбитальная станция)

Scientific spacecraft of various purposes built by OKB-586 on the base of AUOS unified platform (short for Automatic Universal Orbital Station)



Президент Академии наук СССР Мстислав Всеволодович КЕЛДЫШ и проект памятника ему на площади, носящей его имя, в Москве

Mstislav V. KELDYSH, president of the Academy of Sciences of the USSR, and the project of a monument proposed to be placed at the square of his name in Moscow



Площадь Келдыша в Москве, на которой расположено здание ИКИ РАН. Стрелкой указано предлагаемое место для установки памятника великому учёному

Keldysh's Square in Moscow, where IKI's building is located. The arrow points at the suggested place for the monument

М. В. Келдыш не только непосредственно участвовал в организации ИКИ, но и был, по сути, основной движущей силой этого процесса, особенно в первые, самые трудные годы его становления.

Символично, что здание института находится на площади, носящей имя Келдыша. Когда-то здесь планировалось поставить памятник прославленному академику, но эти планы до сих пор не реализованы.

В разные годы Институт космических исследований (ИКИ) возглавляли академик Г. И. Петров (1965–1973), академик Р. З. Сагдеев (1973–1988), академик А. А. Галеев (1988–2001), академик Л. М. Зеленый (с 2001 года по настоящее время).

За прошедшие со дня образования Института 50 лет менялись и возлагаемые на него задачи, и его структура. Реорганизации зачастую носили радикальный характер.

Одним из первых научных подразделений, сформированных в ИКИ, стал отдел геофизики — физики космической плазмы. В него вошли группа теоретиков во главе с Г. А. Скуринным, ранее работавших в Отделении прикладной математики Математического института им. В. А. Стеклова (ОПМ МИ) Академии наук, лаборатория полярных сияний из Института физики атмосферы (ИФА) во главе с Ю. И. Гальперинным. В отделе был также образован сектор космической плазмы, который возглавил О. Л. Вайсберг.

В 1967 году организуется отдел космических лучей, который по своей тематике был наиболее близок к отделу геофизики. Ещё один отдел, в котором велись исследования космической плазмы, космической газовой динамики, возглавляет академик Г. И. Петров.

M. V. Keldysh did not only establish IKI, but was, in fact, the driving force of its forming, especially in the first and most difficult years.

Symbolically, the Institute's building is located on the square bearing Keldysh's name. There was a project of a monument of this famous academic, however it has not yet been built.

Over the years IKI was headed by Academician G. I. Petrov (1965–1973), Academician R. Z. Sagdeev (1973–1988), Academician A. A. Galeev (1988–2001), academician L. M. Zelenyi (2001 – present).

The structure of Institute changed throughout its history as did the scope of tasks it was engaged in, and the changes were sometimes truly radical.

One of the first scientific departments in the Institute was the Department of Geophysics and Space Plasma Physics. It was formed from a group of theoreticians headed by G. A. Skuridin (previously at the Department of Applied Mathematics of the Steklov Mathematical Institute of the Academy of Sciences) and Laboratory of Auroras (Institute of Atmospheric Physics) headed by Yu. I. Galperin. Within the Department there was space plasma working group headed by O. L. Vaisberg.

Cosmic Rays department was established in 1967, and its field of interest was quite close to that of the Department of Geophysics. Another department, which studied space plasma and space gas dynamics was headed by Academician G. I. Petrov.



Директоры Института космических исследований Российской академии наук — выдающиеся учёные-физики, академики — способствовали эффективному развитию отечественной космической науки и превращению ИКИ в признанный мировой центр советской, а затем и российской космической науки

Directors of Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences — prominent physicists, members of the Academy, contributed to a rapid development of national space science and turned IKI to a world-renown centre of Soviet, and later Russian, space science



ГЕОРГИЙ ИВАНОВИЧ ПЕТРОВ
GEORGI I. PETROV

Первый директор Института, учёный-механик, с именем которого связаны многие выдающиеся достижения отечественной ракетно-космической техники второй половины двадцатого столетия.

В 1953 году он избирается членом-корреспондентом, в 1958 году, по представлению М. В. Келдыша и С. П. Королёва, — действительным членом Академии наук.

Г. И. Петров был неординарной личностью, совмещающей в себе широкий и одновременно глубокий взгляд на рассматриваемые процессы и явления, что позволяло ухватить их суть и создать математическую модель для качественного описания. В равной степени ему были присущи черты как теоретика, так и экспериментатора. Он один из первых оценил перспективы быстроразвивающихся ЭВМ для решения задач механики, внёс огромный вклад в развитие аэромеханики больших скоростей, решение проблемы теплозащиты космических аппаратов, входящих в атмосферу со сверхзвуковыми скоростями, близкими к первой космической.

Георгия Ивановича не стало 13 мая 1987 года. Ему было 74 года.

The first director of the Institute, physicist with specialization in mechanics, whose name is closely connected to many outstanding achievements of national rocket technology in the second part of the XX century.

Elected corresponding member of the Academy of Sciences in 1953, and full member (upon submission by M. V. Keldysh and S. P. Korolev) in 1958.

An extraordinary scientist, Georgiy I. Petrov possessed both wide and deep insight of the physical phenomena, which allowed him to grasp their essence and to build an adequate mathematical model to describe them. A theoretician as much as an experimenter, he was among the first to justify the potential of high-speed computers for mechanics and made a large contribution to aeromechanics of high speeds and thermal insulation of spacecraft, entering the atmosphere with supersonic velocities close to orbital velocity.

He passed on May 13, 1987 in the age of 74.



РОАЛЬД ЗИННУРОВИЧ САГДЕЕВ
ROALD Z. SAGDEEV

Доктор физико-математических наук, профессор. В 1964 году избран член-корреспондентом, в 1968 году — действительным членом Академии наук. Работал в Курчатовском институте и Институте ядерной физики Сибирского отделения, где стал одним из создателей современной физики плазмы. С 1973 по 1988 год Р. З. Сагдеев — директор ИКИ. Затем руководил научно-методическим центром аналитических исследований института.

Ему принадлежат многочисленные труды по физике плазмы (ударные волны, процессы переноса, неустойчивости), космической физике. Особенно известна его теория бесстолкновительных ударных волн, без которой немислимы ни современная космическая физика, ни решение проблемы термоядерного синтеза, ни многое другое. За создание неоклассической теории процессов переноса в тороидальной плазме ему присуждается Ленинская премия. Он основал физическую школу, которая насчитывает десятки докторов наук и пользуется международным признанием.

Р. З. Сагдеев — иностранный член Национальной академии наук США и Королевской академии наук Швеции.

PhD., Professor. Elected corresponding member of the Academy of Sciences in 1964, and full member in 1968. He worked at Kurchatov Institute and Institute of Nuclear Physics (Siberian Branch of the RAS), where he became one of the founders of the modern plasma physics. In 1973–1988 R. Z. Sagdeev was a director of IKI. Later, he headed analytic research department of the Institute.

He authors numerous works on plasma (shock waves, transfer processes, instabilities) and space physics. Among the most renown is his theory of collisionless shock waves, which is one of the keystones of modern space physics, thermonuclear fusion, and many other fields. He was awarded with Lenin prize for development of neoclassical theory of transfer processes in toroidal plasma. R. Z. Sagdeev founded a school in physics, which counts tens of PhD's and is acknowledged worldwide.

Foreign member of the U.S. National Academy of Sciences and Royal Swedish Academy of Sciences.



АЛЬБЕРТ АБУБАКИРОВИЧ ГАЛЕЕВ
ALBERT A. GALEEV

Доктор физико-математических наук, профессор. В 1987 году избран член-корреспондентом, в 1992 году — действительным членом Академии наук. Специалист в области физики плазмы. Окончил Новосибирский государственный университет, параллельно с учёбой работал в Институте ядерной физики СО АН СССР.

В 1973 году перешёл на работу в ИКИ, где возглавил отдел космической плазмы. С 1988 года — директор Института.

Яркий талант и творческая энергия позволили ему добиться уникальных результатов в области космической физики. Разработал теорию взрывного пересоединения силовых линий в магнитосферном хвосте, а также теорию слабого взаимодействия волн в плазме и совместно с Сагдеевым неоклассическую теорию переноса в токамаках. Предложил теорию, объясняющую ускорение солнечного ветра из корональных дыр при помощи альфвеновских волн.

А. А. Галеев — лауреат премий: Ленинской, Ленинского комсомола, Президента РФ, нескольких международных.

В настоящее время почётный директор ИКИ РАН

PhD, Professor. Elected corresponding member of the Academy of Sciences in 1987, and full member in 1992. Specialized in plasma physics. He graduated from Novosibirsk State University; while studying, he also worked at Institute of Nuclear Physics (Siberian Branch of the RAS). In 1973 he started working at IKI, where he headed Space Plasma Department. Director of the Institute since 1988.

His bright talent and energy were the keys to his unique results in space physics. He elaborated a theory of explosive reconnection of force lines in the tail of the magnetosphere, the theory of weak wave interactions in plasma, and, together with Sagdeev, neoclassical theory of transfer in tokamaks. He suggested a theory, explaining solar wind acceleration from coronal holes by Alfvén waves.

He was awarded with Lenin Prize, Prize of Lenin Komsomol, Prize of the President of the Russian Federation, several international awards.

Now A. A. Galeev is Director Emeritus of IKI.



ЛЕВ МАТВЕЕВИЧ ЗЕЛЁНЫЙ
LEV M. ZELENYI

Доктор физико-математических наук, профессор МФТИ. В 2003 году избран член-корреспондентом, в 2008 году — действительным членом Академии наук. С 2013 года — вице-президент РАН, председатель Совета по космосу РАН. В 1972 году окончил факультет аэрофизики и космических исследований Московского физико-технического института и стал работать в ИКИ, где прошёл путь от инженера, младшего научного сотрудника до директора института (с 2002 года).

Основное направление научной деятельности — физика космической плазмы. Известный специалист в области теории бесстолкновительной плазмы, пересоединения магнитных полей, динамики заряженных частиц, физики магнитосферы. Был научным руководителем одного из самых успешных международных космических проектов ИНТЕРБОЛ.

В настоящее время научный руководитель с российской стороны международного проекта ЭКЗОМАРС и отечественной лунной программы, одна из задач которой использование Луны в качестве естественного исследовательского полигона. С 2002, — директор института.

Лауреат премии Президента РФ.

PhD, Professor. Elected corresponding member of the Academy of Sciences in 2003, and full member in 2008. Vice president of the Russian Academy of Sciences since 2013, the chairman of the Space Council of the RAS. In 1972 he graduated from the Moscow Institute of Physics and Technology (Department of Aerophysics and Space Research) and began working at IKI, starting as an engineer and, since 2002, — director of the Institute.

Main area of research — space plasma physics. Well-known expert in the theory of collisionless plasma, magnetic fields reconnection, charged particle dynamics, magnetosphere physics. Principal Investigator of one of the most successful international space missions Interball.

Today — Principal Investigator (Russian part) of ExoMars international project and national lunar program. Awarded with the Prize of the President of the Russian Federation.

**Геннадий Александрович
СКУРИДИН**

Gennady A. SKURIDIN



В него входили теоретическая (В. Б. Леонас) и экспериментальная (В. Б. Баранов) лаборатории. Позднее в состав отдела на правах лаборатории вошла переведённая в ИКИ из Курчатовского института группа сотрудников во главе с И. М. Подгорным. Они занимались лабораторным моделированием взаимодействия солнечного ветра с магнитным полем Земли и атмосферами планет.

В 1971 году в ИКИ переводится из Радиотехнического института Академии наук большая группа учёных, возглавляемая К. И. Грингаузом, которая на правах самостоятельного отдела также занимается экспериментальными исследованиями солнечной плазмы.

Отдел геофизики вскоре расформировывается, и на его базе создаётся отдел физики космической плазмы во главе с Л. Л. Ваньяном, ранее работавшим в Институте физики Земли Академии наук.

В результате очередной реорганизации возникает штатное плазменное отделение. Его руководителем «на общественных началах» становится незадолго до этого пришедший в Институт Р. З. Сагдеев. После его назначения директором ИКИ он приглашает в Институт своего ученика А. А. Галеева, который возглавляет плазменное отделение. В 1973 году оно преобразуется в отдел физики плазмы. Помимо теоретической лаборатории А. А. Галеева в состав отдела вошли лаборатория полярных сияний (затем физики магнитосферных процессов) Ю. И. Гальперина, лаборатория околопланетной плазмы, образованная на базе отдела экспериментальных исследований солнечной плазмы К. И. Грингауза и лаборатория моделирования И. М. Подгорного, а также группы космической плазмы О. Л. Вайсберга и солнечных космических лучей Н. Ф. Писаренко, ставших позднее лабораториями.

Плазменное направление исследований продолжит и в дальнейшем, по выражению нового директора Института Р. З. Сагдеева, «совершенствоваться». Создаётся теоретический отдел во главе с А. А. Галеевым и отдел солнечно-земных связей во главе со Г. А. Скуридиным. После избрания А. А. Галеева директором ИКИ заведующим отделом физики космической плазмы становится Л. М. Зеленый.

Одним из главных научных направлений Института всегда считались исследования планет и малых тел Солнечной системы. Однако первоначально работы по этой тематике были рассредоточены по разным подразделениям. На последнем этапе своей деятельности на посту директора Института Г. И. Петров принял решение о реорганизации планетной тематики, объединив несколько научных групп в ранге лабораторий в единый лунно-планетный отдел под своим личным руководством. Однако это не нашло понимания у нового директора Р. З. Сагдеева. Ряд лабораторий лунно-планетного профиля

It included theoretical (V. B. Leonas) and experimental (V. B. Baranov) laboratories. Later they were joined by a group headed by I. M. Podgorny (from the Kurchatov Institute), who formed a separate laboratory. They modeled in a lab interaction of solar wind with the Earth's magnetic field and atmosphere of planets.

In 1971 a large group of scientists, led by K. I. Gringauz (from the Radio-Technical Institute of the Academy of Sciences), formed an independent department for experimental studies of solar plasma.

Shortly afterwards the Department of Geophysics was transformed into Space Plasma Physics Department headed by L. L. Vanyan (previously at the Institute of Physics of the Earth of the Academy of Sciences).

As a result of yet another reorganization a new Plasma Department was organized. A newcomer to the Institute R. Z. Sagdeev volunteered to head it. After he had been appointed the Director of the Space Research Institute, he invited one of his students A. A. Galeev to head the plasma department, transformed into Plasma Physics Department in 1973. Besides A. A. Galeev's theoretical laboratory, this new department consisted of Yu. I. Galperin's Laboratory of Auroral Studies (later renamed to Laboratory for Magnetosphere Physics), Laboratory for Circumplanetary Plasma based on K. I. Gringauz's Department for experimental solar plasma studies, I. M. Podgorny's Modeling Laboratory and O. L. Vaisberg's Space Plasma Group and N. F. Pisarenko's Solar Cosmic Rays Group, which later were transformed into labs.

Later plasma studies in the institute continued to "improve", according to the new Institute director R. Z. Sagdeev. A. A. Galeev headed a new Theoretical Department and G. A. Skuridin — the Department of Solar-Terrestrial Relations. After A. A. Galeev was elected the director of IKI, L. M. Zeleny became head of the Space Plasma Physics Department.

Study of planets and small bodies of the Solar system has always been one of the main areas of Institute's research. However, initially these activities were distributed among multiple departments. Not long before his retirement from the office of director G. I. Petrov decided to reorganize the planetary realm, combining several research laboratories into a single Department of Moon and Planets, under his personal leadership. However, it did not find understanding of the new director R. Z. Sagdeev. A number of laboratories engaged in lunar and planetary studies was soon closed, and the Department of Moon and Planets (after being renamed to Comparative Planetology Laboratory) was transferred to Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Academy of Sciences.

Soon both manned and unmanned moon programs start being scrapped across the USSR. By the early eighties this subject was virtually eliminated in IKI and was revived only recently.

**Юрий Ильич
ГАЛЬПЕРИН**

Yuri I. GAPLERIN



**Константин Иосифович
ГРИНГАУЗ**

Konstantin I. GRINGAUZ



**Олег Леонидович
ВАЙСБЕРГ**

Oleg L. VAISBERG



**Новомир Фёдорович
ПИСАРЕНКО**

Novomir F. PISARENKO



вскоре ликвидируется, а отдел Луны и планет, первоначально переименованный в лабораторию сравнительной планетологии, со всей тематикой и оборудованием переводится в Институт геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ) Академии наук.

Вскоре в стране происходит резкое сворачивание лунных программ, как пилотируемых, так и с помощью автоматических средств, и к началу восьмидесятых годов прошлого столетия эта тематика в ИКИ практически ликвидируется и начинает возрождаться только в последние годы.

Единый отдел планетных исследований в ИКИ был сформирован в 1974 году. Его возглавил В. И. Мороз. В отдел вошли четыре лаборатории: спектроскопии (В. И. Мороз), фотометрии и инфракрасной (ИК) радиометрии (Л. В. Ксанфомалити), масс-спектрометрии (В. Г. Истомин), физико-химических исследований планет (Л. М. Мухин). Первые результаты были получены сотрудниками отдела на автоматических межпланетных станциях (АМС) «Марс-3 и -5» по ИК-радиометрии. Проводились также эксперименты по дистанционному измерению содержания водяного пара в атмосфере Марса. Приоритетные результаты были получены в экспериментах, проведённых в атмосфере Венеры. Разрабатывались инженерные модели планетных атмосфер. Сначала это были справочные материалы небольшого объёма, но постепенно требования к их детальности со стороны конструкторов планетных космических аппаратов возрастали, и к их подготовке подключалось всё большее число учёных отдела.

Тем не менее, тематика работ отдела первоначально была ограничена лишь физическими исследованиями атмосфер и поверхностей планетных тел. Предполагалось, что геологи и специалисты по ТВ-съемке будут выделены в самостоятельные структурные подразделения, одним из которых, в частности, стал отдел оптико-физических измерений.

Костяк этого отдела составил перешедший в 1967 году в ИКИ из Московского института геофизики, аэрофотосъёмки и картографии коллектив учёных и инженеров, возглавляемый Б. Н. Родионовым. К моменту перехода этот коллектив уже более десяти лет проводил исследования в области фотографических и космических съёмок и обработки видеoinформации. К первым работам, проведённым отделом в ИКИ, можно отнести изучение топографии участков лунной поверхности по их изображениям, переданным на Землю с первого и второго луноходов.

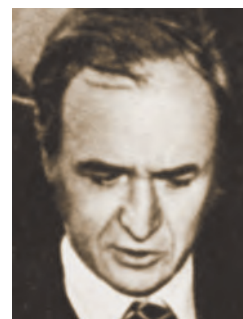
В основном же работы отдела были сосредоточены на съёмках земной поверхности, имевших целью, с одной стороны, отработку фотографических методов и средств дистанционного зондирования, с другой — выявление круга задач, которые можно решать по материалам космической съёмки.

The integrated Planetary Research Department was formed in IKI in 1974. It was headed by V. I. Moroz and included four laboratories: Spectroscopy (V. I. Moroz), Infrared Photometry and Radiometry (L. V. Ksanfomaliti), Mass Spectrometry (V. G. Istomin), Physical and Chemical Planetary Exploration (L. M. Muhin). Its first results the department obtained from *Mars-3* and *Mars-5* stations (they concerned IR radiometry). There were also experiments on remote measurement of water vapour in the Martian atmosphere. The results of experiments in Venus atmosphere were the first of the kind. A set of planetary atmospheres engineering models was developed. In the beginning it was a small reference library, but gradually more and more specialists of the department began to work on it, as spacecraft designers demanded for data of higher and higher precision.

However, the department was initially limited in its subject by physical studies of atmospheres and surfaces of planetary bodies. It was assumed that geologists and television survey experts would be gathered in separate divisions. One of them was, in particular, the Department of Optical and Physical Measurements.

The team of scientists and engineers from the Moscow Institute of Geophysics, Aerial Photography and Mapping led by B. N. Rodionov, joined IKI in 1967 and made the backbone of this department. By the time of their transition the team have been researching satellite imagery and video processing for already 10 years. One of the department's first results in IKI was topographical analysis of the lunar surface by the images transmitted by *Lunokhod 1* and *2*.

For the most part the department was focused on orbital observations of the Earth, on one hand refining photographic techniques and remote sensing methods, on the other — selecting tasks that could be solved by satellite imagery.



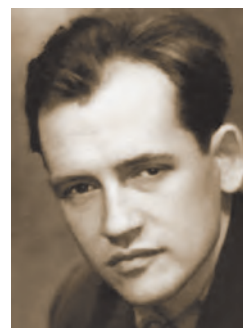
**Игорь Максимович
ПОДГОРНЫЙ**
Igor M. PODGORNY



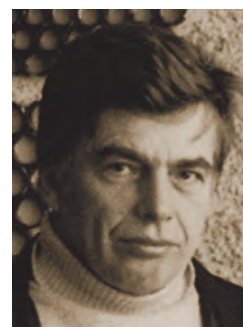
**Василий Иванович
МОРОЗ**
Vasily I. MOROZ



**Леонид Васильевич
КСАНФОМАЛИТИ**
Leonid V. KSANFOMALITI



**Вадим Глебович
ИСТОМИН**
Vadim G. ISTOMIN



**Лев Михайлович
МУХИН**
Lev M. MUHIN

Борис Николаевич РОДИОНОВ
Boris N. RODIONOV



После ряда реорганизаций, тематического перенацеливания, изменений названия отдел в итоге сохранил свой профиль оптико-физических измерений.

В 1967 году на базе части сотрудников, работавших ранее в Проблемной радиофизической лаборатории Московского государственного педагогического института (МГПИ) им. В. И. Ленина, в ИКИ формируется научное подразделение радиофизических приборов. По мере совершенствования созданных в отделе микроволновых приёмников они начинают использоваться для исследования радиофизическими методами поверхности суши и океана из космоса, и в 1974 году принимается решение о создании самостоятельного отдела прикладной космической физики под руководством В. С. Эткина.

Приоритетной задачей отдела стало выявление внутриокеанических глубинных процессов по их поверхностным «отголоскам». Однако к началу 1990-х годов в связи с резким сокращением финансирования «океанического» направления центр тяжести деятельности отдела переместился на исследования окружающей среды. В связи с этим В. С. Эткин предложил иное название для своего отдела — «Космические исследования Земли как экологической системы».

Большие усилия были направлены на становление новых приложений научно-технического потенциала отдела в сложившихся условиях. Одним из направлений работ стали масштабные проекты по дистанционному зондированию окружающей среды. Другое направление работ было связано с переносом усилий отдела с океана на сушу, в частности применительно к дистанционному анализу почв и снежных покровов.

Выделилась из отдела В. С. Эткина и стала самостоятельным подразделением лаборатория космофизики. На базе лаборатории создаётся отдел прикладных космических исследований, в дальнейшем переименованный в отдел космофизики. Первоначально его возглавил С. С. Моисеев, а после его ухода из жизни — А. С. Ерохин.

Кроме отдела Луны и планет самую серьёзную реорганизацию претерпел отдел астрофизики (руководитель И. С. Шкловский), созданный на базе отдела радиоастрономии Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга МГУ. До перехода в ИКИ сотрудники этого подразделения уже имели достаточный опыт в области космической астрономии. С каждым годом тематика работ отдела становилась всё более широкой. И. С. Шкловский стремился сосредоточить усилия на «большой» астрономии, т.е. исследованиях Галактики, её населения и внегалактических объектов, вопросах космологии. Однако в 1985 году И. С. Шкловский скончался.

After a series of administrative reforms and other changes, including changes of the name, the department has retained its optical and physical specialization.

In 1967 a scientific division for radio instruments was established in IKI from the Radio Laboratory of the Lenin Moscow State Pedagogical Institute. As the microwave receivers developed by the group were getting more sophisticated, they started to be used to study the land and the ocean from space. In 1974 the group was reorganized in a separate Department for Applied Space Physics led by V. S. Etkin.

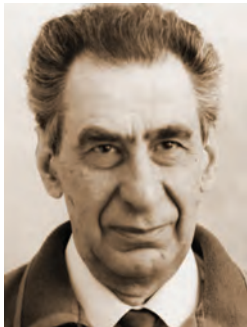
The first task of the department was to study processes in a deep ocean by their visible effects on its surface. But by the early 1990s due to cut in funding of the ocean research, the department's activities drifted towards environmental studies. Therefore V. S. Etkin suggested another name for his department, which sounded "Space Research of the Earth as an Ecological System".

The department struggled to apply its potential in the given circumstances. Among the new objectives were large projects in Earth remote sensing. Another idea was to move from ocean to land, in particular to remote analysis of soils and snow cover.

The Laboratory of Space Physics that once had been the part of the department (headed by V. S. Etkin), became a department of its own. The newly established entity named Applied Space Research Department (later Space Physics) was initially headed by S. S. Moiseev, and after his death by N. S. Erokhin.

The Department of Astrophysics (head I. S. Shklovsky) based at the Department of Radio Astronomy of the MSU Shternberg State Astronomical Institute has undergone a major reformation on par with the Moon and Planetary Department. Its scientists, before they joined IKI, had already had sufficient experience in space astronomy. Each year the department's scope of work was widening. Shklovsky sought to focus on the "big" astronomy, i.e. studies of the Galaxy, its star population, and extragalactic objects and cosmology. However, in 1985 he passed.

Ян Львович ЗИМАН
Ian L. ZIMAN



Валентин Семёнович ЭТКИН
Valentin S. ETKIN



Павел Ефимович ЭЛЬЯСБЕРГ
Pavel E. ELYASBERG



Семён Самойлович МОИСЕЕВ
Semen S. MOISEEV



К этому времени в Институте уже более десяти лет существовал отдел теоретической астрофизики, руководство которым принял на себя академик Я. Б. Зельдович, с задачей теоретических исследований по космологии, наблюдаемым проявлениям горячего газа в скоплениях галактик и процессам формирования спектров излучения в аккрецирующих дисках вокруг чёрных дыр и нейтронных звёзд.

После разграничения тематики работ этих двух отделов, перевода к Я. Б. Зельдовичу лаборатории рентгеновской астрономии и ряда сотрудников из бывшего отдела И. С. Шкловского, отдел теоретической астрофизики преобразуется в отдел высоких энергий во главе с Р. А. Сюняевым. Отдел астрофизики во главе с его новым директором Н. С. Кардашевым переходит в 1990–1991 годах с оставшимися в его составе лабораториями в Физический институт Академии наук.

Как самостоятельные научные подразделения уже в первые годы существования ИКИ были также созданы: лаборатория, а затем и отдел, прикладной астрофизики и миллиметровой, субмиллиметровой и инфракрасной техники; специальные лаборатории для развития дистанционных методов зондирования Земли из космоса; спектрометрии космического гамма-излучения; активной диагностики; сверхдальной радиоинтерферометрии; спектрометрии космического гамма-излучения.

При запусках первых высотных ракет, искусственных спутников Земли, лунных и межпланетных станций получаемая с них телеметрическая информация обрабатывалась в Отделении прикладной математики (ОПМ) в рамках Информационно-расчётного бюро (ИРБ). В 1966 году коллектив бюро практически в полном составе переводится в ИКИ на правах отдела автоматизированной обработки телеметрической информации. В 1988 году он был объединён с отделом баллистики. С этого времени все работы по обработке телеметрии с борта космического аппарата проводятся ИКИ в рамках единого подразделения, одной из главных задач которого стало полное информационное обеспечение научных экспериментов в космосе. Широкое использование вычислительной техники, постоянное обновление её парка позволило существенно развить программное обеспечение задач, решаемых отделом.

Создаётся также лаборатория, ставшая в дальнейшем отделом, в задачу которой входила техническая реализация научных проектов на борту космических аппаратов, включая разработку полного комплекта эксплуатационно-технической документации на космическую научную аппаратуру, проведение всех видов её испытаний, а также участие в управлении работой научных приборов в полёте.

By that time the Institute had already for more than 10 years had the Department of Theoretical Astrophysics led by Academician Ya. B. Zeldovich. It focused at theoretical research in cosmology, study of hot gas in galactic clusters and spectrums of accreting disks around black holes and neutron stars.

After the objectives of these two departments were separated and Zeldovich's department was reinforced with an X-ray lab and several specialists from Shklovsky's former department, the Department of Theoretical Astrophysics was transformed into the Department of High Energy Astrophysics headed by R. A. Sunyaev. The Department of Astrophysics headed by its new Director N. S. Kardashev joined the Physics Institute of the Academy of Sciences in 1990–1991.

Several separate laboratories were established during the early years of IKI. Among them are the laboratory (later department) of astrophysics and applied millimeter, submillimeter and infrared technologies; special laboratories for the Earth remote sensing; laboratory for spectrometry of cosmic gamma radiation; laboratory for active diagnostics; laboratory for very long baseline radio interferometry.

Data from the first high-altitude rockets, artificial Earth satellites, lunar and interplanetary probes were processed at the Department of Applied Mathematics (namely in the Information and Calculation Bureau) within Mathematical Institute of the Academy of Sciences. In 1966 almost all Bureau staff joined IKI and formed the Department of the Automated Telemetry Processing. In 1988 it was merged with the Department of Ballistics. From that point on IKI had a full-fledged department for telemetry processing, whose main task was full information support of space experiments. The software developed by the Department was improving continuously, thanks to extensive use of computers and their constant upgrade.

Technical support of research aboard the spacecraft, including supply of full documentation for the instruments and their comprehensive testing, as well as participation in operation and control during the flight were given to another newly created lab that later evolved in a department.



Иосиф Самуилович ШКЛОВСКИЙ
Iosif S. SHKLOVSKY



Яков Борисович ЗЕЛЬДОВИЧ
Yakov B. ZELDOVICH



Рашид Алиевич СЮНЯЕВ
Rashid A. SUNYAEV



Николай Семёнович КАРДАШЕВ
Nikolai S. KARDASHEV



Леонид Иванович МАТВЕЕНКО
Leonid I. MATVEENKO

**Евгений Михайлович
ВАСИЛЬЕВ**

Evgeniy M. VASILYEV



Лабораторию и отдел с момента их образования возглавлял Е. М. Васильев.

Решение задач проектирования и реализации научных комплексов межпланетных аппаратов, следящих платформ, бортовых систем, логики управления, сбора и передачи информации и т. п. возлагается на отдел программно-управляемых систем (руководитель — Б. Н. Новиков).

Для проведения испытаний научных приборов, предназначенных для установки на космический аппарат, исследования их работоспособности в составе бортового комплекса и в условиях космического пространства в Институте были созданы контрольно-испытательная (КИС) и лётно-испытательная станции (ЛИС), которые стали основной испытательной базой космического приборостроения в системе Академии наук. Они оснащены оборудованием, позволяющим проводить испытания на механические (вибрация, удар, линейные перегрузки), термовакуумные и климатические воздействия, а также на электрическую совместимость систем и приборов и 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 и ЛИС, их структуру и состав испытательного оборудования было разработано под руководством заместителя директора ИКИ В. М. Ратнера.

Наземный испытательный комплекс ИКИ аккредитован в качестве испытательного центра Академии наук и входит в Федеральную систему сертификации космической техники (ФССКТ) с правами проведения сертификационных испытаний научной целевой аппаратуры космических аппаратов.

В 1967 году Институту было подчинено Особое конструкторское бюро (ОКБ ИКИ) во Фрунзе (ныне Бишкек) — конструкторская организация со своим опытным производством. После распада СССР ОКБ оказалось за границей и взаимодействие с ним стало осуществляться на договорной основе.

При Центре дальней космической связи в Евпатории (Крым) создана терминальная станция с автоматизированным комплексом обработки и передачи научной информации.

В Тарусе Калужской области организуется опытное производство по созданию научной аппаратуры (СКБ КП ИКИ). Последние годы оно функционирует на правах приборостроительного отделения ИКИ.

Сегодняшняя структура Института представлена 15 основными научными, 16 обслуживающими и 2 производственными подразделениями.

Борис Сергеевич НОВИКОВ

Boris S. NOVIKOV



**Владимир Михайлович
РАТНЕР**

Vladimir M. RATNER



Е. М. Васильев был главой обоих с момента их inception.

Design and construction of scientific complexes onboard interplanetary spacecraft, tracking platforms, onboard systems, control logic, data acquisition and transmission, etc. was assigned to the Department of Software-Controlled Systems (head B. N. Novikov).

Testing and Control Station and Laboratory Testing Station (KIS and LIS respectively, according to Russian abbreviation) were created to test the instruments before they were mounted on spacecraft, and to study their performance within onboard systems and under the space conditions. They have become the main testing facilities for space instrumentations at the Academy of Sciences. They are equipped for mechanical (vibration, shock, linear overload), thermal vacuum, and climatic tests as well as tests for electrical compatibility and insulation. During fine-tuning at these facilities the instruments are gradually adjusted according to their specs.

V. M. Ratner, former IKI deputy director, supervised these two testing facilities as they were being built.

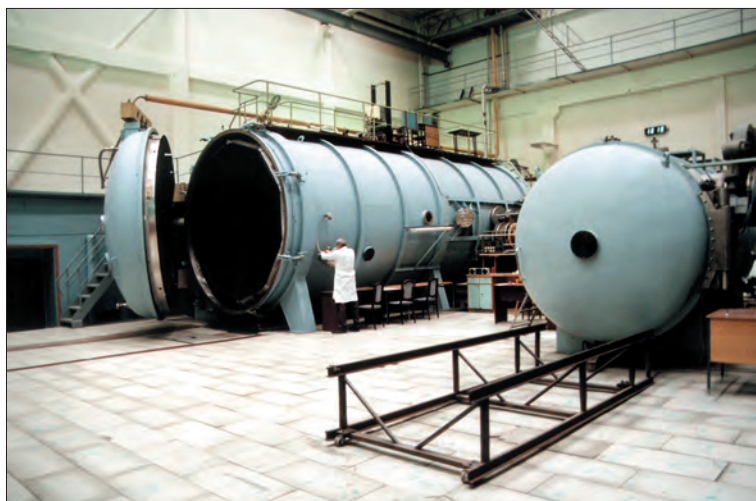
IKI test facilities are certified as the test center for the Academy of Sciences and are part of a Federal System of Certification of Space Equipment, which is entitled to test scientific space instruments according to certificate testing.

In 1967 IKI was reinforced with the Design Bureau (OKB IKI), an engineering organization with a pilot production facility, in Frunze (now Bishkek, the capital of Kyrgyzstan). After the collapse of the Soviet Union this OKB became a foreign organization and now is a contractor of IKI.

A terminal station with automated scientific data processing and transmission system was built at Deep Space Communication Center in Eupatoria (Crimea).

A pilot production facility for scientific instruments was established in Tarusa (Kaluga region) — Special Design Bureau for Space Instruments Engineering (SKB KP IKI). In recent years it works on as the instrument-making department of IKI.

The current Institute structure includes 15 main departments, 16 service departments (including 2 construction departments).



КИС (Контрольно-испытательная станция ИКИ РАН). Термовакуумная установка ТВУ-100Г/3,8-07

IKI Testing and Control Station Thermal vacuum facility TVU-100Г/3,8-07



Таруса. Опытное производство и Специальное конструкторское бюро космического приборостроения

Tarusa. Pilot production and Special Design Bureau of Space Instrument Engineering



Евпатория. 70-метровая антенна П-2500 (РТ-70)

Eupatoria. CA-2500 (RT-70) 70 m antenna



Фрунзе (ныне Бишкек). Особое конструкторское бюро (ОКБ ИКИ) — конструкторская организация со своим опытным производством

Frunze (now Bishkek). Design Bureau (OKB IKI) — engineering organization with its own pilot production

Николай Сергеевич ЕРОХИН
Nikolai S. EROKHIN



Михаил Николаевич ПАВЛИНСКИЙ
Mikhail N. PAVLINSKIY



Олег Игоревич КОРАБЛЁВ
Oleg I. KORABLEV



Анатолий Алексеевич ПЕТРУКОВИЧ
Anatoliy A. PETRUKOVICH



Евгений Александрович ШАРКОВ
Evgeny A. SHARKOV



Евгений Аркадьевич ЛУПЯН
Evgeny A. LUPIAN



К числу научных подразделений относятся:

- **отдел космофизики**
руководитель — доктор физико-математических наук *Н. С. Ерохин*;
- **отдел астрофизики высоких энергий**
руководитель — доктор физико-математических наук *М. Н. Павлинский*;
- **отдел физики планет**
руководитель — доктор физико-математических наук *О. И. Кораблёв*;
- **отдел физики космической плазмы**
руководитель — член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук *А. А. Петрукович*;
- **отдел исследования Земли из космоса**
руководитель — доктор физико-математических наук *Е. А. Шарков*;
- **отдел технологий спутникового мониторинга**
руководитель — доктор технических наук *Е. А. Лупян*;
- **отдел оптико-физических исследований**
руководитель — кандидат технических наук *Р. В. Бессонов*;
- **отдел космической динамики и математической обработки информации**
руководитель — доктор технических наук *Р. Р. Назиров*;
- **отдел ядерной планетологии**
руководитель — доктор физико-математических наук *И. Г. Митрофанов*;
- **отдел наблюдательной и теоретической астрономии и радиоинтерферометрии**
руководитель — доктор физико-математических наук *С. С. Моисеенко*.

К основным отделам относятся также комплексные подразделения, патентования и инновационной деятельности, обработки информации, наземных научных комплексов:

- **отдел проектирования и экспериментальной отработки бортовой и специализированной аппаратуры и комплексов**
руководитель — доктор технических наук *И. В. Чулков*;
- **отдел патентования и инновационной деятельности**
руководитель — *Г. С. Устинова*;
- **отдел телекоммуникационных сетей и высокопроизводительных вычислительных комплексов**
руководитель — *А. Б. Александров*;
- **отдел наземных научных комплексов**
руководитель — *В. Н. Назаров*.

Для взаимодействия фундаментальной науки и образования создан

- **Научно-образовательный центр (НОЦ ИКИ РАН)**
руководитель — кандидат физико-математических наук *А. М. Садовский*.

В 2014 году его структура была обновлена. В настоящее время он состоит из трёх отделов: научно-исследовательских проектов; учебный, частью которого стала аспирантура, и отдел популяризации космических исследований.

The scientific departments are:

- **Space Geophysics** (Prof. N. Erokhin);
- **High Energy Astrophysics** (Dr. M. Pavlinsky);
- **Planetary Physics** (Dr. O. Korablev);
- **Space Plasma Physics** (Dr. A. Petrukovich);
- **Earth Exploration from Space** (Prof. Dr. E. Sharkov);
- **Earth Remote Sensing Technologies** (Dr. E. Lupyan);
- **Optical-Physical Research** (Dr. R. Bessonov);
- **Space Dynamics and Mathematical Information Processing** (Dr. R. Nazirov);
- **Nuclear Planetology** (Prof. Dr. I. Mitrofanov);
- **Theoretical and Observational Astronomy and Radiointerferometry** (Dr. S. Moiseenko).

Following are 2 integrated departments, 2 information processing departments and Educational Outreach Center, which are also considered as main departments:

- **Onboard and Special Instruments R&D** (I. Chulkov);
- **Patenting and Innovation Management** (G. Ustinova);
- **Telecommunication Networks and High-Capacity Computer Clusters** (A. Alexandrov);
- **Ground Control and Operation Complexes** (V. Nazarov);
- **Educational Outreach Centre** (Dr. A. Sadovskiy).

Educational Outreach Center was established to build a liaison between basic science and education and reorganized in 2014. It currently consists of 3 departments: Research and Development Projects; Education (including graduate school); Space Research Popularization.



Каждый год в День космонавтики — 12 апреля, и в День космической науки — 4 октября, ИКИ РАН проводит Дни открытых дверей для студентов и школьников и Конференции молодых учёных

Every year on April, 12 (Cosmonautics Day) and on October, 4 (Space Science Day) IKI hosts Doors Open Day for high-school students and undergrads, as well as conferences for young scientists

Остались в структуре ИКИ РАН, помимо административно-управленческих, технические и производственные подразделения, а также, на правах обособленного подразделения, Специальное конструкторское бюро космического приборостроения в городе Тарусе Калужской области и Представительство Института в Крыму в Центре дальней космической связи.

Technical and engineering departments remained within IKI in addition to administrative and management departments; Special Design Bureau for Space Instruments Engineering in Tarusa (Kaluga region) is a separate division (head V. Angarov). IKI also has an Office in Crimea at the Deep Space Communication Center (head — A. Scherbina).

Для пропаганды достижений космической науки и подготовки молодежи к научной работе в ИКИ РАН создан НОЦ (Научно-образовательный центр) и музей-выставка, на которой представлены реальные приборы, макеты космических аппаратов и результаты исследований

To promote the achievements of space science and to inspire younger generation for scientific career, IKI has established EOC — Educational Outreach Centre and Exhibition, presenting real space instruments and spacecraft mock-ups, and the results of the real research



Роман Валерьевич БЕСОНОВ
Roman V. BESSONOV



Равиль Равильевич НАЗИРОВ
Ravil R. NAZIROV



Игорь Георгиевич МИТРОФАНОВ
Igor G. MITROFANOV



Сергей Григорьевич МОИСЕЕНКО
Sergey G. MOISEENKO

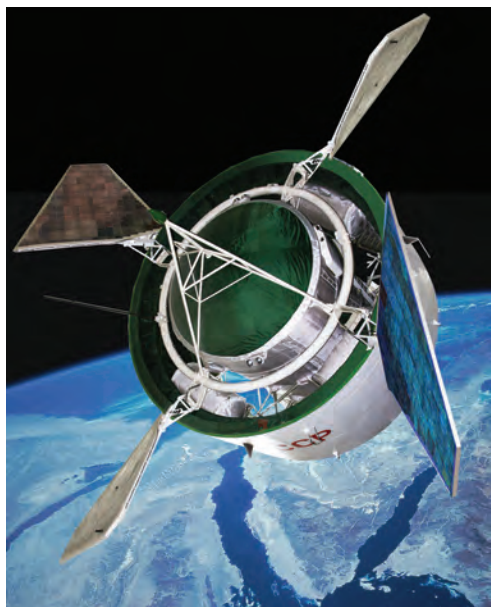


Илья Владилениович ЧУЛКОВ
Ilya V. CHULKOV



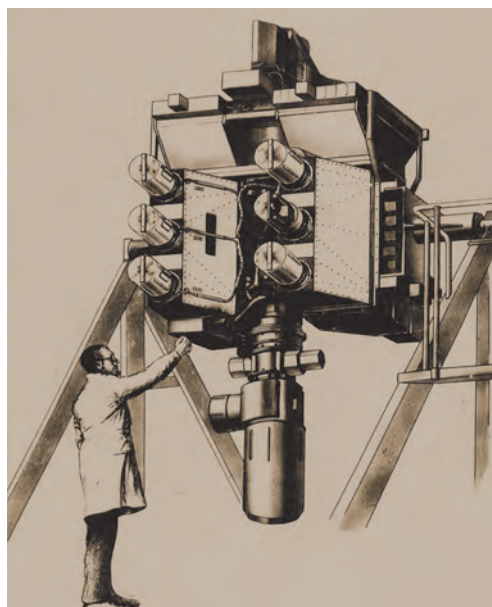
Андрей Михайлович САДОВСКИЙ
Andrey M. SADOVSKY

СПУТНИКИ
IKI SATELLITES



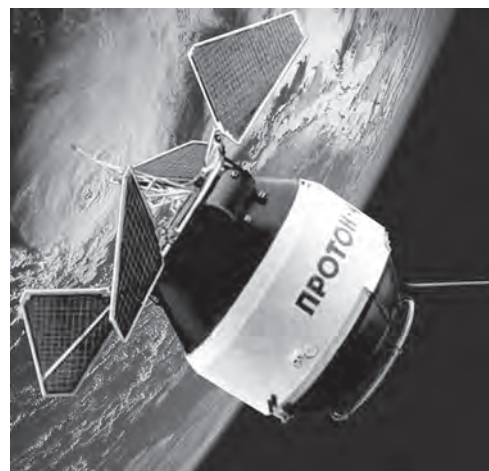
Тяжёлые научные спутники «Протон-1, -2, -3»

Proton 1, 2, and 3 — heavy scientific satellites



Комплекс научной аппаратуры, устанавливавшийся на спутниках «Протон-1, -2, -3»

Scientific payload aboard Proton 1, 2, and 3



Спутник «Протон-4» массой 17 тонн

Proton 4 satellite had a mass of 17 ton

16.07.1965 года. Космодром Байконур. Первый старт ракеты УР-500 («Протон»), которая вывела на околоземную орбиту советский спутник «Протон-1» для изучения космических лучей и взаимодействия с веществом сверхвысоких энергий. Космическая ракета-носитель «Протон» — «рабочая лошадка» космической науки — долгие годы обеспечивает запуски тяжёлых научно-исследовательских спутников и межпланетных станций

July 16, 1965. Baikonur cosmodrome. UR-500 (Proton) heavy launcher maiden flight, which brought to the orbit Soviet Proton 1 satellite dedicated to studies of cosmic rays and interaction with ultra high energy matter. Proton launcher became a workhorse for space science, for many years having been supplying the launches of heavy scientific satellites and interplanetary stations



Сотрудники Института непосредственно готовили и проводили научные исследования и эксперименты, получали и обрабатывали информацию с космических аппаратов, запускаемых как по национальной космической программе, начиная со спутника «Протон», так и в рамках международного сотрудничества. В последнее время особенно важным стало их активное участие в качестве соисполнителей в зарубежных космических проектах.

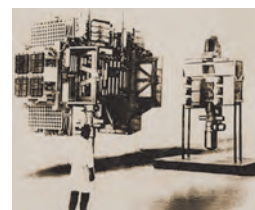
В одних проектах учёные и специалисты Института разрабатывали и испытывали бортовые комплексы научной аппаратуры, а затем проводили исследования с их помощью, в других — занимались получением и обработкой научной информации с космических аппаратов, её анализом и интерпретацией.

16 июля 1965 года была запущена самая тяжёлая на то время научная космическая станция «Протон» массой 12,2 тонн (масса научной аппаратуры — 3,5 тонн) для комплексного изучения космических лучей и взаимодействия с веществом частиц сверхвысоких энергий. Исследования были продолжены на станциях «Протон-2, -3, -4». На КА «Протон-4» массой около 17 тонн был установлен комплекс научной аппаратуры массой 12,5 тонны.

Полёты искусственного спутника (ИСЗ) «Протон» открыли новое направление в развитии экспериментальной и теоретической астрофизики, а также физики элементарных частиц. С помощью установленного на борту

Сравнение размеров бортовой аппаратуры спутников «Протон-4» (слева) и «Протон-1, -2, -3» (справа)

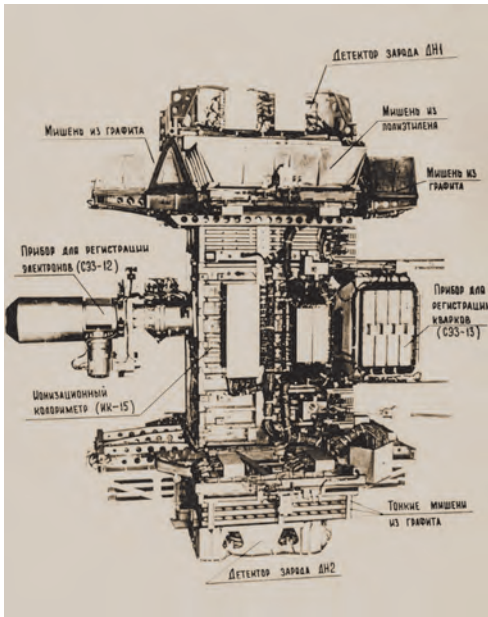
Proton 1, 2, 3 (right) and Proton 4 (left) onboard equipment



The Institute specialists were involved in both national and international projects, preparing and performing space experiments, collecting and processing data from spacecraft, starting from the first *Proton* heavy satellite (1965). In recent years they were also very active in international projects as cooperators and co-investigators.

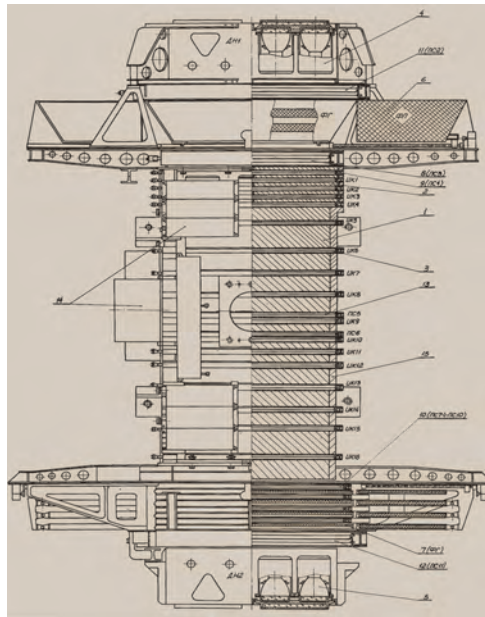
In some projects scientists and specialists of the Institute developed and tested onboard scientific equipment, and then did research with their help, in others they received and processed data from spacecraft, analyzed and interpreted it.

On July 16, 1965 the heaviest at that time scientific space station *Proton* was launched. Having mass of 12.2 tons (with 3.5 tons of scientific payload), it was aimed at in-depth study of cosmic rays and effects of ultrahigh-energy particles on matter. This research continued on *Proton 2, 3, 4*. *Proton 4* had a mass of 17 tons with scientific payload of 12.5 tons.



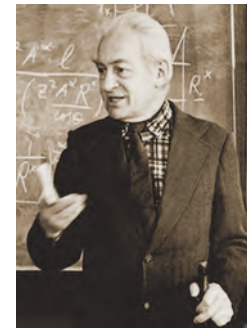
Комплекс научной аппаратуры спутника «Протон-4»

Scientific payload onboard Proton 4



Спектрометр энергий и зарядов ИК-15, предназначенный для регистрации ядер первичных космических лучей в диапазоне энергий $10^{10} \dots 10^{15}$ эВ

IK 15 — spectrometer for energies and charges, to register nuclei of energies $10^{10} \dots 10^{15}$ eV in primary cosmic rays



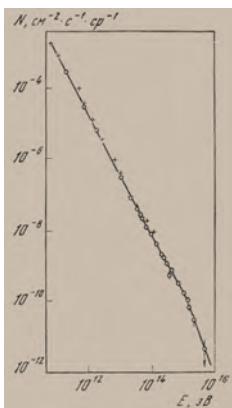
Григорев Наум Леонидович (1915–2005)
Naum L. Grigorenko (1915–2005)

Н. Л. Григорев — выдающийся советский физик — идеолог проекта «Протон». Он разработал оригинальный метод определения степени неупругости взаимодействия протонов космических лучей с атомными ядрами атмосферы. Изобрёл новый метод измерения энергии высокоэнергичных адронов — ионизационный калориметр. Предложил метод измерения нижней границы эффективного сечения неупругого взаимодействия протонов космических лучей высокой энергии с ядрами атмосферы путём измерения потока адронов в нижней части атмосферы, идущих без сопровождения другими частицами

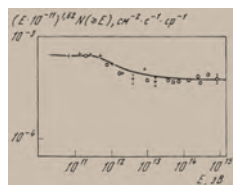
N. L. Grigorenko — prominent Soviet physicist, who bore an idea of Proton series. He developed a genuine method to determine the range of interaction inelasticity between cosmic ray protons and atmospheric atom nuclei. He invented a new method to measure the energy of high energy hadrons, named ionization calorimeter. He proposed a method to determine the lower boundary of effective cross-section of inelastic interaction between cosmic rays protons and atmospheric nuclei by measuring hadron flux with no accompanying particles in the lower atmosphere

спутников ионизационного калориметра, гамма-телескопа и приборов для изучения космических лучей впервые в космосе исследовались солнечные космические лучи и их радиационная опасность, регистрировались энергетический спектр и химический состав космического излучения, изучалось ядерное взаимодействие частиц сверхвысоких энергий, фиксировалась абсолютная интенсивность и определялся энергетический спектр галактического гамма-излучения.

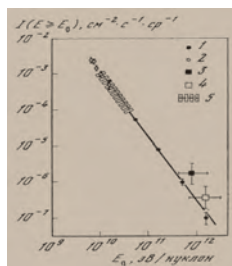
Flights of Proton spacecraft family marked a new trend in experimental and theoretical astrophysics as well as particle physics. For the first time space-born instruments examined solar radiation and its hazards, energy spectrum and chemical composition of cosmic rays, interactions of ultrahigh energy particles, absolute intensity and energy spectrum of galactic gamma rays.



Интегральный спектр всех частиц галактических космических лучей. Крестики — прибор СЭЗ-14, кружки — ИК-15
Integral spectrum of all galactic cosmic rays particles. Crosses — SEZ 14, circles — IK 15

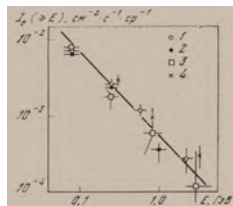


Спектр всех частиц галактических космических лучей в координатах $E^{-1}N(\geq E)$, E coordinates
Spectrum of all galactic cosmic rays particles in $E^{-1}N(\geq E)$, E coordinates



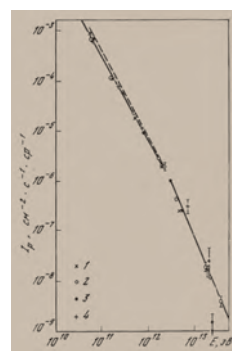
Интегральный спектр α -частиц в галактических лучах по данным разных авторов. 1 — «Протон-3»

Integral spectrum of galactic cosmic ray alpha particles, according to various authors. 1 — Proton 3



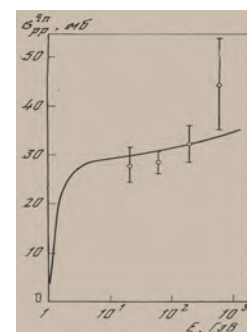
Интегральный спектр вторичных электронов вблизи геомагнитного экватора. 2 — «Протон-3», 4 — «Протон-4»

Integral spectrum of secondary electrons near geomagnetic equator. 2 — Proton 3, 4 — Proton 4



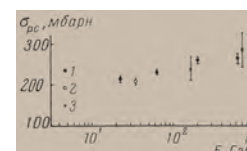
Интегральный спектр протонов космических лучей. 1–3 — «Протон-2, -3» без детектора направления; 4 — «Протон-3» с детектором направления

Integral spectrum of cosmic ray protons. 1–3 — Proton 2 and 3, without orientation detector; 4 — Proton 4 with orientation detector



Эффективное сечение неупругого p-p-взаимодействия. Точки — «Протон-1, -2, -3»; кривая — данные, полученные позднее на ускорителях

Effective cross-section of inelastic p-p interaction. Dots — Proton 1, 2, and 3; curve — later data obtained at accelerators

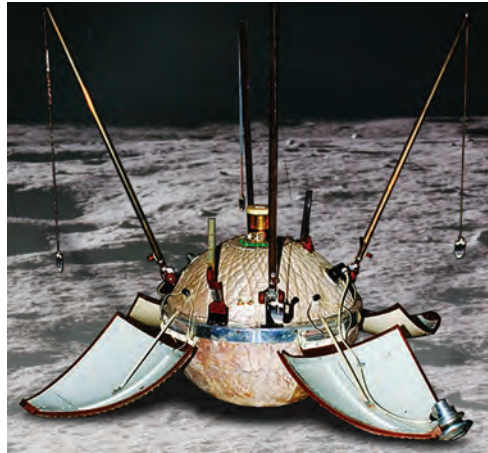


Внизу: эффективные сечения неупругого взаимодействия протонов с ядрами углерода. 1 — «Протон-1, -2, -3» без детектора направления; 2 — «Протон-3» с детектором; 3 — «Протон-4»

Effective cross-section of inelastic interaction between protons and carbon nuclei. 1 — Proton 1, 2, and 3 without orientation detector; 2 — Proton 3 with orientation detector; 4 — Proton 4

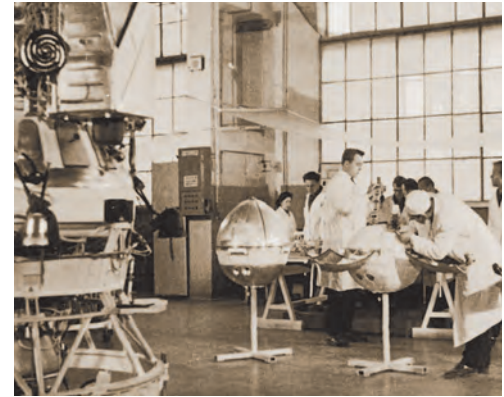
3 февраля 1966 года автоматическая лунная станция «Луна-9» впервые в мире совершила мягкую посадку на поверхности Луны на западном крае Океана Бурь, западнее кратеров Рейнер и Марий. На Землю была передана первая в мире круговая фотопанорама лунной поверхности в районе посадки станции. Проведён ряд научных исследований и измерений непосредственно на поверхности Луны

On February 3, 1966, Luna 9 automatic lunar station became the first spacecraft to achieve a soft landing on the Moon's surface, on western border of Oceanus Procellarum (Ocean of Storms), to the west of Reiner and Marius craters. It was also the first to transmit photographic panorama of the lunar surface near the landing site to Earth. Several scientific experiments were run in situ



Посадочный аппарат автоматической межпланетной станции «Луна-9», совершивший впервые в истории мягкую посадку на поверхность Луны

Luna 9 lander — the first to achieve a soft landing on the surface of the Moon



«Луна-9» в цехе завода им. С. А. Лавочкина и схема полёта станции



Luna 9 at the Lavochkin Association plant and its flight scheme



Панорама лунной поверхности, составленная из изображений, переданных на Землю АМС «Луна-9»

Lunar surface panorama, made from images, transmitted to the Earth by Luna 9

АМС «Луна-9» в перелётной конфигурации

Flight configuration of Luna 9 automatic lunar station



31 января 1966 года запущена автоматическая станция «Луна-9». 3 февраля 1966 года спускаемый аппарат впервые в мире совершил мягкую посадку на поверхность Луны и передал из района Океана Бурь панораму окружающего ландшафта. Длительность активного существования спускаемого аппарата на поверхности Луны составила 46 часов 30 минут 30 секунд.

Напомним, что ни одна из ранее предпринимавшихся попыток как отечественных, так и американских исследователей доставить на лунную поверхность научную аппаратуру в работоспособном состоянии не увенчалась успехом — с 1959 по 1965 год было совершено пять жёстких «посадок» на Луну американских «Рейнджеров» и четырёх советских «Лун».

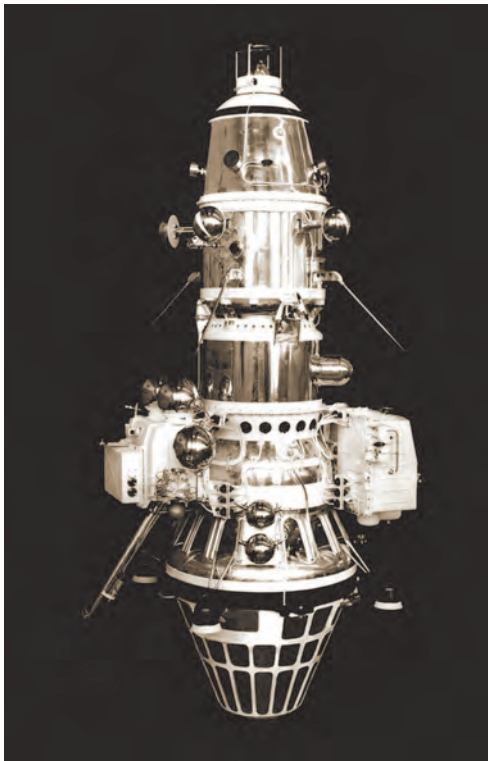
Выполненная при различных высотах Солнца над горизонтом съёмка дала возможность изучить микрорельеф лунного грунта, определить размеры и форму впадин и камней. Успешная посадка спускаемого аппарата «Луна-9» и изображения лунной поверхности, переданные на Землю, имели большое значение для дальнейших полётов к Луне, включая планируемую высадку на неё человека.

3 марта 1966 года запущена автоматическая станция «Луна-10». 3 апреля она стала первым искусственным спутником Луны (ИСЛ). В течение 56 суток измерялись гамма-излучение поверхности, магнитное и гравитационное поля. Получены косвенные данные о химическом составе

On January 31, 1966 Luna-9 unmanned station was launched. On February 3, 1966 for the first time ever its lander descended to the Moon and sent back panorama near Oceanus Procellarum. The lander's active lifetime on Moon surface totaled 46 hours, 30 minutes and 30 seconds. (It is worth to note that none of the previous USSR's or United States' endeavours to deliver operational scientific equipment to the surface of the Moon had been successful, with five US *Ranger*-family and four USSR's *Luna*-family landers crashing from 1959 to 1965).

Luna-9 sent back images of lunar surface at different sun's position above the horizon, which made it possible to study small features of the relief, sizes of rocks, and depressions. Successful *Luna-9* landing and the images it retrieved were of high importance for further lunar flights including manned Moon exploration, which was then underway.

On March 3, 1966 Luna-10 unmanned spacecraft was launched. On April 3, it became the first artificial satellite of the Moon. Surface gamma emissions, magnetic and gravitation fields were being studied for 56 days. Chemical composition and radioactivity of rock were measured, albeit indirectly. 3 more orbiters followed the spacecraft: *Luna-11*, *-12* and *-14* (1966–1968). Each was unique, bearing its own features, sporting new designs and new instruments.



Аппарат «Луна-10» и выведенный ею на окололунную орбиту первый искусственный спутник Луны

Luna 10 and the first artificial satellite of the Moon it inserted into the orbit

3 апреля 1966 года впервые в мире автоматический аппарат «Луна-10» вывел на окололунную орбиту искусственный спутник Луны. Станция выполнила ряд научно-технических исследований и измерений. Общее время активного существования спутника Луны на селеноцентрической орбите составило 56 суток 6 часов 50 минут. Проведено 219 сеансов связи

On April 3, 1966 Luna 10 automatic station put into the circumlunar orbit the first artificial satellite of the Moon. Several scientific and technological experiments were performed. Active lifetime of the spacecraft on the circumlunar orbit was 56 days 6 hours and 50 minutes with 219 communication sessions



и радиоактивности пород Луны. В дальнейшем были запущены ещё три ИСЛ: «Луна-11, -12, -14» (1966–1968). Ни одна из станций не повторяла предыдущую: в каждой была своя изюминка, реализованы новые конструкторские решения, использована дополнительная научная аппаратура.

Установленная на «Луне-12» фототелевизионная система передала крупномасштабные изображения участков лунной поверхности. Систематические длительные наблюдения за изменением параметров орбит ИСЛ позволили уточнить соотношение масс Земли и её естественного спутника и данные о гравитационном поле Луны, её форме. Изучались также космические лучи и потоки идущих от Солнца заряженных частиц.

Phototelevision system onboard *Luna-12* orbiter sent large-scale images of lunar surface. Regular and long observations of spacecraft orbital parameters resulted in more precise calculations of Earth-to-Moon mass ratio as well as Moon's shape and gravitational field. Cosmic rays and charged particles from the Sun were also being studied.



Мстислав Всеволодович Келдыш рассматривает снимки поверхности Луны, переданные посадочным аппаратом станции «Луна-9»

Mstislav V. Keldysh examines the images of the lunar surfaces, transmitted by the Luna 9 lander



Однотипные лунные орбитальные исследователи — «Луна-11, 12 и 14»

Luna-11, 12, and 14 orbital probes of one and the same series

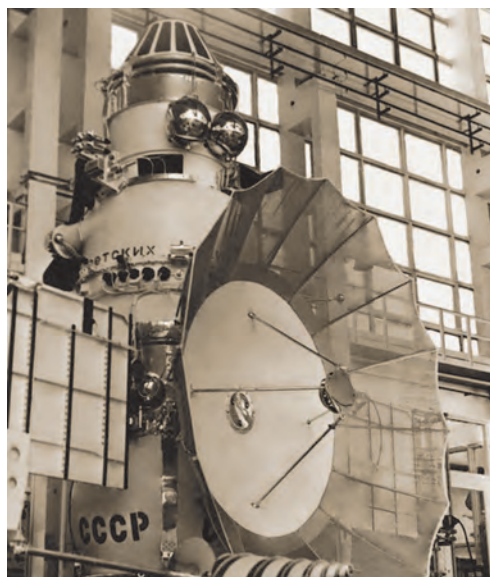
18 октября 1967 года впервые в мире осуществлён спуск посадочного аппарата АМС «Венера-4» в атмосфере Венеры с передачей на Землю данных о температуре, давлении и химическом составе атмосферы планеты

On October 18, 1967, Venera-4 automatic spacecraft was the first to descend into the atmosphere of Venus and transmitted to the Earth data on the temperature, pressure, and chemical composition of the Venusian atmosphere



Схема точности наведения АМС «Венера-4»

Pointing accuracy scheme of Venera-4 automatic interplanetary station



«Венера-4» в цехе завода им. С. А. Лавочкина

Left. Venera-4 at the Lavochkin Association plant



Посадочный аппарат АМС «Венера-4»

Lander of Venera 4 automatic interplanetary station

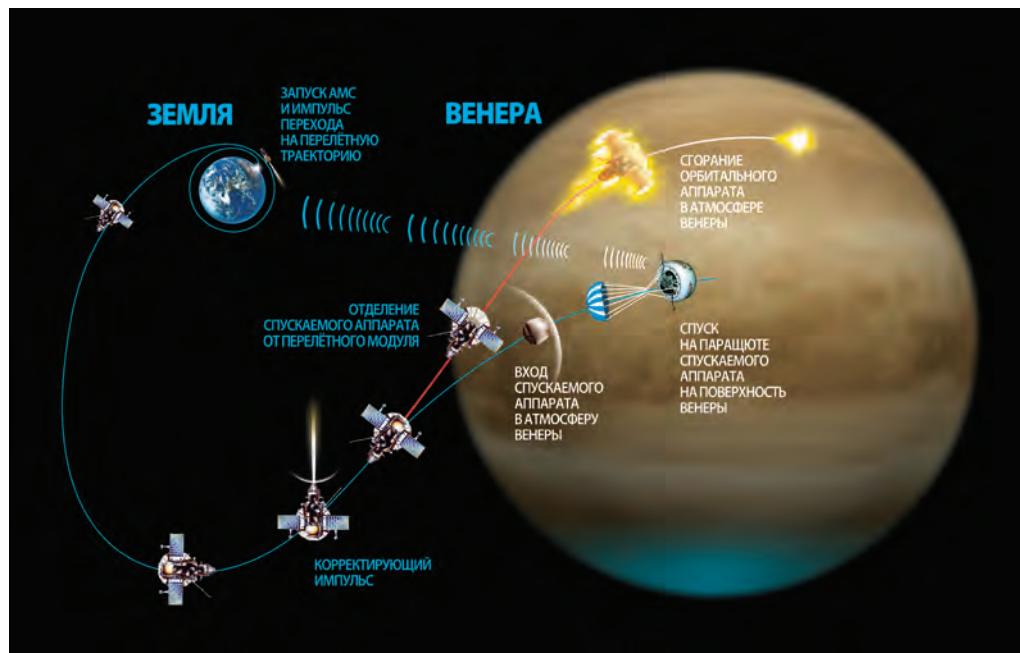


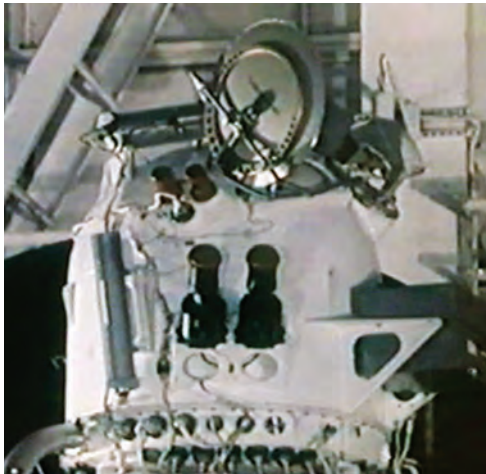
Схема полёта станции «Венера-4»
Venera-4 flight scheme

12 июня 1967 года запущена АМС «Венера-4» — первый космический аппарат, выполнивший прямые измерения в атмосфере другой планеты. Сложность реализации проекта заключалось в том, что к этому времени не было достоверной информации об условиях в атмосфере и на поверхности планеты, прежде всего, о температуре и давлении. Спускаемый аппарат изготовили в расчёте на давление в 10 атмосфер. В итоге станция прекратила работу на высоте 25 километров от поверхности, не выдержав реального давления в 18 атмосфер. Вместе с тем, удалось выполнить прямые измерения характеристик атмосферы в течение первых полутора часов спуска: температуры, давления, скорости ветра, содержания CO_2 , N_2 и H_2O на высотах 25...55 километров от поверхности планеты. Выяснилось, что атмосфера состоит на 90...95 % из CO_2 , азот не найден. В момент разрушения спускаемого аппарата была зафиксирована температура атмосферы 535 К.

На пролётном аппарате измерялись параметры космической плазмы и ультрафиолетовой радиации. Была открыта протяжённая водородная корона Венеры. В последующих запусках АМС «Венера-5 и -6» (1969) выполнялись аналогичные измерения с помощью приборов пролётных и спускаемых аппаратов, которые были рассчитаны на давление 25 атмосфер. При возрастании в ходе спуска давления до 27 атмосфер и температуры до 320 °С приём сигналов со станций прекратился.

On June 12, 1967 Venera 4 was launched — the first spacecraft to take measurements in the atmosphere of another planet. The project's difficulty was that by that time no reliable information about the atmosphere and the surface of the planet (mainly, their temperature and pressure) was available. The lander was made with assumption of 10 bar pressure. Hence the station stopped working at a height of 25 km above the surface, unable to bear the real pressure of 18 bar. However, the first hour and a half of descent brought back some results on temperature, pressure, wind speed, CO_2 , N_2 and H_2O concentrations on the heights of 25...55 km from the surface. Research yielded that the atmosphere consisted by 90...95 % of CO_2 , no nitrogen was found. Temperature recorded at the time of the lander's destruction was 535 K.

The flyby spacecraft measured space plasma properties and ultraviolet radiation. Venus's vast hydrogen corona was discovered. During subsequent missions of Venera-5 and 6 (1969) similar measurements were carried out with instruments located on flyby modules and landers designed for pressures of 25 bars. As the pressure reached 27 bar and temperature grew to 320 degrees Celsius, stations stopped sending data.



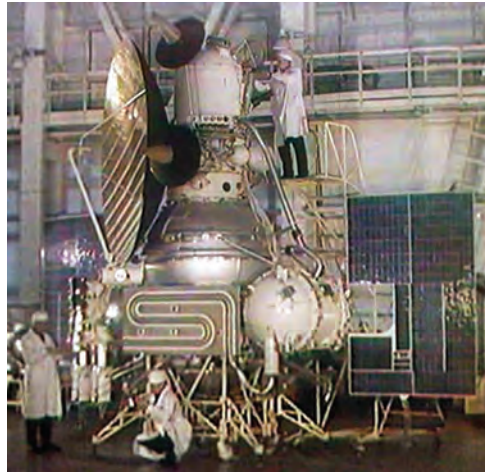
Датчики приборов на внешней поверхности верхнего научного модуля АМС «Марс-69»

Instrument detectors on the outer side of scientific module, Mars 69 automatic interplanetary station

Состав научной аппаратуры орбитального аппарата:

Основной научной задачей станции «Марс-69» было фотографирование поверхности Марса при помощи трёх фототелевизионных установок, которые обеспечивали максимальное разрешение на снимках местности 200...500 метров. Применение трёх светофильтров давало возможность получить снимки в различных диапазонах спектра. Объективы с фокусным расстоянием в 50 и 350 миллиметров захватывали площадь размером 1500×1500 и 100×100 километров соответственно.

На АМС «Марс-69» также была установлена научная аппаратура для проведения широкого комплекса исследований планеты и околопланетного пространства. Радиометр радиочастотный РА69 предназначался для определения температуры поверхности Марса. Измеритель влажности ИВ1 определял содержание водяного пара в атмосфере планеты. Ультрафиолетовый спектрометр УСЗ служил для регистрации спектров отражённого от планеты излучения. Инфракрасный фурье-спектрометр УТВ1 регистрировал излучение атмосферы и подстилающей поверхности планеты. Датчики прибора-регистратора космического излучения КМ69 предназначались для исследования состава и спектра солнечных космических лучей, электронов и протонов. Гамма-спектрометр ГСЗ предназначался для измерения амплитудных гамма-спектров. Масс-спектрометр водорода и гелия УМР2М служил для анализа ионного нейтрального состава атмосферы планеты. Энергоспектрометр заряженных частиц ПЛ18М планировалось использовать для измерения потоков солнечной плазмы. Спектрометр ионов малых энергий РИП-803 предназначался для раздельных измерений плотности потока протонов и альфа-частиц.



АМС «Марс-69» в НПО им. С. А. Лавочкина

AIS Mars 69 at the Lavochkin Association plant

Scientific payload of the orbiter:

Mars 69 main scientific goal was to make images of the Martian surface with three photo and TV cameras with maximal resolution of 200...500 m on the surface. Three light filters were used to obtain images in different spectral bands. Lenses with focal lengths of 50 and 350 mm made images of 1500×1500 and 100×100 km area respectively.

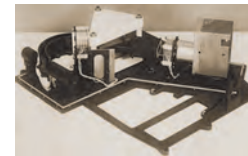
Besides, Mars 69 scientific instruments studied Mars and near-Mars space. RA68 radiofrequency radiometer was used to determine the temperature of Martian surface. IV1 moisture meter determined the content of water vapour in the atmosphere of the planet. USZ ultraviolet spectrometer registered the spectra of radiation reflected from the planetary surface. UTV1 infrared Fourier spectrometer studied the radiation of the atmosphere and planetary bedrock. КМ69 was an instrument to register cosmic radiation and to study the composition and spectra of solar cosmic rays, electrons, and protons. GSZ gamma spectrometer measured amplitude gamma spectra. UMR2M hydrogen and helium mass spectrometer analysed ion neutral composition of the atmosphere. PL19M Energy and mass spectrometer measured the fluxes of solar plasma, RIP-803 spectrometer for low-energy ions was used to measure separately flux density of protons and alpha particles

МАРС-69. Проект комплексного исследования Марса состоял из двух тяжёлых АМС, которые предназначались для исследования планеты с орбиты искусственного спутника, и были первыми в СССР и мире многотонными межпланетными станциями, а также первыми космическими аппаратами, созданными совместно НПО им. С. А. Лавочкина и ИКИ АН СССР. Оснащены большим комплексом научной аппаратуры, разработанной в ИКИ и других институтах. Обе станции проекта МАРС-69 погибли из-за аварии ракеты-носителя «Протон»

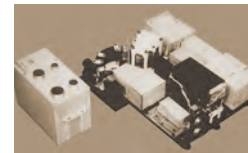
Mars 69 mission was dedicated to comprehensive study of Mars and consisted of two heavy automatic interplanetary stations, which would study the planet from the orbit. They were the first interplanetary stations in the USSR as well as in the world to have a mass of several tons. Another point was that they were the first spacecraft built jointly by Lavochkin Association and IKI. They bore large scientific payload, whose instruments were developed in IKI and other institutes. Both stations of Mars 69 mission perished in Proton launcher failure

Некоторые приборы аппарата «Марс-69»

Some instruments of Mars 69 spacecraft



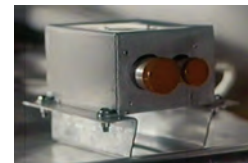
Энерго-масс-спектрометр РИП-803А
RIP-803A energy and mass spectrometer



Энерго-масс-спектрометр РИП-803А с установленными кожухами
RIP-803A energy and mass spectrometer with housing



Энерго-масс-спектрометр РИП-804АР
RIP-804AR energy and mass spectrometer



Спектрометр частиц
Particle spectrometer



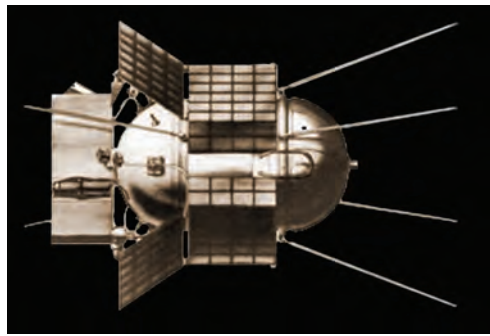
Масс-спектрометр УМР2М на сборке аппарата
UMR2M mass spectrometer during spacecraft assembly



Масс-спектрометр УМР2М со снятыми защитными крышками перед полётом
UMR2M hydrogen and helium mass spectrometer. Protective coverages are taken off before the flight

Запуском в СССР спутника «Космос-261» началось сотрудничество социалистических стран в исследовании космического пространства и положено начало программе ИНТЕРКОСМОС, по которой запущено 23 спутника на эллиптические орбиты и 11 ракет «Вертикаль» на высоты от 500 до 1500 км

Cosmos 261 launch opened a collaboration of socialist countries in space studies and started the Intercosmos program. Under the aegis of this program, 23 satellites were put into elliptical orbits and 11 Vertikal rockets were launched to the heights 500...1500 km



«Космос-261» (ДС-У2-ГК) Cosmos 261 (DS-U2-GK)



Первый спутник программы ИНТЕРКОСМОС — «Интеркосмос-1»

Intercosmos 1 — the first satellite of the Intercosmos program



Эмблема программы ИНТЕРКОСМОС
Intercosmos program's insignia



Головные части ракет «Вертикаль» с научной аппаратурой для космических исследований

Vertikal upper stage with scientific payload for space studies



Одна из ракет «Вертикаль»
One of the Vertikal geophysical rockets

19 декабря 1968 года был запущен спутник «Космос-261» для комплексных исследований верхних слоёв атмосферы Земли и природы полярных сияний, положивших начало программе сотрудничества социалистических стран.

14 октября 1969 года, в соответствии с межправительственными и межведомственными соглашениями о сотрудничестве в исследовании космического пространства в мирных целях стартовал ИСЗ «Интеркосмос-1». В рамках программы запущено 23 спутника и 11 высотных ракет «Вертикаль».

По назначению и направленности исследований спутники серии «Интеркосмос» можно условно разделить на следующие виды:

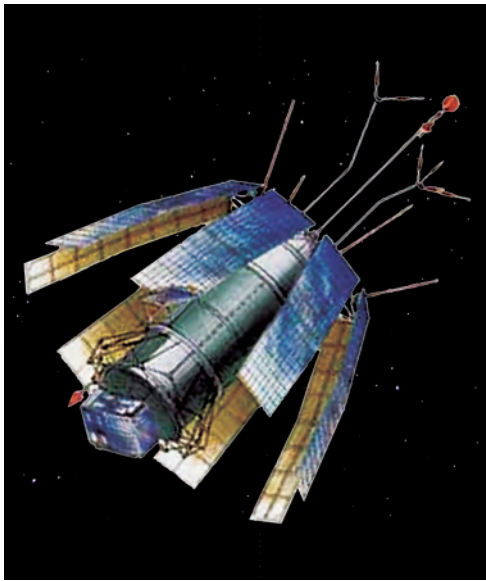
- солнечные — «Интеркосмос-1, -4, -7, -11, -16, — Коперник-500», для исследований ультрафиолетового и рентгеновского излучений Солнца, спорадического солнечного радиоизлучения;
- ионосферные — «Интеркосмос-2, -8, -12, -19, — Болгария-1300»;
- магнитосферные — «Интеркосмос-3, -5, -6, -10, -13, -14, -17, -18» — для изучения процессов, происходящих в верхней атмосфере Земли, низкочастотных электромагнитных излучений, динамики радиационного пояса Земли, космических лучей сверхвысоких энергий, а также электромагнитной связи магнитосферы с ионосферой (спутник «Интеркосмос-6» имел возвращаемый на Землю отсек с научной аппаратурой);

On December 19, 1968 *Cosmos 261* spacecraft was launched for comprehensive study of the upper Earth atmosphere and the nature of auroras. It ushered in the program of cooperation between socialist countries, which later was named *Intercosmos*.

On October 14, 1969 *Intercosmos-1* satellite was launched following intergovernmental and interdepartmental agreements on cooperation in the exploration of outer space for civil purposes. A total of 23 spacecraft, along with 11 high-altitude *Vertikal* rockets were launched within the program.

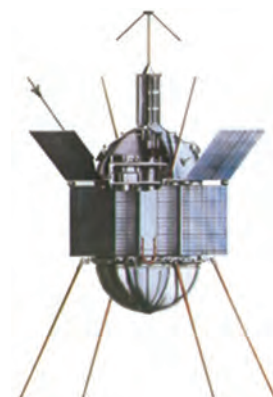
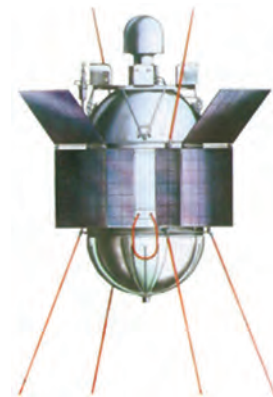
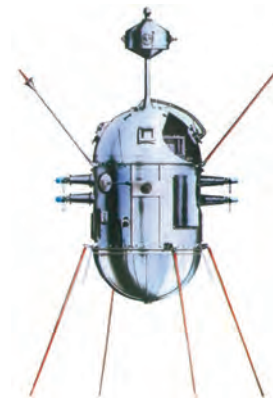
Intercosmos satellites may be divided into the following types by their scientific purposes:

- solar: *Intercosmos-1, 4, 7, 11, 16, Copernicus 500* to monitor ultraviolet and X-ray radiation from the Sun as well as sporadic solar radio emission;
- ionospheric: *Intercosmos-2, 8, 12, 19, Bulgaria 1300*;
- magnetospheric: *Intercosmos-3, 5, 6, 10, 13, 14, 17, 18* to study the Earth's upper atmosphere, low-frequency electromagnetic radiation, dynamics of the Earth's radiation belts, cosmic rays of ultrahigh energies, as well as the magnetosphere-ionosphere electromagnetic interaction (*Intercosmos-6* had a reentry module with scientific instruments);



«Интеркосмос-15» — аппарат нового типа на платформе АУОС: раскрытый в полёте; подготовленный к накатке головного обтекателя перед запуском

Intercosmos 15, the spacecraft of new series on the base of AUOS platform; deployed in the flight; before the encapsulation



Спутники «Космос» различного назначения на платформах ДС-У1 и ДС-У2
Cosmos satellites for various purposes built on the platform DS-U1 and DS-U2

- «Интеркосмос-20, -21» — для исследования Земли (суши, Мирового океана и атмосферы).

Искусственные спутники Земли «Интеркосмос» были созданы на базе унифицированного КА серии «Космос» и отличались друг от друга системами ориентации, источниками питания и радиотелеметрическими системами.

Космический аппарат состоял из герметичного цилиндрического корпуса, выполненного из алюминиевого сплава, и двух полусферических днищ. Научная аппаратура размещалась в верхней полусфере, в цилиндрическом отсеке — служебная аппаратура, в нижней полусфере располагались системы энергопитания.

На поверхности цилиндрической части крепились панели солнечных батарей, блоки солнечных датчиков, исполнительные органы системы ориентации и антенно-фидерные устройства. Датчики научной аппаратуры располагались на верхней полусфере спутника или снаружи цилиндрической части корпуса на специальных штангах. Масса спутников «Интеркосмос» составляла от 200 до 1300 килограммов.

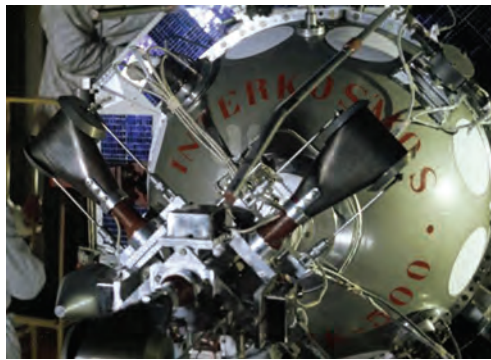
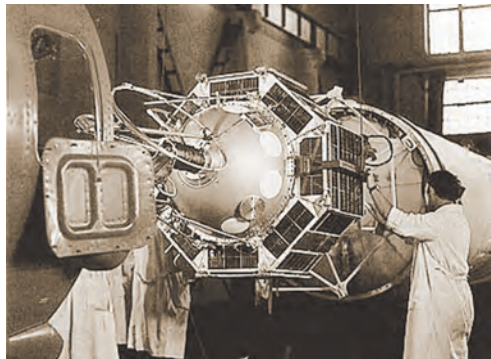
Искусственный спутник «Интеркосмос-15» (запущен 19.06.1976 года) представлял собой космический аппарат нового типа и был предназначен для осуществления более широкой программы научных исследований. Последующие спутники этой серии (за исключением «Интеркосмоса-16») создавались на базе уже этого космического аппарата.

- *Intercosmos-20, -21* for Earth's studies (land, oceans, and atmosphere).

Intercosmos family spacecraft were based on *Cosmos* standard spacecraft equipped with different orientation control systems, power units, and radio telemetry systems. Each spacecraft consisted of pressurized cylindrical aluminum-alloy body and two hemispherical ends. Scientific payload was housed in the upper hemisphere, the cylindrical compartment accommodated service equipment, power supply system was located in the lower hemisphere.

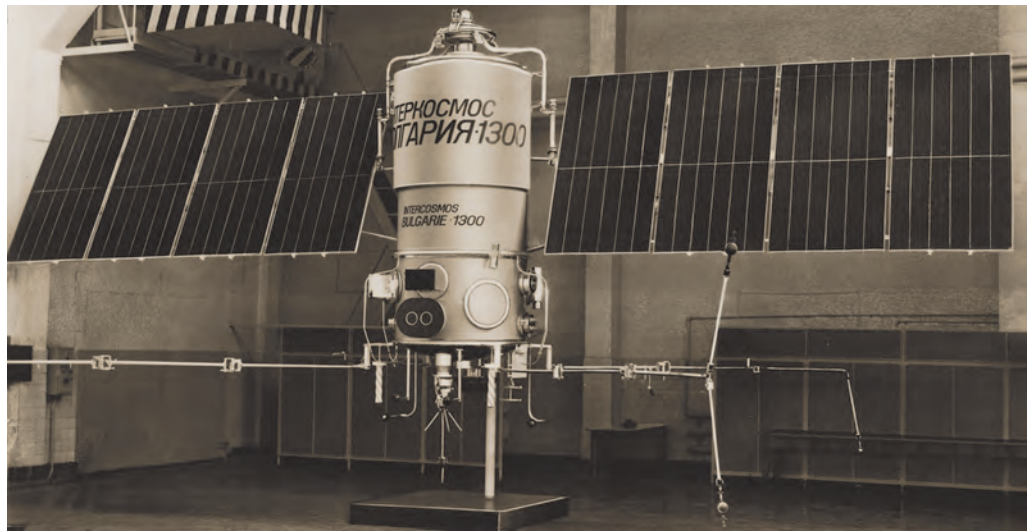
Solar arrays and solar sensors, orientation control system effectors as well as antennas and feeders were mounted on the outer side of the cylindrical compartment. Scientific sensors were mounted to the upper hemisphere of the satellite or to the bars on the outside of the cylindrical part. *Intercosmos* family satellite mass ranged from 200 to 1300 kg.

Intercosmos-15 (launched on June 19, 1976) was a new type of spacecraft designed for a broader research program. Subsequent satellites in the series (except for *Intercosmos-16*) all shared this design.



Сверху вниз: установка спутника «Интеркосмос-5» на ракету-носитель; научная аппаратура спутника «Интеркосмос-9 – Коперник-500»; спутник «Интеркосмос-20» на платформе АУОС пристыкован к ракете-носителю

Top to bottom. Interkosmos 5 mounting on the launcher; Interkosmos 9, aka Copernicus 500 scientific payload; Interkosmos 20 (AUOS platform) mounted on the launcher



«Интеркосмос-22 – Болгария-1300» на платформе «Метеор» и установленный на нём угловой отражатель для лазерной локации

Interkosmos 22, aka Bulgaria-1300 on the Meteor platform, and the corner reflector for laser location

Во время полёта аппарата «Интеркосмос-15» были испытаны его новые системы и агрегаты, в том числе созданная специалистами ВНР, ГДР, ПНР, СССР и ЧССР единая телеметрическая система (ЕТМС), позволяющая принимать научную информацию с борта спутника на наземных пунктах, расположенных на территориях стран, участвующих в совместных экспериментах. Система ЕТМС устанавливалась также на КА «Интеркосмос-18 и-19».

От спутника «Интеркосмос-18» был отделён чехословацкий малый научный спутник «Магион». Цель совместного автономного полёта этих аппаратов — исследование пространственной структуры низкочастотных электромагнитных полей в околоземном космическом пространстве. Одновременно со спутниковыми экспериментами осуществлялись согласованные измерения на ионосферных и солнечных обсерваториях стран-участниц сотрудничества.

На искусственных спутниках Земли «Интеркосмос-20, -21» проводились испытания созданной специалистами ВНР, ГДР, СРР, СССР и ЧССР экспериментальной телеметрической системы, предназначенной для сбора информации с наземных и морских измерительных пунктов (буев) и передачи её потребителям.

Эксперименты, проведённые на спутниках серии «Интеркосмос», дали важные научные результаты в области физики Солнца, верхней атмосферы, ионосферы и магнитосферы Земли. Они позволили изучить внутреннюю

During *Interkosmos 15* flight some new systems and components were tested including the telemetry system created by engineers from Hungary, the German Democratic Republic (East Germany), Poland, the USSR, and Czechoslovakia, which downlinked scientific data to the ground stations located in the countries participating in joint experiments. *Interkosmos-18* and *19* satellites were also equipped with this telemetry system (ETMS for short).

Interkosmos 18 carried a small separate Czechoslovak scientific satellite *Magion*. The two orbiters were launched to study the spatial structure of low-frequency electromagnetic fields in the near-Earth space. Together with the satellite experiments concurrent measurements were carried out at ionospheric and solar observatories of the partner countries.

The experimental telemetry system for land and sea measurement stations (buoys) designed by specialists from Hungary, East Germany, Romania, the USSR, and Czechoslovakia was tested on *Interkosmos 20, 21*.

Experiments performed on *Interkosmos* family satellites gave important scientific results regarding solar physics, as well as upper atmosphere, ionosphere, and magnetosphere of the Earth. Moreover, they contributed to our understanding of shock front's internal structure and physical processes responsible for its formation, heating and acceleration of particles. Physics of collisionless shocks is very significant with regard to the physics of space and astrophysical plasma.

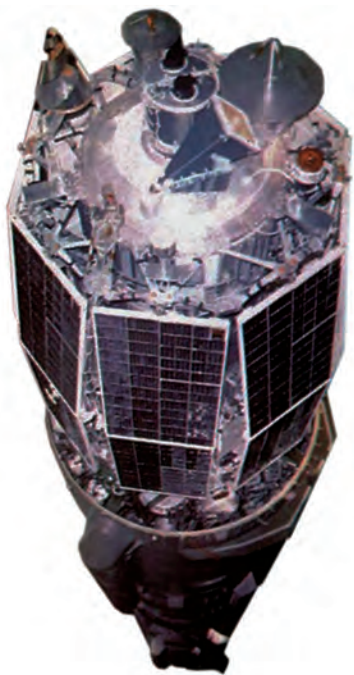
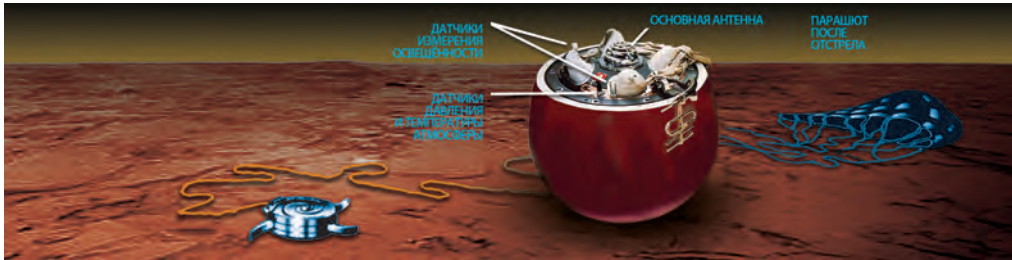




Схема устройства посадочного аппарата станций «Венера-7 и -8»
Venera-7 and -8 lander's diagram

Посадочный аппарат станций «Венера-7 и -8» на поверхности Венеры

Venera-7 and 8 landers on the surface of Venus



структуру фронта ударной волны и идентифицировать физические процессы, ответственные за формирование этой структуры, разогрев и ускорение частиц. Решение проблемы физики бесстолкновительных ударных волн имеет большое значение в физике космической и астрофизической плазмы.

17 августа 1970 года стартовала АМС «Венера-7». Спускаемый аппарат станции был рассчитан уже на давление 150 атмосфер и температуру 500 °С. 15 декабря 1970 года он опустился на Венеру и в течение 27 мин передавал информацию с поверхности другой планеты. По данным бортовых приборов состав атмосферы — в основном углекислый газ, температура на поверхности 475 °С, давление 96 атмосфер.

Исследования Венеры были продолжены на спускаемых аппаратах АМС «Венера-8...-14». Станции «Венера-15 и -16» исследовали планету с орбиты искусственных спутников Венеры.

КА «Венера-8» стартовала **27 марта 1972 года**. Впервые спускаемый аппарат станции произвёл посадку на дневную сторону планеты. Важной вехой в венерианской программе исследований стала работа межпланетных станций «Венера-9 и -10» (1975), спускаемые аппараты которых впервые передали на Землю телевизионные изображения участков поверхности в месте посадки. Спускаемые аппараты станций «Венера-11 и -14» (1978–1982) выполнили тонкий химический анализ атмосферы и грунта планеты.

On August 17, 1970 *Venera-7* interplanetary station was launched. Its entry and landing probe was designed to withstand pressure of 150 bar and temperature of 500 °C. On December 15, 1970 it landed on the surface of Venus and sent back 27 minutes of data. The onboard instruments detected that the atmosphere mainly consisted of carbon dioxide, surface temperature was 475 °C, and pressure 96 bars.

Research continued with *Venera-8* to *Venera-14* landers. *Venera-15* and *-16* explored the planet from the orbit.

Venera-8 was launched **on March 27, 1972**. For the first time its lander descended on the dayside of the planet. An important milestone in the Venusian research program were *Venera-9* and *Venera-10* missions (1975), whose landers were the first to send back to the Earth television imagery of the surface at the landing site. Landers of *Venera-11* to *-14* (1978–1982) made precise chemical analysis of the atmosphere and soil of the planet.

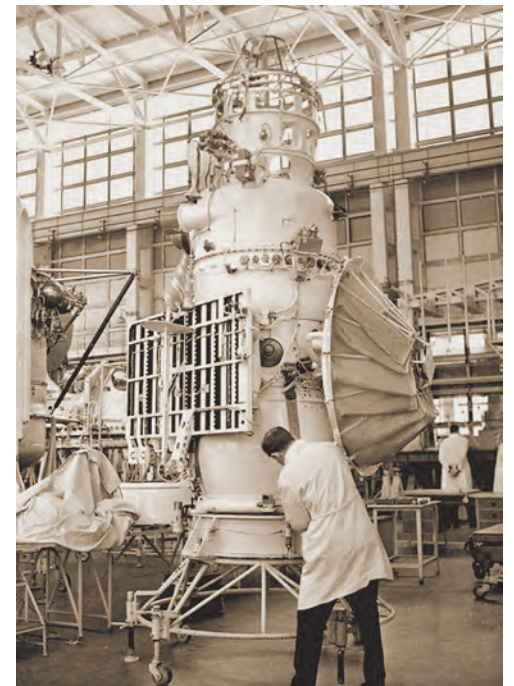
15 декабря 1970 года впервые в мире космический аппарат достиг иной планеты Солнечной системы и передавал информацию с её поверхности. Измерения показали, что температура у поверхности планеты близка к +475 °С, а давление почти в 100 раз выше земного

On December 15, 1970 the first spacecraft reached another planet in the Solar system and transmitted back data from its surface. The measurements revealed that the temperature at the planet's surface was close to +475 °Celsius and the pressure was almost 100 times higher than that of the Earth's atmosphere



Однотипные аппараты «Венера-7 и -8» на подлёте к Венере и в сборочном цехе НПО им. С.А. Лавочкина

Venera-7 and -8 twin spacecraft approaching Venus and at the Lavochkin Association plant

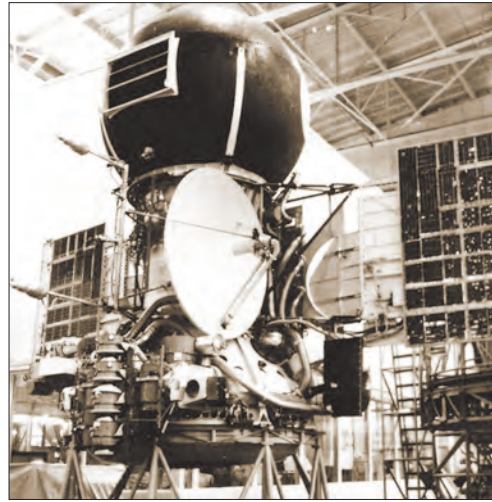


«...22 октября 1975 года межпланетная станция „Венера-9“ преодолела за 136 суток полёта расстояние более 300 миллионов километров, выведена на орбиту вокруг Венеры и стала первым в истории искусственным спутником Венеры. Спускаемый аппарат станции совершил мягкую посадку на поверхность Венеры. Впервые в условиях атмосферы планеты Венера при давлении, в 90 раз большем, чем на Земле, и температуре 485 градусов по Цельсию получено уникальное изображение поверхности Венеры на месте посадки...»

Из сообщения ТАСС

“...October 22, 1975. Venera-9 interplanetary station was put into the orbit around Venus, having travelled more than 300 million kilometers in 136 days. It became the first artificial satellite of Venus. The lander of the station performed soft landing to the planet's surface. For the first time ever unique image of the Venusian surface at the landing site was obtained in the Venusian environment, with the atmospheric pressure 90 times higher than that on the Earth, and the temperature 485 degrees Celsius...”

by TASS report



«Венера-9» в сборочном цехе НПО им. С. А. Лавочкина

Venera-9 at the Lavochkin Association plant

Панорамы, переданные спускаемыми аппаратами АМС «Венера-9 и -10»

Panoramas delivered by Venera-9 and Venera 10 landers

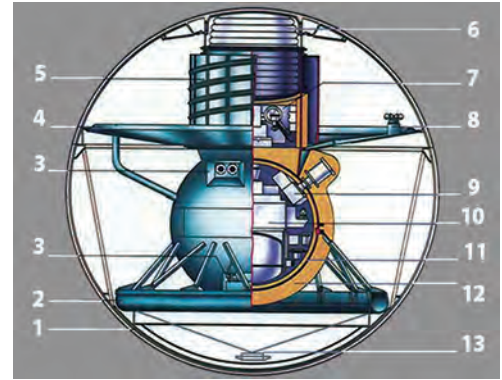
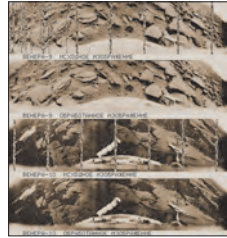


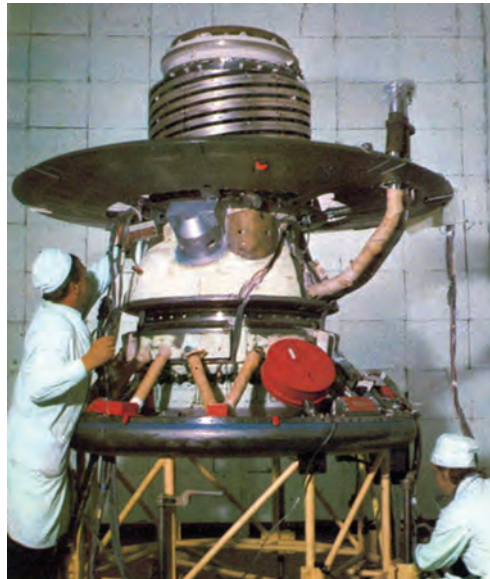
Схема устройства спускаемых аппаратов АМС «Венера-9, -10, -11, -12, -13, -14»

Diagram of Venera-9, 10, 11, 12, 13, 14 landers

- | | |
|---|---|
| 1 — теплозащитный корпус; | 1 — thermal shielding body; |
| 2 — посадочное устройство; | 2 — landing gear; |
| 3 — научная аппаратура; | 3 — scientific payload; |
| 4 — аэродинамическое тормозное устройство; | 4 — aerobraking gear; |
| 5 — антенна; | 5 — antenna; |
| 6 — отсек парашютной системы; | 6 — parachute system compartment; |
| 7 — отсек научной аппаратуры, работающей в облачном слое; | 7 — compartment for payload working in the cloud layer; |
| 8 — научная аппаратура; | 8 — scientific payload; |
| 9 — телефотометр; | 9 — telephotometer; |
| 10 — служебная аппаратура; | 10 — service payload; |
| 11 — прочный корпус; | 11 — strong casing; |
| 12 — теплоизоляция; | 12 — thermal insulation; |
| 13 — демпфер | 13 — damper |

Схема посадки спускаемых аппаратов АМС «Венера-9, -10, -11, -12, -13, -14» на поверхность Венеры

Scheme of Venera-9, 10, 11, 12, 13, 14 landing to the Venusian surface

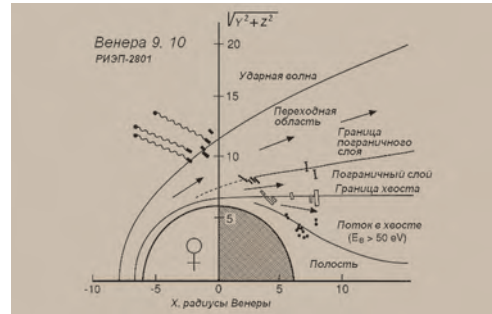


Посадочный аппарат станции «Венера-9» в монтажно-испытательном цехе НПО им. С. А. Лавочкина

Venera-9 lander at the Lavochkin Association integration and test plant

Панорамы, переданные посадочными аппаратами АМС «Венера-13 и -14». Эти уникальные высококачественные изображения по-прежнему актуальны и исследуются учёными

Panoramas made by Venera- 3 and 14 landers. These unique high-quality images are still the object of scientific studies

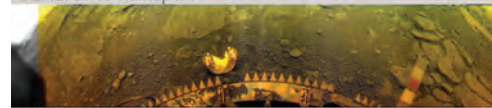


Магнитосфера Венеры по данным прибора РИСП-2801 АМС «Венера-9 и -10»

Venusian magnetosphere according to RISP-2801 instrument on Venera-9 and 10



ВЕНЕРА-13 камера 1



ВЕНЕРА-13 камера 2



ВЕНЕРА-14 камера 1



ВЕНЕРА-14 камера 2



ВХОД В АТМОСФЕРУ, БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ СПУСК

ОТСТРЕЛ КРЫШКИ, ВВОД ВЫТЯЖНОГО ПАРАШЮТА И ПАРАШЮТА УВОДА

УВОД ВЕРХНЕЙ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ, ВВОД ТОРМОЗНОГО ПАРАШЮТА

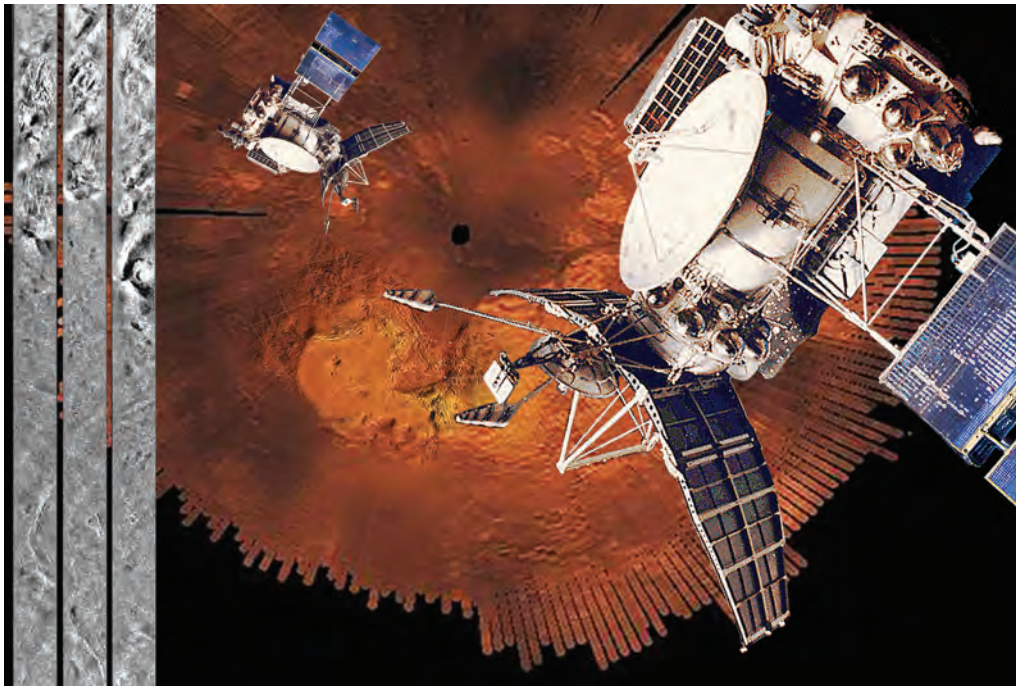
ОТСТРЕЛ ТОРМОЗНОГО ПАРАШЮТА

ОТСТРЕЛ НИЖНЕЙ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

СПУСК НА АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ ТОРМОЗНОМ ЩИТКЕ

ПОСАДКА

ПЕРЕДАЧА ТВ-ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОА

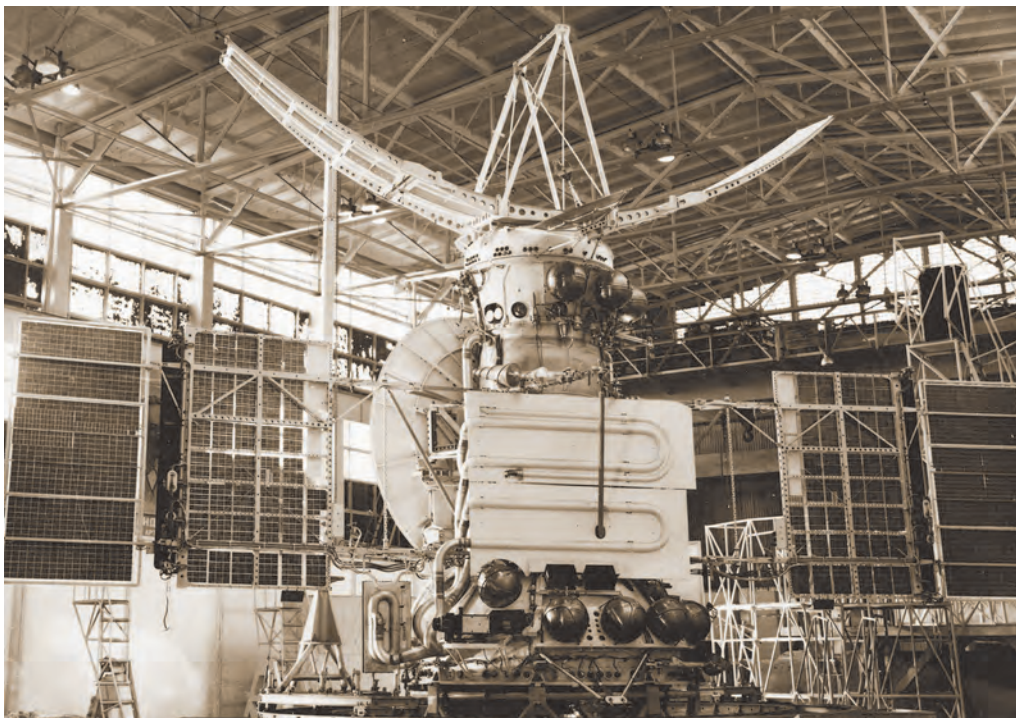


Вверху: АМС «Венера-15 и -16» на фоне изображения полярной области Венеры, синтезированной из полосок переданных изображений
Внизу: «Венера-15» в сборочном цехе НПО им. С. А. Лавочкина

Top. Venera-15 and 16 automatic interplanetary stations. Background — images of polar regions, synthesized from the strips of transmitted images.
Bottom. Venera-15 at the Lavochkin Association integration and test plant

С орбиты искусственных спутников Венеры станции «Венера-15» и «Венера-16» (1983) провели радиолокационную съёмку поверхности планеты. Это позволило составить рельефный глобус её северного полушария.

Venera-15 and 16 (1983) performed orbital radar mapping of the surface. A relief globe with altitude map of the northern hemisphere was created based on this data.

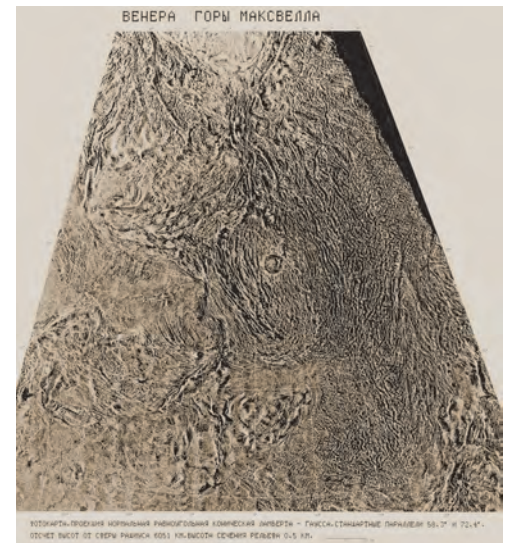


Владимир Александрович Котельников (1908–2005). Выдающийся учёный в области радиотехники, радиосвязи и радиолокации планет, академик Академии наук СССР и Российской академии наук, дважды Герой Социалистического Труда

Vladimir A. Kotelnikov (1908–2005). Prominent expert in the field of radio technology, radio communication, and planet radio location, full member of the Academy of Sciences of the USSR and Russian Academy of Sciences, twice the Hero of Socialist Labour

Основные труды В. А. Котельникова посвящены проблемам совершенствования методов радиоприёма, изучению радиопомех и разработке методов борьбы с ними. Его крупнейшие научные достижения — создание в 1933 году теоремы отсчётов, носящей его имя, создание теории потенциальной помехоустойчивости, а также разработка планетарных радиолокаторов и проведение пионерских исследований в области радиолокационной астрономии, в том числе радиолокационных исследований Венеры, Марса и Меркурия

Main works by V. A. Kotelnikov are dedicated to the development of radio receiving methods, radio interference, and the ways to avoid it. His most significant achievement was sampling theorem, named after him, development of potential immunity theorem, development of planetary radio locators, and pioneer studies in radio location astronomy, which included studies of Venus, Mars, and Mercury



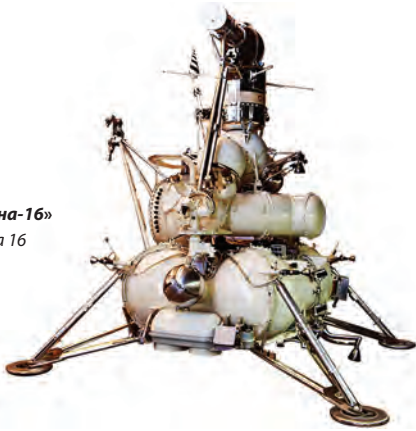
Венера. Горы Максвелла. Синтезированное изображение, построенное по материалам АМС «Венера-15 и -16»

Venus. Maxwell Montes. Synthesized images built by the data of Venera-15 and 16

Космические аппараты «Луна-16» (сентябрь 1970 года), «Луна-20» (февраль 1972 года) и «Луна-24» (август 1976 года) доставили на Землю образцы грунта из различных районов Луны и с разной глубины бурения. До сих пор не имеет аналогов в мировой практике выполненный в автоматическом режиме комплекс действий: посадка в заданном районе Луны, взятие образцов грунта другого небесного тела, подготовка их к обратной транспортировке и её осуществление

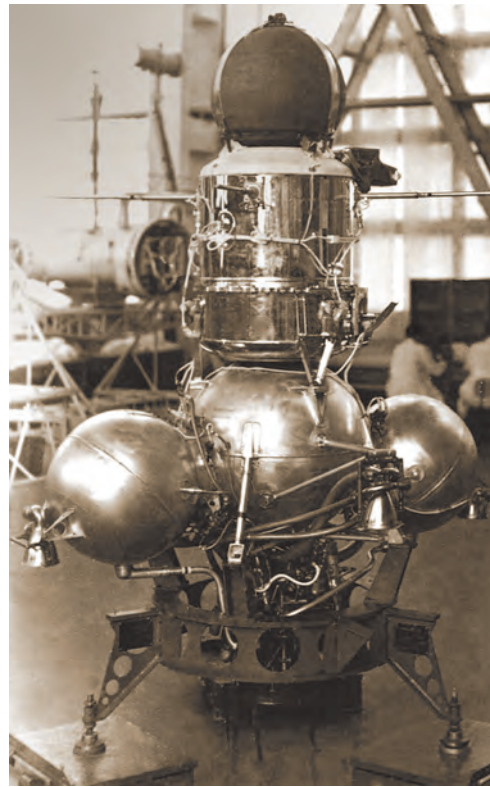
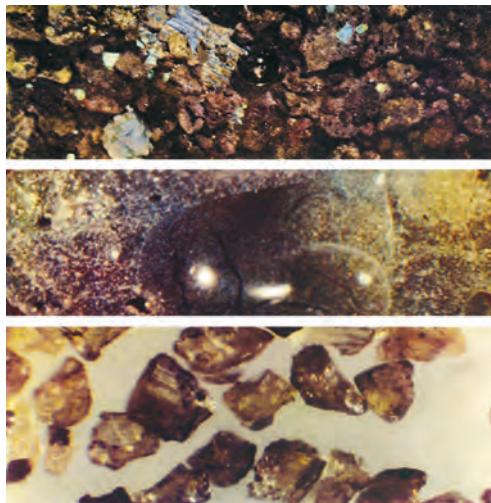
Luna 16 (September 1970), Luna 20 (February 1972), and Luna-24 (August 1976) brought back to the Earth soil samples from various lunar regions and from different depths. Up until now no similar operations, performed fully autonomously, were done. Spacecraft landed in the chosen region of the Moon, retrieved samples of the soil at another space body, prepared them to the return mission, and returned to the Earth

«Луна-16»
Luna 16



Лунный грунт, доставленный на Землю аппаратами «Луна-16, -20 и -24» из Моря Изобилия, Моря Кризисов и материкового района Луны

Lunar soil, delivered to the Earth by Luna 16, Luna-20, and Luna-24 from Mare Fecunditatis (the Sea of Fertility), Mare Crisium (the Sea of Crises), and lunar continental regions



Подлинные капсулы АМС «Луна 16 и -24», доставившие на Землю лунный грунт, в музее НПО им. С. А. Лавочкина
Genuine modules of Luna 16 and Luna-24, which returned lunar soil to the Earth, in Lavochkin Association museum

Возвратная ракета спутника «Луна-16» в сборочном цехе НПО им. С. А. Лавочкина
Luna 16 return rocket at the Lavochkin Association integration and test plant

12 сентября 1970 года стартовала АМС «Луна-16» — первый автоматический космический аппарат, доставивший лунный грунт (105 граммов) на Землю. «Луна-24», запущенная 9 августа 1976 года, доставила 170,1 граммов грунта, образцы грунта взяты с глубины около двух метров.

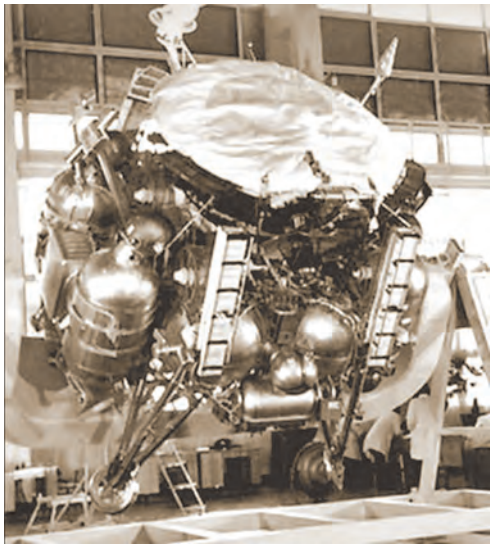
17 ноября 1970 года на Луну десантирован первый самоходный автоматический аппарат — «Луноход-1» («Луна-17»). С его помощью детально обследована лунная поверхность в Море дождей на площади 80 тысяч квадратных метров, получено более 200 панорам и свыше 20 тысяч снимков поверхности, проведены анализ грунта и исследования его механических свойств, в 25 точках анализировался химический состав грунта. Длительность активного существования «Лунохода-1» превысила 300 суток. Управлял луноходом с Земли сменный экипаж из пяти человек, в число которых входили и сотрудники ИКИ.

Аппарат-планетоход «Луноход-2» (доставлен на Луну **16 января 1973 года** с помощью автоматической станции «Луна-21») проработал на лунной поверхности в Море Ясности около 150 земных или пяти лунных суток. Установленные на нём дополнительные приборы и повышенная работоспособность бортовых систем позволили выполнить значительно больший объём исследований, чем на аппарате «Луноход-1».

On September 12, 1970 *Luna-16* interplanetary station was launched, the first robotic spacecraft to bring lunar soil (105 g) to the Earth. *Luna-24* launched on **August 9, 1976** returned with 170.1 g of soil sampled from a depth of about 2 m.

On November 17, 1970 the first self-propelled robotic spacecraft *Lunokhod 1* (*Luna-17*) touched the Moon. It examined in detail 80 thousand square meters of lunar surface in Mare Imbrium and transmitted more than 200 panoramas and over 20 thousand images of the surface, studied lunar soil including its mechanical properties and made chemical analysis in 25 locations. Its active lifetime exceeded 300 days. A crew of five engineers including IKI specialists piloted *Lunokhod 1* from the Earth.

Lunokhod 2 (delivered to the Moon on **January 16, 1973** onboard *Luna-21* interplanetary station) have worked in the Mare Serenitatis for about 150 earth or 5 lunar days. Equipped with additional instruments and onboard systems with improved performance, it collected much more science data than its predecessor.

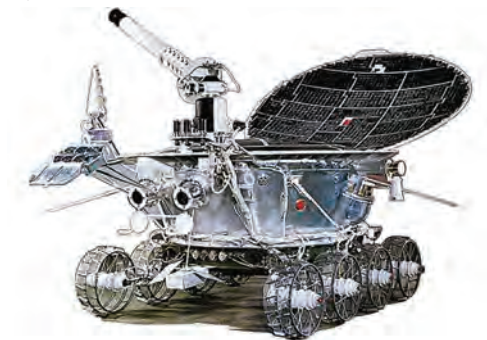
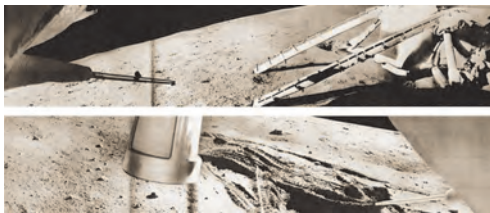


Георгий Николаевич Бабакин (1914–1971). Главный конструктор Машиностроительного завода им. С. А. Лавочкина с 1965 по 1971 год — выдающийся учёный и конструктор космической техники, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии, член-корреспондент АН СССР

Georgiy N. Babakin, Chief Designer of Lavochkin Plant for Machine Building (1965–1971), prominent scientist and space engineer. Hero of Socialist Labour, recipient of Lenin Prize, corresponding member of the Academy of Sciences of the USSR

«Луноход-1» на посадочной платформе (слева) и в термовакуумной изоляции (вверху) в НПО им. С. А. Лавочкина. Ниже — первые кадры с лунной поверхности и общий вид аппарата «Луноход-1»

Lunokhod-1 on the landing platform (left) and in the thermal vacuum isolation (top), at Lavochkin Association. Below — first images from lunar surface and general view of Lunokhod 1



Под руководством Г. Н. Бабакина созданы серии космических аппаратов для исследования Луны и планет Солнечной системы, космические аппараты, впервые в мире совершившие мягкую посадку на поверхность Луны, Марса и Венеры; работавшие на орбитах искусственных спутников Луны и Венеры; доставившие образцы лунного грунта на Землю; исследовавшие Луну самоходные научные лаборатории

Series of spacecraft for Moon and planetary studies were built under the leadership of G. N. Babakin, including the spacecraft, which were the first to perform soft landing on the Moon, Mars, and Venus; orbiters for the Moon and Venus; return stations which delivered lunar soil samples to the Earth; self-propelled science laboratories

В это время в США практически параллельно с программой советских лунных автоматов активно разворачивались работы по подготовке высадки на лунную поверхность американских астронавтов. Отечественные исследователи со значительно меньшими финансовыми затратами и при полном отсутствии риска, связанного с работой людей в сверхэкстремальных условиях, обеспечили опережающую мягкую посадку космического аппарата на Луну, доставили на Землю образцы лунного грунта, выполнили длительное контактное изучение физико-химических свойств лунных пород при движении по лунной поверхности исследовательского зонда.

At that time the United States were almost simultaneously deploying their manned Moon program. Soviet researchers have accomplished a soft landing of a spacecraft on the Moon, returned samples of lunar soil back to the Earth, completed a long-term *in situ* physical and chemical soil studies while piloting the rover on the lunar surface earlier than their rivals, at a much lower cost, with completely no risks regarding people working in super extreme conditions.



Вверху: более совершенный «Луноход-2»

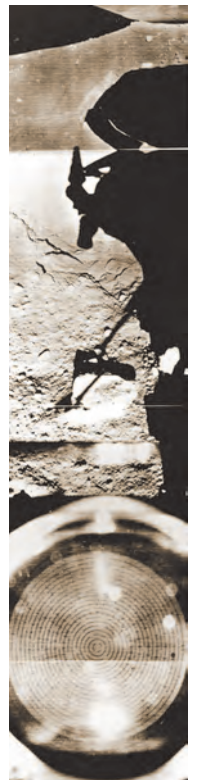
Top. Advanced Lunokhod 2

Слева: места посадки луноходов

Left. Lunokhods' landing sites

Справа: вертикальная панорама лунного грунта вдоль борта лунохода

Right. Vertical panorama of lunar soil along the side of Lunokhod

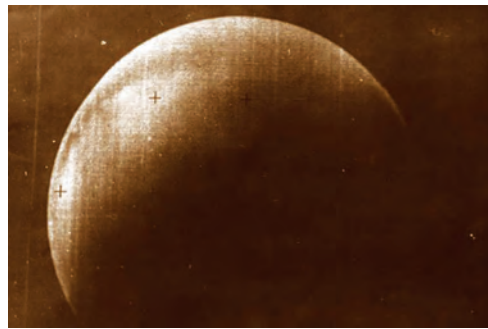
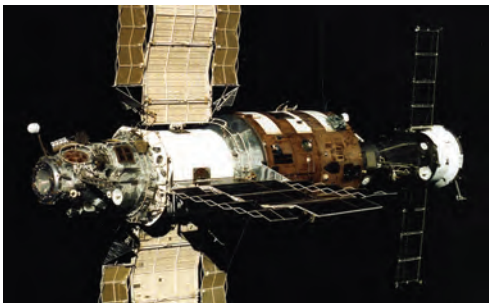
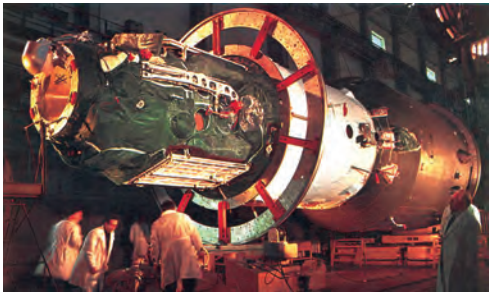


«Марс-2 и -3» — первые в истории искусственные спутники Марса. 2 декабря 1971 года посадочный аппарат АМС «Марс-3» впервые в истории совершил мягкую посадку на поверхность Марса между областями Электрис и Фазтонис

Mars 2 and Mars 3, the first artificial satellites of Mars. On December 2, 1971, Mars 3 lander was the first to achieve soft landing on the Martian surface

Долговременные орбитальные станции (ДОС) «Салют», «Салют-4, -6, -7»

Long term orbital stations (DOS) Salyut, Salyut-4, -6, and -7



«Нельзя переоценить значение этого нового подвига советской науки. Он в полном смысле открывает новую эру в исследовании космического пространства».

Профессор Бернард Ловелл, директор знаменитой английской радиоастрономической обсерватории Джодрелл Бэнк об экспедиции аппаратов «Марс-2 и -3» к Марсу

“One cannot overestimate the significance of this feat made by Soviet science. It literally opens a new age in space exploration.”

Prof. Sir Bernard Lovell, director of British Jodrell Bank Observatory on Mars 2 and Mars 3 missions to Mars

Вверху: АМС «Марс-3» впервые в истории выходит на орбиту искусственного спутника Марса

Top. For the first time ever Mars 3 enters the orbit and becomes an artificial satellite of Mars

Фотоизображение Марса, переданное АМС «Марс-3» на Землю

Photo image of Mars, transmitted by Mars 3

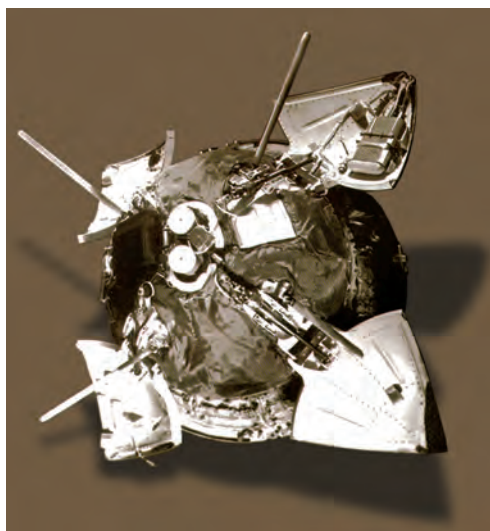
19 апреля 1971 года запущена первая долговременная орбитальная станция «Салют». На ней проводились исследования спектров звёзд в ультрафиолетовом (УФ) и гамма-диапазоне, потоков заряженных частиц, первичного космического излучения, потоков нейтронов и гамма-квантов. На КА «Салют-4» (1974–1977) регистрировались спектры солнечных вспышек, поток нейтронов и гамма-квантов, излучение рентгеновских источников. На станции второго поколения с двумя стыковочными узлами «Салют-6» (1977–1982) наблюдались астрофизические источники в УФ-, ИК-, сантиметровом и радиодиапазоне. Аппаратура «Салюта-7» исследовала рентгеновские источники, фоновые потоки гамма-квантов и заряженных частиц, ионизованное космическое излучение, осуществлены другие наблюдения и эксперименты.

28 мая 1971 года были запущены автоматические станции «Марс-2», «Марс-3». В декабре этого же года после шестимесячного полёта обе станции были выведены на околомарсианские орбиты. При подлёте к планете от «Марса-3» был отделён спускаемый аппарат, который совершил мягкую посадку на планету. Орбитальные аппараты станций стали искусственными спутниками Марса. Выполненные ими семь экспериментов были связаны с исследованиями самой планеты (измерения температуры грунта планеты, изучение её рельефа, состава и строения атмосферы с помощью инфракрасного радиометра, ультрафиолетового фотометра,

On April 19, 1971 the first long-term orbital station *Salyut* was launched. Its instruments studied star spectra in UV and gamma bands, charged particles, cosmic background radiation, neutron and gamma ray fluxes. *Salyut-4* (1974–1977) recorded solar flare spectra, neutron fluxes and gamma rays, X-ray radiation sources. *Salyut-6* (1977–1982), the second generation station with two docking ports observed astrophysical sources in the ultraviolet, infrared, centimetre, and radio bands. *Salyut-7* (1982–1991) instruments examined X-ray sources, background gamma-quantum and charged particles fluxes, ionized cosmic radiation, made other observations and experiments.

On May 28, 1971 *Mars-2* and *-3* automatic stations were launched. In December of the same year after a six-month journey, both stations were inserted into Mars orbit. On approach to the planet *Mars-3* jettisoned a probe that made a soft landing on the planet. The two spacecraft continued orbiting the planet. They performed seven experiments, measuring ground temperature, studying Mars topography, composition, and structure of the atmosphere with an infrared radiometer, ultraviolet photometer, and radio telescope; there was also a system to study magnetic field and charged particles in the vicinity of Mars. They also completed three experiments on studying of interplanetary medium and one study of solar radio emission.

Mars exploration continued with *Mars-4* through *-7*. Martian surface was photographed in its southern hemisphere and various types of scientific data were obtained. Martian atmosphere

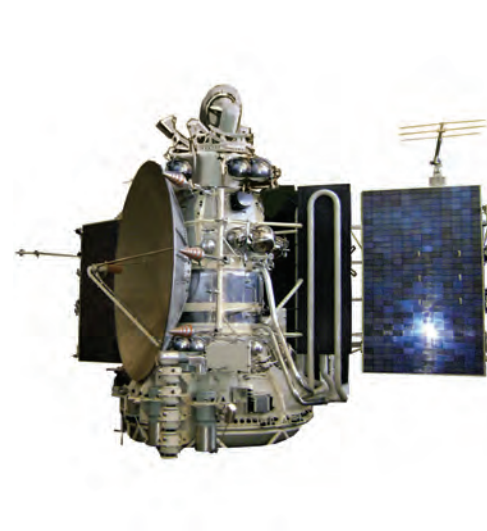


Посадочный аппарат АМС «Марс-2 и -3»
Mars-2 and -3 landers



Спускаемый аппарат АМС «Марс-3» в музее НПО им. С.А. Лавочкина — посадочный аппарат в защитной оболочке и аэродинамический тормоз

Mars 3 descent module in Lavochkin Association museum — lander under protective cover and aerodynamic brakes



Орбитальная АМС «Марс-4, -5»
Mars 4 and -5 orbiters

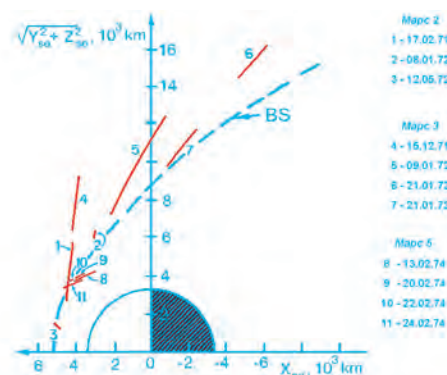
радиотелескопа; имелся также комплекс для исследования магнитного поля и заряженных частиц в окрестностях Марса), три — с измерением параметров межпланетной среды и один — с исследованием радиоизлучения Солнца.

Программу изучения Марса продолжили затем АМС «Марс-4...-7». Было обнаружено истечение планетарных ионов. Получены изображения поверхности Марса в его Южном полушарии и различные научные данные. Впервые выполнены прямые исследования марсианской атмосферы. В области высот от 20 км до поверхности измерялись давление и температура, определялись химический состав атмосферы и, в частности, содержание водяного пара в ней. Было выявлено присутствие небольшого количества озона на низких широтах. В основном же атмосфера, как показали измерения, состоит из углекислого газа, азота и аргона с примесью кислорода. Один из приборов — инфракрасный радиометр — измерил яркостную температуру грунта.

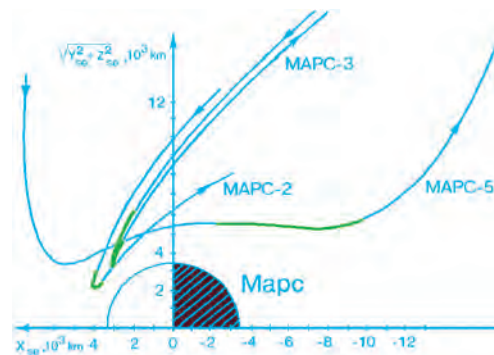
was probed directly for the first time. Pressure and temperature were measured down to 20 km to the surface. Chemical composition of the atmosphere and, in particular, water vapour content were surveyed. In the low latitudes small amount of ozone in the atmosphere was found. The studies showed that the atmosphere in general was composed of carbon dioxide, nitrogen, and argon with traces of oxygen. The infrared radiometer measured the brightness temperature of the soil.

Некоторые научные результаты работы АМС «Марс-2, -3, -5»

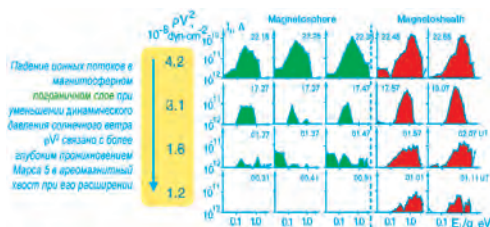
Some scientific results of Mars-2, -3, and -5



Многочратные пересечения фронта ударной волны
Multiple bow shock crossings



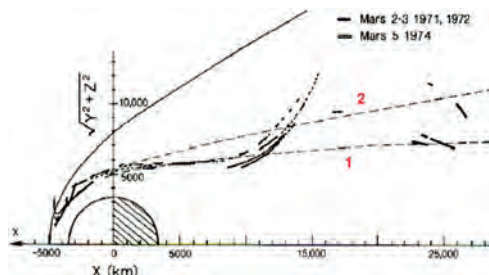
Многочратный вход во внешнюю магнитосферу
Multiple outer magnetosphere entries



Обнаружение пограничного слоя и сжимаемости аэромагнитного хвоста при увеличении ρV^2 . Magnetotail compression and its boundary layer evidences.

Обнаружение магнитосферы Марса и истечения планетарных ионов. (Олег Вайсберг)

Discovery of Martian magnetosphere and planetary ions escape. (Oleg Vaysberg)





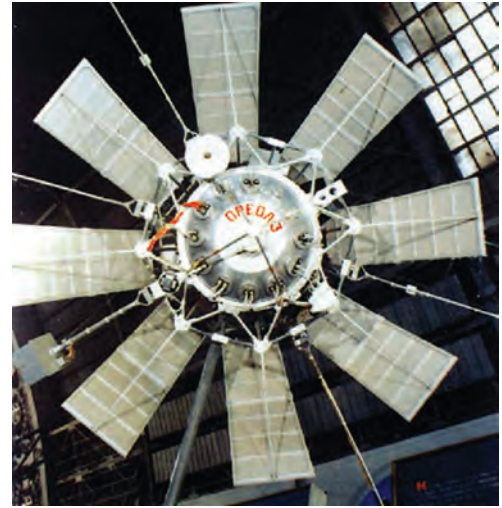
Спутник «Ореол» на платформе ДС-У3 советско-французского проекта АРКАД

Aureol satellite on the DS-U3 platform, Soviet-French Arcad project



Запуск ракеты МР-12 с палубы научно-исследовательского судна Академии наук «Академик Королёв» во Французской Гвиане

MR-12 launcher blasts off the deck of Academy's research ship "Academician Korolev" from French Guiana



Спутник «Ореол-3» на платформе АУОС советско-французского проекта АРКАД в монтажно-испытательном корпусе космодрома и в павильоне Космос на ВДНХ

Aureol 3 satellite on the AUOS platform, Soviet-French Arcad project, in integration and test facility of the cosmodrome and in Cosmos pavilion at VDNH (now All-Russian Exhibition Centre)



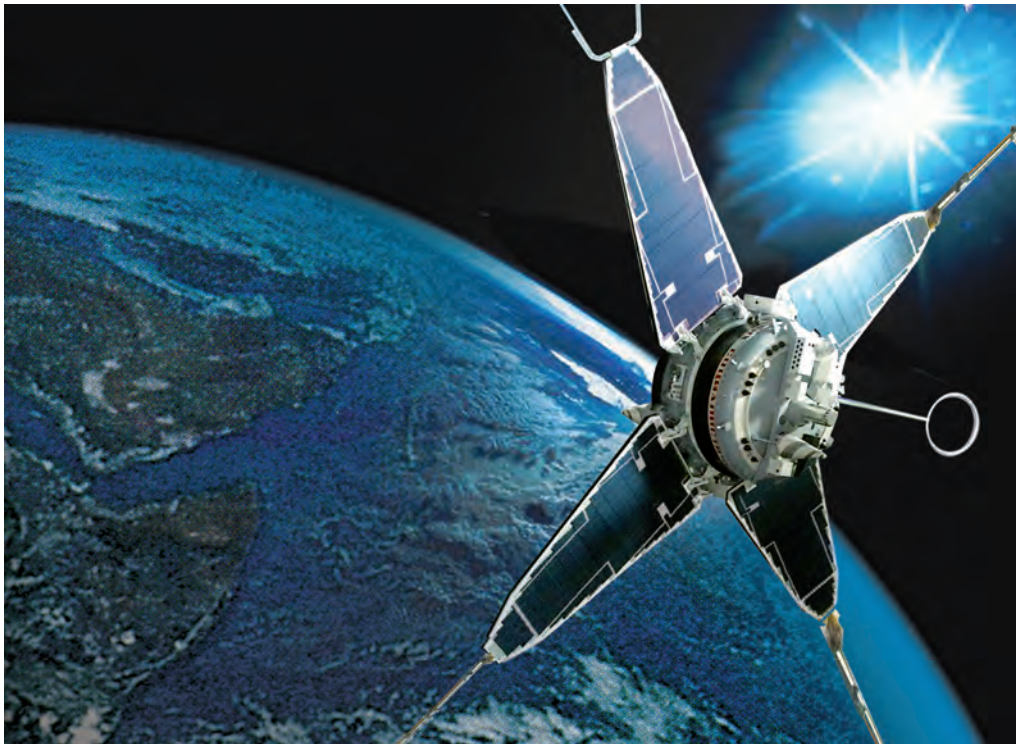
Гвианский космический центр. Советские и французские учёные и специалисты получают данные с запускаемых ракет

Guiana Space Centre. Soviet and French researchers receive the data from the launchers

27 декабря 1971 года запуском ИСЗ «Ореол» началась реализация советско-французского проекта АРКАД по исследованию взаимодействия магнитосферы и ионосферы. Спустя два года исследования были продолжены на аналогичном спутнике «Ореол-2», а с сентября 1981 года — «Ореол-3». Особая ценность выполненных ИСЗ «Ореол-3» экспериментов в том, что они были скоординированы с наземными и ракетными измерениями. Получены принципиально новые научные результаты, ставшие важной вехой в изучении околоземной плазмы.

On December 27, 1971 launch of the *Aureol* satellite started the joint Soviet-French program *Arcad* for studies of magnetosphere-ionosphere relations. Two years later it was continued on the same satellite *Aureol-2*, and, from September 1981, *Aureol-3*. *Aureol-3* experiments were especially valuable because they were coordinated with ground and rocket measurements. Its groundbreaking scientific results became a milestone in the study of near-Earth plasma.





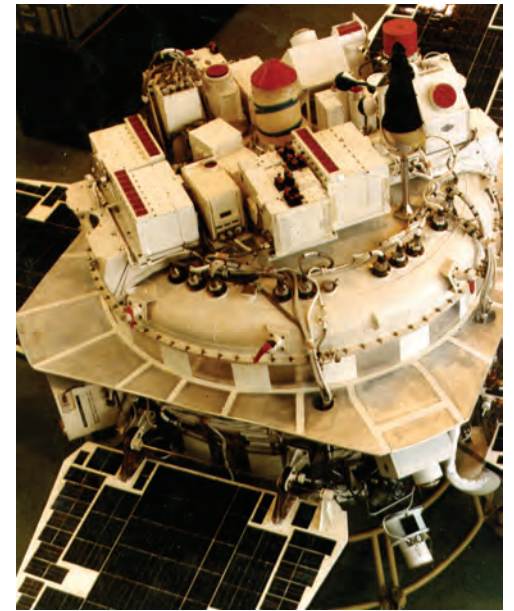
Спутник «Прогноз» в перигее
Prognoz satellite in the perigee

14 апреля 1972 года выведен на орбиту первый высокоапогейный спутник серии «Прогноз», предназначенный для изучения солнечно-земных связей — процессов солнечной активности и их влияния на межпланетную среду, магнитосферу и ионосферу Земли. С 1972 по 1983 год осуществлено десять успешных запусков спутников этой серии, проведены наблюдения в течение одиннадцатилетнего цикла солнечной активности. «Прогнозы» с первого по третий предназначались для контроля радиационной активности Солнца и прогнозирования радиационной безопасности полётов космонавтов. В ходе полётов КА «Прогноз-4...-8» были выполнены уникальные исследования структуры ударных волн солнечного ветра возле Земли.

Научная аппаратура «Прогнозов» включала также приборы для исследований электромагнитного излучения Солнца, потоков солнечных космических лучей и частиц высоких энергий вне и внутри магнитосферы Земли, регистрации характеристик плазмы солнечного ветра за пределами магнитосферы Земли и внутри магнитосферы, приёмники радиоизлучения, магнитометр, аппаратуру для измерения доз проникающего излучения на трассе полёта. На последующих ИСЗ серии «Прогноз» состав аппаратуры существенно расширился.

On April 14, 1972 the first of the *Prognoz* high-apogee family satellites was put into orbit. It was designed to study solar-terrestrial relations, solar activity and its impact on the interplanetary medium, the Earth's magnetosphere and ionosphere. In 1972–1983 ten of the *Prognoz* satellites were successfully launched, taking measurements during 11-year solar cycle. *Prognoz-1* to *-3* were made for radiation and solar activity monitoring and human space flight radiation safety forecast. Structure of the solar wind shockwaves near the Earth was studied during *Prognoz-4* to *-8* flights.

Prognoz satellites were also equipped with instruments to study solar electromagnetic radiation, cosmic rays, high-energy particles, as well as characteristics of the solar wind plasma both inside and outside the Earth's magnetosphere, radio emission receivers, magnetometers, equipment for measuring penetrating radiation doses on orbit. Succeeding *Prognoz* satellites were equipped with significantly more instruments.



Расположение научной аппаратуры на внешней поверхности спутника «Прогноз-10» проекта ИНТЕРШОК

Scientific payload arrangement on the outer surface of Prognoz-10 satellite (Intershock project)



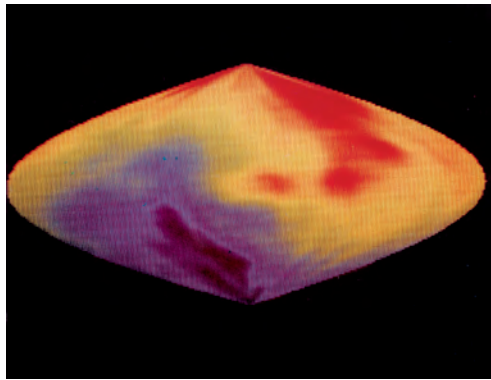
Построение типичной орбиты спутников «Прогноз»

Typical orbit of Prognoz series

Прибор «Реликт-1» спутника «Прогноз-9»

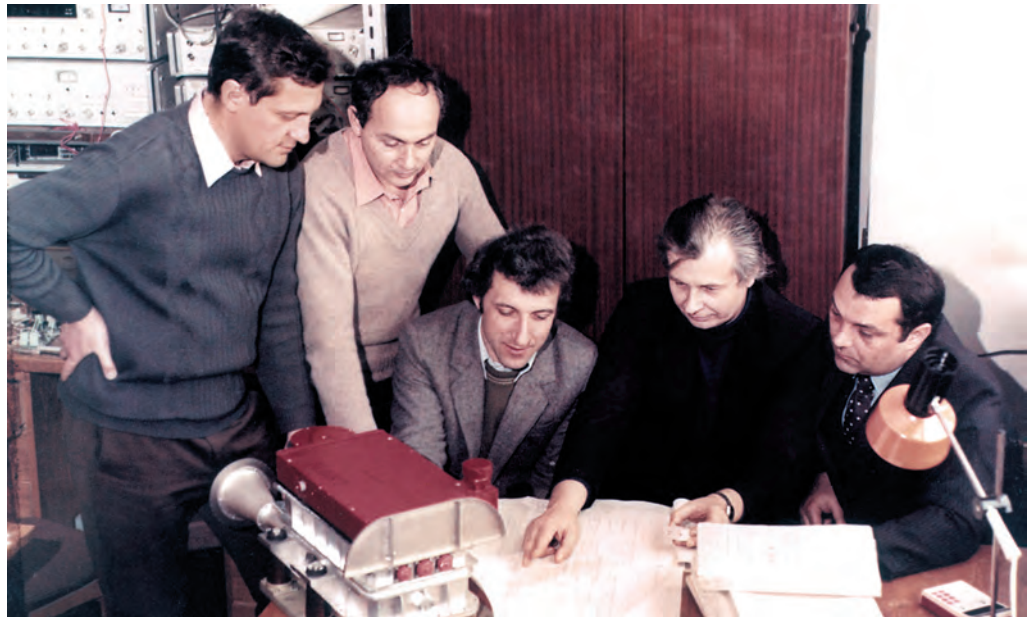
Relikt-1 — an instrument aboard Prognoz-9





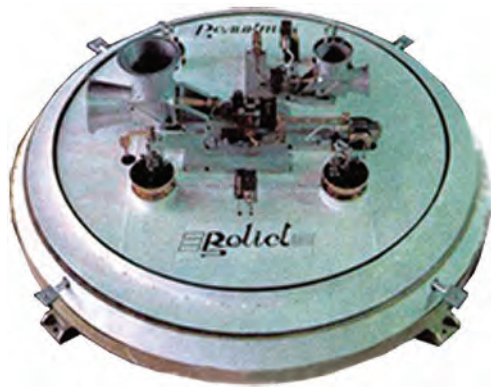
Карта неба в диапазоне 8 мм, полученная в эксперименте РЕЛИКТ

Map of the sky in 8-mm band, as derived from Relikt experiment



Техническое совещание по проекту РЕЛИКТ-1. Слева направо: В. В. Корогод, Б. З. Каневский, А. С. Косов, И. А. Струков, В. Э. Бекер

Technical panel on Relikt 1 project. From left to right: V. V. Korogod, B. Z. Kanevsky, A. S. Kosov, I. A. Strukov, V. E. Beker



Расположение прибора «Реликт» на спутнике «Прогноз-9»
Relikt instrument onboard Prognoz-9



Созданный в ИКИ РАН высокочувствительный радиометр «Реликт», установленный на «Прогнозе-9» (запущен 1 июля 1983 года), впервые измерил из космоса анизотропию микроволнового фона. Необычно высокая орбита спутника «Прогноз-9», почти достигавшая точки либрации в хвосте магнитосферы — 1,5 миллионов километров, позволила получить интересные данные по физике солнечного ветра.

A highly sensitive *Relikt* radiometer developed by IKI specialists onboard *Prognoz-9* (launched on July 1, 1983) was the first instrument to measure anisotropy of microwave background radiation from space. *Prognoz-9* unusually high orbit of around 1.5 million kilometers almost reached libration point in the magnetotail, so that it provided interesting data on solar wind physics.

С помощью ИСЗ «Прогноз-10» (запущен 10 октября 1985 года) проведён эксперимент ИНТЕРШОК, подготовленный учёными Института. Была получена уникальная информация о структуре околоземной ударной волны на границах магнитосферы.

Prognoz-10 (launched October 10, 1985) bore an *Intershock* experiment prepared by scientists of the Institute. Unique information about the structure of the magnetopause region at the magnetosphere border was obtained.

Схема гравитационного манёвра с использованием Луны для вывода в точку Лагранжа в не осуществлённом проекте РЕЛИКТ-2

Gravity assist scheme, which uses Moon to reach Langrange point L2, for the project Relikt 2, which was never realized

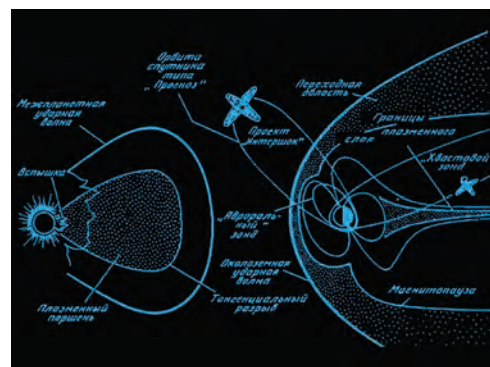
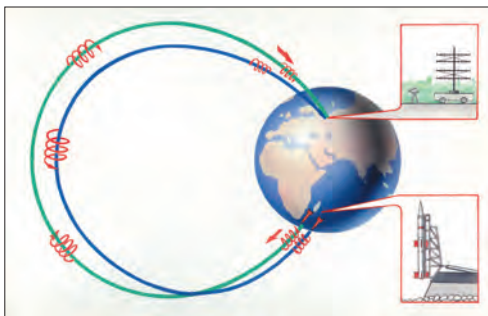


Схема проекта ИНТЕРШОК, спутник «Прогноз-10»
Intershock project scheme (Prognoz-10)



Пусковая установка французских ракет «Эридан» на острове Кергелен совместного советско-французского эксперимента АРАКС с участием США

Launching tower for French Eridan sounding rockets on Kerguelen island during Soviet-French collaborative experiment ARAKS with the participation of the US



Слева: схема советско-французского эксперимента АРАКС

Left. ARAKS Soviet-French experiment scheme

Справа: кадры из документального фильма «Эксперимент АРАКС» 1975 года киностудии Центрнаучфильм. Режисёр — А. Антонов, сценарист — В. Белецкая. CNES — французское космическое агентство и участник проекта — предоставило для фильма свои материалы

Right. Snapshots from "Experiment ARAKS" documentary of 1975. TsentrNauchFilm production. Producer — A. Antonov, screenwriter — V. Beletskaya. With contribution of CNES (French participant of the project)



Наземная подготовка к наблюдениям искусственного полярного сияния

Ground preparation for artificial aurora observations

В январе-феврале 1975 года реализуется советско-французский эксперимент АРАКС (Artificial Radiation and Auroral, Kerguelen — Soviet Union — искусственная радиация и полярное сияние) по искусственной инжекции электронов и плазменных струй в ионосфере с борта ракет (запуски осуществлялись с острова Кергелен в Индийском океане) и исследованию сопутствующих им эффектов в магнитосфере и ионосфере Земли. Эксперимент позволил проверить многие гипотезы о строении магнитосферы и поведении частиц в ней, механизмах генерации полярных сияний.

In January and February of 1975 the USSR and France implemented joint ARAKS experiment (short for "Artificial Radiation and Auroral, Kerguelen — Soviet Union") on artificial injection of electrons and plasma in the ionosphere from rockets (launched from Kerguelen Islands in the Indian Ocean) and study of the accompanying effects in the magnetosphere and ionosphere. The experiment was used to test many hypotheses about the structure of the magnetosphere and particle behavior, about the mechanisms generating auroras.



Справа: выдающийся специалист ИКИ АН СССР по магнитосфере Земли и полярным сияниям Юрий Ильич Гальперин на острове Кергелен обсуждает с коллегами результаты эксперимента АРАКС

Right. Yuri I. Galperin, prominent IKI expert on magnetosphere and auroras, discusses ARAKS's results with his French colleagues on Kerguelen island



Свидетельство к памятной медали за активное участие в советско-французском эксперименте АРАКС главного научного сотрудника ИКИ РАН Сергея Александровича Пулинца

Certificate to service medal for active participation in the Soviet-French ARAKS project, awarded to IKI's scientist Sergey A. Pulintsev

Директор ИКИ АН СССР Рюальд Зиннурович Сагдеев на пресс-конференции в ИКИ, посвящённой успешному завершению советско-французского эксперимента АРАКС

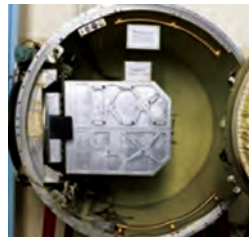
IKI's director Roald Z. Sagdeev on the press conference on successful accomplishment of the Soviet-French ARAKS project





Космонавты В. Ф. Быковский и В. В. Аксёнов на корабле «Союз-22»

Cosmonauts V. F. Bykovsky and V. V. Aksenov in Soyuz 22 spaceship

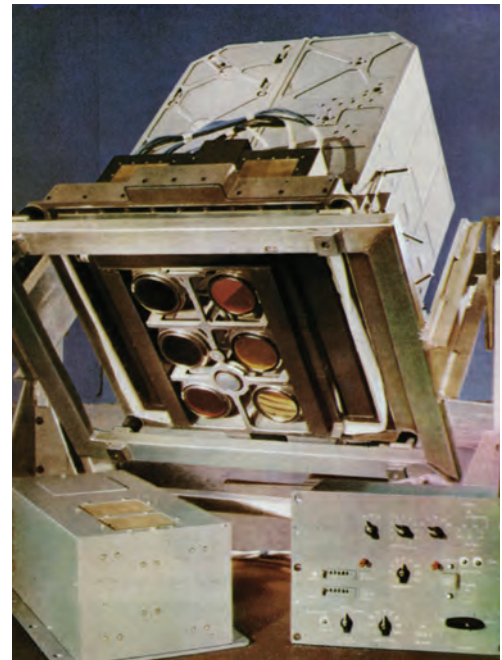


Внешний вид исследовательского блока и внутреннее расположение аппарата МКФ-6 на корабле «Союз-22» на месте обычного стыковочного узла

Research unit (external view) and the place for MKF 6 camera inside Soyuz 22 spaceship instead of docking unit

В. В. Аксёнов проводит съёмку аппаратом МКФ-6 в орбитальном отсеке корабля «Союз-22»

V.V. Aksenov makes the images with MKF 6 camera in the orbital module of Soyuz 22 spaceship



Космический многозональный фотоаппарат МКФ-6, разработанный советскими учёными и построенный специалистами народного предприятия ГДР «Карл Цейсс Йена»

MKF-6 multispectral space camera, developed by Soviet engineers and scientists and built at Carl Zeiss Jena (East Germany)

15 сентября 1976 года на орбиту выводится космический корабль «Союз-22», пилотируемый экипажем в составе В.Ф. Быковского и В.В. Аксёнова. На борту корабля был установлен созданный для изучения природных ресурсов и контроля окружающей среды из космоса, многозональный фотоаппарат МКФ-6, разработанный учёными и специалистами СССР и ГДР и изготовленный на предприятии «Карл Цейсс Йена».

Программа полёта включала три основные задачи: лётно-конструкторские испытания аппаратуры МКФ-6, дальнейшую отработку методов многозонального космического фотографирования с целью исследования поверхности и атмосферы Земли, проведение съёмок обширных районов СССР и ГДР для решения практических задач в интересах народного хозяйства обеих стран.

Полётом «Союз-22» завершился обширный комплекс работ в области фотографических методов изучения из космоса природных ресурсов Земли, проведённых Институтом космических исследований АН СССР, географическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова и другими научными организациями СССР. Метод многозональной фотосъёмки оказался весьма эффективен для многих отраслей научных исследований и народного хозяйства, и его разработка была удостоена Государственной премии СССР в 1984 году.

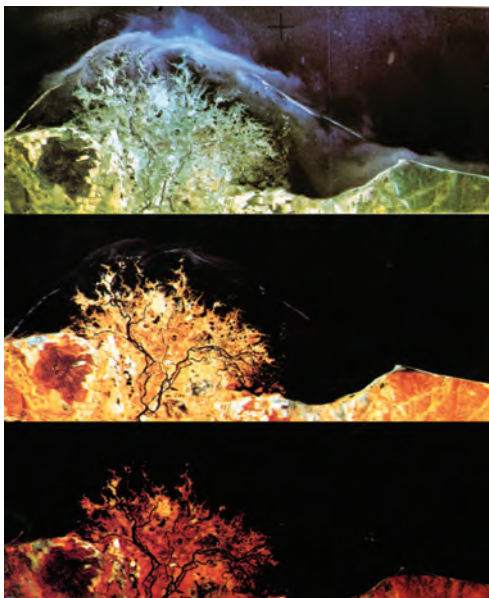
On September 15, 1976 Soyuz 22 manned spaceship, piloted by the crew of two cosmonauts (V. F. Bykovsky and V. V. Aksenov), was launched. MKF-6 multispectral camera, developed by USSR and East German engineers and built at Carl Zeiss Jena, was installed aboard the spaceship. It worked in four visible and two IR bands.

The flight had three main tasks, which were to perform flight tests of MKF-6 equipment; to refine the methods of multispectral space photography for Earth studies, and to obtain images of vast territories of the USSR and East Germany for practical purposes for both countries.

Soyuz 22 crowned a large-scale work concerning space studies of natural resources, which had been run in IKI, Lomonosov Moscow State University (Department of Geography), and other Soviet scientific institutions. Multispectral imagery turned to be especially valuable for many purposes of science and national economy, and the works on its development were awarded with the USSR State Prize in 1984.

Впадение реки Селенга в озеро Байкал в трёх зонах одного снимка аппарата МКФ-6

Selenga mouth in Baikal lake, in three bands of one shot made by MKF-6 camera





Автоматическая орбитальная астрофизическая обсерватория «Астрон» в цехе НПО им. С. А. Лавочкина и в полёте

Astron automatic orbital astrophysical observatory at the Lavochkin Association plant and during the flight

23 марта 1983 года выведен на высокоапогейную орбиту первый советский специализированный ИСЗ для астрофизических наблюдений — космическая обсерватория «Астрон». Успешно функционировала свыше семи лет, установив отечественный рекорд длительности работы в космосе. Система ориентации позволяла наводить телескопы в любую точку неба с точностью $2...3^\circ$. Примерно такой же была и точность стабилизации. Разработанный в Институте рентгеновский телескоп имел площадь 1750 квадратных сантиметров, поле зрения 3° и временное разрешение 2,7 миллисекунд. Исследовались нестационарные явления в звёздах, аномалии их химического состава, УФ-излучение звёзд и галактик.

Всего было исследовано более 200 объектов, в том числе в рентгеновском диапазоне — свыше 70 различных источников. Часть из них наблюдалась одновременно в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах. Были получены спектры нескольких сотен звёзд, в том числе с необычным химическим составом: новых и сверхновых звёзд, в частности Сверхновой 1987 года в Большом Магеллановом Облаке; другие галактики; газовые туманности и комета.

УФ-наблюдения нестационарных звёзд дали возможность впервые непосредственно определить размеры и температуру их горячих компонент.

On March 23, 1983 the first dedicated Soviet satellite for astrophysical observations, *Astron* space observatory was launched into high-apogee orbit. It successfully worked for more than 7 years becoming the Soviet's longest operating space station of the time. Its orientation control system could point its telescopes anywhere in the sky with an accuracy of $2...3^\circ$, with approximately the same stabilization accuracy. The Institute supplied an X-ray telescope for the project, with an area of 1750 cm^2 , a field of view 3° and time resolution of 2.7 ms. The project explored transient phenomena in stars, anomalies in stellar chemical composition, UV radiation of stars and galaxies.

More than 200 objects were studied (70 in X-ray-band). Some of them were simultaneously observed in X-ray and ultraviolet ranges. Spectra of several hundred stars were obtained, including those with unusual chemical composition: novae and supernovae, in particular, the Supernova SN1987 in the Large Magellanic Cloud; other galaxies; gaseous nebulae and comets.

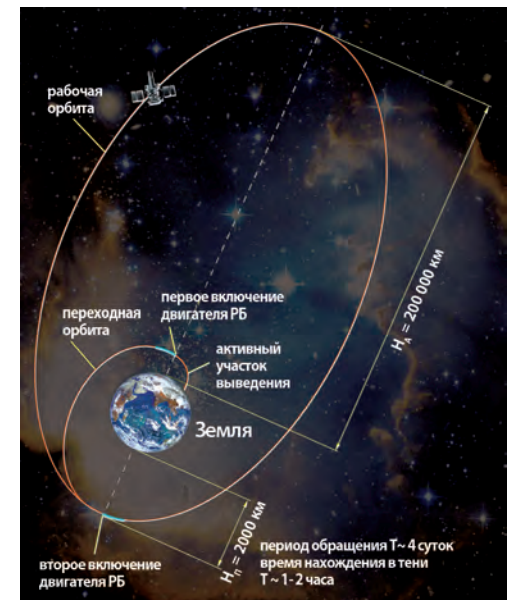
UV observations of nonstationary stars for the first time made it possible to directly measure the size and temperature of their hot segments.

Орбитальная астрофизическая обсерватория «Астрон» стартовала 23 марта 1983 года. В течение 7 лет были проведены обширные научные исследования звёзд, галактик и квазаров в ультрафиолетовом и рентгеновском спектрах. Всего исследовано более 200 объектов, в рентгеновском диапазоне — свыше 70 различных источников. Часть источников наблюдалась одновременно в рентгеновском и УФ-диапазонах. Основной научный прибор — сверхточный двухзеркальный УФ-телескоп СПИКА, созданный в НПО им. С. А. Лавочкина

Astron orbital astrophysical observatory was launched on March 23, 1983. For seven years it studied stars, galaxies, and quasars in UV and X-ray bands. More than 200 objects were studied, including more than 70 X-ray sources. Some of the sources were observed simultaneously in UV and X-ray bands. The main instrument was SPICA — high-precision two-mirror telescope, built at the Lavochkin Association

Формирование рабочей орбиты обсерватории «Астрон»

Formation of Astron astrophysical observatory nominal mission orbit



Основной инструмент обсерватории «Астрон» — телескоп СПИКА в музее НПО им. С. А. Лавочкина

The main instruments of Astron astrophysical observatory — SPICA telescope in the Lavochkin Association museum

Международный проект ВЕГА (Венера-Галлей) — исследование двумя космическими аппаратами в пролётном сближении двух небесных объектов — планеты Венера с десантированием аппаратов и запуском в её атмосферу аэростатных зондов и кометы Галлея — стал кульминацией советского периода Института космических исследований

International project Vega (short for Venus Halley) with two spacecraft encountering two celestial objects — Venus (leaving behind two landers and balloons) and comet Halley. It became the apex of the Soviet period of IKI's history

Научно-технический шедевр своего времени — титановый спускаемый аппарат «Вега» в музее НПО им. С. А. Лавочкина
Scientific and engineering masterpiece of the time — Vega's titanic descent module in the Lavochkin Association museum



Монтаж посадочного аппарата в капсулу спускаемого аппарата «Вега» в цехе НПО им. С. А. Лавочкина
Lander installation into the Vega descent module at the Lavochkin Association plant



Внизу: космический аппарат «Вега-1» в термовакуумной изоляции, готовый к полёту, в монтажно-испытательном корпусе 31-й площадки космодрома Байконур
Bottom. Vega 1 spacecraft in thermal vacuum shielding ready for launch in the integration and test building, 31 launch, Baikonur cosmodrome



«Вега» у Венеры
Vega encounters Venus



«Вега» у кометы Галлея
Vega encounters Comet Halley

15 и 21 декабря 1984 года запущены АМС «Вега-1 и -2». В июне 1985 года станции пролетели мимо Венеры и вышли на траекторию сближения с кометой Галлея. Перед пролётом около Венеры от них отделились спускаемые аппараты, каждый из которых разделился в венерианской атмосфере на две части — посадочный модуль и аэростатный зонд. В процессе снижения посадочных аппаратов измерялись характеристики облачного слоя и химического состава атмосферы. Посадка модуля станции «Вега-2» впервые была выполнена в высокогорном районе, поэтому анализ грунта в этом месте представлял особый интерес. По своему составу он оказался близким к оливиновому габбронориту. Были также обнаружены породы с относительно невысоким содержанием естественных радиоактивных элементов.

Аэростатные зонды после наполнения их оболочек гелием дрейфовали в атмосфере планеты на высоте 53...55 километров, выполняя измерения метеорологических параметров. Продолжительность работы зондов составила более 46 часов. Была получена новая уникальная информация о венерианской атмосфере. В частности, данные зондов показали наличие очень активных процессов в облачном слое Венеры, характеризующихся мощными восходящими и нисходящими потоками. Были также обнаружены грозные разряды.

On December 15 and 21, 1984 *Vega-1 and -2* interplanetary stations were launched. In June 1985 they flew past Venus and entered the encounter path with Halley's comet. Before Venus fly-by they released two descent modules each of which further separated in the atmosphere into a lander and a balloon probe. On their descent the landers measured characteristics of the cloud layer and chemical composition of the atmosphere. *Vega-2* was the first to land in highlands, so the analysis of the soil in this place was of special interest. The composition turned out to be close to olivine gabbro-norites. Rocks with a relatively low content of natural radioactive elements were also found.

The balloon probes, having been filled with helium, drifted at an altitude of 53...55 km, measuring meteorological parameters. The probes spent in the atmosphere over 46 hours. They yielded unique new information about Venesian atmosphere. In particular, they discovered very intensive processes in the cloud layer of Venus, characterized by strong upstream and downstream movements. They also detected lightning.



Слева: вдохновители и организаторы международного проекта ВЕГА по исследованию кометы Галлея.

Слева направо:

Рольд Зиннурович Сагдеев — директор Института космических исследований Академии наук СССР

Карл Саган — президент Планетного общества США, выдающийся популяризатор космических исследований

Роже-Морис Бонне — руководитель планетных программ Европейского космического агентства

Left. Inspiars and organizers of Vega international project on the study of Comet Halley.

Left to right.

Roald Z. Sagdeev, IKI's director

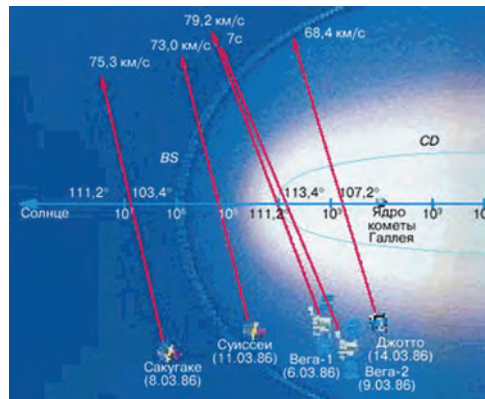
Carl Sagan, president of the Planetary Society (the USA)

Roger-Maurice Bonnet, the Director of Science of European Space Agency

В исследовании кометы Галлея были задействованы несколько КА. Аппараты «Вега» уточнили траекторию кометы и позволили подвести европейский аппарат «Джотто» к ней на 600 км — ничтожное расстояние по космическим меркам

Comet Halley were studied by several spacecraft. Vegas pinpointed the trajectory of the comet and allowed European Giotto spacecraft to approach as close as 600 km — a trifling in space travel

Проект ВЕГА проводился в тесном международном сотрудничестве. Внизу: научный совет представителей стран участниц в Институте космических исследований АН СССР
Project Vega was an international effort. Bottom. Scientific council of representatives of participant countries in IKI



Международный научно-технический совет по проекту ВЕГА в Институте космических исследований АН СССР

International scientific and technical council on Project Vega at IKI



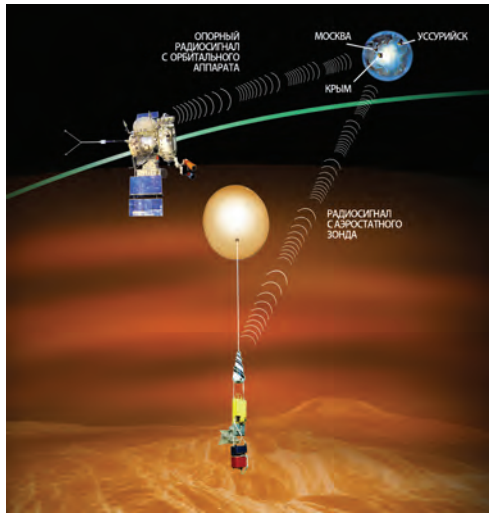


Схема работы, карта маршрутов в атмосфере Венеры и фотография аэростатного зонда «Вега» на испытаниях
Work schedule, trajectories in the Venusian atmosphere, and Vega's balloon during tests



Внизу: спектрофотометры ИОАВ и ИОАВ-2, с помощью которых измерено содержание водяного пара в атмосфере Венеры

Bottom. IOAV and IOAV-2 spectrophotometers, which measured the content of water vapour in the atmosphere of Venus

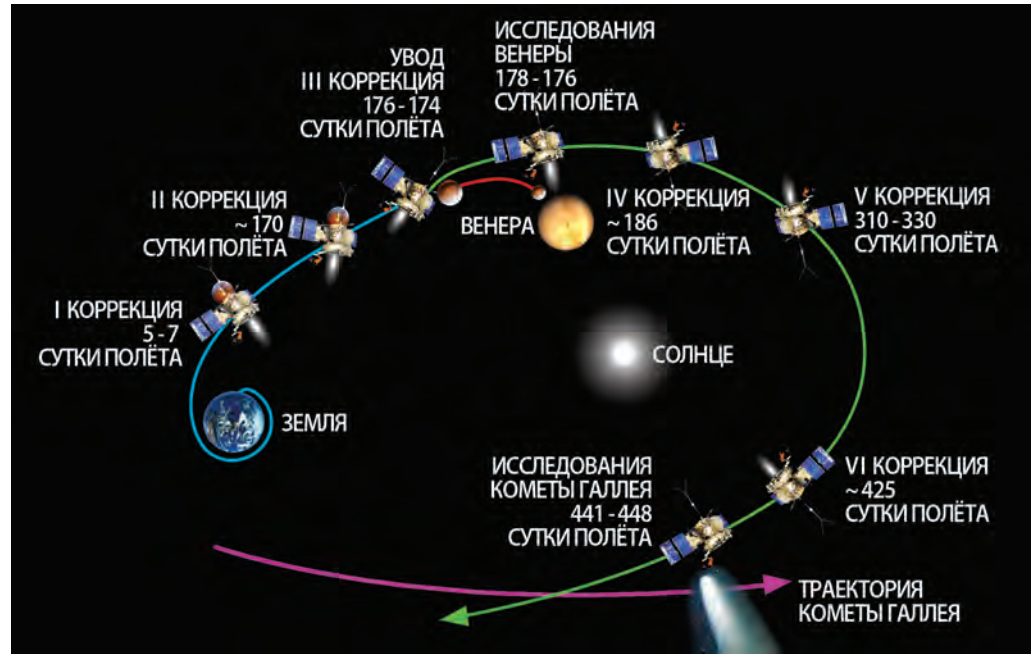


Схема миссии ВЕГА
Vega mission plan

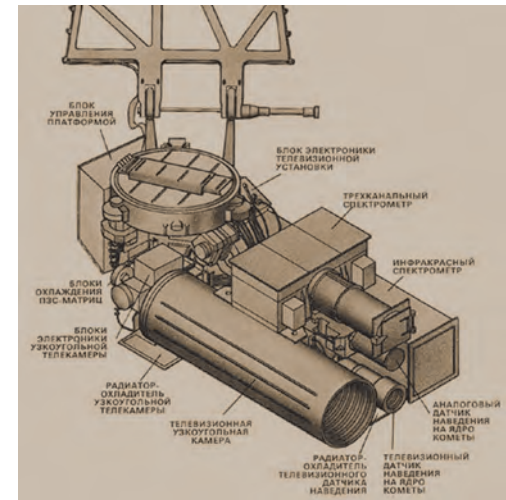
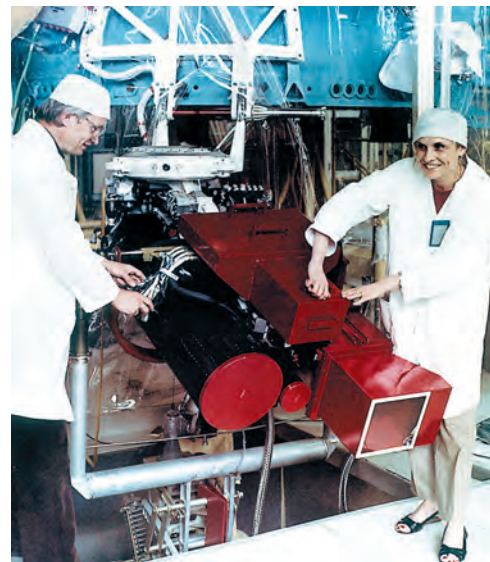
Автоматическая платформа АСП-5 аппарата «Вега» для исследования кометы Галлея (в термовакуумной изоляции (слева) и общая схема)

ASP-5 automatic platform of Project Vega (thermal vacuum isolation (left); layout)

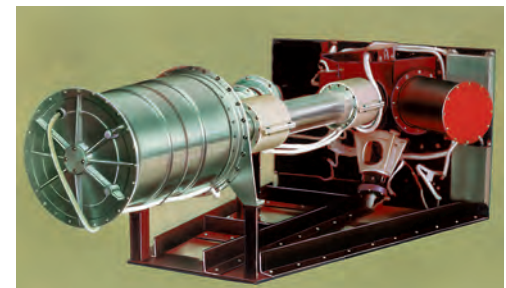


Технические руководители проекта ВЕГА — Борис Новиков (с советской стороны) и Жозет Рюнаво (с французской стороны) у автоматической платформы АСП-5 аппарата «Вега»

Technical supervisors of Project Vega — Boris Novikov, on Soviet part, and Josette Runaveau, Director of the French participation, near ASP-5 automatic platform



Пылеударный масс-анализатор ПУМА
PUMA dust mass spectrometer

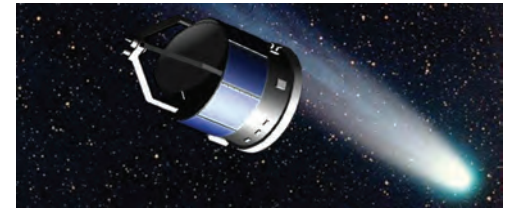




Центр управления полётами обеспечивает сближение аппаратов «Вега» с кометой Галлея
Flight Control Centre operates the approach of Vegas to comet Halley

Европейский спутник «Джотто», ближе всех других подошедший к комете Галлея благодаря аппаратам «Вега»

Thanks to Vegas, Giotto spacecraft (ESA) flew by the comet at a shortest distance (compared to others)



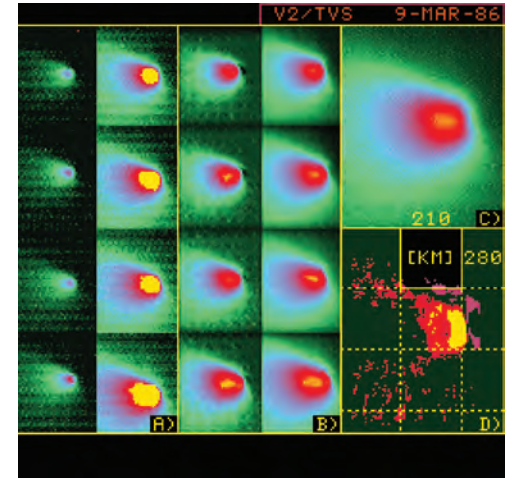
В ИКИ получено первое изображение кометы Галлея

First image of Comet Halley received at IKI



Изображения ядра кометы Галлея

Comet Halley nucleus



Но самой интересной была третья часть проекта — исследование кометы Галлея. Космические аппараты и комета двигались на встречных курсах. Скорость сближения превышала 70 километров в секунду. Трудность состояла и в том, что было невозможно заранее рассчитать траекторию движения кометы с необходимой точностью. Её уточнение продолжалось вплоть до прохождения станций мимо кометного ядра. «Вега-1» прошла на расстоянии 8890 километров от него, «Вега-2» — на расстоянии 8030 километров. Благодаря информации, полученной от аппаратов «Вега», удалось более точно подвести к комете европейский аппарат «Джотто» — 596 километров.

Аппараты «Вега» передали около 1500 снимков внутренних областей кометы и её ядра. Была получена информация о пылевой обстановке внутри комы, характеристиках плазмы, измерен темп испарения кометного вещества — 40 тонн в секунду в момент прохода станции около кометы и многое другое. Изображения ядра кометы были получены впервые в мире.

Чрезвычайно успешный проект ВЕГА — исследования Венеры и кометы Галлея — по сути, стал кульминацией «советского» периода работы института. За значительный вклад в развитие отечественной науки и техники институт был награждён орденом Ленина, директору института Р. З. Сагдееву присвоено звание Героя социалистического труда, орденами и медалями были награждены многие сотрудники института.

But the most interesting was the third part of the project, i.e. studying Comet Halley. The spacecraft and the comet moved on a counter-course. Closing speed exceeded 70 km/s. The difficulty was that calculation of the trajectory of the comet with the required accuracy was impossible in advance. Calculations lasted up until the moment of encounter. *Vega-1* passed the nucleus at a distance of 8890 km, *Vega-2* at 8030 km. The information gained from the *Vegas* helped to navigate European *Giotto* satellite as close as 596 km to the comet.

The *Vega* spacecraft transferred about 1500 images of internal regions of the comet and its nucleus. They've obtained information on the dusty environment inside the coma, characteristics of plasma, measured evaporation rate of cometary material (40 ton/s) at the time of the flyby and much more. For the first time ever comet's nucleus was photographed.

Extremely successful VEGA mission (short for "VENus and HALley's comet" since "Halley" is pronounced as "Galley" in Russian) was in fact, the culmination of the "Soviet" period of the Institute. IKI was awarded the Order of Lenin and R. Z. Sagdeev, the director of the Institute, was awarded the title Hero of Socialist Labor for significant contribution to the development of national science and technology institute. Orders and medals were also awarded to many Institute staff members.



Вверху: пресс-конференция в ИКИ для советских и иностранных журналистов, посвящённая успешному завершению международного проекта ВЕГА

Top. Press conference for Soviet and foreign media in IKI on successful end of Vega international project

Внизу: первый секретарь МКГ КПСС Борис Ельцин награждает институт и его сотрудников государственными наградами

Bottom. Boris Yeltsin, First secretary of Moscow City Committee of the USSR Communist Party, awards the Institutes and its representatives with state awards



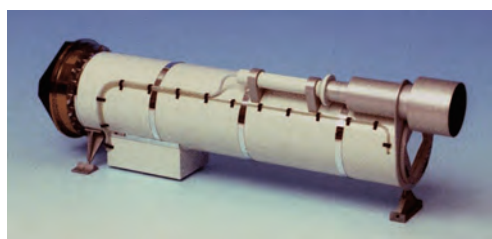
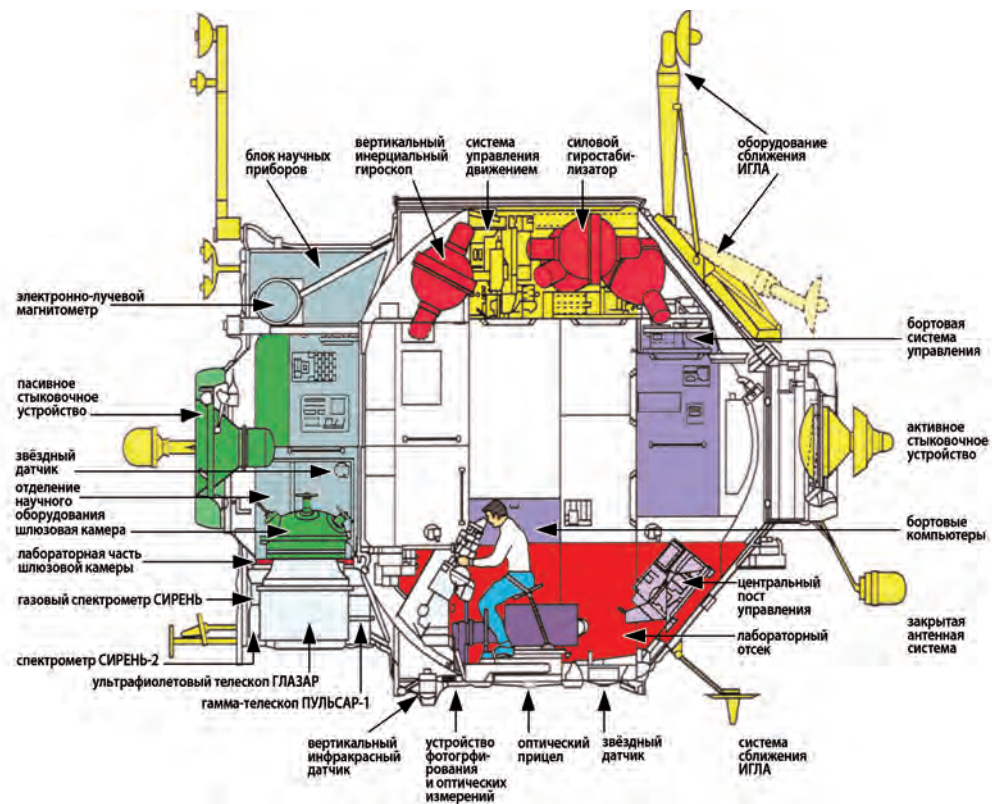


Научный модуль «Квант» — второй модуль долговременной орбитальной станции «Мир»

Kvant science module — the second module of the Mir space station

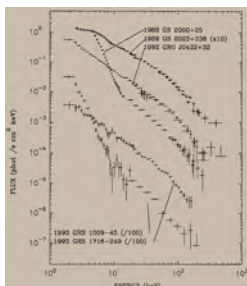
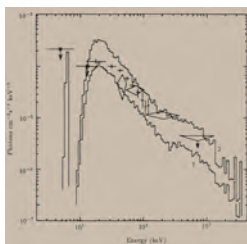
Справа: устройство модуля «Квант» долговременной орбитальной станции «Мир»

Right: Scheme of Kvant module of Mir space station



ТТМ (телескоп с теневой маской) — один из основных инструментов обсерватории «Рентген» на модуле «Квант-1». С его помощью были получены наилучшие на конец 1980-х — начало 1990-х годов карты области центра Галактики в рентгеновских лучах выше 4 кэВ

TTM — literally, "telescope with shadow mask" (in Russian), one of the main instruments of Rentgen observatory installed on Kvant module. His maps of Galactic Centre in >4 keV energy band had the highest quality in the end of 1980's — the beginning of 1990's



Некоторые основные научные результаты работы модуля «Квант»: спектры жёсткого рентгеновского и гамма-излучения сверхновой 1987А; открытие жёсткой компоненты в спектрах рентгеновских новых

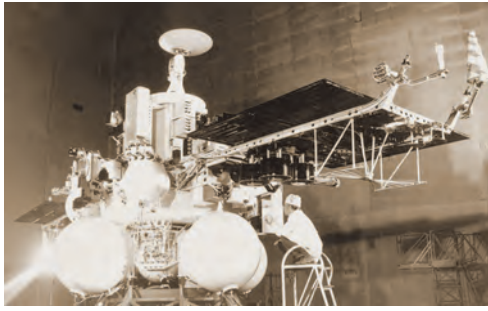
Some most important results of Kvant: hard X-ray spectra from SN1987a supernova; discovery of hard part in the spectra of X-ray novae

20 февраля 1986 года запущен базовый блок орбитальной научной станции «Мир» с шестью стыковочными узлами. За 15 лет на комплексе «Мир» побывало 105 космонавтов, 10 лет он эксплуатировался в пилотируемом режиме. На его борту было проведено около 18 тысяч экспериментов, во многих из которых приняли участие учёные ИКИ РАН. Начиная с 1987 года с помощью обсерватории «Рентген», установленной на модуле «Квант» станции, изучались рентгеновские источники.

Опыт проведения исследований на модуле «Квант», как и на борту более ранних орбитальных станций, в том числе серии «Салют», показал существенные сложности работы с инструментами рентгеновского диапазона, размещёнными на пилотируемых космических аппаратах. Среди них: ограниченность сеансов наблюдений в случае, если необходимо привлечь для работы космонавтов, поглощение мягкого рентгеновского излучения в микроатмосфере вокруг орбитальной станции, оседание вещества этой микроатмосферы на захлаженные части рентгеновских инструментов. Кроме того, динамические механические нагрузки на станции накладывают свои ограничения на параметры системы автономного наведения и стабилизации аппаратуры. Всё это вместе взятое постепенно привело к отказу от реализации масштабных астрофизических проектов на базе пилотируемых космических кораблей. Среди плюсов необходимо

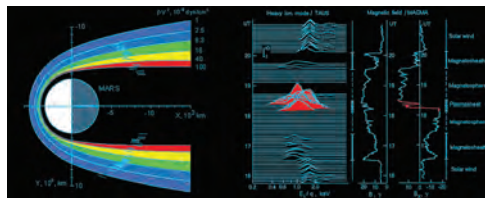
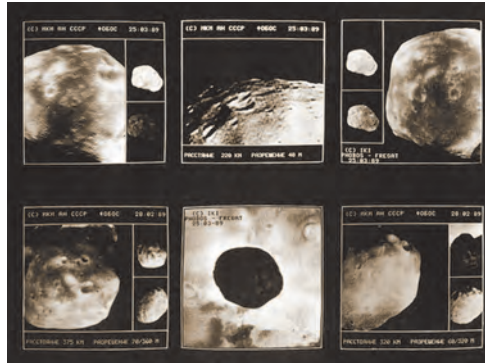
On February 20, 1986 the base unit of *Mir* orbital scientific station with six docking ports was launched. During its 15-year lifetime *Mir* was visited by 105 astronauts. 10 years it was operated in manned mode. About 18 thousand experiments were performed onboard, with IKI scientists taking part in many of those. Since 1987 the station began studying X-ray sources using *Rentgen* observatory installed in the *Kvant* scientific module.

Kvant legacy, as well as that of earlier *Salyut* series, showed significant difficulties with X-ray instruments borne by manned spacecraft. These are limited crew observation times, absorption of soft X-ray radiation in the microatmosphere around the space station, condensation of this atmosphere on cold parts of X-ray instruments, to name just a few. In addition, dynamic mechanical loads on the station limited the capacities of the automatic pointing and stabilization systems. All these factors led to abandonment of major astrophysical research on manned spacecraft. Advantages however included the possibility to repair the equipment by the crew. For example in 1988 astronauts replaced a faulty detector in *Kvant's* telescope that ensured another several years of sustainable operation.



Космический аппарат «Фобос-2» в цехе НПО им. С.А. Лавочкина. Учёные ИКИ на космодроме станции «Фобос-2»

Phobos-2 spacecraft at the Lavochkin Association plant. IKI's scientists at the cosmodrome near Phobos-2 spacecraft



Магнитосфера Марса — результаты работы приборов аппарата «Фобос-2»

Martian magnetosphere as seen by Phobos-2 instruments



Фотографии Марса и Фобоса, полученные фотокамерами аппарата «Фобос-2»
Mars and Phobos images obtained by Phobos-2 cameras

Карты Марса по материалам прибора «Термоскан». В ИКИ АН СССР расшифровкой этой информации занимался В.И. Мороз

Maps of Mars by Termoscan instrument. These data were processed by V. I. Moroz

отметить возможность ремонта аппаратуры космонавтами. Так, в 1988 году на модуле «Квант» космонавты заменили неисправный детектор телескопа ТТМ (телескоп с теневой маской), и он после этого ещё долгое время продолжал успешно работать.

7 и 12 июля 1988 года запущены АМС «Фобос-1 и -2». Планировалось вывести их на орбиту искусственных спутников Марса (ИСМ), близкую к орбите Фобоса. Программа предусматривала многократные сближения с марсианским спутником, пассивные и активные дистанционные исследования его поверхности, посадку на него малых станций.

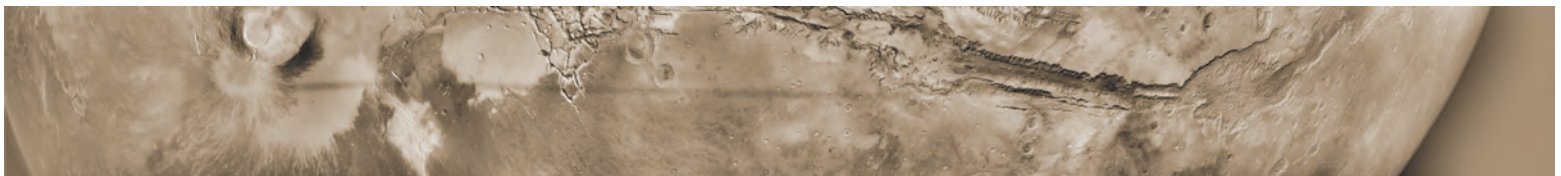
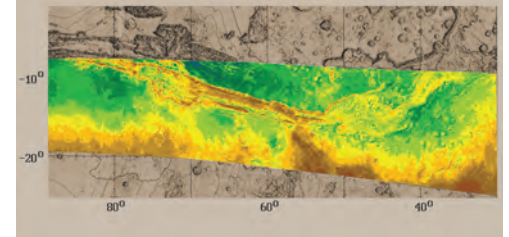
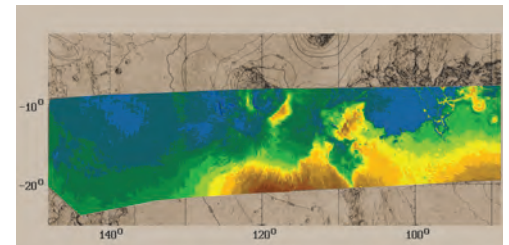
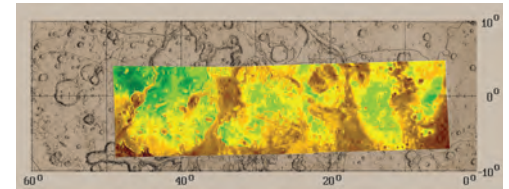
В сентябре 1988 года «Фобос-1» был потерян на пути к Марсу из-за ошибки, допущенной управленцами ЦУП при выдаче команд. «Фобос-2» выведен на орбиту ИСМ в конце января 1989 года. За два месяца его работы получено гораздо больше данных, чем во всех других отечественных марсианских программах. В частности, впервые были проведены масс-спектрометрические измерения, которые позволили обнаружить плазменные слои в магнитном хвосте Марса.

On July 7 and 12, 1988 twin *Phobos-1* and *-2* interplanetary stations were launched. The plan was to put them into orbit around Mars, close to that of Phobos. The program included multiple rendezvous with Phobos, passive and active probing of its surface, and landing small stations onto it.

In September 1988 *Phobos-1* was lost on its way to Mars due to an error in command transmission. *Phobos-2* was inserted into Martian orbit in late January, 1989. During the two months of its mission scientists received more data than in all previous Soviet Martian program. In particular, mass spectrometric measurements discovered plasma layers in the Mars magnetic tail.

Изображения поверхности Марса, полученные прибором «Термоскан» аппарата «Фобос-2» — приоритетное достижение советских учёных

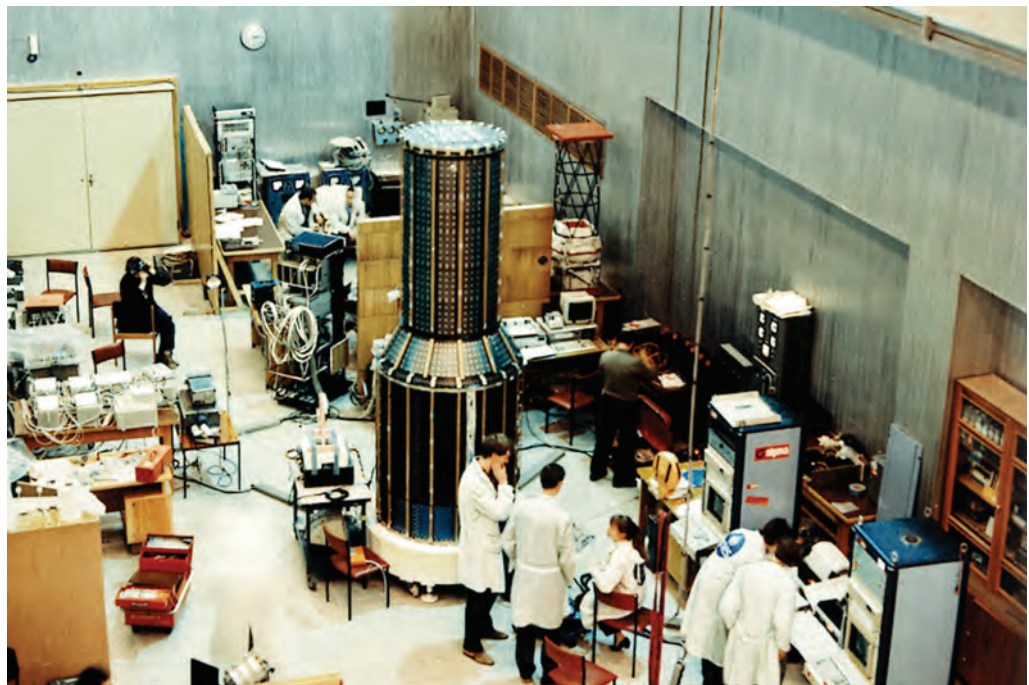
Mars surface images obtained by Termoscan instrument were pioneer results of Soviet scientists





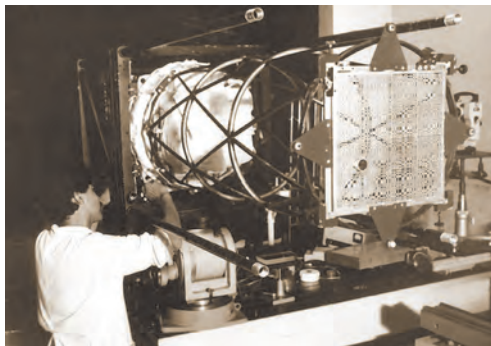
Обсерватория «Гранат».
Основные инструмен-
ты — АРТ-П и СИГМА —
рентгеновские телескопы
с кодирующими масками

*Granat observatory. Main
instruments — ART-P
and SIGMA X-ray telescopes
with coded aperture*



Телескоп СИГМА
на испытаниях в ЛИС ИКИ

*SIGMA telescope during tests
at IKI's laboratory testing
station*



Один из четырёх
«глаз» с кодирующей
маской телескопа АРТ-П
на стенде в ИКИ

*One of the four "eyes" of ART-P
telescope with coded mask
at IKI's test bench*

1 декабря 1989 года выведена на орбиту космическая рентгеновская обсерватория «Гранат». Среди важнейших результатов её наблюдений — открытие вспыхивающего рентгеновского пульсара, слежение за изменением периодов вращения ещё 12 рентгеновских пульсаров, обнаружение десятков рентгеновских всплесков от нейтронных звёзд-барстеров. Обсерватория «Гранат» работала в космосе почти 10 лет.

Была также предпринята первая попытка исследований гамма-всплесков одновременно в оптическом, инфракрасном и радиодиапазонах. На борту орбитальной обсерватории был установлен прибор «Подсолнух», который представлял собой комплекс рентгеновских и оптических детекторов, включаемых по результатам грубого измерения положения гамма-всплеска прибором «Конус».

On December 1, 1989 Granat space X-ray observatory was put into orbit. Among the most important results of its work are discovery of a flashing X-ray pulsar, tracking changes in rotation period of 12 other X-ray pulsars, detection of dozens of X-ray bursts from neutron stars. Granat worked in space for almost 10 years.

It was also the first attempt to study gamma-ray bursts (GRBs) in optical, infrared and radio bands simultaneously. The observatory was equipped with *Podsolnukh* ("Sunflower") system essentially consisting of X-ray and optical detectors activated after instrument *Konus* ("Cone") roughly measured gamma-ray burst position.

Ракета-носитель
«Протон» со спутником
«Гранат» на стартовой
площадке космодрома
Байконур

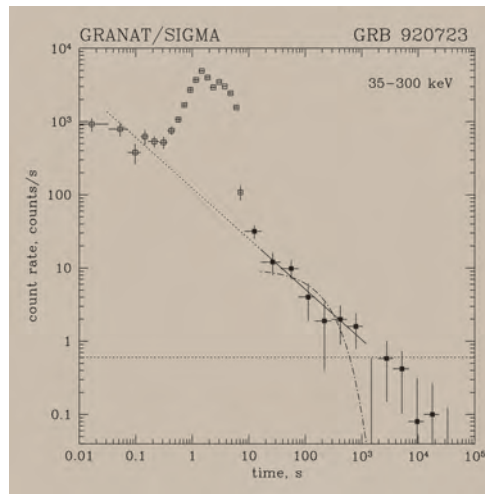
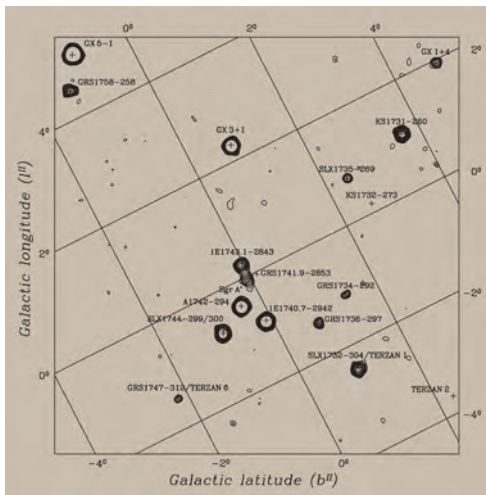
*Proton launcher with Granat
spacecraft atop at Baikonur
launch pad*



Группа сотрудников
ИКИ, разработчиков
телескопа АРТ-П,
у лётного образца
прибора на испытаниях
в ЛИС

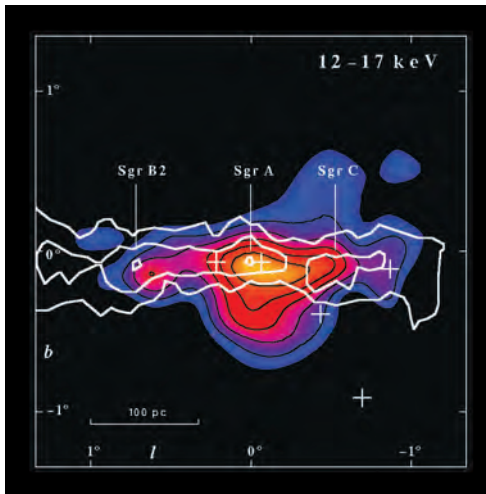
*IKI's scientists and engineers,
who developed ART-P
telescope, near the flight unit
of the instrument at test in
laboratory testing station*





Космический аппарат «Гранат» проработал на орбите 9 лет и стал крупнейшей международной космической астрофизической обсерваторией. Он стал одним из первых в мире искусственных спутников с непрерывным режимом направленного наблюдения до 24 часов в сутки. Открыты более двух десятков неизвестных ранее рентгеновских источников, зарегистрировано более 250 космических гамма-всплесков. Впервые построено изображение центра Галактики с высоким разрешением

Granat spacecraft operated for 9 years and was the large-scale international space astrophysical observatory. It was among the first artificial satellites to achieve the mode of continuous oriented observations up to 24 hours/day. It discovered more than 20 previously unknown X-ray sources, more than 250 gamma-ray bursts were detected. A high-resolution image of Galactic Centre was made for the first time ever



Вверху слева: рентгеновское изображение поля Галактического центра 8x8° в диапазоне энергий 3...17 кэВ, полученное телескопом АРТ-П. Открыты три рентгеновских источника. Вверху справа: первое наблюдение мягкого гамма-послесвечения яркого космического гамма-всплеска 23 июля 1992 года, оказавшегося в поле зрения телескопа СИГМА

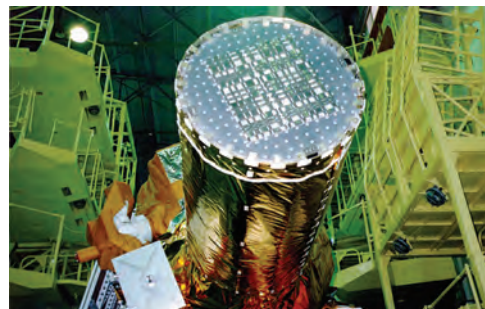
Top left. X-ray image of Galactic Centre 8x8° in 3...17 keV energy band, obtained from ART-P. Three X-ray images were discovered. Top right. The first observation of soft gamma-ray afterglow of bright space gamma-ray burst on July 23, 1992, which got into SIGMA's field of view

Слева: изображение области центра Галактики в диапазоне энергий 3...17 кэВ, полученное телескопом АРТ-П обсерватории «Гранат». Белые контуры показывают распределение молекулярного газа

Left. Image of Galactic Centre in 3-17 keV energy band, obtained from ART-P telescope onboard Granat observatory. White contours depict the distribution of molecular gas

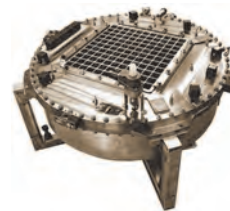
Обсерватория «Гранат» в монтажно-испытательном корпусе космодрома

Granat observatory at the cosmodrome's integrating and test building



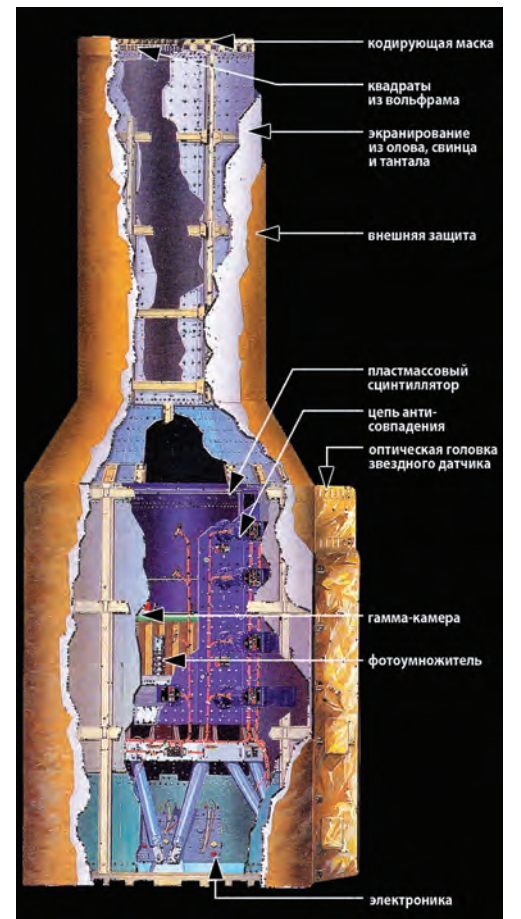
Под обсерваторией «Гранат» на 31-й площадке Байконур Б. С. Новиков — технический руководитель комплекса КНА «Гранат» от ИКИ АН СССР и В. П. Никифоров — руководитель испытаний КА «Гранат» от НПО им. С. А. Лавочкина

Under Granat observatory at Baikonur pad 31. B. S. Novikov, technical supervisor of Granat scientific package from IKI side, and V. P. Nikiforov, testing supervisor of Granat spacecraft, from Lavochkin Association



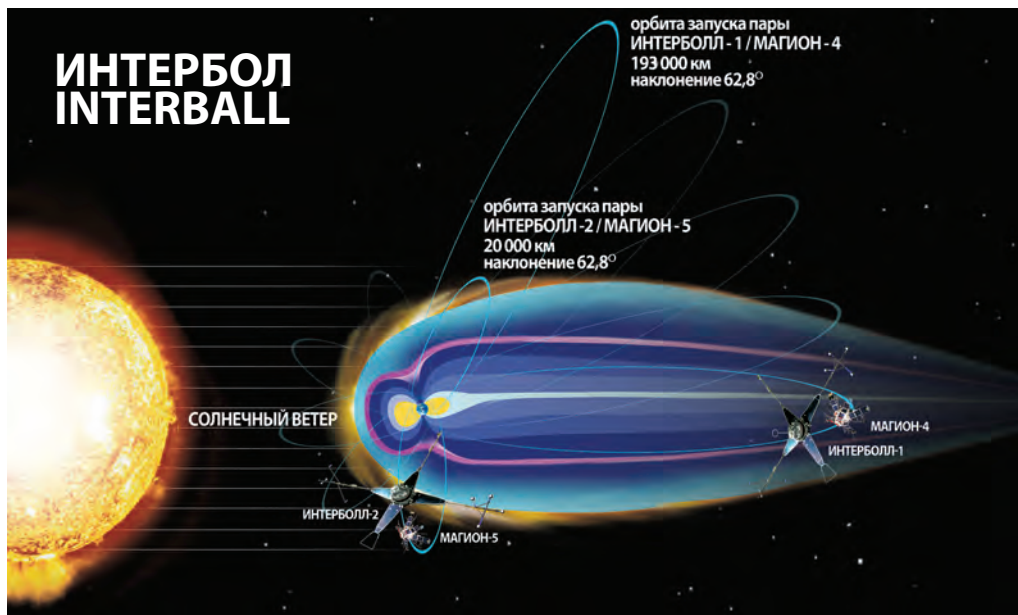
Многопроволочная пропорциональная камера (МПК) с технологической решёткой на входном окне телескопа АРТ-П
Multiwire proportional camera (MPK) with technological grid on ART-P aperture

Схема телескопа СИГМА обсерватории «Гранат»
SIGMA telescope's layout



Проект ИНТЕРБОЛ — один из ключевых элементов большой международной программы исследования солнечно-земных связей. Кроме спутников «Интербол-1» («Прогноз-11») и «Интербол-2» («Прогноз-12») и отделяемых от них чехословацких субспутников «Магион-4» и «Магион-5» в комплексную систему исследований солнечно-земных связей вошли: японо-американский спутник GEOTAIL, американский КА WIND, российско-украинские космические аппараты «Коронас-И» и «Коронас-Ф», европейско-американская солнечная обсерватория SOHO, американский спутник POLAR

Project Interball — one of the key parts of the InterAgency Solar-Terrestrial Physics Program (IASTP). Besides Interball-1 (Prognoz-11) and Interball-2 (Prognoz-12) and their Czechoslovak subsatellites Magion 4 and Magion 5 it counted Wind (NASA), Polar (NASA), SOHO (NASA), Geotail (NASA/JAXA), Koronas I and Koronas F (Roscosmos/Ukraine), etc.



3 августа 1995 года запущен первый КА проекта ИНТЕРБОЛ — «Интербол-1» (СО-М2 № 512, «Хвостовой зонд») с его субспутником «Магион-4» с пусковой установки 17П32-3 (317/3) космодрома Плесецк ракетой-носителем «Молния» на орбиту с апогеем 193 000 км и наклонением 62,8°

29 августа 1996 года запущен второй КА проекта ИНТЕРБОЛ — «Интербол-2» (СО-М2 № 513, «Авроральный зонд») с его субспутником «Магион-5» с пусковой установки 17П32-3 (317/3) космодрома Плесецк на орбиту с апогеем 20 000 км и наклонением 62,8°

On August 3, 1995, the first spacecraft of project Interball was launched, which was Interball 1 (SO-M2 No512, Tail Probe) with its subsatellite Magion 4. It was lofted by Molniya launcher from the launch pad 17P32-3 (317/3) at Plesetsk cosmodrome and inserted into an orbit with 193 000 km apogee and 62.8 deg inclination

On August 29, 1996, the second spacecraft of project Interball was launched, which was Interball 2 (SO-M2 No513, Auroral Probe) with its subsatellite Magion 5. It was lofted by Molniya launcher from the launch pad 17P32-3 (317/3) at Plesetsk cosmodrome and inserted into an orbit with 20 000 km apogee and 62.8 deg inclination

3 августа 1995 года началась реализация проекта ИНТЕРБОЛ (1995–2000). В самом названии проекта определилась главная его задача — 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.

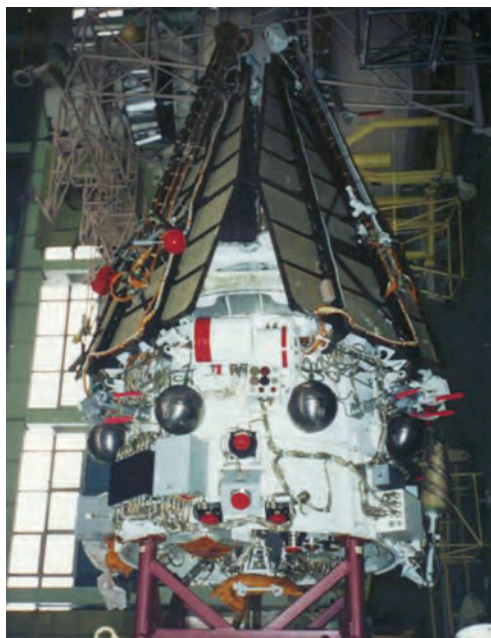
Были запущены две пары спутник-субспутник. Первая, с апогеем 200 тысяч километров, выполняла измерения в хвосте магнитосферы, каспах, вблизи магнитопаузы, в магнитослое и солнечном ветре. Вторая пара, с апогеем 20 тысяч километров, исследовала магнитосферную плазму над овалом полярных сияний, полярной шапкой и в каспе на средних высотах. Система из двух основных аппаратов — «Хвостовой зонд», «Авроральный зонд» и двух субспутников «Магион» позволила детально исследовать процессы одновременно в различных областях околоземного космического пространства, разделить пространственные и временные вариации измеряемых параметров.

Измерения, выполненные по проекту ИНТЕРБОЛ, заставили пересмотреть представления о процессах в плазменном слое магнитосферы, изучить крупномасштабную динамику её возмущений при выбросе из внешних областей Солнца (солнечной короны) больших масс горячей плазмы и формирование гигантских «магнитных облаков» в солнечном ветре. Удалось исследовать глобальную перестройку всей магнитосферной системы.

On August 3, 1995 Interball (1995–2000) project was launched. As stated in the name, its main task was to search for so-called “fireballs” in the magnetospheric plasma; it also studied explosive processes of heating and acceleration of plasma, which lead to auroras and magnetic storms.

Two pairs “satellite-subsatellite” were launched. The first one in the orbit with an apogee of 200 thousand km performed measurements in the magnetotail, cusps, near the magnetopause, in magnetosheath, and solar wind. The other pair in the orbit with an apogee of 20 thousand kilometers examined magnetospheric plasma above the auroral oval, the polar cap, and in cusps at medium altitudes. The system of two main satellites: *Tail Probe*, *Auroral Probe* — and two *Magion* subsatellites meticulously studied simultaneous processes in different areas of near-Earth space, thus separating spatial and temporal variations of the measured parameters.

Results obtained by *Interball* instruments led to reconsideration of the ideas about the processes in the plasma layer of the magnetosphere. They also suggested studying the large-scale disturbances during emissions of tremendous amounts of hot plasma from solar corona and formation of giant “magnetic clouds” in the solar wind. The scientists were able to explore the global dynamic processes in the entire magnetosphere.

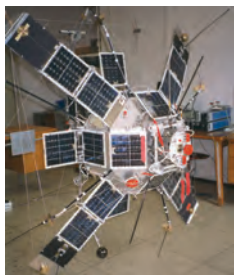


«Интербол-1» («Прогноз-11») на испытаниях в цехе НПО им. С. А. Лавочкина

Interball 1 (Prognoz 11) during tests at Lavochkin Association

Чехословацкий субспутник «Магион-4» спутника «Интербол-1», на испытаниях

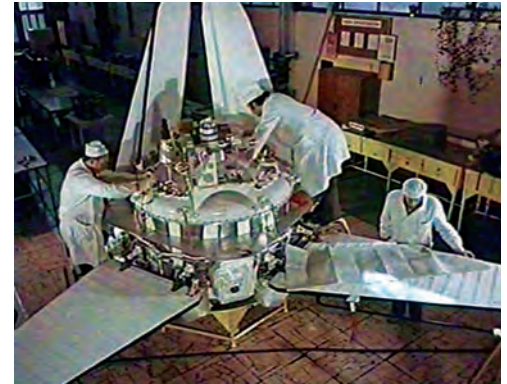
Czechoslovak subsatellite Magion 4 of Interball-1 during tests





Комплексные испытания исследовательского аппарата «Интербол-2» в НПО им. С. А. Лавочкина

Interball-2 undergoes complex tests at Lavochkin Association



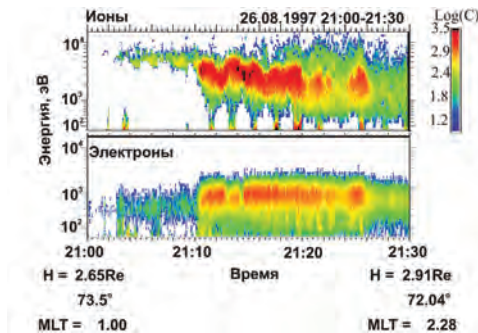
Сборка спутников «Интербол-1 и -2» в цехах НПО им. С. А. Лавочкина

Right. Interball 1 and 2 assembling at Lavochkin Association plants



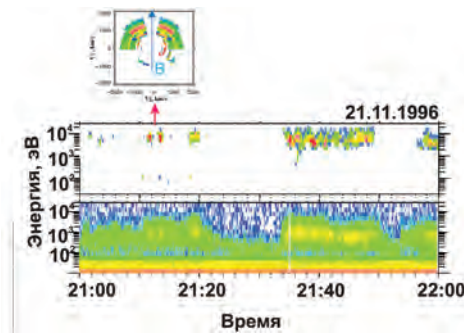
Результаты измерений существенно повлияли на представления о физике магнитосфер больших планет, а также на теорию процессов в далёких астрофизических объектах.

The data also were highly influential for the understanding of the magnetosphere physics of the major planets, as well as processes taking place at distant astrophysical objects.



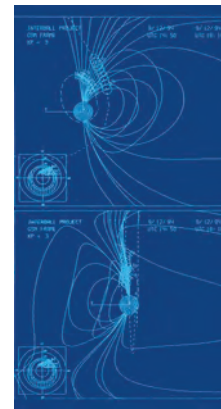
Результаты синхронных измерений КА «Интербол-2»

Results of synchronous observations by Interball 2



Результаты синхронных измерений КА «Интербол-1»

Results of synchronous observations by Interball 1



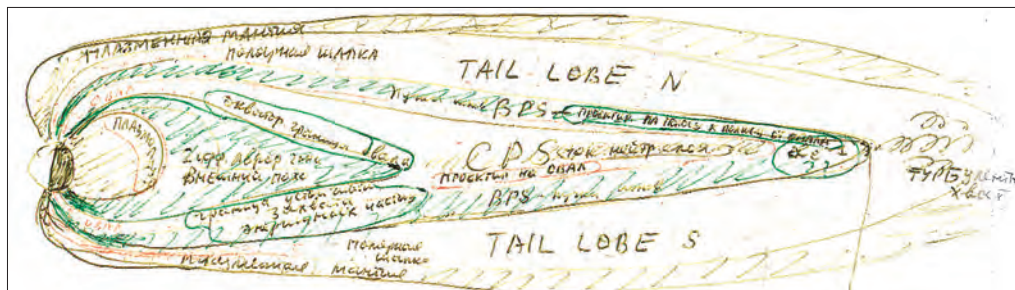
Данные спутников «Интербол-1 и -2»

Interball-1 and-2 data

Реализация миссии ИНТЕРБОЛ стала, по признанию мировой научной общественности, выдающимся вкладом в исследование физики околоземного пространства и солнечно-земных связей. Главной её целью было изучение физических механизмов, которые ответственны за передачу энергии солнечного ветра в магнитосферу, её накопление там и последующую диссипацию в хвосте и авроральных областях магнитосферы, в ионосфере и верхней атмосфере во время магнитосферных суббурь. Уникальность проекта связана с тем, что, вместе с изучением глобальных, крупномасштабных явлений в околоземном космическом пространстве, исследовалась их тонкая, мелкомасштабная структура, что стало возможным на основе сопоставления данных, полученных от основных аппаратов и их субспутников

Слева: схема ночной магнитосферы Земли, нарисованная Юрием Ильичом Гальпериным, выдающимся учёным ИКИ, в 1988–1989 годах и хранящаяся у Льва Матвеевича Зеленого. Схема основана на работе Гальперина и Фельдштейна 1987 года

Interball mission was internationally acknowledged as an important contribution to the studies of near-Earth physics and solar-terrestrial relations. Its main goal was to study physical mechanisms underlying the transfer of solar wind energy into the magnetosphere, its accumulation, and subsequent dissipation in the tail and auroral regions, in the ionosphere, and the upper atmosphere during magnetospheric substorms. Project's special feature was that it studied at the same time global large-scale phenomena in the near-Earth space and their thin small-scale structure, which became possible by comparing the data of main spacecraft and their subsatellites



Left. The outline of the Earth night-side magnetosphere, drawn by Yuri I. Galperin, IKI's eminent scientist, in 1988–1989, and kept by Lev M. Zelenyi. The outline is based on the paper by Galperin and Feldstein, 1987

Впервые в истории российский нейтронный детектор ХЕНД, созданный в ИКИ, с борта американского спутника Марса проекта 2001 МАРС-ОДИССЕЙ обнаружил огромные запасы воды под поверхность Марса

For the first time large amounts of water under the surface of Mars were discovered by Russian neutron detector HEND, developed and built at IKI, aboard NASA's 2001 Mars Odyssey spacecraft



Назначение прибора ХЕНД — измерение предельно низких (не более 10^2 нейтрон/см²·с) потоков нейтронов (в энергетическом диапазоне от 0,4 эВ до 10 МэВ) и гамма-излучения (в энергетическом диапазоне от 300 кэВ до 10 МэВ) в межпланетном пространстве в течение полёта до Марса, а также проведение мониторинга и картографирования нейтронного и гамма-полей Марса и ближайшего околопланетного пространства с около-марсианской орбиты.

Основные технические характеристики прибора: масса — 3695 г; энергопотребление — 5,7 Вт при напряжении питания 28 В; объём научной телеметрической информации — 1 МБ/сут; тепловые условия — собственная система обеспечения теплового режима

Прибор ХЕНД — детектор нейтронов высоких энергий, созданный в ИКИ
HEND — High Energy Neutron Detector, built in IKI

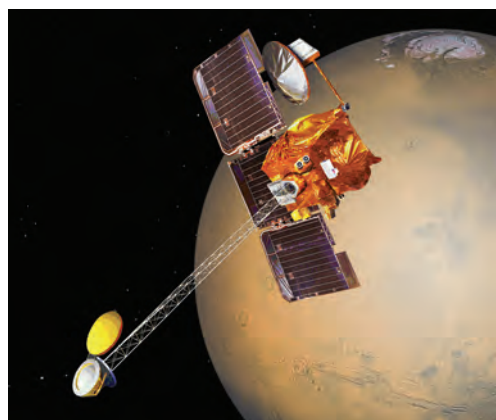
HEND's objectives — to measure low fluxes of neutrons — less than 10^2 neutron/cm²·s and gamma-ray radiation (300 keV – 10 MeV energy range) in the interplanetary space during cruise phase to Mars and monitoring and mapping of neutron and gamma-ray fields of Mars and the space nearest to the planet, while on orbit around Mars.

Main technical parameters: mass: 3695 g; energy consumption: 5.7 W at 28 V supply voltage; telemetric scientific data volume: 1 Mb/day; temperature conditions: intrinsic system of thermal condition maintenance



Места расположения приборов на научной палубе аппарата «2001 Марс-Одиссей»

Instruments placement on 2001 Mars Odyssey science deck



Спутник НАСА «2001 Марс-Одиссей» на орбите Марса (© NASA)

2001 Mars Odyssey spacecraft on the orbit around Mars (© NASA)

7 апреля 2001 года запущена американская АМС «Марс-Одиссей». Разработанный в ИКИ РАН и установленный на борту станции нейтронный детектор HEND (High Energy Neutron Detector, ХЕНД) успешно выполнил одну из основных задач миссии — исследования нейтронного излучения Марса. По данным прибора обнаружены огромные запасы воды непосредственно под поверхностью Марса и измерена динамика сезонных отложений углекислоты на поверхности планеты.

On April 7, 2001 the United States launched the *Mars Odyssey* automated spacecraft. Among other instruments it carried HEND (short for “High-Energy Neutron Detector”) developed in IKI, which successfully accomplished one of the mission tasks to study Mars neutron radiation. The instrument showed large water reservoirs just below the surface of Mars, and measured the dynamics of seasonal carbon dioxide sedimentation on the planet’s surface.

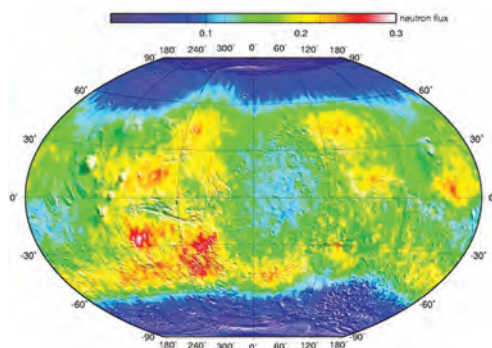
Логотип программы ХЕНД миссии НАСА исследования Марса «2001 Марс-Одиссей»

HEND program insignia (NASA's 2001 Mars Odyssey exploration mission)



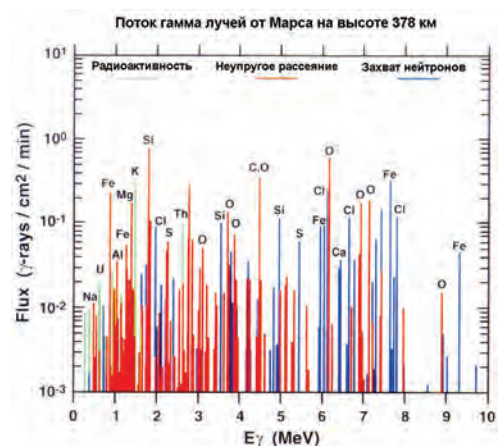
Нейтроны испытывают два типа ядерных реакций — неупругого рассеяния для быстрых нейтронов и реакции захвата эпитепловых и тепловых нейтронов ядрами

Neutrons undergo two types of nuclear reactions: inelastic scattering (fast neutrons) and capture by nuclei (epithermal and thermal neutrons)



Нейтронная карта распределения элементов на Марсе по данным прибора ХЕНД

Map of elemental distribution on Mars according to HEND data



Ядерная гамма-спектрометрия позволяет однозначно установить относительное количество ядер того или иного элемента

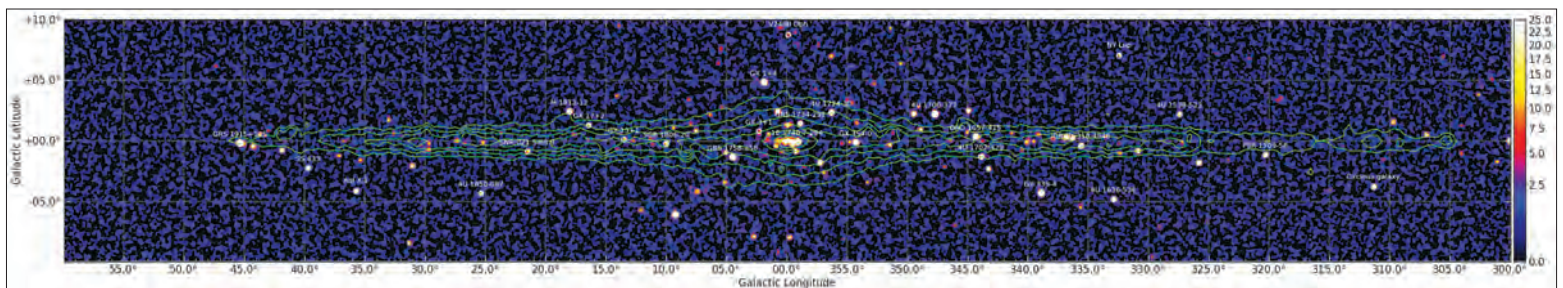
Nuclear gamma-ray spectroscopy allows one to determine relative abundance of an element unambiguously



Астрофизическая обсерватория «Интеграл» Европейского космического агентства позволила учёным ИКИ сделать много значимых открытий мирового уровня (© ESA)

17 октября 2002 года запущена Международная астрофизическая гамма-обсерватория «Интеграл». Российские учёные получили право на 25 % её наблюдательного времени. Уже первые сеансы дали яркие научные результаты. В частности, в гамма-лучах построена детальная карта центра нашей Галактики с чувствительностью, значительно превышающей результаты всех предшествующих исследований. Открыто жёсткое рентгеновское излучение от галактического молекулярного облака, находящегося на расстоянии 300 световых лет от чёрной дыры в центре нашей Галактики. Обнаружены новая популяция источников гамма-излучения и новый класс космических гамма-всплесков, светимость которых в тысячи раз ниже, чем у «стандартных» источников.

Карта галактической плоскости в диапазоне энергий 17...60 кэВ, полученная обсерваторией «Интеграл»



Thanks to Integral astrophysical observatory (ESA), IKI's scientists have attained to many recognized discoveries (© ESA)

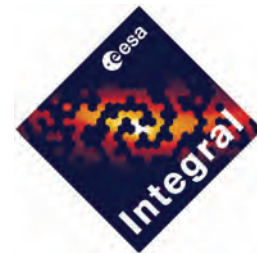
On October 17, 2002 the INTERNATIONAL Gamma-Ray Astrophysics Laboratory (*Integral*, European Space Agency) was launched. Russian scientists have the right for 25 % of its observation time. Since the very first sessions it has been delivering interesting scientific results. For example, a detailed gamma-ray map of the center of the Milky Way was made with sensitivity much higher than in any previous studies. Hard X-ray emission coming from the molecular cloud located 300 light years away from the black hole in the center of our Galaxy was discovered. A new population of gamma-ray sources was found together with a new class of space gamma-ray bursts with luminosity thousands of times as low as that of “standard” sources.

Map of Galactic plane in 17...60 keV energy range, obtained by Integral



Рашид Алиевич Сюняев с группой учёных и создателей обсерватории «Интеграл» на испытаниях

Academician Rashid A. Sunyaev with scientists and developers during tests



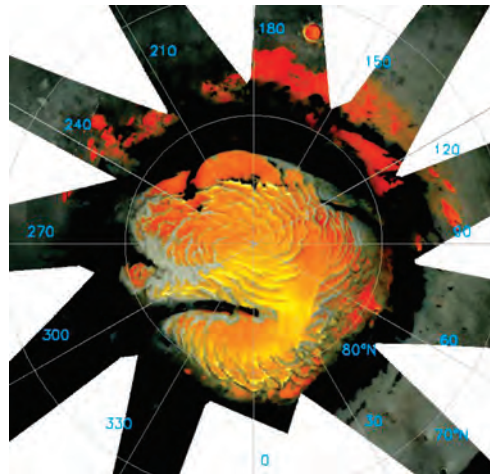
Логотип проекта ИНТЕГРАЛ
Project Integral insignia

Российский центр научных данных проекта ИНТЕГРАЛ в ИКИ
Integral Science Data Centre in IKI

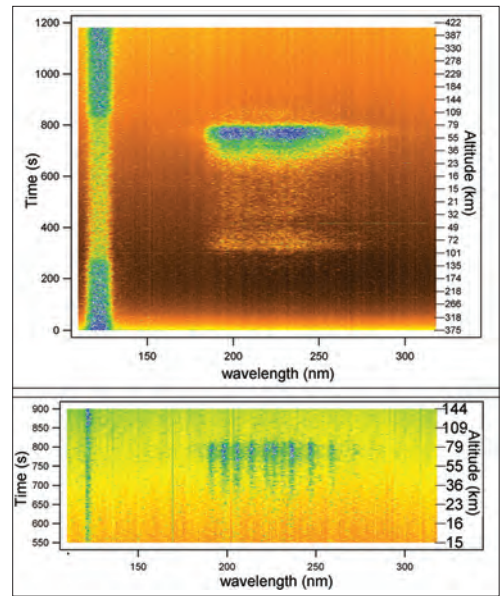




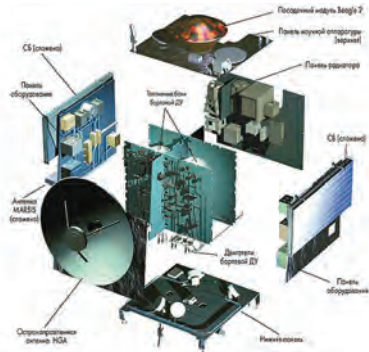
Космический аппарат Европейского космического агентства «Марс-Экспресс» (© ESA) *Mars Express spacecraft* (© ESA)



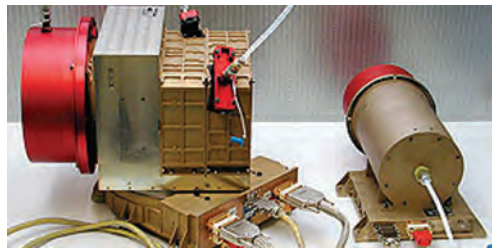
Полярная зона Марса по материалам прибора ОМЕГА *Mars polar region according to OMEGA data*



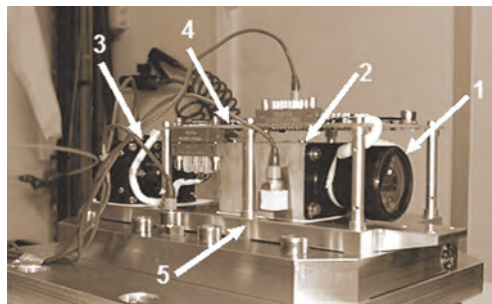
Ночное свечение атмосферы Марса, обнаруженное прибором СПИКАМ *Mars atmospheric nightglow, found by SPICAM*



Компоновка аппарата «Марс-Экспресс» (© ESA) *Mars Express configuration* (© ESA)



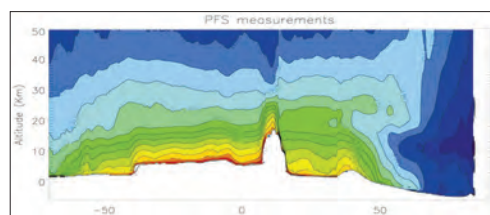
Прибор ВИРТИС *VIRTIS instrument*



Инфракрасный канал прибора СПИКАМ на вибростенде: 1 — объектив; 2 — АОПФ; 3 — детектор; 4 — электроника; 5 — механическая часть *IR channel of SPICAM instrument on vibrobench: 1 — lens; 2 — AOPF; 3 — detector; 4 — electronics unit; 5 — mechanical part*

2 июня 2003 года началась первая европейская планетная миссия МАРС-ЭКСПРЕСС. Проект был задуман как «экспедиция спасения» проекта МАРС-96, когда российская станция не вышла на траекторию полёта к планете. Научные задачи и состав аппаратуры станции «Марс-Экспресс» были «унаследованы» от погибшего российского аппарата. ИКИ разработал и изготовил ряд узлов и блоков для спектрометров ОМЕГА, ПФС (планетарный фурье-спектрометр) и СПИКАМ (спектрометр для изучения характеристик атмосферы Марса), установленных на борту станции. Спектральные измерения, выполненные с их помощью, позволили впервые напрямую обнаружить водяной лёд в постоянной южной полярной шапке, дали ряд других пионерских научных результатов.

Кроме орбитального отсека, станция несла малый посадочный аппарат «Бигль-2». Учёные ИКИ РАН принимали участие в создании для него мёссбауэровского спектрометра. К сожалению, посадка «Бигля-2» на поверхность была неудачной.



On June 2, 2003 the first European interplanetary mission *Mars Express* began. It was conceived as a “rescue mission” for the *Mars-96* project, when the Russian station of the same name failed to enter the cruise trajectory to the planet. *Mars Express’* program and equipment were “inherited” from the lost Russian mission. IKI developed and built a series of assemblies and units for OMEGA, PFS, and SPICAM spectrometers, installed aboard the space station. Their spectral measurements allowed for the first time to detect water ice directly, in the southern permanent polar cap, and yielded a number of other pioneering scientific results.

In addition to the orbital unit, the station carried a small lander *Beagle 2*. IKI scientists participated in development of Moessbauer spectrometer. Unfortunately *Beagle 2* crashed during landing.

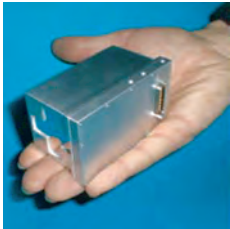
Распределение температуры атмосферы Марса по широте и высоте по данным прибора ПФС

Temperature distribution of the Martian atmosphere by latitude and altitude, according to PFS

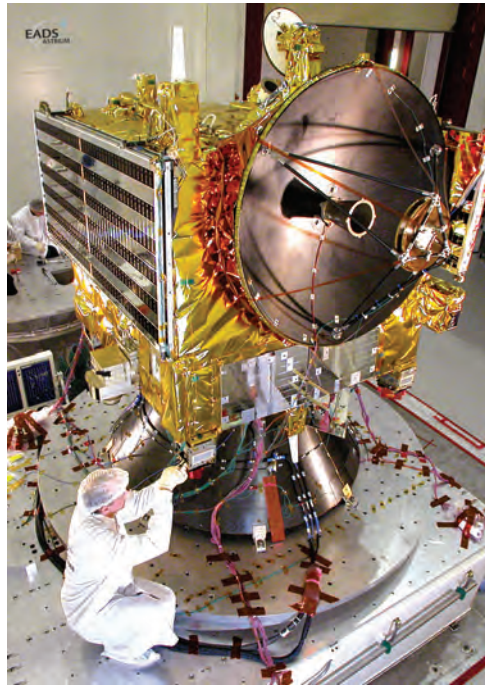


Так выглядели американские марсоходы первого поколения «Спирит» и «Оппортьюнити» на испытаниях (© NASA)

Spirit and Opportunity first-generation Martian rovers during tests (© NASA)



Российский мёссбауэровский спектрометр для марсоходов «Спирит» и «Оппортьюнити»
Russian Mössbauer spectrometer for Spirit and Opportunity Mars Exploration Rovers (© NASA)



Подготовка аппарата «Венера-Экспресс» к вибрационным испытаниям

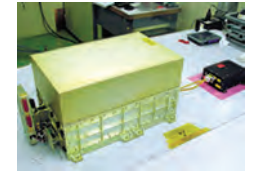
Venus Express (ESA) spacecraft prepared for vibration tests



Запуск космического аппарата ЕКА «Венера-Экспресс» ракетой-носителем «Союз» (© ESA)
Venus Express (ESA) spacecraft launched by Soyuz launcher (© ESA)

Французско-российско-бельгийский комплекс спектрометров УФ- и ИК-диапазонов — СПИКАВ/СУАР — для зондирования атмосферы Венеры

SPICAV/SOIR French-Russian-Belgian spectrometric complex in IR and UV ranges to sound the atmosphere of Venus



В январе–феврале 2004 года на Марс были доставлены американские марсоходы «Спирит» (Spirit) и «Оппортьюнити» (Opportunity). На них были установлены мёссбауэровский и альфа-рентгеновский спектрометры, осуществлявшие минералогический и элементный анализ грунта. Сотрудники ИКИ РАН калибровали приборы и создали каталог спектров минералов, наличие которых ожидалось в составе марсианского грунта. Уже первые данные позволили назвать основные группы минералов, слагающих марсианский грунт, — оливины (на Земле они имеются в лавовых породах) и силикаты.

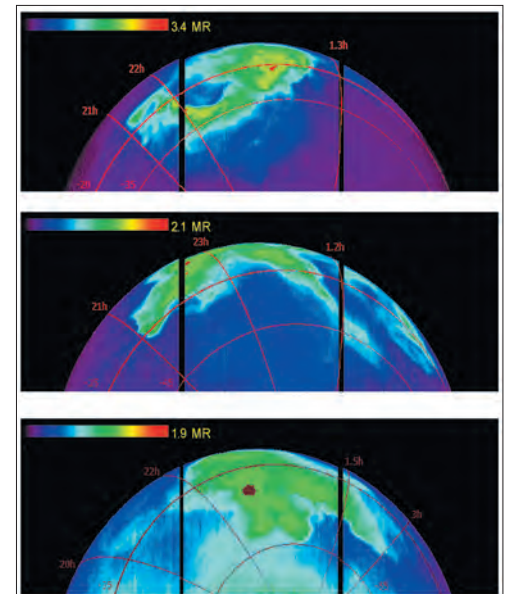
9 ноября 2005 года была запущена межпланетная станция «Венера-Экспресс», которая стала первым за последние два десятилетия космическим аппаратом, специально нацеленным на исследования атмосферы, околопланетной плазмы и поверхности Венеры. Возврат к «забытой» планете с использованием современного, с широкими возможностями орбитальных наблюдений, космического аппарата, оснащённого мощным комплексом научной аппаратуры, позволил провести глобальный обзор физических процессов в атмосфере планеты, уточнить результаты ранее выполненных исследований, дополнить их новыми данными.

Российские учёные (в том числе из ИКИ) были привлечены к проекту на самых ранних этапах его подготовки, внесли значительный вклад в разработку научной программы и бортовой аппаратуры и стали полноправными участниками миссии.

In January–February 2004 two US Mars exploration rovers *Spirit* and *Opportunity* landed on the planet. They carried Moessbauer and alpha particle X-ray spectrometers for mineralogical and elementary study of soil. IKI specialists calibrated the instruments and created a catalog of spectra for the minerals scientists expected to find in Martian soil. From the first retrieved data it was possible to point the main mineral groups composing the Martian soil: olivines (on the Earth they are found in lava rocks) and silicates.

On November 9, 2005 the interplanetary station *Venus Express* (European Space Agency) was launched, which became the first spacecraft in the past two decades fully assigned to study of the atmosphere, circumplanetary plasma and the surface of Venus. A modern, more advanced orbital station equipped with a powerful set of scientific instruments was brought to the “forgotten” planet and made a global review of the physical processes in the atmosphere, refined the results of previous studies, provided new data.

Russian scientists (including IKI specialists) were involved in the project from its inception and significantly contributed to the development of the scientific program and on-board equipment, becoming full participants in the mission.



Первое детектирование гидроксидов в атмосфере Венеры в результате эксперимента «Виртис» миссии ВЕНЕРА-ЭКСПРЕСС

First detection of hydroxyl in the atmosphere of Venus by experiment Virtis on Venus Express

Надирные наблюдения. Распределение свечения O₂ в южном полушарии Венеры

Nadir observations: maps of the O₂ nightglow distribution in the Southern hemisphere



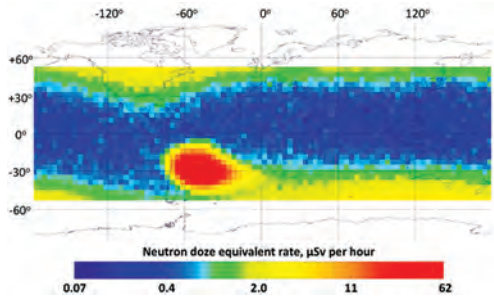
Американский астронавт Майкл Лопез-Алегрía во время установки детекторного блока БТН-МД на внешней поверхности служебного модуля «Звезда»

American astronaut Michael Lopez-Alegria during installation of the BTN-MD detector unit on the outer side of Zvezda service module



Блок БТН-МД в сборе с БТН-МФ с радиаторами закрытыми временными теплоизолирующими чехлами

BTN-MD unit with BTN-MF with radiators temporarily closed by thermal insulating covers

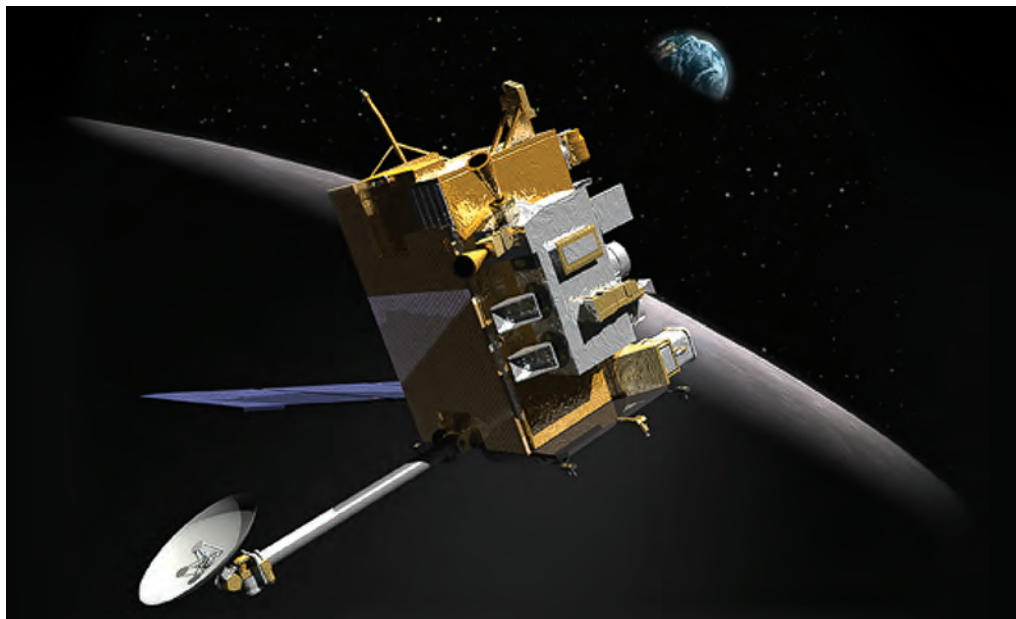


Прибор «БТН-Нейтрон» установлен в 2007 году на МКС и работает вне гермоотсека на российском служебном модуле «Звезда». Длительный эксперимент позволяет восстанавливать спектральную плотность нейтронного потока в окрестностях МКС, оценивать пространственные вариации спектральной плотности нейтронного потока и оценивать мощность нейтронной компоненты радиационной дозы

Since 2007, "BTN-Neutron" instrument is installed and works out of a pressurized area of the International space station at the Russian module "Zvezda". Long-term active mode of the experiment allows to restore neutron spectral density in vicinity of ISS, to estimate spatial variations of neutron spectral density and to estimate neutron component of radiation dose



Разрабатываемый в ИКИ РАН перспективный «БТН-Нейтрон-2» для МКС
BTN-Neutron 2 future experiment for the ISS, under development in IKI



Американский (НАСА) искусственный спутник Луны ЛРО — лунный орбитальный разведчик, несущий прибор ЛЕНД, созданный в ИКИ (© НАСА)

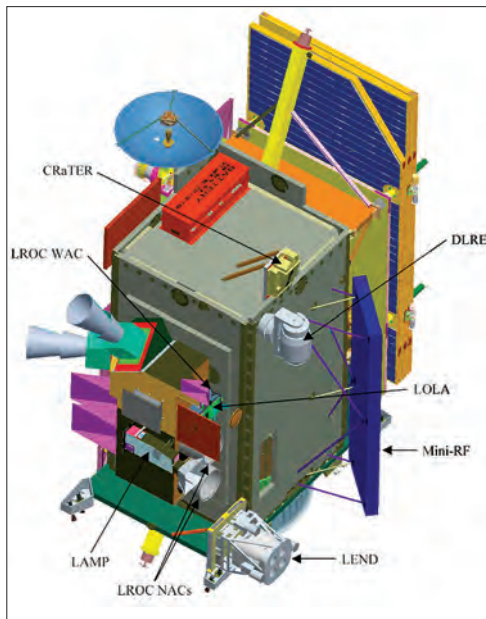
Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) — NASA's artificial satellite of the Moon, bearing LEND instrument developed in IKI (© NASA)

В феврале 2007 года на российском сегменте Международной космической станции в рамках программы «Наука на МКС» реализуется её первый научный эксперимент, получивший обозначение «БТН-Нейтрон» (бортовой телескоп нейтронов высоких энергий). Для его проведения использовался прибор БТН-М1 — по сути, запасной экземпляр аппаратуры ХЕНД, разработанной в ИКИ РАН для регистрации нейтронного излучения от планеты Марс с борта космического аппарата НАСА «Марс-Одиссей». Совместные измерения приборами ХЕНД с борта марсианского искусственного спутника и БТН-М1 с борта МКС позволили экспериментально оценить нейтронную компоненту радиационного фона на всех участках межпланетного перелёта Земля-Марс-Земля, получить синхронные данные о потоках нейтронов на околоземной и околомарсианской орбитах, а также провести мониторинг космических гамма-всплесков для определения координат их источников на небесной сфере. Эти работы будут продолжены: к настоящему времени в ИКИ РАН изготовлен прибор БТН-М2 для установки его на новом российском модуле МЛМ (многофункциональный лабораторный модуль).

В июне 2009 года на окололунную орбиту был выведен американский «Лунный орбитальный разведчик» (ЛРО — LRO, Lunar Reconnaissance Orbiter), в состав научной аппаратуры которого входил российский нейтронный детектор (телескоп) ЛЕНД (лунный исследовательский нейтронный детектор), созданный в ИКИ РАН.

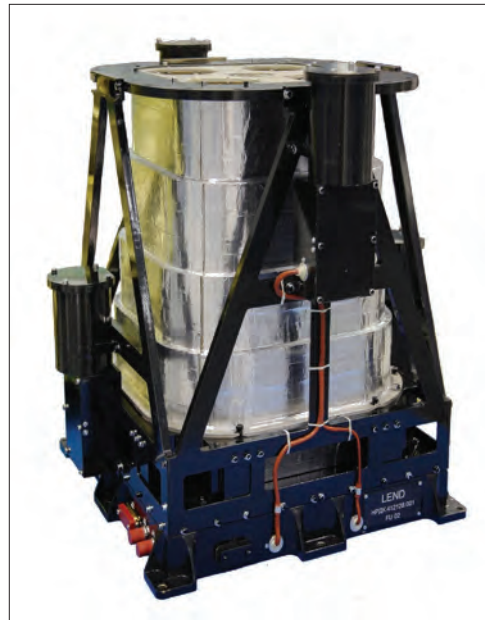
In February 2007 *BTN-Neutron*, the first experiment within the program "Science on the ISS", was implemented on the Russian segment of the International Space Station. For the experiment IKI has developed *BTN-M1* instrument, which is essentially a backup for *HEND* instrument (see above) onboard NASA's *Mars Odyssey* spacecraft. Combining the data from *HEND* aboard the Martian orbiter with those from *BTN-M1* aboard the ISS the scientists evaluated neutron component of background radiation in all parts of interplanetary cruise trajectory "Earth-Mars-Earth", received synchronous data of neutron fluxes in Earth and Mars orbit, and collected data on GRBs, which are used to determine their coordinates on the celestial sphere. The work is still in progress as IKI specialists have recently developed the *BTN-M2* instrument to install it on the new Russian ISS module MLM.

In June of 2009, the US's *Lunar Reconnaissance Orbiter* (LRO) was put into lunar orbit. It was equipped with Russian neutron detector (telescope) *LEND* built in IKI. Three main practical tasks were addressed: to determine landing areas on the lunar surface optimal for both robotic and manned spacecraft; to search for water resources and potential minerals in the lunar subsurface; to study radiation environment on the lunar surface in terms of hazards for human beings.



«Научная палуба» спутника LRO с прибором ЛЕНД (© NASA)

LRO science deck with LEND instrument (© NASA)



ЛЕНД — российский нейтронный детектор, созданный в ИКИ РАН

LEND is a Russian neutron detector, built in IKI

Российский прибор ЛЕНД был выбран НАСА для измерения нейтронных полей с борта аппарата ЛРО. ЛЕНД позволяет получать карты с уникально высоким пространственным разрешением эмиссии нейтронов с поверхности Луны. Данные прибора ЛЕНД дали возможность изучить распределение воды в приполярных областях Луны. На основании этих данных НАСА выбрало приполярный кратер Кабеус для бомбардировки космическим аппаратом «ЛКРОСС» для прямого изучения при выбросе грунта состава лунного реголита и поиска водяного льда

Russian LEND instrument was chosen by NASA to measure neutron fields from LRO. LEND maps neutron emissions from the lunar surface with very high spatial resolution. Its data were used to study water distribution in lunar circumpolar regions. On the base of this information, NASA chose near-polar Cabeus crater for operated collision during LCROSS mission to study lunar regolith composition and to search for water ice directly

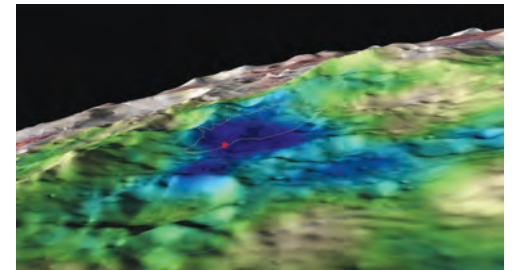
Это позволило приступить к решению трёх практических задач освоения Луны: исследованию оптимальных районов посадок на её поверхности как перспективных автоматических станций, так и пилотируемых кораблей; разведке водных ресурсов и потенциальных полезных ископаемых в лунных недрах; изучению радиационной обстановки на лунной поверхности с точки зрения воздействия на человеческий организм.

На первом этапе исследований данные российского нейтронного детектора позволили выбрать место столкновения с Луной аппарата LCROSS (Lunar CRater Observation and Sensing Satellite) (НАСА), который был запущен вместе с LRO и предназначался для эксперимента по управляемой «бомбардировке» Луны. Планировалось, что состав вещества, выброшенного в результате столкновения разгонного блока «Центавр» и аппарата LCROSS с Луной, будет изучаться с помощью наземных обсерваторий и приборов аппарата LRO. Для столкновения был выбран кратер Кабеус, где относительное содержание водяного льда оказалось выше, чем в других областях Луны.

Прибор ЛЕНД подтвердил, что реголит в полярных областях Луны содержит относительно большое количество водяного льда — приблизительно 4 % в весовом соотношении, что хорошо согласуется с прямыми измерениями состава облака, поднявшегося над Луной в результате столкновения аппарата LCROSS с лунной поверхностью. Оказалось, что 5,6 % выброшенного материала — вода (это вдвое больше, чем содержание воды на Земле в пустыне Сахара).

During the first stage of the experiment LEND data helped to choose a site for collision with LCROSS (NASA) probe. It was launched together with LRO for an experiment on controlled “bombardment” of the Moon. Ground-based observatories and LRO instruments studied the dust ejecta, which rose after *Centaurus* upper stage and LCROSS probe fell on the Moon. Cabeus crater was selected for the collision, because content of water ice there was higher than in other regions of the Moon.

LEND confirmed that polar regolith contained relatively more water ice (about 4 % by weight), which agrees well with direct measurements of the ejecta’s composition. 5.6 % of the ejected material was water (this is twice as much as found in the Sahara desert).

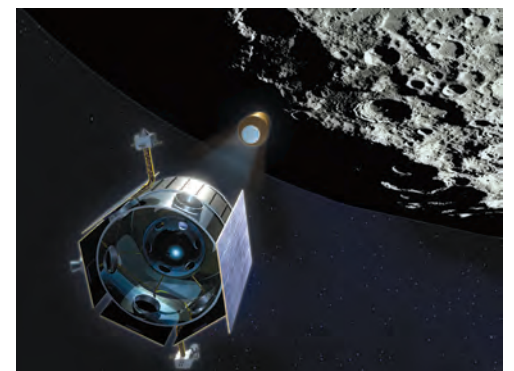


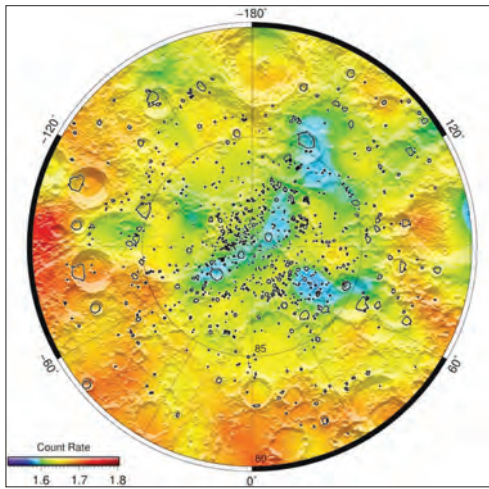
3D-модель кратера Кабеус с точкой прицеливания для эксперимента ЛКРОСС с целью прямого изучения состава лунного реголита и поиска водяного льда при выбросе грунта

3D model of Cabeus crater with the point of collision for LCROSS experiment

Эксперимент ЛКРОСС — удар отработанный ступени «Центавр» ракеты «Атлас V» о поверхность Луны в кратере Кабеус. В ту же точку следом идёт зонд «Пастух», исследующий минеральный состав выбросов

LCROSS experiment — operated impact of *Centaurus* upper stage of *Atlas* rocket with the lunar surface in Cabeus crater. Just thereafter follows *Shepherd* spacecraft, which studied mineral composition of the ejecta





Нейтронная карта северного полюса Луны по данным российского нейтронного детектора ЛЕНД

Neutron map of the North pole of the Moon according to LEND Russian neutron detector data

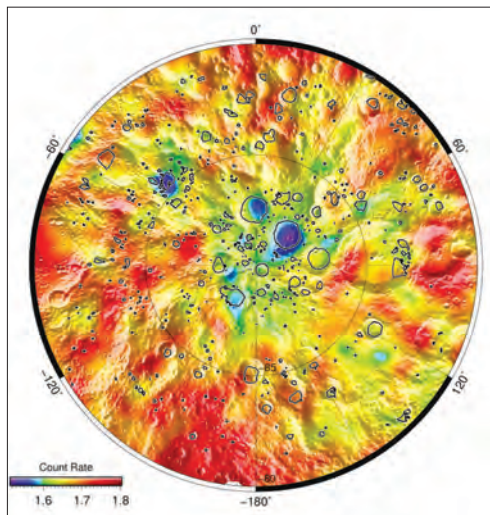
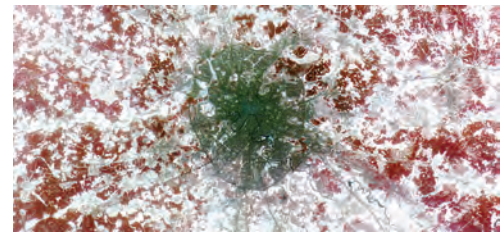
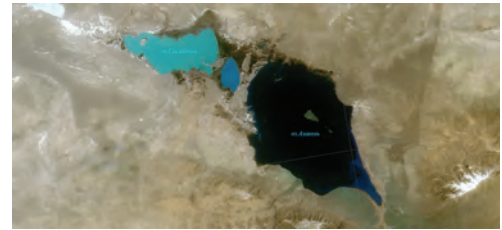
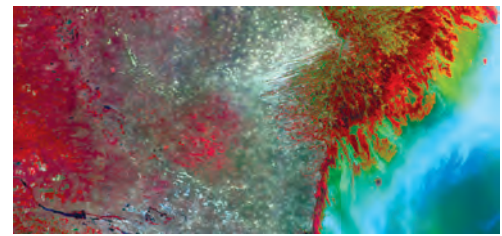


Спутник «Метеор-М» № 1 с установленным на нём комплексом многозональной спутниковой съёмки КМСС, разработанным и изготовленным в ИКИ РАН

Meteor-M No. 1 with the multispectral satellite imaging complex (KMSS), developed and built in IKI

Справа: примеры синтезированных изображений, полученных аппаратурой КМСС: дельта Волги, Казakhstan, Москва

Right. Synthesized images acquired by KMSS: Volga river delta; Kazakhstan; Moscow



Нейтронная карта южного полюса Луны по данным российского нейтронного детектора ЛЕНД

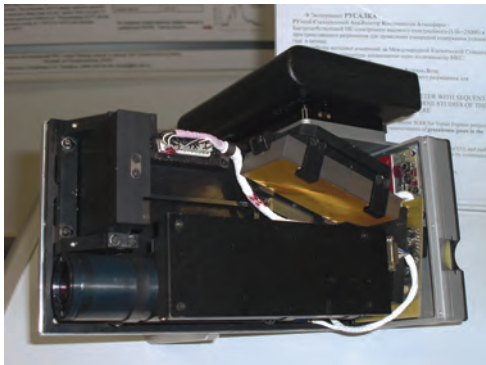
Neutron map of the South pole of the Moon according to LEND Russian neutron detector data

На карте, построенной по данным российского прибора, видно, что район в кратере Кабеус с повышенным содержанием водорода простирается на 20 километров за границы постоянной затенённой области, которая была определена по измерениям, выполненным лазерным высотометром. Следовательно, водяной лёд в верхнем слое реголита может существовать и в тех областях, которые довольно сильно нагреваются под солнечными лучами в течение лунного дня. Это свидетельствует о том, что процессы лунного «круговорота воды» гораздо более сложны, чем считалось ранее.

17 сентября 2009 года на орбиту был выведен «Метеор-М1» — первый за последние десять лет отечественный метеорологический спутник. На его борту был установлен разработанный и изготовленный в ИКИ РАН комплекс многозональной спутниковой съёмки КМСС. Основное назначение этой аппаратуры — оперативный ежесуточный мониторинг всей территории Российской Федерации путём передачи на Землю цифровых снимков поверхности, полученных в шести зонах электромагнитного спектра. Ежедневно с помощью приборов КМСС получали изображения с восьми витков, проходящих над территорией РФ. Суммарное покрытие ежесуточного приёма изображений составляло более 40 млн кв. км. Технические характеристики съёмочной аппаратуры и применяемая технология обработки позволяли формировать геопривязанные цветосинтезированные цифровые

According to the map based on LEND data the area with high hydrogen content in Cabeus extends further than 20 km beyond the permanently shadowed area, calculated using laser altimetry. Hence water ice in the upper layers of regolith may exist even in the areas that are strongly heated in the sun during the lunar day. This suggests that lunar “water cycle” is much more complex than assumed earlier.

On September 17, 2009 Meteor-M1 meteorological satellite, the first one in the last ten years in Russia, was put into orbit. It featured the multispectral satellite imagery system (KMSS) designed and produced in IKI. This equipment was launched for daily real-time monitoring of the entire territory of the Russian Federation, through digital imagery of the surface obtained in six electromagnetic bands. Each day KMSS downlinked images obtained in the 8 orbits over Russian territory. The satellite’s total daily coverage exceeded 40 million square kilometers. The photo system together with image processing technology provided digital geo-tagged false-color images with spatial resolution of 80 m and swath view of 1000 km.



Прибор РУСАЛКА. Общий вид и 3D-модель с установочной рампой
Rusalka instrument. General view and 3D model with erecting ramp

снимки с пространственным разрешением от 80 м в полосе захвата около 1000 км.

В июле 2009 года на МКС была доставлена разработанная в ИКИ РАН аппаратура РУСАЛКА (Ручной Спектральный Анализатор Компонент Атмосферы). Задача выполняемых с её помощью исследований — наблюдения земной поверхности: солнечных бликов на поверхности воды и суши, снежных покровов, крупных городов, водной поверхности без бликов, вулканов. Цель этих наблюдений — отработка методики определения содержания углекислого газа и метана в атмосфере. Космический мониторинг даст возможность разделить вклады антропогенных воздействий и природных процессов (извержения вулканов, лесные пожары и прочее) в парниковый эффект.

Проводились эксперименты по исследованию плазменно-волновых процессов — «Обстановка-1» (этап 1 и последующие), а также экологическому мониторингу низкочастотных излучений как антропогенного характера, так и связанных с глобальными природными катаклизмами. Одна из задач этих исследований — селекция потоков энергии, поступающих в ионосферу «снизу» на фоне воздействия «сверху», что может существенно повысить эффективность прогнозов «космической погоды». Для этого на служебном модуле МКС размещена (как на внешней поверхности, так и внутри) созданная в ИКИ РАН аппаратура плазменно-волнового комплекса ПВК.



Работа с прибором РУСАЛКА на борту МКС
Operating Rusalka on the ISS

In July of 2009 the RUSALKA detector was delivered to the ISS. It was designed for Earth observations and namely to register sunlight reflected by water and land surface, snow cover, large cities, water surface without glares, volcanoes. The observations were to test the methods for determining CO_2 and CH_4 content in the air. Space monitoring can help to discriminate between anthropogenic and natural contributions (such as volcanic eruptions, forest fires, etc.) to the greenhouse effect.

A number of experiments was conducted to study plasma-wave processes (*Obstanovka 1*, stage 1 and following) and environmental monitoring of low-frequency electromagnetic radiation, both anthropogenic and related to global natural disasters. These studies select the energy flows entering the ionosphere from “below” against the impact from “above”, which can significantly improve the accuracy of space weather forecasts. The plasma-wave instrument set (PVK) designed by IKI is installed both outside and inside the ISS service module.



Установка волнового комплекса «Обстановка» на внешней поверхности МКС
Obstanovka wave complex installation on the ISS

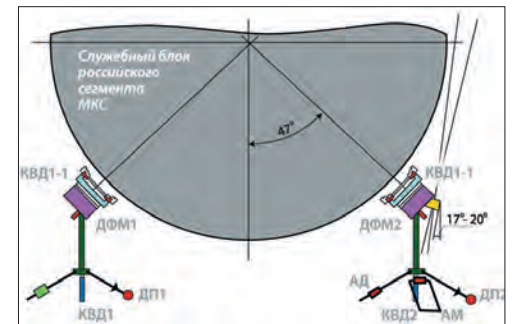
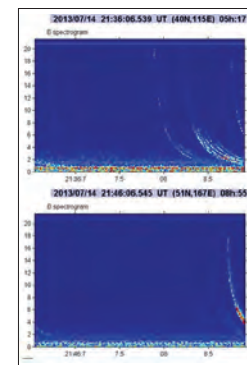


Схема расположения датчиков комплекса «Обстановка» на МКС

Detectors of Obstanovka wave complex experiment. Scheme of placement aboard the ISS



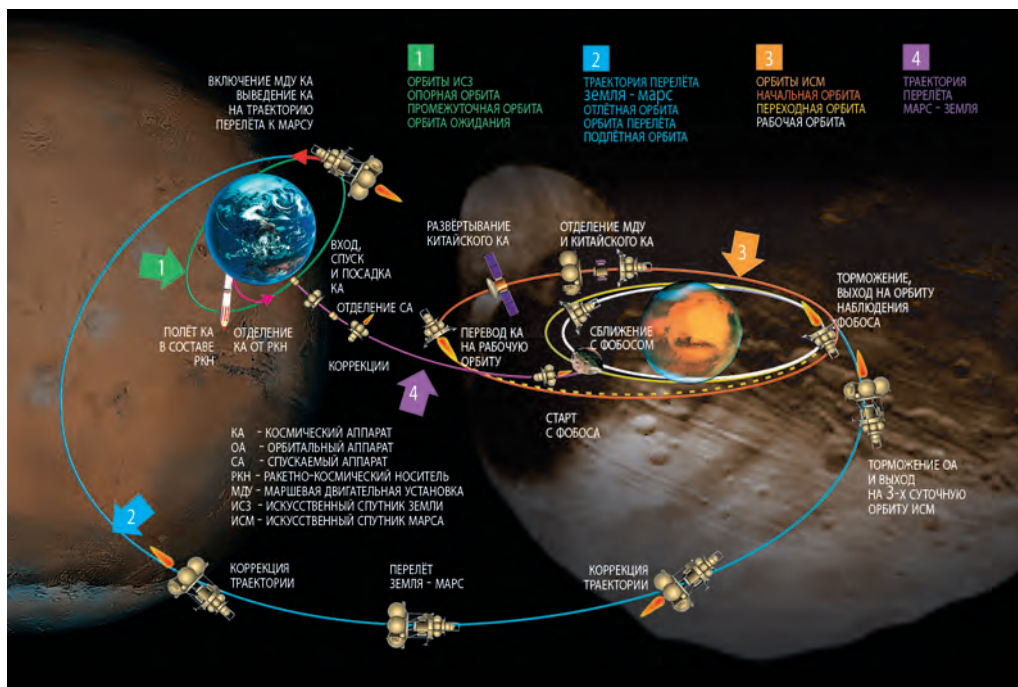
Примеры регистрации свистящих атмосфериков в северном полушарии. Локальное время — утро

Whistlers registered in the Northern hemisphere, morning local time



Космический аппарат «Фобос-Грунт» на разгонном блоке «Фрегат» с китайским спутником УН-1 в цехе НПО им. С. А. Лавочкина

Phobos Sample Return spacecraft on Fregat booster with the Chinese Yinghuo 1 spacecraft at Lavochkin Association plant



Баллистическая схема миссии ФОБОС-ГРУНТ, международного проекта исследования спутника Марса — Фобоса, и доставки его вещества на Землю

Ballistic scheme of Phobos Sample Return mission, an international project on exploration of Phobos, the Martian moon, and soil sample return



Накатка головного обтекателя на аппарат «Фобос-Грунт», пристыкованного к ракете-носителю «Зенит». Аппарат оснащён большим количеством приборов ИКИ РАН (картинка миссии на обтекателе создана в 31 отделе ИКИ РАН)

Phobos Sample Return encapsulation. Spacecraft is mounted on Zenit launcher. Its payload included many instruments developed in IKI. Mission insignia on the nose cone contributed by the Department of Scientific and Technical Information (31) of IKI RAS



Технологический макет аппарата «Фобос-Грунт» в ИКИ на примерке комплекса научного оборудования

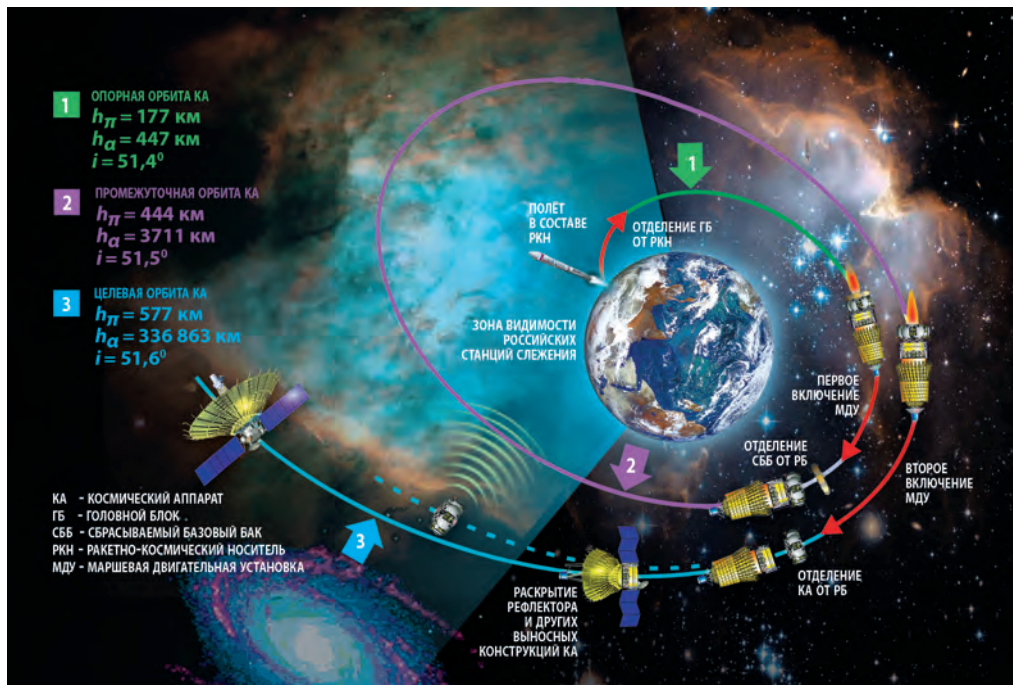
Engineering mock-up of Phobos Sample Return spacecraft in IKI, during fitcheck

Большой объём измеряемых физических параметров потребовал проведения специализированной бортовой обработки и сжатия получаемой информации. Это реализуется с помощью бортовых процессоров, установленных также как вне, так и внутри корпуса МКС. Одновременно с наблюдениями с борта МКС мониторинг окружающей космической среды выполнялся электромагнитно-чистым микроспутником «Чибис», созданным в ИКИ РАН и интегрированным в инфраструктуру МКС (спутник доводился на орбиту с борта станции).

9 ноября 2011 года была запущена автоматическая межпланетная станция (АМС), предназначенная для доставки образцов грунта со спутника Марса Фобоса на Землю, определения физико-химических характеристик грунта Фобоса, исследований происхождения марсианских спутников, процессов взаимодействия его атмосферы и поверхности, взаимодействия малых тел Солнечной системы с солнечным ветром. Вместе с АМС «Фобос-Грунт» маршевая двигательная установка должна была доставить на орбиту Марса китайский микроспутник «Инхо-1» («Светлячок»). Однако в результате нештатной ситуации, когда не произошло расчётного срабатывания маршевой двигательной установки перелётного модуля, межпланетная станция не смогла покинуть окрестности Земли, оставшись на низкой околоземной орбите. 15 января 2012 года АМС сгорела в плотных слоях земной атмосферы.

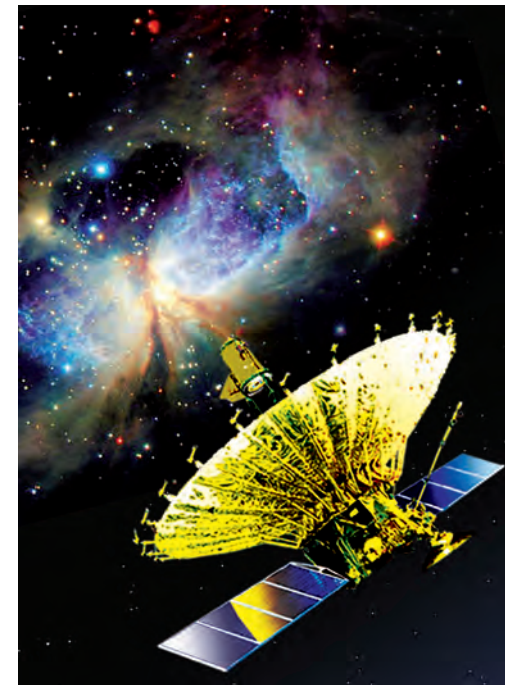
The large amount of measured physical parameters required that registered data are processed and compressed on board, and for that special onboard processors were installed both outside and inside the ISS. Simultaneously with the observations from the ISS environmental monitoring of space was done by electromagnetically-clean *Chibis* microsatellite made by IKI and launched from the ISS (see below for more details).

On November 9, 2011 *Phobos Sample Return* automated interplanetary station was launched. It was designed to return soil samples from Martian satellite Phobos to the Earth, study physical and chemical characteristics of the Phobos soil, origins of the Martian satellites, interaction of Martian atmosphere with its surface, interaction of small bodies in the solar system with the solar wind. *Phobos Sample Return* was launched together with the Chinese *Yinghuo 1* satellite. However after the interplanetary thrust engine failed to ignite, the station didn't leave the near-Earth space and remained on a low-Earth orbit. It disintegrated on January 15, 2012 upon reentry.



Баллистическая схема выведения обсерватории «Спектр-Р» международного проекта РАДИОАСТРОН

Ballistic scheme of Spectr-R observatory orbit injection (international project RadioAstron)



Орбитальная обсерватория «Спектр-Р» проекта РАДИОАСТРОН с 10-метровым зеркалом, построенная НПО им. С. А. Лавочкина

Spectr-R orbital observatory (international project RadioAstron) with 10-m mirror project, built by Lavochkin Association

18 июля 2011 года запущена первая с 1988 года в отечественной программе космических исследований астрофизическая обсерватория «Спектр-Р» («РадиоАстрон») с космическим радиотелескопом (КРТ), работа по созданию которой была начата в Институте ещё в 1980–1990 годах (сейчас головная организация по проекту — АКЦ ФИАН).

Основу проекта составляет наземно-космический радиоинтерферометр со сверхдлинной базой, состоящий из сети наземных телескопов и космического радиотелескопа, установленного на борту космического аппарата «Спектр-Р». Суть исследований заключается в одновременном наблюдении одного радиоисточника космическим и наземными радиотелескопами. Записи наблюдений снабжаются метками времени от высокоточных атомных часов, что, вместе с точным знанием положения телескопов, позволяет синхронизировать их и получить интерференцию сигналов, записанных на разных телескопах. Благодаря этому работающие независимо инструменты составляют единый интерферометр, угловое разрешение которого определяется расстоянием между телескопами, а не размером антенн (метод радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами — РСДБ).

Радиотелескоп обращается по эллиптической орбите с высотой апогея около 340 тысяч километров, что сравнимо с расстоянием до Луны, и использует лунную гравитацию для поворота плоскости своей орбиты.

On July 18, 2011 for the first time since 1988 Russian astrophysical observatory *SpektR-R* (*RadioAstron* project) was launched. It was equipped with the space radio telescope, which was commenced in IKI back in 1980–1990 (now the head organization is AstroSpace Centre).

The project is based on very long baseline radio interferometer, consisting of a network of ground-based telescopes and the space radio telescope on board the *SpektR-R* spacecraft. The principle is simultaneous observations of a radio source by space and ground-based radio telescopes. Observations are tagged by high-precision atomic clock, which, provided that coordinates of both instruments are known with high precision, allows one to synchronize the data and calculate interference of signals recorded by different telescopes. So, these independent instruments make a single interferometer with angular resolution determined by the distance between the telescopes and not the size of the antennas (Very Long Baseline Interferometry or VLBI).

SpektR-R radio telescope orbits the Earth with an apogee of about 340 thousand km, which is comparable to the distance to the Moon, and uses lunar gravity to rotate the plane of its orbit.



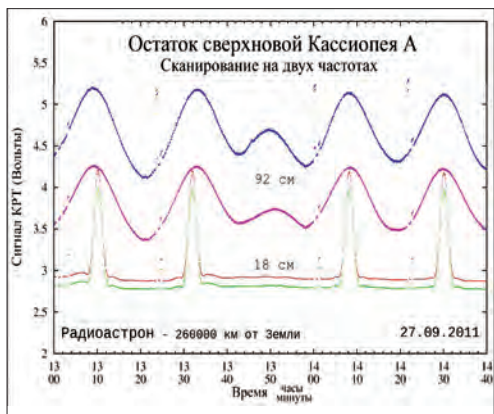
Основной инструмент аппарата «Спектр-Р» — телескоп КРТ — на испытаниях в Пушчино в 2003 году

KRT telescope — the main instrument of the Spectr R spacecraft during tests in Puschino, 2003



Сложенный, как зонтик, «Спектр-Р» в НПО им. С. А. Лавочкина

SpektR-R folded, umbrella-like, at Lavochkin Association



«Первый свет» космического радиотелескопа «Спектр-Р». 27 сентября 2011 года впервые проведены тестовые наблюдения остатка сверхновой Кассиопея А

Spektr-R space telescope first light. On September 27, 2011, test observations of Cassiopeia A supernova remnant were run

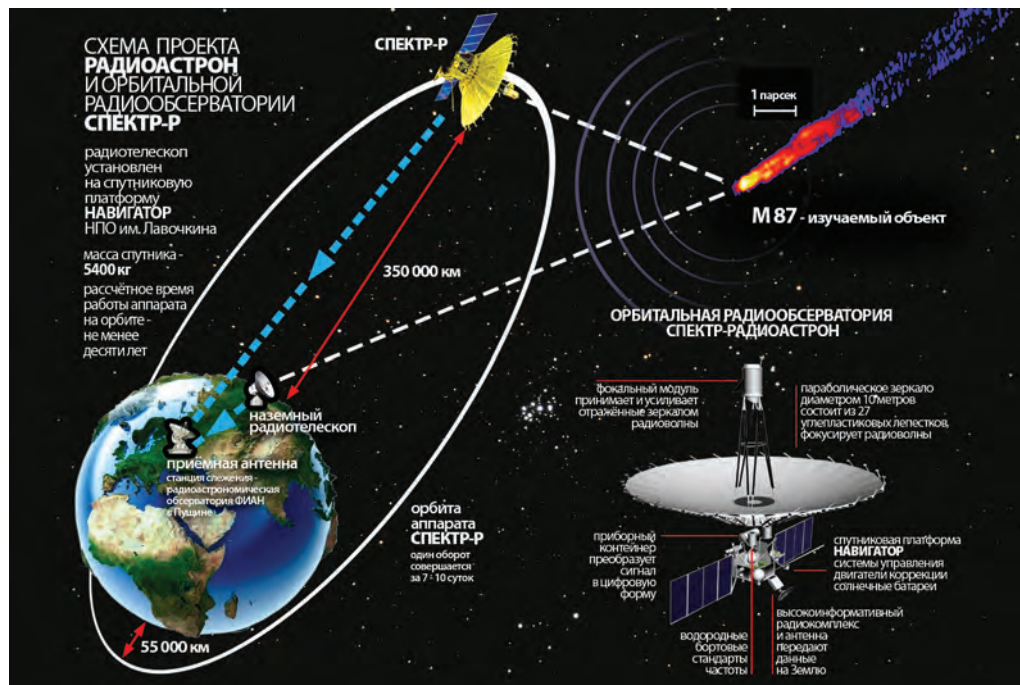
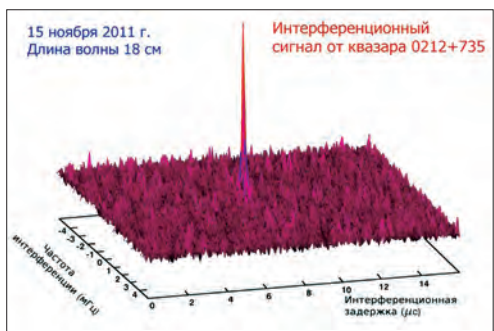


Схема формирования интерферометра со сверхдлинной базой проекта РАДИОАСТРОН

Project RadioAstron — very-long baseline interferometer. How it works



Первый научный результат проекта РАДИОАСТРОН — изображение сформировано по данным аппарата «Спектр-Р» и 100-метрового телескопа в Эффельсберге, Германия

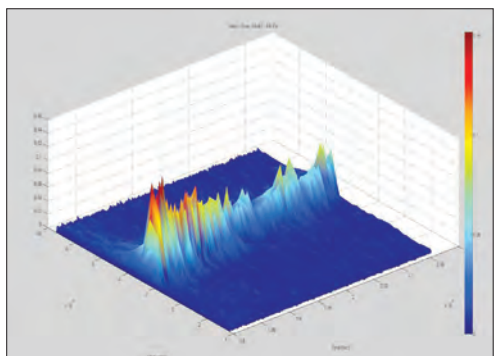
Project RadioAstron first scientific result. The image is acquired with Spektr-R observatory and 100-m radio telescope in Effelsberg, Germany

Беспрецедентно высокое разрешение при наблюдении радиоисточников обеспечивается за счёт большого плеча интерферометра, равного высоте апогея орбиты, и достигает миллионных долей угловой секунды. Это позволяет:

- изучать релятивистские струи, а также непосредственные окрестности сверхмассивных чёрных дыр в активных галактиках;
- строение и динамику областей звёздообразования в нашей Галактике по мазерному и мегамазерному излучению;
- нейтронные звёзды и чёрные дыры в нашей Галактике — структуру по измерениям флуктуации функции видности, собственные движения и параллаксы;
- структуру и распределение межзвёздной и межпланетной плазмы по флуктуациям функции видности пульсаров;
- построить высокоточную астрономическую координатную систему;
- высокоточную модель гравитационного поля Земли.

The unprecedentedly high resolution of radio sources observation is provided by the long interferometer arm equal to the height of the apogee, and reaches millionths of arcsecond. This allows to study:

- relativistic jets and immediate vicinity of supermassive black holes in active galaxies;
- structure and dynamics of star formation regions in our galaxy by their maser and megamaser radiation;
- neutron stars and black holes in our galaxy. Their structure can be studied by measuring fluctuations of their visibility function, their proper motions, and parallaxes;
- structure and distribution of interstellar and interplanetary plasma fluctuations by the visibility function of pulsars.
- we'll also be able to build a high-precision astronomical coordinate system and highly accurate model of the Earth's gravitational field.



Поведение корреляционного отклика в сеансе длительностью 1 час для пульсара B0950+08

Correlation response in a 1 hour session for B0950+08 pulsar



Задачи эксперимента ПЛАЗМА-Ф следующие: мониторинг параметров межпланетной среды и верхней магнитосферы Земли в окрестности КА как элементов космической погоды; исследование турбулентности межпланетной среды в области высоких частот с рекордно высоким временным разрешением

Plasma-F experiment main scientific tasks: to monitor interplanetary medium for the purpose of space weather studies and forecasts; to study turbulence of the interplanetary medium in high-frequency range with high temporal resolution

Эмблема эксперимента ПЛАЗМА-Ф
Plasma-F experiment insignia

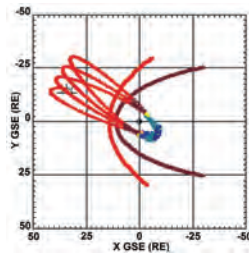


Схема гравитационного изменения орбиты спутника «Спектр-Р»
Spektr-R orbit changing under gravitational force



БМСВ (быстрый монитор солнечного ветра) — плазменный спектрометр для измерения энергетического распределения, вектора потока, переносной скорости, температуры и концентрации ионов. Карлов Университет и Институт физики атмосферы АН ЧР, Прага, Чешская Республика; ИКИ РАН, Россия

BMSW (fast monitor of the solar wind) — plasma spectrometer to measure energy distribution, flux vector, bulk velocity, temperature and concentration of ions. Charles University and Institute of Atmospheric Physics of Czech Academy of Sciences (Czech Republic); IKI (Russia)

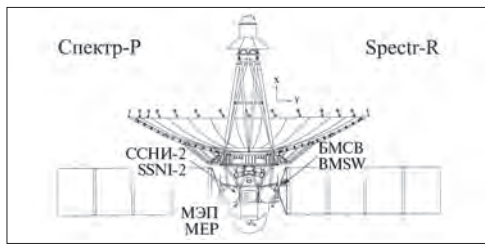


Схема расположения приборов эксперимента ПЛАЗМА-Ф на спутнике «Спектр-Р»
Plasma-F aboard Spektr-R spacecraft



МЭП — монитор потоков энергичных ионов (30 кэВ – 3 МэВ) и электронов (30...350 кэВ). Институт экспериментальной физики САН, Кошице, Словацкая Республика

MEP Energetic Particle Detector for energetic ions (30 keV – 3 MeV) and electrons (30 keV – 350 keV). Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Kosice (Slovak Republic)

Помимо научной аппаратуры для выполнения основной задачи миссии на борту космического аппарата «Спектр-Р» установлены приборы для плазменных исследований. Эксперимент, получивший обозначение ПЛАЗМА-Ф, имеет как прагматичную цель — непрерывное мониторирование параметров плазмы и энергичных частиц межпланетной среды (как части «космической погоды»), так и исследовательскую — изучение высокочастотной турбулентности этих параметров путём измерений с уникально высоким временным разрешением. Космический аппарат несколько дней находится вне магнитосферы Земли, что позволяет наблюдать межпланетную среду, а потом очень быстро проходит все слои магнитосферы, благодаря чему можно оперативно следить за её изменениями.

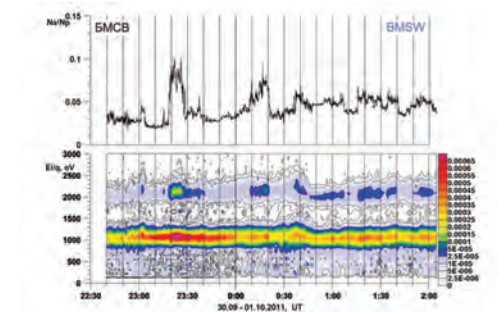
Не менее важно, что высокоапогейная орбита «Спектра-Р» предоставляет большие преимущества для проведения длительных (до семи суток) систематических измерений в межпланетной среде. Два основных прибора эксперимента — плазменный спектрометр и монитор энергичных частиц — работают непрерывно и передают свою информацию почти с самого момента выхода космического аппарата на высокоапогейную орбиту.

Эксперимент ПЛАЗМА-Ф, по сути, продолжил исследования по солнечно-земной физике (изучение процессов солнечной активности, их влияния на межпланетную среду и магнитосферу Земли), выполнявшиеся на базе спутников «Прогноз».

In addition to the equipment for the main task of the mission, *Spektr-R* bears instruments for plasma research. *Plasma-F* experiment, developed in IKI (note that *Spektr-R* leading organization is AstroSpace Centre of Lebedev Institute of Physics), has both scientific and pragmatic goals. It monitors plasma and charged particles parameters in the interplanetary medium (as space weather part). By measuring them with a unique high temporal resolution it studies their high-frequency turbulence. Orbiting the Earth, the spacecraft spends a few days outside its magnetosphere, monitoring the interplanetary medium, and then quickly passes through all layers of the magnetosphere. So its fluctuations can be tracked very quickly.

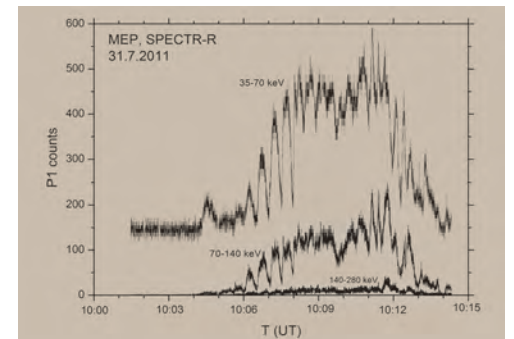
Another important feature is that *Spektr-R*'s high-apogee orbit provides great advantages for long-term (up to seven days) systematic measurements in the interplanetary medium. The experiment is based on two main instruments: the plasma spectrometer and the high-energy particles monitor. They work continuously and transmit their information almost from the moment of insertion into high orbit.

Plasma-F, in fact, continues the research on solar-terrestrial physics (study of solar activity, its influence on the interplanetary medium and the Earth's magnetosphere), performed by *Prognoz* satellites.



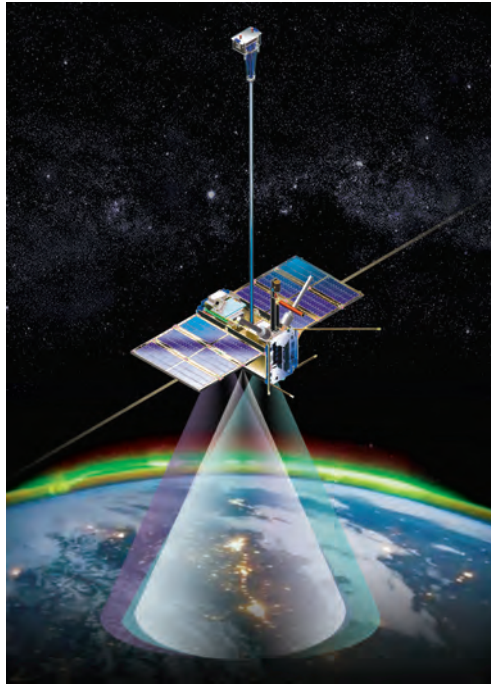
Установление факта быстрых (секундных) вариаций содержания ионов гелия в солнечном ветре прибором БМСВ

Discovery of fast (order of seconds) variations in He ions concentration in solar wind by BMSW instrument



Флуктуация потока ионов разных энергий с датчика P1 31.07.2011 года

Fluctuation of a flux of ions of different energies, as registered by detector P1. July 31, 2011



**Академический
микроспутник «Чибис-М»
на рабочей орбите**

*Chibis-M academic
microsatellite on its
nominal mission orbit*



**Создатели академического
микроспутника «Чибис-М»
в Центре управления
полётом после успешного
вывода на рабочую орбиту**

*Engineers and scientists, who
have developed Chibis-M.
After successful injection
to a nominal mission orbit.
Flight control centre*



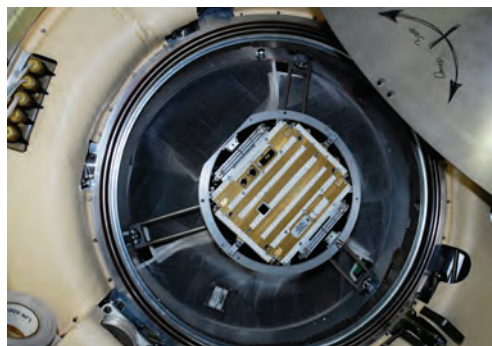
25.01.2012 Chibis-M RS39 Deployment

«Чибис-М» вышел на орбиту из транспортно-пускового контейнера грузового корабля «Прогресс-М-13М»

Chibis-M entered the orbit from transport/launch container installed on Progress M-13M cargo ship

25 января 2012 года после выхода из транспортно-пускового контейнера грузового корабля «Прогресс-М-13М» начал автономную работу и завершил её 25 сентября 2014 года, войдя в плотные слои атмосферы, академический микроспутник «Чибис-М», созданный в ИКИ РАН. Два с половиной года семь бортовых приборов спутника собирали информацию о том, что происходит в атмосфере и ионосфере Земли во время гроз. Наблюдения в широком диапазоне — от ионосферных электромагнитных излучений до радио- и гамма-лучей — должны были прояснить, являются ли молнии источниками так называемых земных гамма-вспышек.

On January 25, 2012 the academic microsatellite *Chibis-M*, built in IKI, started its operation after it was released from transport container of *Progress M-13M* cargo ship. *Chibis-M* finished its mission on September 25, 2014 upon reentry to the Earth's atmosphere. For two and a half years seven instruments onboard the satellite collected information on what was happening in the atmosphere and ionosphere during thunderstorms. The wide range of observation, from ionospheric electromagnetic radiation to radio and gamma rays, helped the scientists to understand whether so-called terrestrial gamma-ray bursts originate during lightnings.

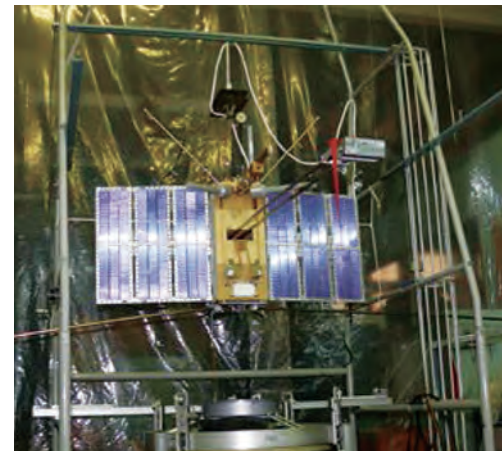


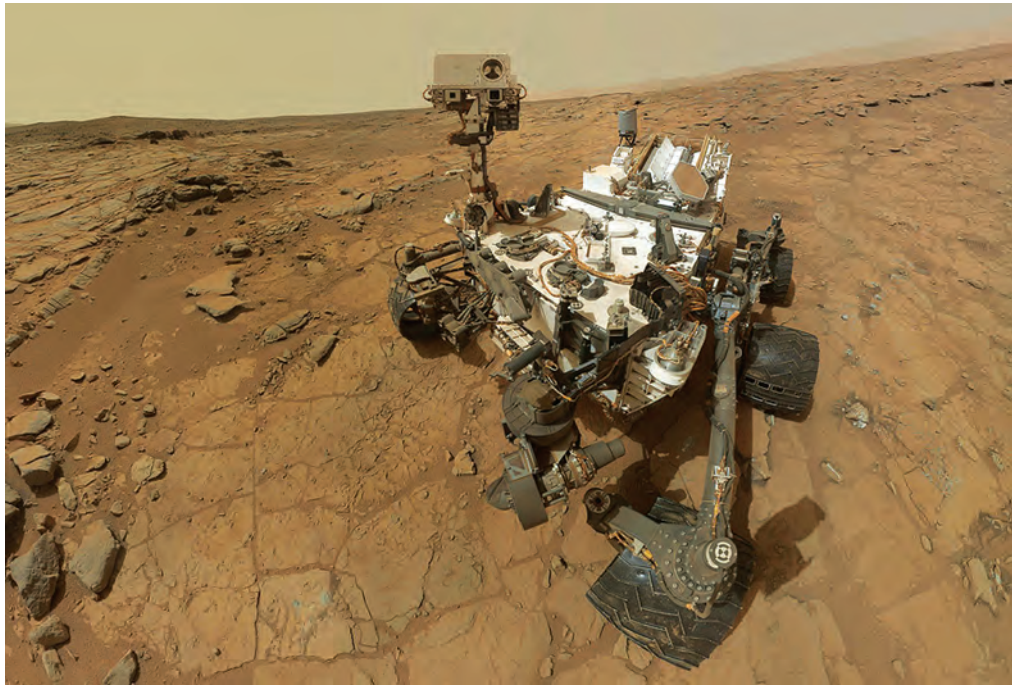
Микроспутник «Чибис-М» в своём транспортно-пусковом контейнере, установленном на место стыковочного узла грузовика «Прогресс-М-13М»

Chibis-M in the transport/launch container in place of a docking unit of Progress M-13M cargo ship

Испытания выхода спутника из транспортно-пускового контейнера, раскрытия солнечных батарей, антенн и штанг на разгрузочном стенде в ИКИ РАН

The satellite egress from transport/launch container, solar batteries, antennae and beams deployment are tested on the unloading bench in IKI





Американский марсоход-лаборатория «Кьюриосити» (любопытство), оснащённый российским нейтронным комплексом ДАН (© NASA)

The US rover laboratory Curiosity, equipped with DAN neutron complex, made in Russia (© NASA)

6 августа 2012 года американский марсоход Curiosity (любопытство), с российским прибором ДАН на борту, совершил успешную посадку на поверхность Марса.

Прибор способен обнаружить воду или лёд, точнее, одну из двух составляющих воды — водород. Процесс напоминает флюорографию. В состав прибора входят импульсный источник нейтронов и приёмник нейтронного излучения. Генератор испускает в сторону марсианской поверхности импульсы нейтронов продолжительностью около 1 мкс, мощностью потока до 10 млн нейтронов с энергией 14 МэВ. Частицы проникают в грунт Марса на глубину до 1 м, где взаимодействуют с ядрами основных породообразующих элементов. В ходе таких взаимодействий быстрые нейтроны замедляются и теряют свою энергию. Часть из них поглощается в грунте, а часть выходит обратно на поверхность, где и регистрируется приёмником. На основании полученных данных прибор определяет глубину проникновения нейтронов и состав поверхностного грунта. Точные измерения возможны до глубины 50...70 см.

«Нейтроннография» поверхности, сделанная прибором ДАН, позволила исследователям оценить содержание воды под колёсами марсохода и определить наиболее интересные для исследования районы с высоким содержанием воды в минералах. Именно такие районы представляют наибольший интерес для поиска признаков жизни.

On August 6, 2012 the US rover dubbed Curiosity successfully landed on the surface of Mars. Among other payload, it bears Russian DAN instrument (short for “Dynamic Albedo of Neutrons”). Like his predecessor HEND, it is capable to discover water or water ice, or, more precisely, hydrogen. The instrument consists of pulsed neutron generator and neutron detector. The pulsing source generates short (about 1 mks), but powerful (up to 100 million neutrons per pulse) neutron pulses (with energy 14 MeV) to the Martian surface. The neutrons emitted penetrate into Martian soil to interact with the nuclei of main rockforming elements through reactions of inelastic scattering. During these interactions, fast neutrons are slowed down and lose part of their energy. Some of the moderated neutrons are absorbed in the subsurface, while the other part goes back out to be registered by the neutron detector. Using its records, the scientists can determine the penetration depth (the depth a neutron has come from) and the composition of the subsurface. Precise measurements can be done for the depth about 50...70 cm.

With this data researchers evaluated the water content in the soil just under the rover and determined the most interesting areas with high content of water in minerals, which are of particular interest for the search of life or its precursors.

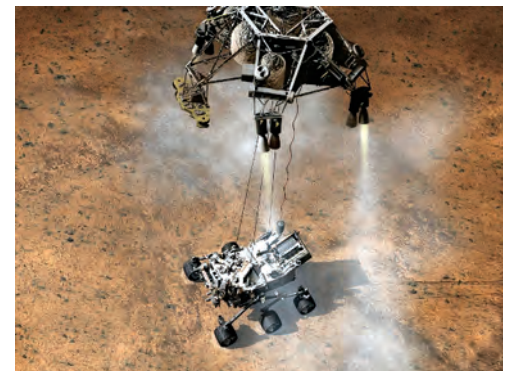
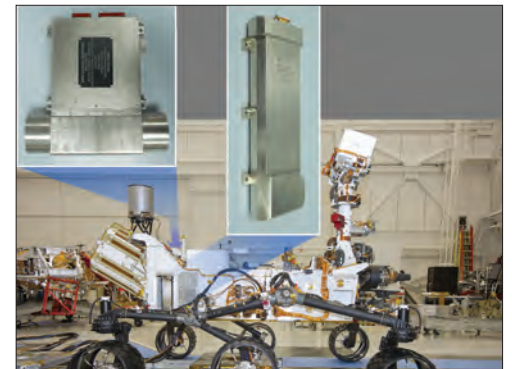


Детектор ДАН, кроме активного обследования подповерхностного слоя Красной планеты, способен вести мониторинг естественного радиационного фона поверхности

DAN detector can both run active studies of Martian shallow surface and monitor natural radiation background of the surface

На правом борту «Кьюриосити» расположен нейтронный генератор, а на левом — детектор комплекса ДАН

DAN neutron generator is placed on a right and DAN detector — on a left side of Curiosity rover



«Небесный кран» мягко опускает драгоценный груз на поверхность Марса (© NASA)

“Sky crane” softly lands the precious freight on the surface of Mars (© NASA)



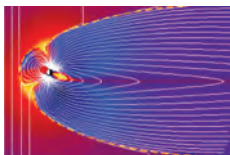
Здание Института космических исследований Российской академии наук — признанного мирового центра космической науки

The building of Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences — acknowledged centre of space science

Астрофизика и радиоастрономия
Astrophysics and radioastronomy



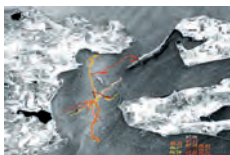
Физика космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно-земных связей
Space plasma physics, physics of energetic particles, Sun and solar-terrestrial relations



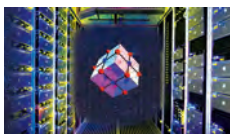
Исследования планет и малых тел Солнечной системы
Studies of planets and small bodies of Solar System



Исследования планеты Земля
Earth studies



Исследования в области механики, систем управления и информатики
Mechanics, operation systems and computer sciences



Сегодняшние направления деятельности ИКИ РАН соответствуют Программе фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, утверждённой распоряжением Правительства РФ от 03.12.2012 года. Институт проводит фундаментальные и прикладные исследования в областях:

- астрофизики и радиоастрономии;
- физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно-земных связей;
- планет и малых тел Солнечной системы;
- планеты Земля;
- механики, систем управления и информатики.

Ведутся также работы по развитию исследовательской, конструкторской и опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) проводятся в соответствии с заданиями Российской академии наук, ежегодным тематическим планом Института и Федеральной космической программой России. Они соответствуют таким направлениям как современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа тёмной материи и тёмной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, развитие

Current IKI research activities conform with the Program of Fundamental Research of the State Academy of Sciences for 2013–2020, which was approved by the Decree of the Government of the Russian Federation of 03.12.2012. The Institute runs fundamental and applied research in following areas:

- astrophysics and radio astronomy;
- physics of space plasma, charged particles, the Sun and solar-terrestrial interaction;
- planetary studies and small bodies of the Solar system;
- Earth studies;
- mechanics, control systems, and computer science.

The Institute constantly develops its facilities for research, design, and experiments in space science instruments engineering and for experimental physics.

R&D activities comply with assignments from the Russian Academy of Sciences, Institute's annual Subject Schedule and Russian Federal Space Program. They correspond to the following areas of research: modern problems of astronomy, astrophysics, and space exploration, including origin, structure, and evolution of the universe, the nature of dark matter and dark energy, exploration of the Moon and the planets, the Sun and solar-terrestrial interactions, development of technologies for extra-atmospheric astronomy and space research, coordinate and time support of fundamental research and everyday activities.

методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач.

Современные проблемы физики плазмы включают физику астрофизической и низкотемпературной плазмы и основы её применения в технологических процессах.

Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел имеют в виду изучение закономерностей формирования минерального, химического и изотопного состава Земли, космохимии планет и других тел Солнечной системы, возникновения и эволюции биосферы Земли, биогеохимических циклов и геохимической роли организмов.

Другие важные направления фундаментальных исследований — научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика: инфраструктура пространственных данных и ГИС-технологии; эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов; научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества.

И, наконец, ещё одно направление сегодняшних фундаментальных исследований: общая механика; навигационные системы; динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов; механика живых систем.

Далеко не все работы ИКИ связаны с космическими экспериментами и проектами, но именно в них концентрируется труд сотен людей и зримо воплощается суть космических исследований.

Институт космических исследований Российской академии наук выступает как головной институт по научным космическим исследованиям в нашей стране, составляя, совместно с другими организациями науки и промышленности, предложения к Федеральной космической программе, которая формируется Советом РАН по космосу и его соответствующими секциями совместно с Федеральным космическим агентством («Роскосмос»).

ИКИ РАН участвует в выполнении Федеральной космической программы России, координируя создание научной аппаратуры, совместную работу всех членов кооперации, включая международную кооперацию. В ряде других проектов, российских и зарубежных, ИКИ РАН выступает как участник научной программы, поставляя часть научной аппаратуры, обрабатывая научную информацию, участвуя в баллистико-навигационной подготовке проекта.

Modern problems of plasma physics include physics of astrophysical and low-temperature plasma and the principles of its application in industry.

Basic and applied research of planets and small bodies implies studies of mineral formation, chemical and isotopic composition of the Earth, space chemistry of planets and other bodies in the solar system, the origin and evolution of the Earth's biosphere, biogeochemical cycles, geochemical role of organisms.

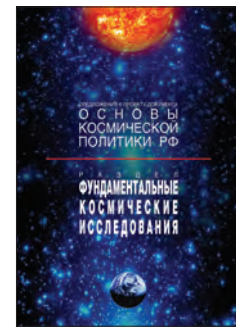
Other important areas of basic research are scientific approach to methods and technologies of study of the Earth's surface, subsurface and atmosphere, ionosphere and magnetosphere, hydrosphere and cryosphere; computer simulation and geoinformatics: geoinformation technologies and geospatial data infrastructure; evolution of the Earth and climate under the influence of natural and anthropogenic factors; scientific principles of environmental management and sustainable development; territorial organization of economy and society.

Finally, yet another area of today's basic research in IKI is theoretical mechanics; navigation systems; celestial dynamics, vehicle and control dynamics; mechanics of living systems.

Not all IKI activities deal with space experiments, but this type of projects is where efforts of hundreds of people come together to embody the essence of space science.

Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences is the principal research institute for space science in Russia. Together with other science and industrial institutions it makes proposals for the Federal Space Program, which is formed by the Space Council of Russian Academy of Sciences and its dedicated committees in cooperation with the Federal Space Agency (Roscosmos).

IKI implements the Federal Space Program. In a number of projects adopted by this Program it coordinates scientific equipment development and joint work of all collaborators, including international partners. In other projects, both Russian and foreign, IKI enters research programs and supplies part of scientific equipment, processes information, provides ballistic and navigational support.



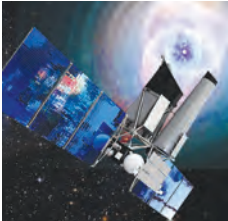
Учёные ИКИ, головного института РАН по исследованию и использованию космического пространства в интересах фундаментальных наук, готовят предложения для программ Академии наук и Федеральной космической программы Российской Федерации

Space Research Institute of the RAS, being the principal academic institute for research and exploration of space for the benefit of fundamental sciences, make proposals for the programs of Russian Academy of Sciences and Federal Space Program

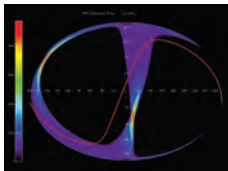
Астрофизическая обсерватория «Интеграл» (© ESA)
Integral astrophysical observatory (© ESA)



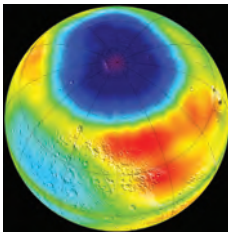
Астрофизическая обсерватория СРГ («Спектр-Рентген-Гамма»)
Spektr-RG astrophysical observatory



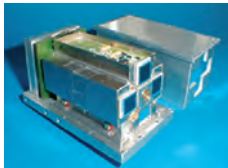
МВН — монитор всего неба. Возможный обзор за 10 дней полёта
All-Sky Monitor (MVN). Model result of 10-day survey



Глобус Марса по результатам прибора ХЕНД
англ



Мёссбауэровский спектрометр
Mössbauer spectrometer



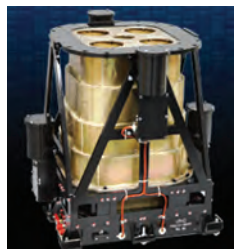
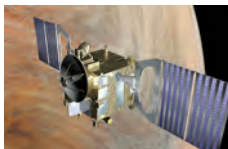
Аппарат ЕКА «Марс-Экспресс» — носитель приборов с российским участием ОМЕГА, СПИКАМ и ПФС (© ESA)

Mars Express (ESA) scientific payload includes OMEGA, SPICAM, and PFS instruments with Russian participation (© ESA)

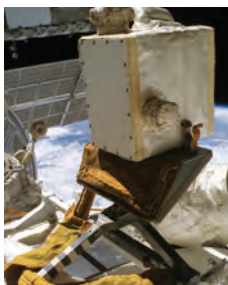


Аппарат ЕКА «Венера-Экспресс» — носитель приборов с российским участием СПИКАВ/СУАР и ПФС (© ESA)

Venus Express (ESA) scientific payload includes SPICAV/SOIR and PFS instruments with Russian participation (© ESA)



Лунный детектор ЛЕНД
LEND Lunar Exploration Neutron Detector

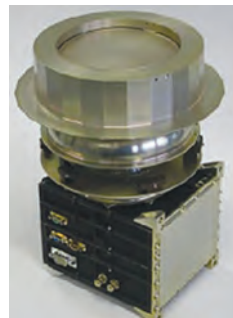


Эксперимент «БТН-Нейтрон» на МКС
BTN-Neutron instrument on the ISS

В астрофизических исследованиях в настоящее время в стадии реализации проект ИНТЕГРАЛ (Международная астрофизическая обсерватория) и два проекта — СПЕКТР-РГ и МОНИТОР ВСЕГО НЕБА на МКС — в стадии опытно-конструкторских работ (ОКР).

В исследованиях планет и малых тел Солнечной системы в стадии реализации:

- исследования нейтронного и гамма-излучения от поверхности Марса и гамма-излучения в межпланетном пространстве с помощью прибора ХЕНД (проект МСП-2001);
- исследования грунта Марса с помощью мёссбауэровского спектрометра, установленного на посадочных аппаратах «Спирит» и «Оппортьюнити»;
- исследования нейтронной составляющей излучения лунного грунта с помощью нейтронного детектора ЛЕНД (проект МСП-2001);
- исследования Марса с помощью комплекса приборов ПФС, ОМЕГА и СПИКАМ, созданных с российским участием и установленных на борту европейского космического аппарата «Марс-Экспресс»;
- исследования Венеры с помощью приборов SOIR/SPICAV (Solar Occultation in the Infra-Red / Spectroscopy for Investigation of Characteristics of the Atmosphere of Venus) и ПФС, созданных с российским участием и установленных на борту европейского космического аппарата «Венера-Экспресс»;
- регистрация нейтронов, гамма-лучей и заряженных частиц для экспериментальной оценки нейтронного компонента радиационного фона космического аппарата (эксперимент «БТН-Нейтрон» на борту Международной космической станции);
- исследования нейтронной составляющей излучения марсианского грунта с помощью прибора ДАН (динамическое альbedo нейтронов), установленного на борту Марсианской научной лаборатории МНЛ-2009 (проект МСП-2001).



Международный прибор ПИКАМ, созданный по концепции и электронно-оптической схеме ИКИ РАН для спутника МРО европейской миссии Бепи Коломбо к Меркурию



ДАН — детектор динамического альbedo нейтронов
DAN — Detector of Dynamic Albedo of Neutrons

International PICAM instrument, developed on the base of the concept and optoelectronic digital logic, proposed by IKI, for the MRO spacecraft of the ESA's BepiColombo mission to Mercury

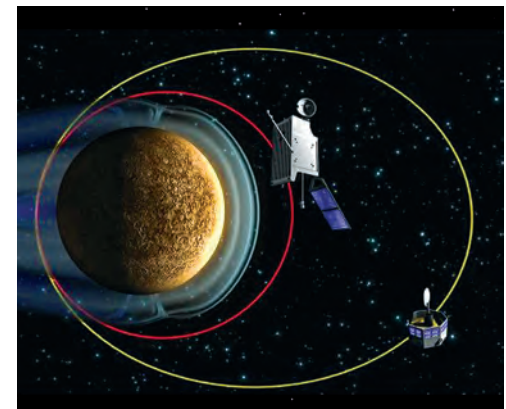
An underway project *Integral* (see above) together with two other projects *Spektr-RG* and *All-Sky Monitor* onboard the ISS (the two are currently at R&D stage) are the areas of focus in astrophysics.

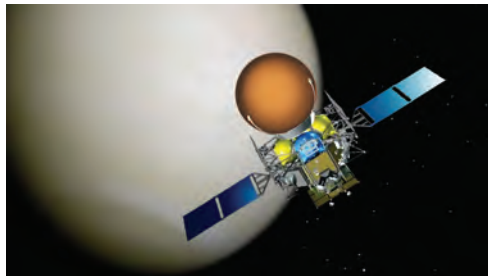
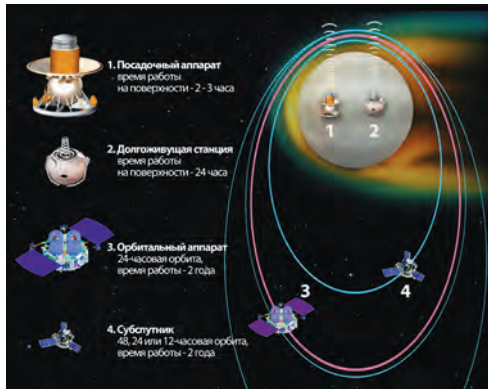
The following projects regarding planets and small bodies of the Solar system are currently implemented:

- studies of Martian neutron and gamma radiation and gamma radiation in interplanetary space using HEND instrument (project MSP-2001);
- studies of Martian soil with the Moessbauer spectrometer mounted on *Spirit* and *Opportunity* rovers;
- studies of neutron radiation component of lunar soil with LEND neutron detector (project MSP-2001);
- Mars studies with instruments PFS, OMEGA, and SPICAM aboard the European *Mars-Express* spacecraft, developed in cooperation with Russian specialists;
- Venus studies with instruments SOIR/SPICAV and SFC aboard the European *Venus-Express* spacecraft, developed in cooperation with Russian specialists (*Venus Express* ended its operation in January 2015);
- studies of neutrons, gamma rays, and charged particles for test evaluation of neutron component of radiation at spacecraft (*BTN-Neutron* experiment on board the International Space Station);
- study of neutron radiation component of Martian soil with DAN (Dynamic Albedo of Neutrons) instrument aboard the *Mars Science Laboratory* MNL-2009 (project MSP-2001).

Международная миссия ЕКА Бепи Коломбо к Меркурию включает два космических аппарата: искусственный спутник Меркурия (МРО) для дистанционных исследований поверхности планеты и японский искусственный спутник для исследований её магнитосферы (ММО) (© ESA)

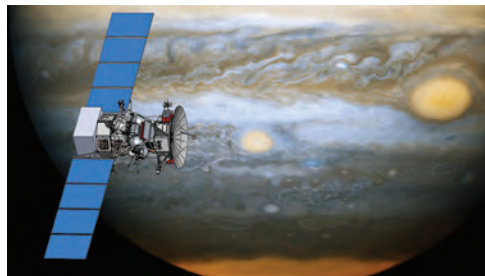
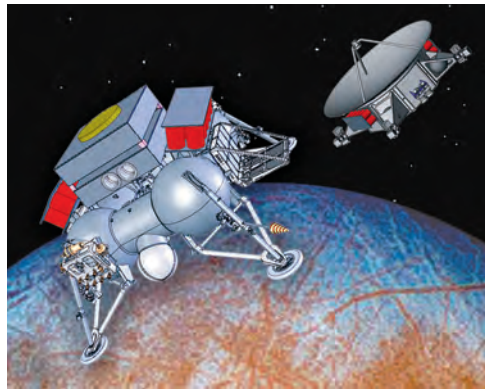
ESA's BepiColombo international mission to Mercury includes two spacecraft: MRO orbiter for distant probing of planet's surface and the MMO (JAXA) satellite to study its magnetosphere (© ESA)





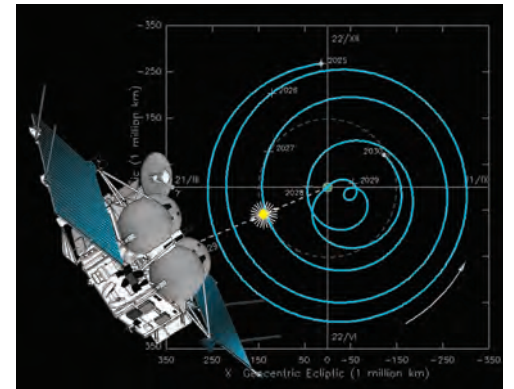
Состав миссии и возможный облик аппарата «Венера-Д»

Mission structure and possible appearance of Venera-D spacecraft



Миссия ЛАПЛАС в систему Юпитера с посадкой аппарата на спутник Юпитера — Европу

Laplace mission to Jupiter's system, including landing on its moon Europa

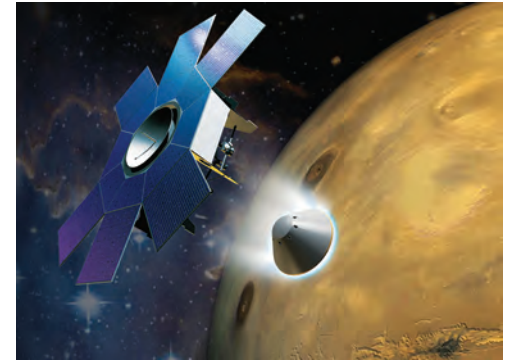


Миссия исследования и уточнения орбиты гигантского астероида Апофис, угрожающего Земле

Mission to study and determine the orbit of Apophis — large potentially hazardous asteroid

Миссия ЭКЗОМАРС. Космический аппарат и схема посадки (© ESA)

ExoMars mission. Spacecraft and landing scheme (© ESA)



В стадии научно-исследовательских работ (НИР):

- исследования Венеры — проект ВЕНЕРА-Д;
- исследования Юпитера и его спутников — проект ЛАПЛАС;
- прогнозирование развития событий после пролёта вблизи Земли астероида Апофис в 2029 году — проект МИССИЯ АПОФИС;
- предварительная проработка специализированной орбитальной станции с большим телескопом с диаметром главного зеркала более 1,5 метров для исследования экзопланет, объектов и явлений в Солнечной системе для мониторинга опасных небесных тел («Звёздный патруль»);
- разработка предложений по перспективному микроспутнику.

В стадии опытно-конструкторских работ (ОКР):

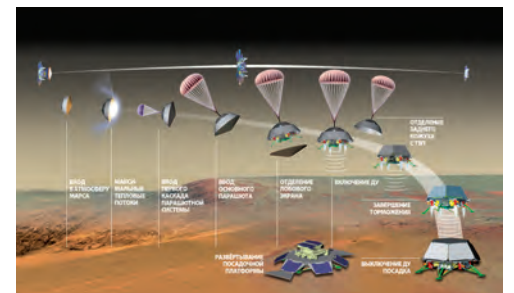
- совместный российско-европейский проект ЭКЗОМАРС по исследованию Марса. ИКИ отвечает за создание и эксплуатацию российской научной аппаратуры, а также за наземный научный комплекс;
- исследования Меркурия с помощью российского прибора МНГС (меркурианский нейтронный и гамма-спектрометр) и европейских ультрафиолетового спектрометра RHEBUS и камеры наблюдения в лучах натрия MSASI, созданных с участием российских специалистов в европейском проекте Бепи Колombo;

At the preliminary research stage:

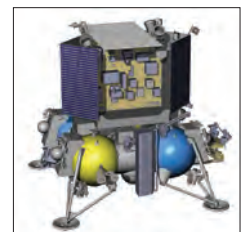
- Venus studies — *Venera-D* project;
- study of Jupiter and its satellites — *Laplace* project;
- forecasting impact of passing of Apophis asteroid near the Earth in 2029 — *Apophis* mission;
- draft design of a specialized space station with a large telescope with primary mirror larger than 1.5 meters for observation of exoplanets, and objects in the Solar system to track potentially dangerous celestial bodies (*Star Patrol*);
- proposals for advanced microsatellite.

At the R&D stage:

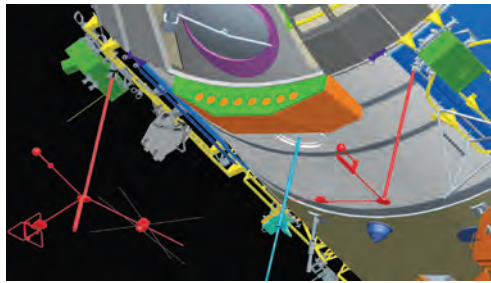
- Joint Russian-European *ExoMars* project for Mars exploration. IKI provides and operates Russian scientific payload and ground complex.
- Mercury studies with Russian MGNS (Mercurial Gamma-Ray and Neutron Spectrometer) instrument and European *Phoebus* Ultraviolet Spectrometer and MSASI Sodium Flare Cameras created together with Russian as a part of European project *BepiColombo*;



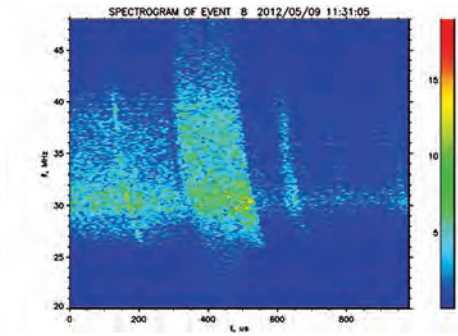
Космический аппарат проекта ЛУНА-ГЛОБ
Project Luna-Glob spacecraft



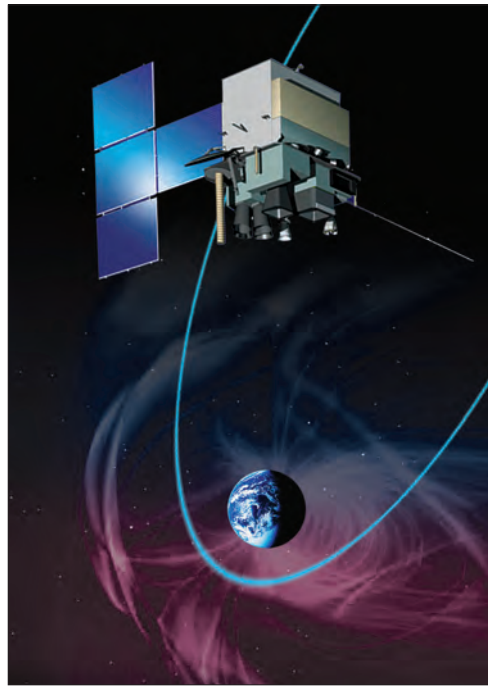
Космический аппарат проекта ЛУНА-РЕСУРС
Project Luna-Resurs spacecraft



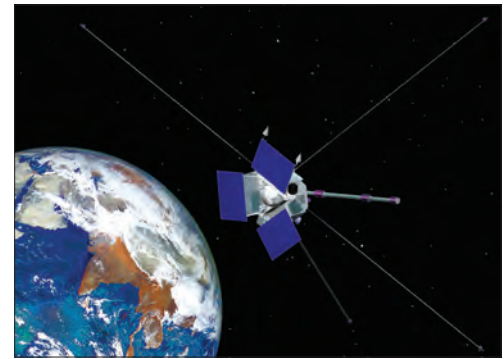
Эксперимент ОБСТАНОВКА Obstanovka experiment
на борту МКС onboard the ISS



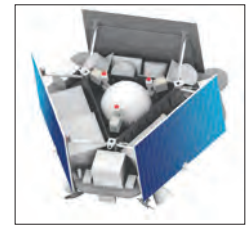
Один из спектров One of the spectra acquired
успешного прибора РЧА by RChA detector onboard
микроспутника «Чибис-М» Chibis-M microsatellite



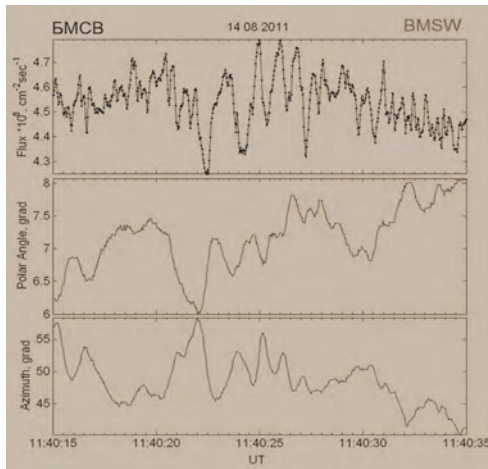
Перспективный высокоапогейный спутник дистанционного зондирования Земли Arktika-M — future high-
АРКТИКА-М с комплексом научной аппаратуры, разработанной в ИКИ РАН apogee satellite for Earth
remote sensing with scientific
package, developed in IKI



Перспективный спутник для исследования взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли МКА ФКИ «Странник» на малой платформе «Карат», разработанной в НПО им. С.А. Лавочкина
Strannik — future satellite
to study solar wind interaction
with Earth's magnetosphere



Малая универсальная спутниковая платформа «Карат»
Small universal KARAT satellite
platform



Эксперимент ПЛАЗМА-Ф. Plasma-F experiment.
Струйная структура солнечного ветра Streamlike structure of solar
по данным прибора БМСВ. Ion flux consists of separate
Поток ионов состоит из отдельных струй с разными направлениями движения streams with different motion
directions

- исследования Луны — проект ЛУНА-ГЛОБ;
- исследования Луны — проект ЛУНА-РЕСУРС.

В исследованиях Солнца и солнечно-земных связей в стадии реализации:

- исследования солнечного ветра — проект ПЛАЗМА-Ф/СПЕКТР-Р;
- плазменно-волновой эксперимент на российском сегменте МКС — проект ОБСТАНОВКА.

В стадии ОКР:

- Исследование взаимодействия волн и частиц во внутренней магнитосфере Земли — проект РЕЗОНАНС;
- создание аппаратуры для гидрометеорологии и дистанционного зондирования Земли — проект АРКТИКА-М;
- исследование взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли — проект МКА-ФКИ — СТРАННИК;
- создание бортовой научно-исследовательской аппаратуры и наземного комплекса приёма данных и управления межпланетными миссиями, объединения российского и европейского опыта при разработке технологий для европейских миссий с целью разведки районов посадки, поиска воды в подповерхностном слое планеты, мониторинга радиационной обстановки — проект ЭКЗОМАРС-ПП;
- создание комплекса «Радиочастотный анализатор» — проект НА-РЧА;

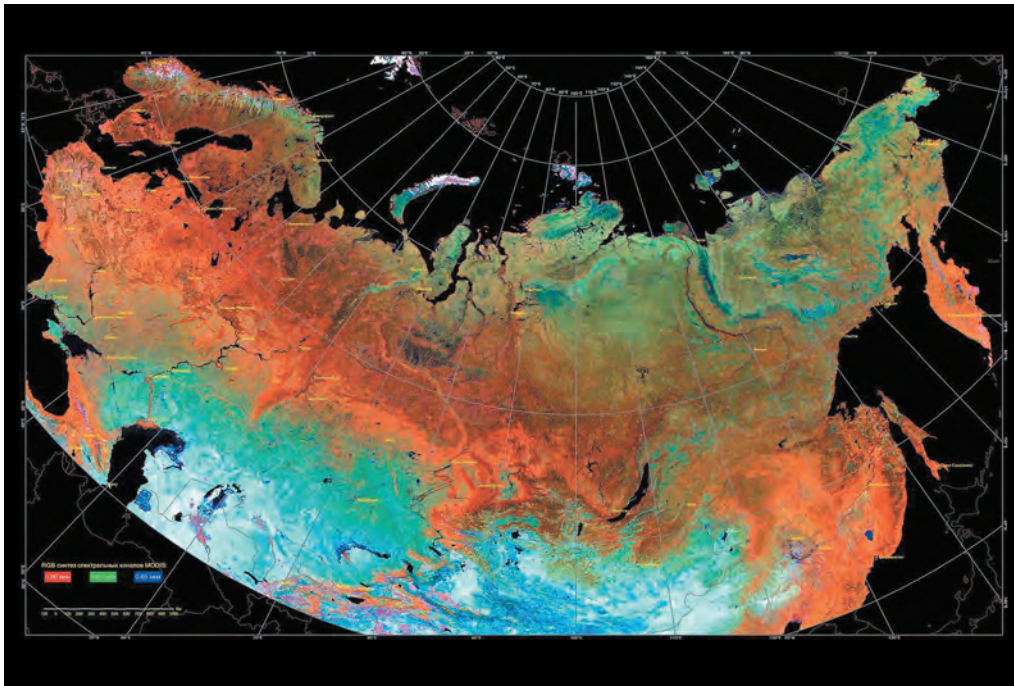
- Moon studies — Luna-Glob project;
- Moon Studies — Luna-Resurs project.

Projects under implementation on Sun and solar-terrestrial interactions:

- Solar wind studies — Plasma-F suit onboard Spektr-R;
- plasma wave experiment on board the Russian segment of the ISS — Obstanovka project.

R&D:

- studies of wave-particle interaction in the inner magnetosphere of the Earth — Resonance project;
- building instruments for hydrometeorology and remote sensing — Arctica M project;
- interaction between solar wind and the Earth's magnetosphere — МКА-ФКИ Strannik project;
- development of onboard research equipment and ground communication and control system for deep space missions, consolidation of Russian and European legacy developing technologies for European missions aimed at search for landing sites, water resources under planetary surface, radiation monitoring — ExoMars-PP project;
- development of Radio Frequency Analyser suit — NA-RChA project;
- development of monitoring system for geophysical parameters of ionosphere, upper atmosphere and near-Earth space, development of devices for measuring ozone layer, greenhouse gases, and trace gases of the atmosphere.



Очищенное от влияния мешающих факторов композитное изображение прибора MODIS, синтезированное по данным наблюдений в июне-августе 2005 года

MODIS composite image cleared from interferences, using observation data of June–August 2005

- создание комплекса целевой аппаратуры для наблюдений геофизических параметров ионосферы, верхних слоёв атмосферы и околоземного космического пространства, разработка приборов для измерений озонового слоя, парниковых газов и малых составляющих атмосферы.

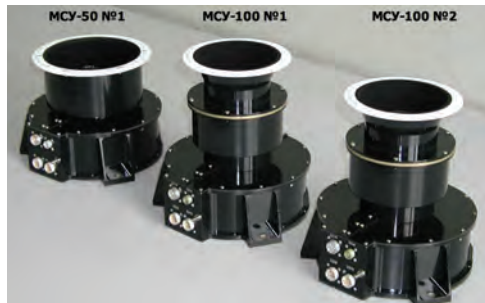
Фундаментальные и прикладные научные исследования планеты Земля в стадии НИОКР:

- информационно-техническое обеспечение и развитие системы постоянного сбора и обработки данных спутникового мониторинга в интересах системы мониторинга сельскохозяйственных земель;



Изображение полуострова Крым, полученное с орбиты космическим фото аппаратом КМСС, который был создан в оптико-физическом отделе ИКИ РАН

Krimea peninsula. Image is taken from the orbit with KMSS camera (multispectral satellite imaging complex), developed by Optico-Physical Department of IKI



Аппаратура комплекса КМСС — одна камера MSU-50 и две камеры MSU-100

Instruments of KMSS complex — one MSU-50 camera and two MSU-100 cameras

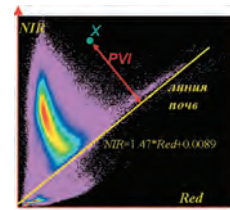


В регулярно обновляемом банке данных ИКИ РАН накоплены ежедневные данные прибора Terra/Aqua-MODIS с 2001 года. Разработаны алгоритмы обработки данных и построения композитных изображений

Terra/Aqua-MODIS data for every day since 2001 are accumulated in IKI databank, which is regularly updated. Algorithms for data processing and composite image building were developed

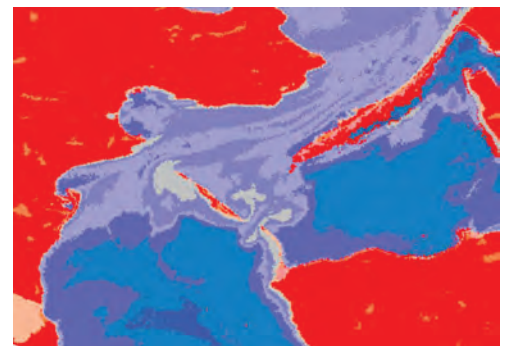
Сравнение выявленных по данным MODIS пахотных земель в Курской области и спутникового изображения спутника LandSat ETM+

Comparison between the area of croplands in Kursk region as derived from MODIS data and LandSat-ETM+ image



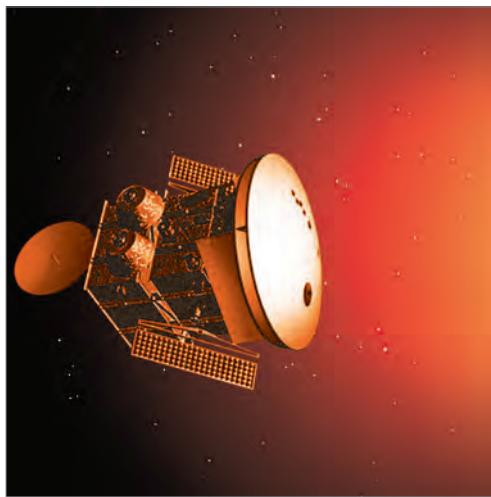
Вычисление вегетационного индекса PVI в двумерном пространстве значений спектральной яркости, измеренных в красном и ближнем ИК-каналах MODIS

Calculation of the Perpendicular Vegetation Index (PVI) in 2-dimension value space of spectral brightness, as measured in MODIS red and near-IR channels



Фрагмент цветосинтезированного изображения гиперспектрометра HICO, полученного 14.03.2014 года над акваторией Керченского пролива и результат классификации для 9 классов

Fragment of an image acquired by HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean) on March 14, 2014 over the Kerch Strait, and results of 9-classes assignment



**Возможный общий вид
солнечного спутника
«Интергелиозонд»
на рабочей орбите**

*Artistic view of Interhelioprobe
solar satellite on a nominal
mission orbit*

- разработка методов мониторинга и прогнозирования природных пожаров и их последствий с использованием геоинформационных технологий;
- совершенствование технологий отраслевой системы мониторинга (ОСМ) рыболовства;
- развитие системы дистанционного мониторинга лесных пожаров и очагов массового размножения вредных насекомых и болезней леса.

Запуски спутников серии «Прогноз», реализация проектов ИНТЕРБОЛ и ПЛАЗМА не только сделали доступным изучение природных процессов, происходящих на Солнце, действия механизмов солнечно-земных связей, но и ещё более приблизили фундаментальную науку к решению проблематики повседневной жизни людей — появилась возможность сопоставлять и достоверно прогнозировать изменение биологических и технологических процессов на Земле под влиянием циклов солнечной активности.

Тем не менее, нерешённых вопросов остаётся всё ещё достаточно много. В том числе: как образуется солнечный ветер, что нагревает солнечную корону до двух миллионов градусов, если температура поверхности светила во много раз ниже. Получить ответы на эти вопросы хотя бы частично учёные надеются с запуском космического аппарата «Интергелиозонд», который начнёт изучать наше светило с минимально безопасного для аппарата расстояния: менее 40 солнечных радиусов. Российский проект заполнит, таким образом, нишу, образовавшуюся в исследованиях Солнца. Сейчас его исследуют полдюжину космических аппаратов разных стран, но все они работают на околоземных орбитах. Вблизи же Солнца ни одного аппарата нет.

С учётом того, что орбита «Интергелиозонда» будет немного наклонена к плоскости эклиптики, он сможет «увидеть» и солнечные полюса, качественно рассмотреть которые с Земли и околоземных орбит невозможно.

Ещё один важный момент. Известно, что у поверхности Солнца нет никакого коллективного движения плазмы, которое можно было бы назвать «ветром». Он проявляется только на расстоянии нескольких солнечных радиусов от светила. Очень важно попасть в эту область и попытаться наблюдать процессы, которые приводят к ускорению солнечного ветра.

Также неясно, почему достигающий Земли поток нейтрино вдвое слабее, чем предсказывает теория. В последнее время появилась гипотеза, что часть нейтрино перехватывается скопившимися в недрах Солнца гипотетическими частицами тёмной материи.

На 2017–2018 годы запланирован запуск четырёх спутников «Резонанс» для исследования внешней зоны радиационного пояса Земли, в условиях которого, в частности,

- geoinformation technology-based development of methods for monitoring and forecasting of wildfires and their effects;
- improvement of fishing industry monitoring system;
- development of remote detection system for wildfires and areas of mass pest and forest diseases reproduction.

Projects like *Prognoz*, *Interball*, *Plasma-F* did not only contribute to Sun activity and solar-terrestrial relations studies, but brought science even closer to meeting the everyday needs. We now have the opportunity to compare and forecast changes in biological and technological processes on the Earth following the Sun activity.

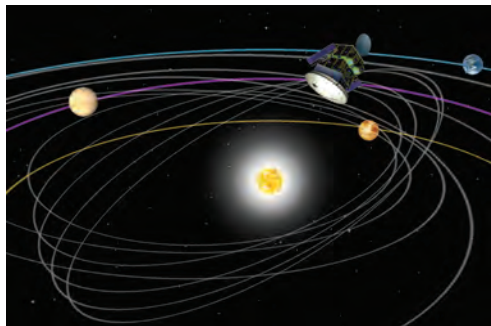
However, many problems are yet to be solved. How the solar wind is formed, what heats the solar corona to two million degrees, while its surface temperature is many times lower. With the launch of the *Interhelioprobe* spacecraft scientists hope to get clues for the answers. The spacecraft will study our star from the minimal safe distance — less than 40 solar radiuses. So the Russian project will fill the niche in the solar studies. While the Sun is currently under surveillance of a half a dozen spacecraft operated by various nations, they all work closer to the Earth than to Sun, and most of them on near-Earth orbit.

Interhelioprobe orbit will be slightly inclined to the solar ecliptic so it would “see” solar polar regions, which are hard to observe from the Earth and near-Earth orbits.

Another important point is that there is no collective plasma flows, which can be called “the wind” near the surface of the Sun. The wind can only be registered at a distance of several solar radiuses from the Sun. It is of particular interest to observe from this very region the processes accelerating the solar wind.

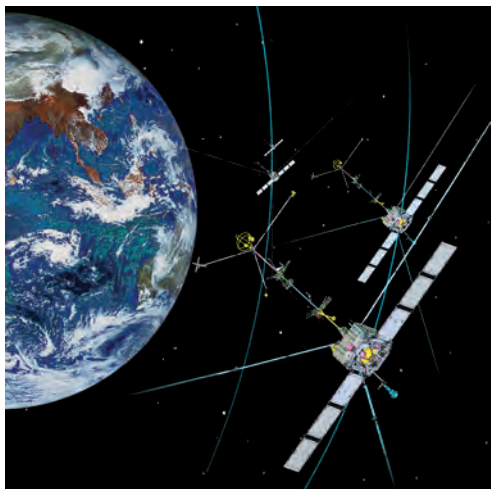
It is also unclear why the flux of neutrinos reaching Earth is two times weaker than predicted by theory. There is a recent suggestion that hypothetical dark matter particles in the solar interior capture some of the neutrinos.

Four *Resonance* satellites to be launched in 2017–2018 to study the outer zone of the Earth’s radiation belt where, in particular, geostationary satellites operate. The project will study the so-called relativistic electrons — the main component of the radiation belts, which are the main hazardous factor to communication satellites in geostationary orbits. *Resonance* orbiters will study with high temporal resolution the processes of electron acceleration after interaction with electromagnetic waves.



Многokратные гравитационные манёвры у Венеры наклоняют орбиту спутника «Интергелиозонд» и позволяют ему «взглянуть» на полюс Солнца

Multiple gravity assists near Venus incline the orbit of Interhelioprobe, so that it can glimpse at the Sun’s pole



Многоспутниковый проект РЕЗОНАНС

Resonance multi-satellite project



Общий вид и компоновка орбитальной астрофизической обсерватории «Спектр-РГ» (СРГ)

Spektr-RG astrophysical observatory. General view and layout



Рабочее место обсерватории СРГ — точка Лагранжа L2, в тени Земли

Nominal mission halo orbit of Spektr-RG observatory around Lagrange point L2 in the shadow of the Earth

работают геостационарные спутники. Речь идёт о так называемых релятивистских электронах — основной составляющей радиационного пояса, — которые представляют собой главную угрозу для работы спутников связи на геостационарной орбите. Исследования на спутниках «Резонанс» позволят исследовать процессы ускорения этих спутников при взаимодействии с электромагнитными волнами с высоким временным разрешением.

Дальнейшее развитие отечественных астрофизических исследований связано с использованием разработанного в Научно-производственном объединении (НПО) им. С. А. Лавочкина модуля «Навигатор». Он позиционируется как универсальный для космических аппаратов различного назначения. В зависимости от задач базирующихся на нём космических аппаратов они могут функционировать на низких круговых, эллиптических, высоких эллиптических и геостационарных орбитах и в точках либрации. В частности, на нём была создана космическая обсерватория «Спектр-РадиоАстрон» и разрабатывается обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма» («Спектр-РГ»), которую планируется вывести в точку Лагранжа L2.

СПЕКТР-РГ-совместный проект России и Германии, нацеленный на решение фундаментальных вопросов космологии, — свойств и эволюции Вселенной, природы тёмной энергии и тёмной материи, возникновения и роста сверхмассивных чёрных дыр.

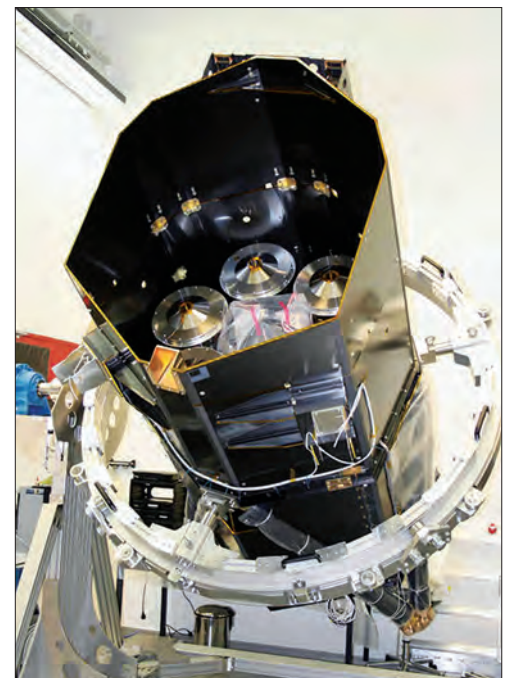
Further development of Russian astrophysics is connected with *Navigator* bus for satellites developed by Lavochkin Design Bureau. It is a one-fits-all bus for many types of spacecraft. Depending on the given task, it can operate at low circular, elliptical, high elliptical and geostationary orbits and libration points. In particular, *Spektr-R* (*RadioAstron*) space observatory was based on this module. Another observatory under development, which is *Spektr-RG*, to be launched to the libration point L2 is also based on *Navigator*.

Spektr-RG (or *Spektr-Rentgen-Gamma*), a joint project of Russia and Germany, addresses most profound questions of cosmology — properties and evolution of the universe, nature of dark energy and dark matter, origin and growth of supermassive black holes.



Один из телескопов СРГ — немецкий телескоп eROSITA

German telescope eRosita — one of Spektr-RG instruments



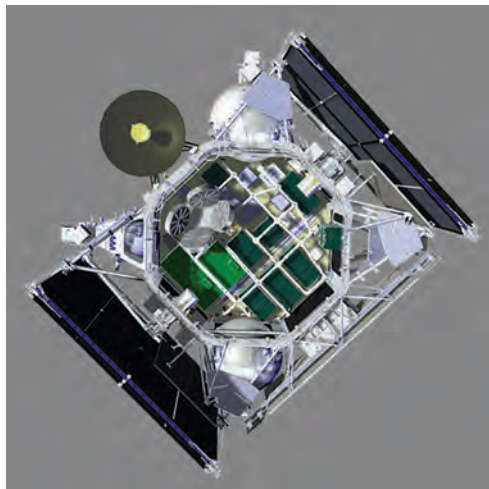
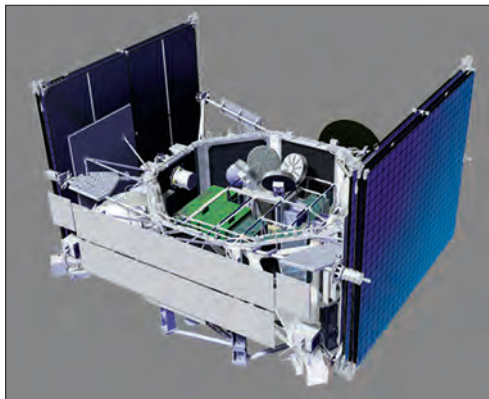


«Спектр-УФ» — всемирная ультрафиолетовая обсерватория — прецизионный инструмент исследования космоса в видимом и ультрафиолетовом диапазонах спектра

WSO-UV — World Space Observatory — Ultraviolet is a high-precision instrument to study space in visible and UV-spectral bands

Телескоп аппарата «Спектр-УФ» на испытаниях в ЛИС ИКИ РАН

WSO-UV telescope during tests in laboratory and test station in IKI



Основой обсерватории станут два рентгеновских телескопа косого падения — eROSITA (extended ROentgen Survey with an Imaging Telescope Array) (Германия) и ART-XC (Россия), совместно перекрывающих область энергий 0,2...30 кэВ. Задача обсерватории — получение рентгеновского обзора всего неба с чувствительностью, практически в сто раз превышающей чувствительность существующих обзоров неба, и продление такого обзора в области более жёсткого рентгеновского диапазона.

Перспективы ультрафиолетовой астрономии на ближайшее десятилетие связаны с запуском космической обсерватории «Спектр-УФ», также создаваемой НПО им. С.А.Лавочкина на базе «Навигатора» и предназначенной для спектроскопии слабых источников УФ-излучения.

Вселенная в УФ-диапазоне изучена очень слабо, и на ближайшие десятилетия актуальность исследований в УФ-участке спектра будет только увеличиваться. Выбранные для обсерватории направления исследований и её параметры позволят сохранить высокую научную значимость проекта и обеспечить выполнение задач на высочайшем уровне технического решения в течение следующих не менее 10–15 лет.

Глобальная цель мировой космонавтики в текущем столетии, как представляется, — это освоение Солнечной системы,

The observatory is based on two grazing incidence X-ray telescopes: eROSITA (Germany) and ART-XC (Russia), together overlapping the 0.2...30 keV energy region. It will provide an X-ray survey of the entire sky with a sensitivity of almost hundred times the sensitivity of existing sky surveys, and will extend them into hard X-ray.

Future of ultraviolet astronomy for the next decade is linked to the launch of the space observatory *Spektr-UV* (World Space Observatory — *UltraViolet*, or WSO/UV), also built by Lavochkin Association based on the *Navigator* bus and designed for spectroscopy of weak UV-sources.

The universe is poorly studied in the ultraviolet range and in the coming decade the UV-band studies will only gain importance. The areas selected for the research and the Observatory specifications will for at least the next 10–15 years maintain high scientific importance of the project and ensure that the tasks are executed at the highest technical level.

The global goal of the world space flights in this century is to explore the Solar system, to take human civilization to a higher level of development, while ensuring its security and survival in conditions of potential natural and man-made disasters of both terrestrial and cosmic origin. The main strategic goals of space exploration in the near and more distant future will be advancement in various areas of the Solar system in order to obtain new data on the Earth, the

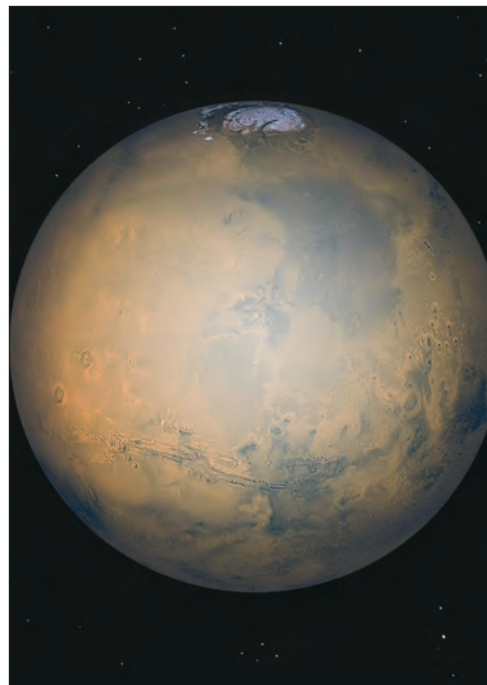
Универсальная многоцелевая спутниковая негерметичная платформа «Навигатор», созданная в НПО им. С.А.Лавочкина

Navigator platform — multi-purpose universal unpressurized satellite platform, developed by Lavochkin Association



Наиболее интересное место для исследований на Луне — кратер Богуславского, вблизи её южного полюса

Crater Boguslawsky near the South pole of the Moon is the most interesting site for exploration



Марс и его спутники — Фобос и Деймос — объекты перспективных российских научных миссий

Mars and its moons Phobos and Deimos are the objectives of future Russian science missions

Комплексные, системные исследования нашего естественного спутника — Луны, планеты Марс и его спутников — Фобоса и Деймоса — представляют большой интерес не только для практической космонавтики, но и для фундаментальной науки

Comprehensive exploration of the Moon, Mars and its companions Phobos and Deimos are interesting not only for practical cosmonautics, but for fundamental science as well

«Луна-25» — первый аппарат лунной программы на облегчённой платформе с небольшой полезной нагрузкой (30 кг) для отработки систем и технологии мягкой посадки и работы на поверхности Луны

Luna-25 is the first spacecraft of lunar program on a lightweight platform with small-scale payload (30 kg) for development of soft landing technologies and operations on the surface of the Moon

достижение более высокого уровня развития земной цивилизации при безусловном обеспечении её безопасности и выживаемости в условиях возможных природных и техногенных катастроф как наземного, так и космического происхождения. Основными стратегическими задачами космонавтики на ближайшее и более отдалённое будущее будет продвижение в различные области в пределах Солнечной системы в интересах получения новых данных о Земле, Солнечной системе и Вселенной в целом, развитие направления использования космического пространства земной цивилизацией.

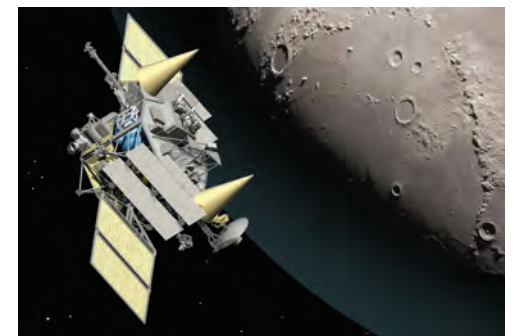
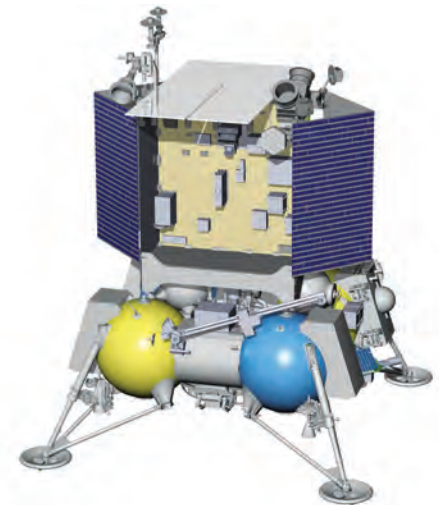
Собственно, сейчас только два небесных тела претендуют на то, чтобы войти в сферу интересов человечества по освоению. Это — Луна и Марс. Наш природный спутник уже посещали американские астронавты. Но их полёты стали промежуточным финишем относительно короткого забега. Если говорить о планомерном освоении, в частности, о создании лунной базы с экспедициями посещения или даже постоянным пребыванием человека, то первым этапом на этом пути должны стать тщательная разведка Луны, определение её наиболее интересных регионов, выработка задач освоения.

Для решения этих предварительных задач необходим запуск серии автоматических станций. Именно такая серия запланирована на 2018–2020-е годы.

Solar system and the universe as a whole, progress the use of outer space by human civilization.

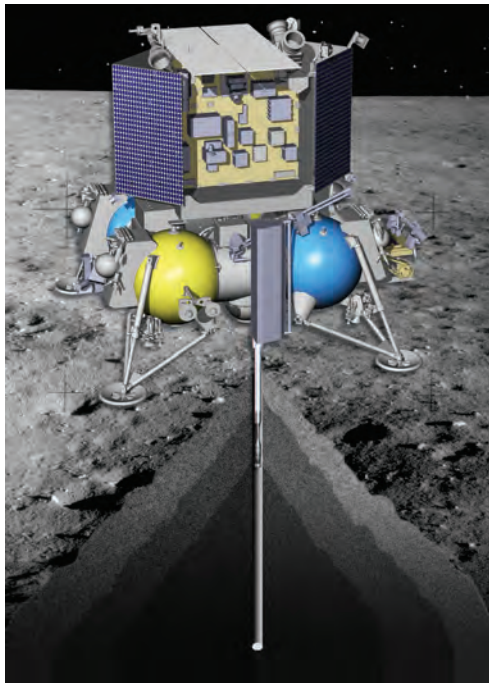
As of today only two celestial bodies are the nominates for potential area of interest for human exploration. They are the Moon and Mars. The US astronauts have already visited our celestial satellite. But their visits were an intermediate finish in the long race. Speaking of continuous exploration, in particular establishment of a lunar base with visiting crews or even permanent human habitation, the first step should be to explore the Moon carefully, define its most interesting regions, and point the directions of exploration.

Those preliminary tasks need a series of automated stations. Such a series is scheduled for 2018–2020's.



Возможный вид орбитального исследовательского аппарата «Луна-26», над приборами для которого работают учёные и специалисты ИКИ РАН. В полёте и с орбиты Луны аппарат должен будет исследовать не только Луну, но и космическое пространство

Artistic view of Luna-26 exploration orbiter, which will study the Moon and space environment both during cruise and mission phases. Instruments for it are currently under development in IKI



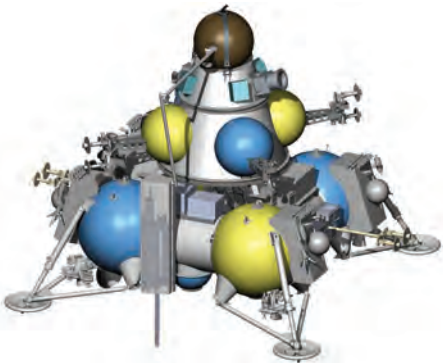
Возможный вид посадочного аппарата «Луна-27» с криогенной буровой установкой, разработанной в ИКИ РАН для анализа проб грунта на месте

Artistic view of Luna-27 lander with cryogen sampling device for in situ analysis, developed in IKI



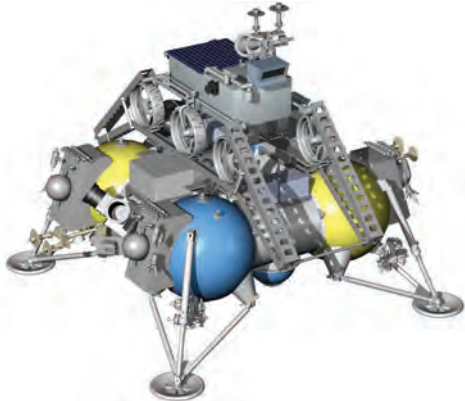
На полюсе Луны с посадочного аппарата сходит микролуноход

Lunokhod — moon rover egresses from the lander



«Луна-28» — бурение грунта и загрузка пробы в возвращаемую ракету

Luna-28 drilling the surface and loading the sample into the return rocket



Посадочный аппарат спутника «Луна-29» с луноходом нового поколения

Luna-29 lander with new-generation lunokhod

Кроме изучения самой Луны, в ходе её реализации предстоит отработать ключевые технологические моменты и будущих планетных экспедиций, прежде всего — марсианских: посадку, забор грунта, управление самоходным аппаратом на поверхности другой планеты, наконец, автоматическую доставку грунта других небесных тел на Землю.

Чтобы подчеркнуть преемственность российской и советской лунных программ, в названиях новых миссий будет продолжена нумерация, начатая советскими «Лунами». Первый аппарат серии — «Луна-25» (запуск в 2018 году) — планируется посадить в полярной области. Затем к нашему спутнику отправятся лунная орбитальная станция «Луна-26» и позже — второй посадочный аппарат «Луна-27» с бурильной установкой (посадка на другой полюс Луны). Вторым шагом лунной программы станут возврат грунта из полярной области («Луна-28») и доставка туда лунохода — «Луна-29» (планируются на 2020-е годы).

Ожидается, что срок жизни аппаратов составит около года. Посадочные аппараты будут выполнять исследования в районе лунных полюсов. Основная работа орбитального аппарата по изучению Луны и окололунного пространства пройдёт на низкой окололунной орбите высотой порядка 200 километров, после чего он будет уведён на более высокую орбиту (500...700 километров), где начнутся эксперименты по изучению космических лучей.

Along with studying the Moon some key technological aspects are also to be addressed during the implementation: landing, soil sampling, driving a vehicle on the surface of another planet, finally, automatic delivery of soil samples to the Earth.

To emphasize the continuity of Russian and Soviet lunar programs, the names of the new missions will continue the numbering started by the Soviet Lunas. The first of the series, *Luna-25* (or *Luna Glob* to be launched in 2018) will land in the polar region. Then the orbiter *Luna-26* (otherwise *Luna Resurs Orbiter*) will be launched, and later — the second lander *Luna-27* (*Luna Resurs Lander*) with a drilling unit. The second step of the program is to bring lunar soil from the polar region (*Luna-28*) and deliver the rover *Luna-29* (scheduled for 2020's).

Each spacecraft lifetime is estimated to be about a year. The landers will do research near the lunar poles. The orbiter will mainly work to study the Moon and near-moon space at a low circumlunar orbit of 200 km, after that it will be put into a higher orbit (500–700 km), and proceed with experiments to study cosmic rays.

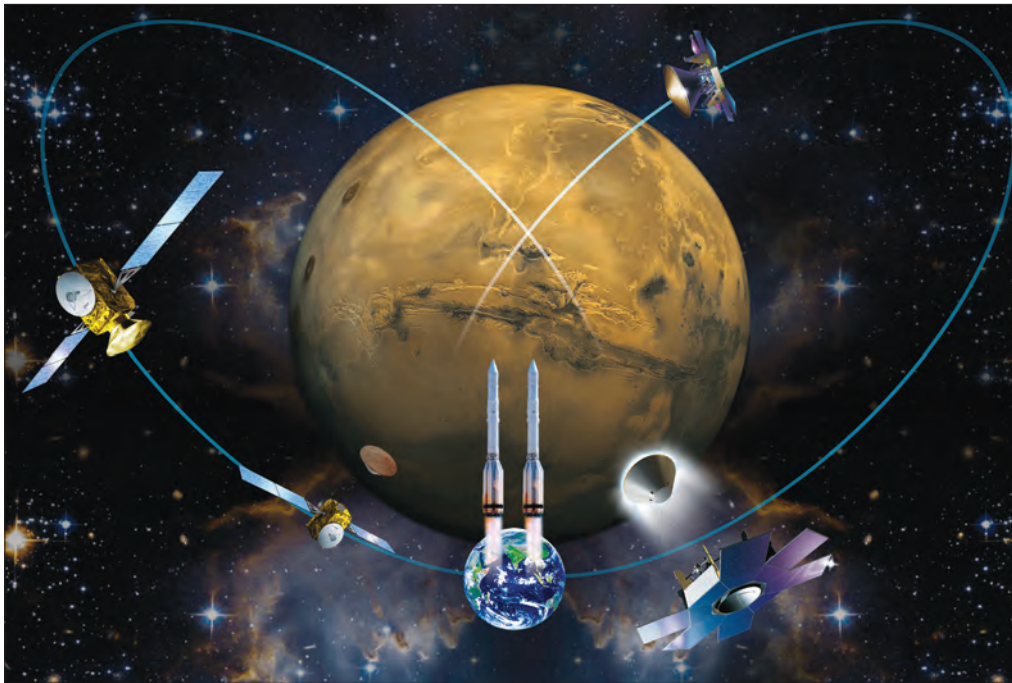
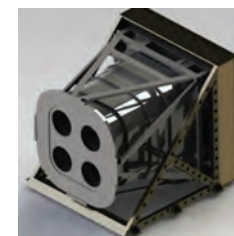
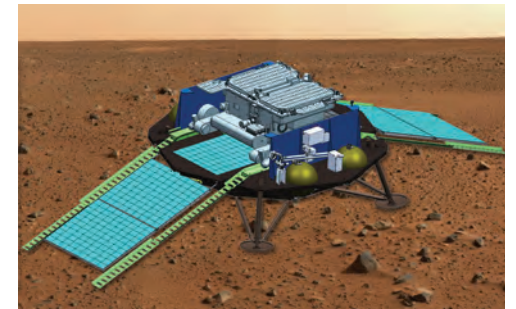


Схема комплексного международного проекта ЭКЗОМАРС — спутники «Экзомарс-1» и «Экзомарс-2». Выведение российскими ракетами «Протон» и доставка к Марсу орбитальных и посадочных аппаратов

The scheme of ExoMars international project, which includes two stages. Russian Proton launchers insert the orbiters and landers into the orbit to Mars

Справа: посадочная платформа НПО им. С. А. Лавочкина и европейский марсоход (© ESA)

Right: The landing platform developed in Lavochkin Association and European rover (© ESA)



ФРЕНД — один из российских приборов проекта ЭКЗОМАРС — нейтронный прибор с коллиматором и модулем дозиметрии

FRENД — one of Russian instrument for ExoMars payload, neutron detector with collimator and dosimetry module

Активно обсуждается возможное участие в российской лунной программе Европейского космического агентства. В частности, в проекте ЛУНА-25 европейский вклад может состоять в значительном улучшении точности посадки станции на лунную поверхность. Также европейские коллеги с интересом относятся к возможности поставить бурильную установку на станцию «Луна-27».

Следует отметить, что исследования, которые будут проводиться в рамках этой программы, — не повторение советских. Современные планы лунных экспедиций нацелены, в первую очередь, на полярные области Луны, мало похожие на экваториальные районы, которые исследовались в 1969–1970 годах.

В частности, по данным недавних исследований, в том числе с помощью российского прибора ЛЕНД на американском аппарате LRO, выяснилось, что в грунте полярных областей могут содержаться значительные запасы водяного льда. Задача исследователей — выяснить, как они могли там образоваться (возможно, воду занесли кометы), а инженеров — понять, можно ли использовать эту воду в качестве ресурсов для лунной базы.

Технологии, которые станут отрабатываться в ходе лунных миссий, будут также использоваться в последующих марсианских проектах. Марсианская программа России включает в первую очередь полномасштабное участие в европейском проекте ЭКЗОМАРС, который содержит не только совместное проведение научных экспериментов, но и создание

The European Space Agency is a potential candidate for participation in the Russian lunar program. In particular, European partners may significantly improve *Luna-25* landing accuracy. Also, European colleagues have an interest to supply their drilling equipment for *Luna-27*.

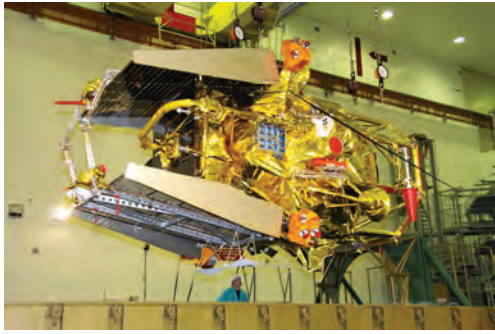
It should be noted that the schedule for this program is not a reiteration of Soviet undertakings. The scheduled lunar missions are aimed primarily at the polar regions of the Moon, which barely resemble the equatorial regions explored in 1969–1970.

In particular, according to recent studies performed among others with the Russian LEND instrument aboard the US LRO orbiter, soil of the lunar polar regions may contain reservoirs of water ice. The researchers will have to discover their origin (perhaps, it was brought by comets), and engineers — to see whether it is possible to use this water as a resource for a lunar base.

Technologies employed during the lunar missions will also be used in future Martian projects. Russian Mars program primarily includes full participation in the European *ExoMars* project with not only joint experiments, but also joint infrastructure: ground communication and deep space mission control center.

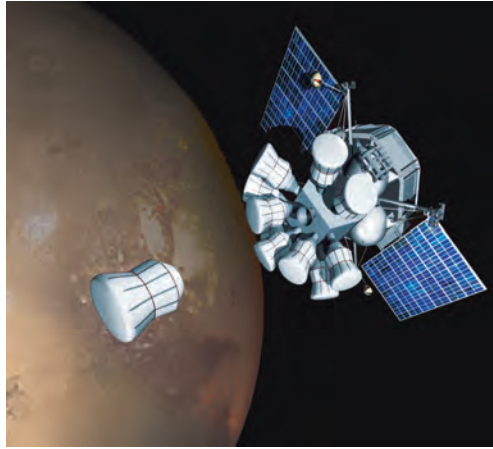
На аппаратах проекта ЭКЗОМАРС будут размещены несколько прецизионных приборов, разработанных в ИКИ РАН: эшелле-спектрометры ACS-NIR и ACS-MIR, фурье-спектрометр TIRVIM (в составе комплекса ACS), нейтронные детекторы FRENД и ADRON. Все эти приборы — новые, современные версии инструментов, хорошо зарекомендовавших себя в различных миссиях по исследованию Луны, Марса и Венеры

ExoMars spacecraft shall bear several instruments built in IKI: Echelle spectrometers ACS-NIR and ACS-MIR, Fourier spectrometer TIRVIM (all three in the ACS spectrometric package), neutron detectors FRENД and ADRON. All of them are new and advanced versions of successful instruments, working in missions to Moon, Mars, and Venus



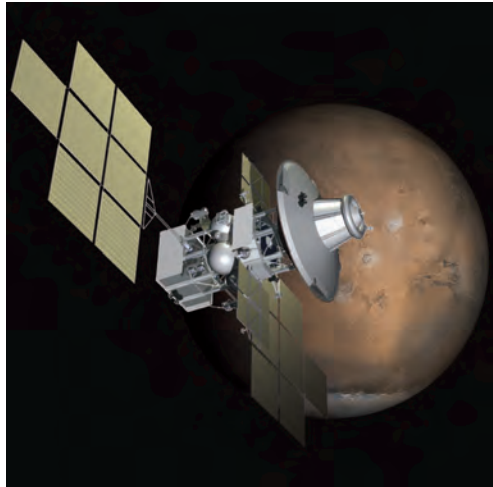
Возможно так будет выглядеть космический аппарат НПО им. С. А. Лавочкина для миссии БУМЕРАНГ

Probable design of the spacecraft for Boomerang mission. Lavochkin Association



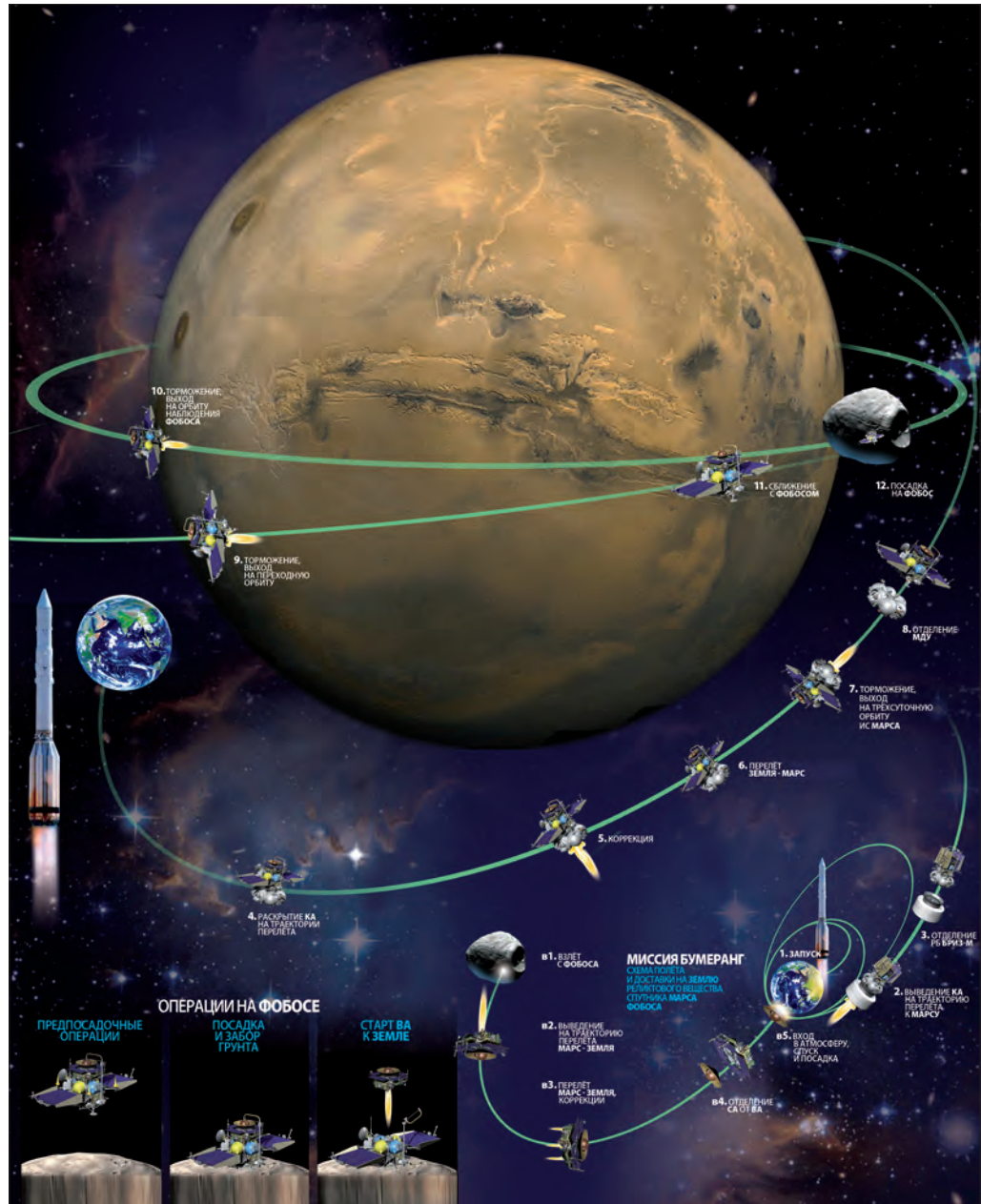
Проект миссии по мониторингу параметров климата Марса MetNet (остановлен). Некоторые элементы этой миссии планируются развить в проекте «ЭкзоМарс»

MetNet — mission to study Martian climate (suspended). Some of its elements are used for ExoMars project



Перспективная российская миссия доставки на Землю образцов грунта Марса- ГРУНТ

Mars Sample Return — future Russian mission to return samples of Martian soil



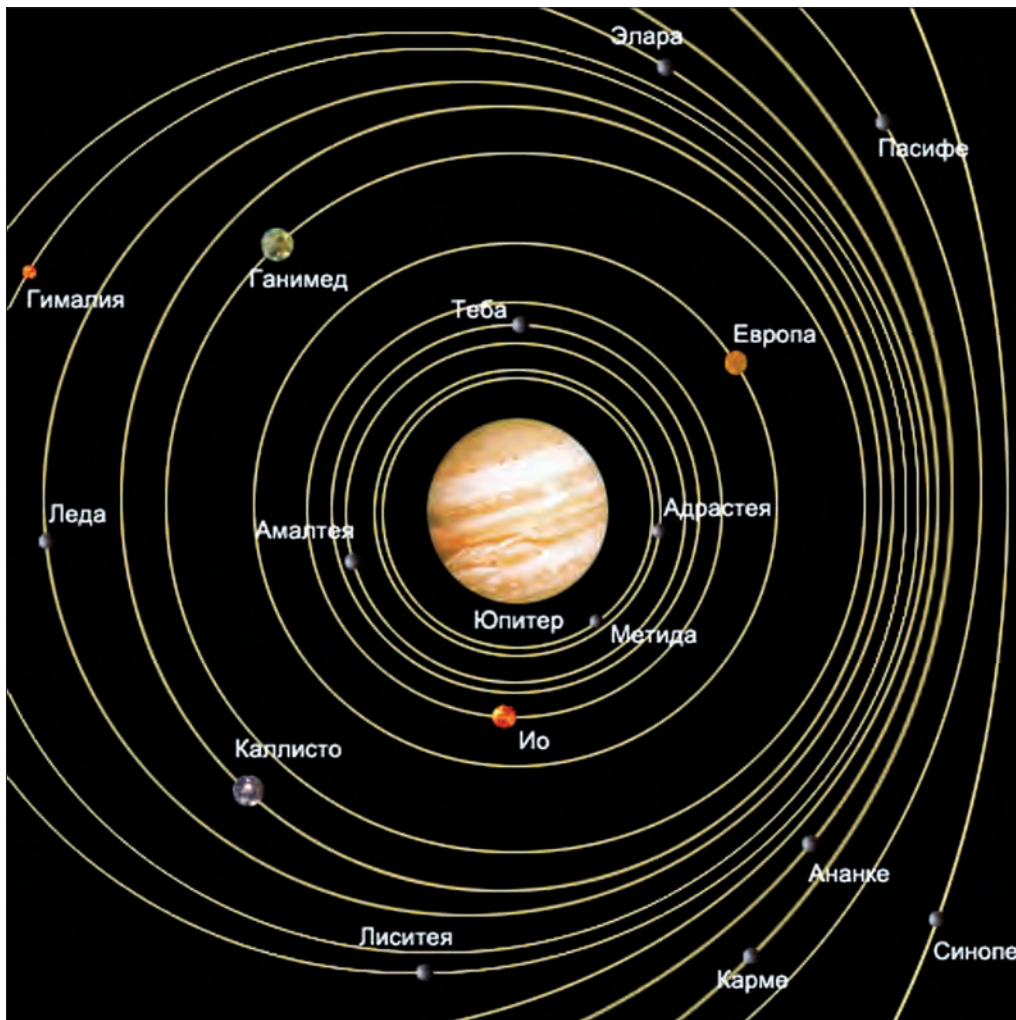
Баллистическая схема миссии БУМЕРАНГ с целью доставки на Землю образцов вещества спутника Марса — Фобоса

Ballistic scheme of Boomerang mission to deliver samples of Martian moon Phobos to the Earth

инфраструктуры, в частности, объединённого наземного комплекса приёма данных и управления межпланетными миссиями.

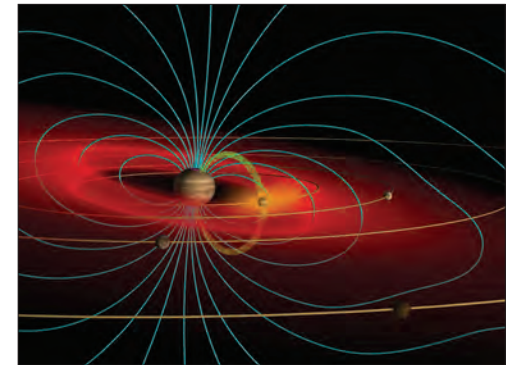
Проект предполагает запуск с помощью российских носителей «Протон» двух космических аппаратов. Во втором, с помощью разрабатываемого в НПО им. С.А. Лавочкина десантного модуля, будет доставлен на поверхность Марса марсоход Европейского космического агентства (ЕКА). Задача марсохода — геологические исследования и поиск следов жизни в подповерхностном слое грунта около места посадки.

In the course of the project Russian *Proton* launchers will loft two mission. Then ESA's Mars rover *Pasteur* will land on the planet using Lavochkin Association descent module. The rover will do geological studies and search for life in the subsurface layer of soil near the landing site.



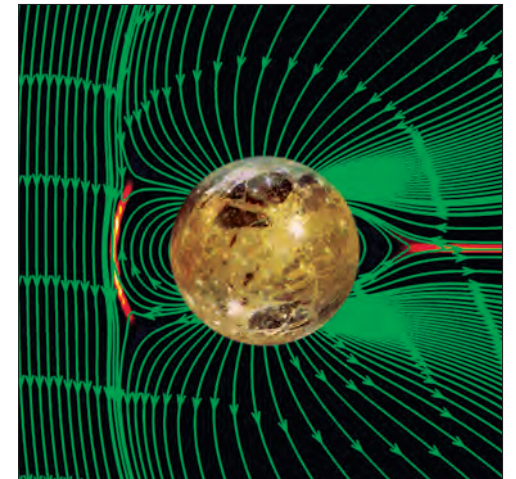
Система спутников планеты-гиганта — Юпитер

System of the giant planet Jupiter's moons



Мощнейшая магнитосфера Юпитера — основное препятствие для миссии в систему Юпитера и предмет большого интереса учёных

Jupiter's immense magnetosphere is the primary threat for the mission to the planet and the phenomenon of great interest for scientists



Цель миссии к системе Юпитера — Ганимед имеет свою мощную магнитосферу

Ganymede, the target of mission to Jupiter's system, possesses a magnetosphere of its own

Затем, в начале 2020-х годов, планируется вернуться к задаче исследования спутника Марса — Фобоса, которая стояла перед проектом ФОБОС-ГРУНТ. Этот возврат символизирует и само название нового проекта БУМЕРАНГ. Доставка грунта с Фобоса остаётся интересной научной задачей, которую пока не предполагается решать в космических программах других стран. Кроме того, операции по забору грунта Фобоса и его транспортировке на Землю позволят отработать технологии доставки грунта уже непосредственно с Марса.

Большой интерес представляет и изучение дальних рубежей Солнечной системы, что важно для понимания её происхождения и эволюции. После 2020 года Россия планирует запустить к Юпитеру, точнее к его спутнику Ганимед, свою первую миссию с посадкой аппарата на его поверхность.

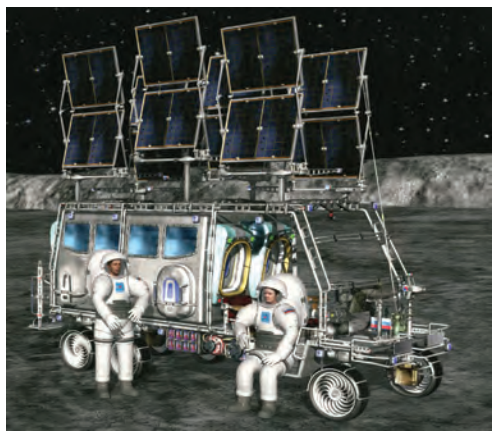
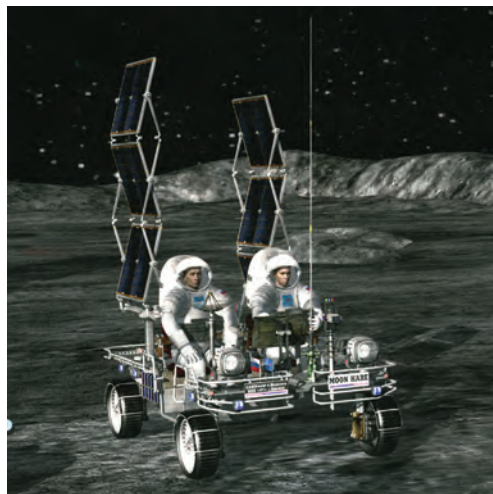
Then in 2020's the Martian moon Phobos is planned to be revisited. This task was previously assigned to the failed *Phobos Sample Return* project. The very name of the new project *Boomerang* represents this return. Delivery of soil samples from Phobos is an interesting scientific problem, which is not yet scheduled in the space programs of other nations. Moreover, sampling soil from Phobos and bringing it back to the Earth is an exercise of technology for delivering soil from Mars.

Exploration of the outer reaches of our Solar system is of great importance for understanding its origin and evolution. After 2020 Russia plans to launch to Jupiter, or rather to its satellite Ganymede, its first mission, which will land on the moon's surface.



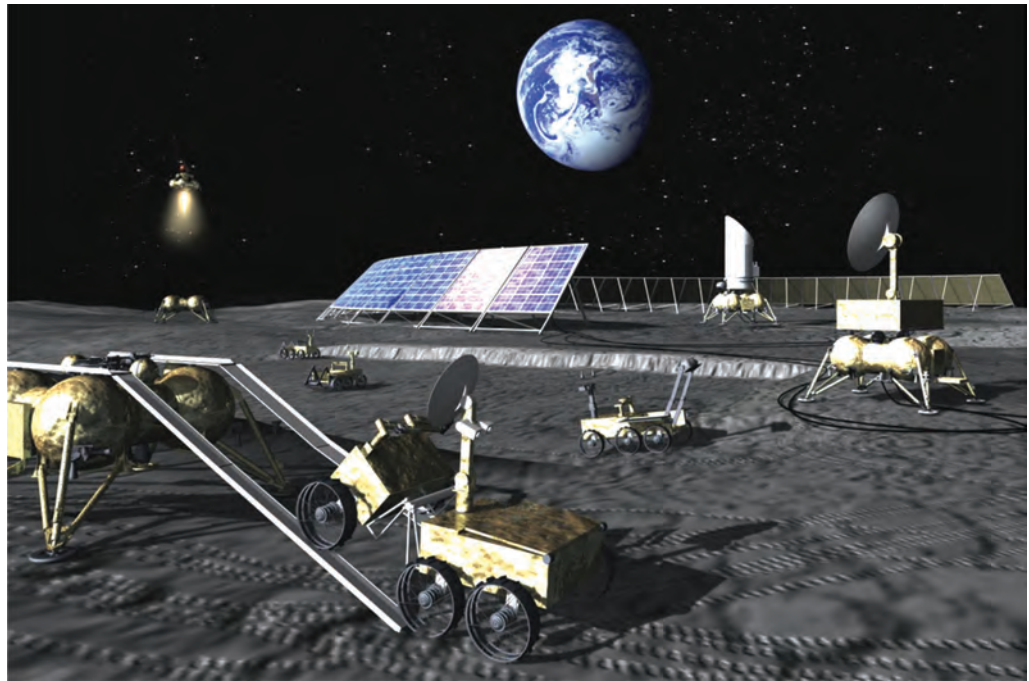
Очень интересна и миссия МЕРКУРИЙ-П к ближайшей к Солнцу планете — Меркурию

Mercury-P mission to the planet closest to the Sun



Вверху: проработки элементов лунной программы Роскосмоса головным НИИ отрасли — ЦНИИМАШ. Визуализация НИИ Высших технологий (Ижевск), представленная на выставке «Наука на МКС» в рамках международной конференции «Научные и прикладные исследования на МКС», прошедшей в ИКИ РАН в 2015 году

Top. Some elements of Roscosmos lunar program, as imaged by TSNIMASH, the head institute of space industry. Visualisation by "High Technologies" Institute (Izhevsk), presented at "Science at the ISS" exhibition (2015, IKI)



Полностью автоматизированный «Лунный полигон» в представлении специалистов НПО им. С. А. Лавочкина

Fully automatic lunar base. Image by Lavochkin Association

Полёт в систему Юпитера займёт около восьми лет и будет проходить по комбинированной баллистической схеме, включающей четыре гравитационных манёвра у Венеры и Земли на гелиоцентрическом этапе миссии и завершающейся целым каскадом таких манёвров около юпитерианских лун. Отдельную сложную задачу представляет и посадка на Ганимед. В целом, как по научным задачам, так и по технической сложности такая миссия может стать лидерским проектом отечественной космонавтики.

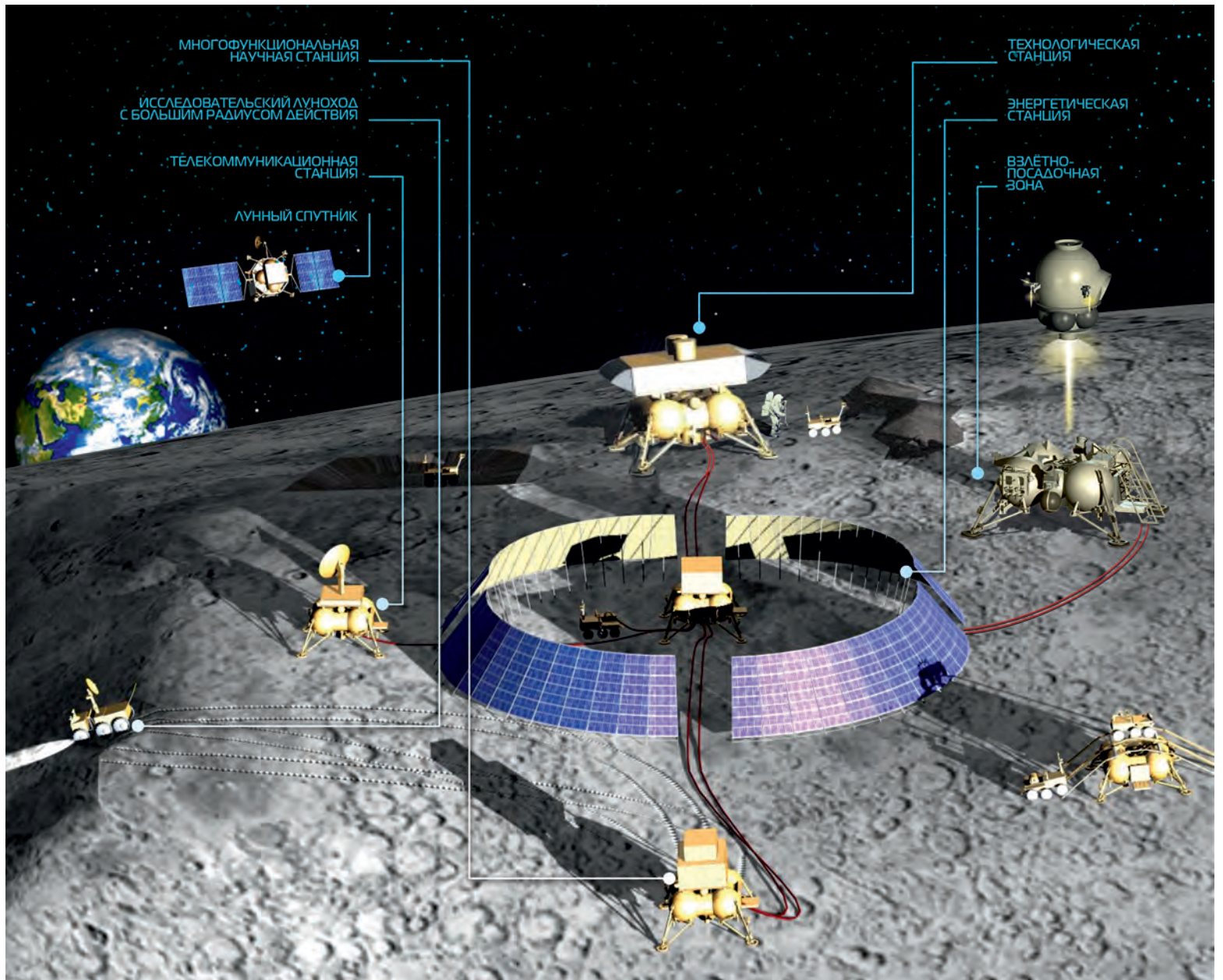
Что касается Марса, то он пока так и останется предметом изучения, а не освоения: планета находится от нас слишком далеко, чтобы сегодня можно было говорить об её реальной пользе для человечества. Да и сами возможности полёта туда человека пока под большим вопросом, прежде всего, с точки зрения обеспечения радиационной безопасности экипажа миссии.

Луна — иное дело. Кроме научного, она представляет и практический интерес. В частности, на Луне можно расположить астрономические обсерватории, наблюдениям которых не будет мешать атмосфера и радиоизлучения, как это имеет место на Земле и околоземных орбитах. И, безусловно, Луна как спутник может стать источником ресурсов, прежде всего, редких элементов, запасы которых на Земле ограничены. Луна, очевидно, будет и первым этапом подготовки пилотируемой экспедиции на Марс, если трудности её реализации всё-таки удастся преодолеть.

The trip to Jupiter will take about eight years and will use combined ballistic scheme consisting of four gravity assists from Earth and Venus at the mission's heliocentric stage and will complete with a whole cascade of such maneuvers around Jupiter's moons. Landing on Ganymede is a separate difficult undertaking. Both in scientific terms and its technical complexity such a mission may become a flagman project for Russian cosmonautics.

As for Mars, it still remains the subject of scientific studies rather than exploration: the planet is too far away to discuss its real benefits to mankind today. Even the possibility of a single human flight is questionable, first of all with regard to radiation safety of the crew during the mission.

The Moon is a different case. It has a practical interest besides its scientific potential. In particular it may be used as a site for astronomical observatories with no hindering atmosphere and ionosphere, as is the case on the Earth and near-Earth orbits. And, of course, the Moon as our satellite may become a source of fossils, especially rare metals, since they are limited on Earth. The Moon is likely to become the first stage of preparation for the manned expedition to Mars, should we overcome the difficulties of interplanetary flight.



Развитие большой ЛУННОЙ БАЗЫ из полностью автоматической в многоцелевой комплекс, обслуживаемый космонавтами, в представлении специалистов НПО им. С. А. Лавочкина

Further development of fully automatic lunar base to a multi-purpose complex attended by cosmonauts. Image by Lavochkin Association

СОТРУДНИКИ
IKIPEOPLE

**ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК
СЕГОДНЯ**

**SPACE
RESEARCH
INSTITUTE
OF THE RUSSIAN
ACADEMY OF SCIENCES
TODAY**

Современные космические исследования — сплав наблюдения и эксперимента, теории и инженерных знаний. Ракетно-космическая техника подарила человеку возможность отправить научные инструменты за пределы земной атмосферы, на другие планеты и даже в межзвёздное пространство. Чтобы поставить космический эксперимент, необходимо представлять не только сущность процессов, которые планируется изучить, но и возможности современных методов и инструментов.

Главная особенность ИКИ — это Институт и для теоретического и для инструментального изучения космоса. Сотрудники ИКИ предлагают идеи новых космических проектов и экспериментов и воплощают их, создавая соответствующие научные и служебные системы и приборы и определяя планы их работы. Когда космический эксперимент начинает работу, наступает время получать и обрабатывать научную и служебную информацию, которая, в свою очередь, становится основой для научных обобщений и новым «кирпичиком» в здании наших представлений о Вселенной и месте планеты Земля в ней.

Всё это требует знаний из самых разных областей современной физики, астрономии, химии, математики, биологии и других наук, инженерной базы, опытного производства и испытательного оборудования, средств коммуникации и управления космическими аппаратами, мощных систем обработки телеметрической информации и больших хранилищ научных данных. В соответствии с этим и выстроена структура Института, которая объединяет научные и приборостроительные отделы. Разделить эти две ипостаси иногда непросто, поэтому формальные границы, как и границы между отдельными лабораториями, часто легко проницаемы.

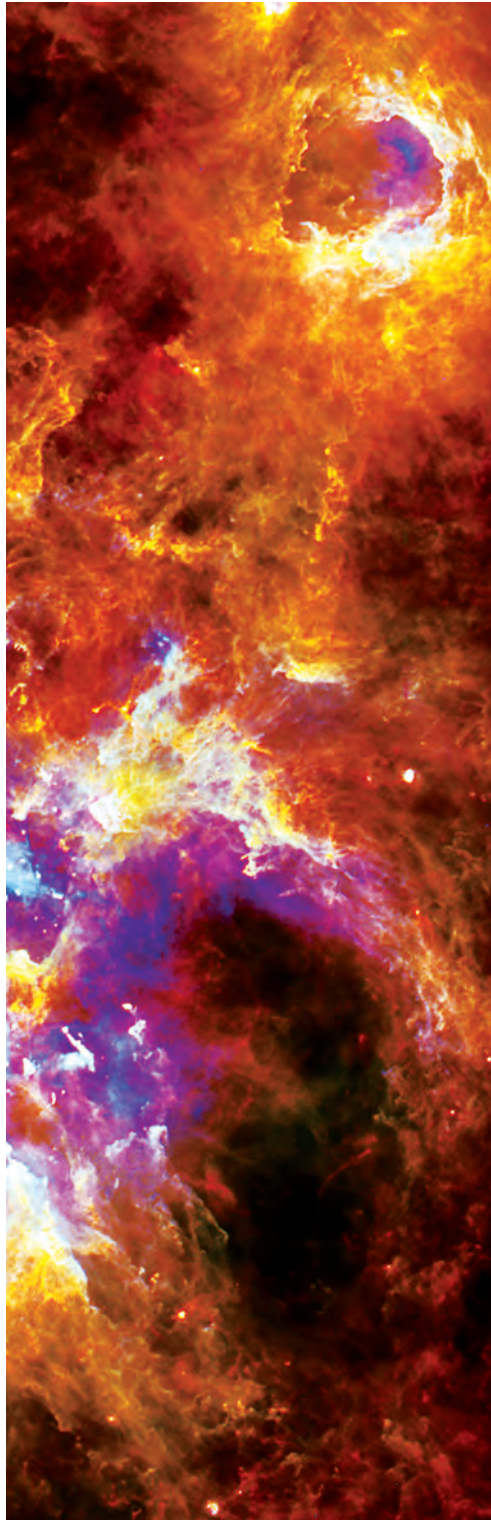
ИКИ РАН участвует в выполнении Федеральной космической программы России, координируя создание научной аппаратуры, совместную работу всех членов кооперации, включая международную кооперацию. В ряде других проектов, российских и зарубежных, ИКИ РАН выступает как участник научной программы, поставляя часть научной аппаратуры, обрабатывая научную информацию, участвуя в баллистико-навигационной подготовке проекта. Кроме этого, сотрудники ИКИ ведут теоретические исследования, строят численные модели и проводят наземные эксперименты для поддержки космических.

Today's space exploration is a combination of observation and experiment, theory and engineering knowledge. Rocket and space technology presented the humankind with an opportunity to send scientific instruments beyond the Earth's atmosphere, to other planets, and even to the interstellar space. But to make space experiment work, one should understand not only the essence of processes to be examined but also the capabilities of methods and tools one intends to use.

IKI's primary feature is that it is the institute for both theoretical and instrumental examination of space. IKI's researchers propose ideas of new space projects and experiments and put them into practice by building respective scientific and service hardware and systems. When a space experiment starts, it is time to acquire and process scientific and service data, which, in its turn, become the basis for scientific discussion and a new element in our picture of the Universe and the Earth's place in it.

All these require knowledge in many fields of modern physics, astronomy, chemistry, mathematics, biology, and other sciences, an engineering base, pilot production and test facilities, communication networks and flight control centres, powerful telemetry data processing systems and large research data banks. To meet these needs, the Institute structure combines both scientific and engineering departments. Sometimes it is not easy to separate these two entities and for this reason the formal borders as well as the borderlines between the laboratories are often freely permeable.

IKI participates in the Russian Federal Space Program. The Institute coordinates development of the scientific payload for certain projects, joint operations of all collaborators on the projects, including foreign participants. In other projects, both Russian and foreign, IKI enters research programs and supplies part of scientific equipment, processes information, provides ballistic and navigational support. In addition, IKI's researchers conduct theoretical studies, develop computational models, and conduct ground experiments to support space ones.



**ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК
В ЛИЦАХ И ЧИСЛАХ
НА НАЧАЛО 2015 ГОДА**

1022 сотрудника, в том числе — 250 научных сотрудников, 61 доктор наук, 123 кандидата наук

3 действительных члена Российской академии наук, 2 члена-корреспондента Российской академии наук

10 научных отделов и 5 комплексных подразделений

338 статей, подготовленных в рамках проводимых фундаментальных исследований, опубликованы в 2014 г. в рецензируемых отечественных и рейтинговых зарубежных журналах

54 гранта Российского фонда фундаментальных исследований, 8 грантов Российского научного фонда, участие в 13 программах Президиума РАН, 9 программах Отделения физических наук РАН

2 гранта в рамках 7-й Рамочной программы Европейской комиссии.

В рамках программы Совета по грантам Президента РФ по государственной поддержке молодых российских учёных — докторов и кандидатов наук поддержаны четыре проекта.

В рамках программы Совета по грантам Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ поддержаны школы:

- *Теоретические и экспериментальные исследования в области астрофизики высоких энергий* (руководитель — академик Р. А. Сюняев)
- *Изучение формирования и динамики многомасштабных плазменно-волновых взаимодействий, процессов ускорения и переноса заряженных частиц в космической плазме* (руководитель — академик Л. М. Зеленый)
- *Исследование физических процессов в молодых звёздах, сверхновых, рентгеновских источниках и космических гамма-всплесках: взрывы, аккреция и истечение* (руководитель — д-р физ.-мат. наук Г. С. Бисноватый-Коган)
- *Динамические системы классической механики и проблемы управления* (руководитель — академик В. В. Козлов, МИАН им. В. А. Стеклова, исполнитель в ИКИ — д-р физ.-мат. наук А. И. Нейштадт)

**SPACE RESEARCH
INSTITUTE
OF RUSSIAN ACADEMY
OF SCIENCES —
PEOPLE AND FIGURES —
ON THE BEGINNING OF 2015**

1022 staff members, including 250 researchers, 61 doctor of sciences, 123 PhD*

3 full members of the Russian Academy of Sciences, 2 correspondent members of the Russian Academy of Sciences

10 scientific departments and 5 integrated departments

338 articles prepared as a part of the fundamental researches published in 2014 in the peer-reviewed Russian and top-rated foreign journals

54 grants of Russian Foundation for Basic Research, 8 grants of Russian Science Foundation, participant in 13 programs of Presidium of Russian Academy of Sciences and 9 programs of Physics Division of the RAS

2 grants of the European Union's Seventh Framework Program

4 projects supported by the program of the Russian President Fellowship Council for state support of young Russian scientists — doctors and candidates of sciences

The following schools supported by the program of the Russian President Fellowship Council for state support of the leading scientific schools:

- *Theoretical and Experimental Research in High Energy Astrophysics* (lead. academician R. A. Sunyaev),
- *Studies of Formation and Dynamics of Multiscale Plasma-Wave Interaction, Charged Particles Acceleration, and Transport Processes in Space Plasma* (lead. academician L. M. Zelenyi),
- *Studies of Physical Processes in Young Stars, Supernovae, X-Ray Sources and Space Gamma-Ray Bursts: Explosions, Accretion, and Outflows* (lead. Prof. Dr. G. S. Bisnovaty-Kogan)
- *Dynamic Systems of Classical Mechanics and Problems of Control* (lead. academician V. V. Kozlov, Steklov Mathematical Institute of the RAS; IKI's participant — Dr. A. I. Neistadt)

* In Russian academic system Doctor and Candidate of Sciences are two degrees, with the latter (roughly equivalent to Ph.D.) preceding the former. Note, that below in the English text both degrees are referred to as Dr.



**РУКОВОДСТВО
ИНСТИТУТА
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК**

**DIRECTORY BOARD
SPACE RESEARCH
INSTITUTE
OF RUSSIAN
ACADEMY
OF SCIENCES**



**Директор —
профессор, д-р физ.-мат.
наук, академик РАН,
вице-президент РАН
Лев Матвеевич Зеленый**

*Director —
Prof. Dr. Lev M. Zelenyi,
academician, vice president
of the Russian Academy
of Sciences*



**Учёный секретарь —
д-р физ.-мат. наук
Александр
Валентинович Захаров**
*Academic secretary —
Dr. Alexander V. Zakharov*

ЗАМЕСТИТЕЛИ ДИРЕКТОРА ИНСТИТУТА / DEPUTY DIRECTORS



**НАЗИРОВ
Равиль Равильевич —
д-р техн. наук,
заместитель
директора
по оперативному
управлению
институтом**

*Dr. Ravil R. NAZIROV —
operation
management*



**КОРАБЛЁВ
Олег Игоревич —
д-р физ.-мат. наук,
заместитель
директора
по вопросам
обеспечения проекта
ЭКЗОМАРС**

*Dr. Oleg I. KORABLEV —
project ExoMars
support*



**ПАВЛИНСКИЙ
Михаил Николаевич —
д-р физ.-мат. наук,
заместитель
директора
по вопросам
обеспечения проекта
СПЕКТР-РЕНТГЕН-
ГАММА**

*Dr. Mikhail N. PAVLINSKY —
project Spektr-RG
support*



**ЛУПЯН
Евгений Аркадьевич —
д-р техн. наук,
заместитель
директора
по вопросам
обеспечения проектов
дистанционного
зондирования Земли**

*Dr. Evgeny A. LUPIAN —
Earth remote
sensing projects
support*



**ЧУЛКОВ
Илья Владиленович —
заместитель
директора
по приборостроению**

*Ilya V. CHULKOV —
instrument design
and development
support*



Главное здание ИКИ РАН со стороны улицы Обручева. Фотография сделана космическим фотоаппаратом КМСС, предназначенным для цифровой панхроматической стереосъемки земной поверхности. Создан в оптико-физическом отделе ИКИ РАН

IKI from Obruchev Str. Main building. Image is taken with KMSS camera (multispectral satellite imaging complex), designed for digital panchromatic stereophotography of the Earth's surface. Developed by Optico-Physical Department of IKI

ЗАМЕСТИТЕЛИ ДИРЕКТОРА ИНСТИТУТА / DEPUTY DIRECTORS



КОСТЕНКО Валерий Иванович — д-р техн. наук, заместитель директора по изобретениям и инновационной деятельности

Dr. Valery I. KOSTENKO — invention and innovation management



БИРЮКОВ Михаил Викторович — заместитель директора по специальным вопросам

Mikhail V. BIRYUKOV — special issues



МЕДВЕДЕВ Владимир Николаевич — заместитель директора по вопросам безопасности и международному сотрудничеству

Vladimir N. MEDVEDEV — international cooperation and security issues



ХАВЕНСОН Николай Гедалиевич — заместитель директора по инженерному и материально-техническому обеспечению

Nikolai G. KHAVENSON — facilities and equipment support



УСТИНОВ Алексей Николаевич — заместитель директора по общим вопросам

Alexei N. USTINOV — general issues

**УЧЁНЫЙ СОВЕТ
ИНСТИТУТА**
ACADEMIC
SECRETARY



- Зеленый Лев Матвеевич** — академик РАН — председатель
Аванесов Генрих Аронович — д-р техн. наук
Барталёв Сергей Александрович — д-р техн. наук
Бессонов Роман Валерьевич — канд. техн. наук
Бисноватый-Коган Геннадий Семёнович — д-р физ.-мат. наук
Буренин Родион Анатольевич — канд. физ.-мат. наук
Буриная Татьяна Михайловна — канд. физ.-мат. наук
Вайсберг Олег Леонидович — д-р физ.-мат. наук
Герасимов Михаил Владимирович — канд. физ.-мат. наук
Гильфанов Марат Равильевич — д-р физ.-мат. наук
Гребенёв Сергей Андреевич — д-р физ.-мат. наук
Ермолаев Юрий Иванович — д-р физ.-мат. наук
Ерохин Николай Сергеевич — д-р физ.-мат. наук
Засова Людмила Вениаминовна — д-р физ.-мат. наук
Застенкер Георгий Наумович — д-р физ.-мат. наук
Захаров Александр Валентинович — д-р физ.-мат. наук
Измоденов Владислав Валерьевич — д-р физ.-мат. наук
Климов Станислав Иванович — д-р физ.-мат. наук
Ковражкин Ростислав Алексеевич — д-р физ.-мат. наук
Кораблёв Олег Игоревич — д-р физ.-мат. наук
Лаврова Ольга Юрьевна — канд. физ.-мат. наук
Лупян Евгений Аркадьевич — д-р техн. наук
Лутвинов Александр Анатольевич — канд. физ.-мат. наук
Митрофанов Игорь Георгиевич — д-р физ.-мат. наук
Моисеенко Сергей Григорьевич — д-р физ.-мат. наук
Мокроусов Максим Игоревич — канд. физ.-мат. наук
Назирова Равиль Равильевич — д-р техн. наук
Павлинский Михаил Николаевич — д-р физ.-мат. наук
Петросян Аракел Саркисович — д-р физ.-мат. наук
Петрукович Анатолий Алексеевич — чл.-кор. РАН
Ревнивцев Михаил Геннадьевич — д-р физ.-мат. наук
Сагдеев Рюальд Зиннурович — академик РАН
Садовский Андрей Михайлович — канд. физ.-мат. наук
Сазонов Сергей Юрьевич — д-р физ.-мат. наук
Семена Николай Петрович — канд. техн. наук
Струминский Алексей Борисович — д-р физ.-мат. наук
Суняев Рашид Алиевич — академик РАН
Фёдорова Анна Александровна — канд. физ.-мат. наук
Чуразов Евгений Михайлович — чл.-кор. РАН
Шарков Евгений Александрович — д-р физ.-мат. наук
Шкляр Давид Рувимович — д-р физ.-мат. наук
Эйсмонт Натан Андреевич — канд. техн. наук

Academician Lev M. Zelenyi — Chair

Dr. Genrikh A. Avanesov
 Dr. Sergey A. Bartalev
 Dr. Roman V. Bessonov
 Dr. Gennadiy S. Bisnovatyi-Kogan

Dr. Rodion A. Burenin

Dr. Tatyana M. Burinskaya

Dr. Oleg L. Vaisberg
 Dr. Mikhail V. Gerasimov

Dr. Marat R. Gilfanov
 Dr. Sergey A. Grebenev
 Dr. Yuri I. Yermolaev
 Dr. Nikolai S. Erokhin
 Dr. Ludmila V. Zasova

Dr. Georgy N. Zastenker
 Dr. Alexander V. Zakharov

Dr. Vladislav V. Izmodenov

Dr. Stanislav I. Klimov
 Dr. Rostislav A. Kovrazhkin

Dr. Oleg I. Korablev
 Dr. Olga Yu. Lavrova
 Dr. Evgeny A. Lupian
 Dr. Alexander A. Lutvinov

Dr. Igor G. Mitrofanov

Dr. Sergey G. Moiseenko
 Dr. Maxim I. Mokrousov
 Dr. Ravil R. Nazirov
 Dr. Mikhail N. Pavlinsky

Dr. Arakel S. Petrosyan
 Dr. Anatoly A. Petrukovich, RAS correspondent member
 Dr. Mikhail G. Revnitsev

Academician Roald Z. Sagdееv
 Dr. Andrey M. Sadovskiy

Dr. Sergey Yu. Sazonov
 Dr. Nikolai P. Semena
 Dr. Alexey B. Struminsky

Academician Rashid A. Sunyaev
 Dr. Anna A. Fedorova

Dr. Evgeny M. Churazov, RAS correspondent member
 Dr. Evgeny A. Sharkov

Dr. David R. Shklyar
 Dr. Natan A. Eismont

НАУЧНЫЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ SCIENTIFIC DEPARTMENTS

В названии отдела соединены космос и Земля, так как работы его сотрудников касаются процессов, общих для природы в целом, — самоорганизации систем, зарождения крупномасштабных структур в сплошных средах, волновые процессы, генерация быстрых частиц. К таким средам относятся и атмосферы планет, в том числе нашей, и солнечный ветер — поток плазмы, и магнитосферы планет и других объектов Вселенной.

За свою историю отдел пережил ряд трансформаций. Он начинался с лаборатории в составе отдела прикладной космической физики, которой руководил профессор **Семён Самойлович Моисеев** (23.11.1929–05.06.2002), крупнейший специалист в области физики плазмы, теории турбулентности и процессов самоорганизации в неравновесных средах.

Позже, когда лаборатория превратилась в отдел прикладных космических исследований (а затем отдел космогеофизики), перед сотрудниками были поставлены следующие задачи: 1) фундаментальные исследования в области физики атмосферы; 2) фундаментальные исследования в области нелинейной физики, физики плазмы и гидродинамики; 3) связь фундаментальных и прикладных исследований. Центральной проблемой, которая объединила эти направления, была самоорганизация и, прежде всего, проблема устойчивости и зарождения крупномасштабных структур в сплошных средах.

Таким образом, тематика работ отдела включала фундаментальные и прикладные задачи, экспериментальные и теоретические работы. Так, в конце 1980-х гг. сотрудники отдела участвовали в экспедициях для экспериментальной проверки теоретических механизмов зарождения тропических циклонов. В 1990-х гг. разрабатывались приборы для дистанционного изучения Марса (бортовой лидар) и наблюдений Солнца (рентгеновский полупроводниковый спектрометр РПС-1), аппаратура для плазменных экспериментов на борту орбитальных станций.

Параллельно с этим в теоретических работах исследовалось распространение электромагнитных волн в плазме, что важно и для ближнего космоса, и для далёких астрофизических объектов. Работы в области теории динамического хаоса развивались в приложения к поверхности Марса, динамике тайфунов, движению астероидов, комет и космических аппаратов.

The department name combines the space and the Earth since its researchers study processes common for the nature in general — self-organization of systems, wave processes, generation of high-energy particle fluxes, large-scale structures formation in continuous media. Among those are planetary atmospheres including our planet and the solar wind — the stream of plasma, as well as planetary and stellar magnetospheres.

Over the course of its history the department experienced several transformations. It was established as a laboratory within the Applied Space Physics department headed by **S. S. Moiseev**, professor, and a distinguished scholar in the field of plasma physics, turbulence theory and self-organization processes in non-equilibrium media.

Later, when the laboratory became the Department for Applied Space Research (and then Space Geophysics Department), the staff members were given the following tasks: 1) fundamental studies in atmosphere physics; 2) fundamental studies in nonlinear physics, plasma physics, and hydrodynamics; 3) connection of fundamental and applied research. Self-organization and, first of all, the problem of large-scale structures' stability and their genesis in continuous media were the major problems, which join these two branches together.

Therefore, the topics of the department included fundamental and applied tasks, experimental and theoretical works. In the end of the 1980's the researchers participated in expeditions, which aimed at experimental checking of theoretical mechanisms for tropical storms' genesis. In the 1990's the instruments for the remote Mars study (an on-board lidar) and Sun observations (an X-ray spectrometer RPS-1), hardware for plasma experiments aboard orbital stations were developed.

Concurrently, theoreticians were studying electromagnetic waves propagation in plasma, which is important for both the near space and the remote astrophysical objects. The works in the field of dynamic chaos theory were applied to the Martian surface, typhoon dynamics, movement of asteroids, comets, and spacecraft.

ОТДЕЛ КОСМОГЕОФИЗИКИ (51) SPACE GEOPHYSICS DEPARTMENT (51)



Руководитель — профессор, д-р физ.-мат. наук Николай Ерохин

Head — Prof. Dr. Nikolay Erokhin



Профессор Семён Самойлович Моисеев (23.11.1929–05.06.2002)

Prof. Semen S. Moiseev (November 23, 1929 – June 5, 2002)

Актуальные задачи отдела сегодня по-прежнему связаны с изучением и моделированием сложных неравновесных процессов, которые происходят на нашей планете и за её пределами. Это генерация структур в атмосфере и околоземном пространстве, механизмы формирования в ионосфере предвестников и индикаторов кризисных событий, влияние спиральности на динамику тайфуногенеза, генерация потоков ультрарелятивистских заряженных частиц в гелиосфере и влияние вариаций потоков космических лучей на крупномасштабный циклогенез в атмосфере Земли, анализ процессов во вторично-эмиссионном радиоизотопном источнике тока и многие другие.

Завершенные проекты и эксперименты

- Исследования Марса: Mars Surveyor'98 Program (аппараты Mars Climate Orbiter и Mars Polar Lander, NASA, 1998)
- Астрофизические эксперименты: ГРИФ и ТАУРУС (станция «Мир», модуль «Спектр», 1995–1997 гг.), НЕГА (орбитальный комплекс «Салют-7» – «Космос-1686», 1985–1988 гг.)
- Исследования Солнца: «КОРОНАС-Ф» (головная организация — ИЗМИРАН, 2001–2005 гг.)

Проекты в стадии разработки

Исследования Марса: ЭКЗОМАРС, ЕКА и Роскосмос (2016 и 2018 гг.)

Лаборатория теоретической гидрофизики, нелинейных и неравновесных процессов в космической среде (511) (руководитель — д-р физ.-мат. наук Алексей Васильев)

Лаборатория физики плазмы и термогидродинамики (512) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Сергей Артёха)

Обе лаборатории были созданы в 1983 г., и их деятельность связана с решением основных проблем теоретической гидрофизики применительно к атмосфере, ионосфере и космической среде, включая околоземное пространство, а также динамики нелинейных и неравновесных процессов в системе «атмосфера-ионосфера». К объектам исследования относятся такие феномены, как тропические циклоны и механизмы их зарождения, ускорение космических лучей и многие другие.

Основные направления исследований

- Приложение теории резонансных явлений к задачам о динамике заряженных частиц в электромагнитных полях сложной конфигурации, анализ характеристик стационарных зеркальных структур

Today's major objectives of the department are still related to the study and modeling of complex non-equilibrium processes taking place on our planet and beyond. These include structure generation in the atmosphere and the near space, the mechanisms of critical events premonitory symptoms and the indicators in the ionosphere, influence of helicity on the typhoon genesis, generation of the charged ultrarelativistic particle fluxes in the heliosphere and influence of the cosmic-ray fluxes on the large-scale cyclon genesis in the Earth's atmosphere, analysis of the processes in the secondary emission radioisotope current source and many others.

Completed Projects and Experiments

- Mars exploration: *Mars Surveyor'98 Program* (*Mars Climate Orbiter* and *Mars Polar Lander*, NASA, 1998)
- Astrophysical experiments: GRIF and TAURUS (*Mir* Space Station, *Spektr* Module, 1995–1997), NEGA (*Salyut 7 – Kosmos 1686*, 1985–1988)
- Sun research: *Koronas-F* (principal organization — IZMIRAN, 2001–2005)

Projects in Development

- Mars exploration: *ExoMars* (ESA/Roscosmos, 2016 and 2018)

Laboratory of Theoretical Fluid Physics, Nonlinear and Non-Equilibrium Processes in the Space Environment (511). Head — Dr. Alexei Vasilyev

Laboratory of Plasma Physics and Thermohydrodynamics (512). Head — Dr. Sergey Artekha

Both laboratories were founded in 1983 and their activity relates to the solution of the major problems of the theoretical fluid physics as applied to the atmosphere, ionosphere, and space environment including the near space as well as nonlinear and non-equilibrium processes in the “atmosphere-ionosphere” system. The subjects of research include such phenomena as tropic cyclones (TC) and their origin, cosmic ray acceleration, and many others.

Research Areas

- Application of the resonance phenomena theory to the tasks relating to the charged particles dynamics in the electromagnetic fields of irregular shape, analysis of the static mirror structures in the space plasma, dynamics

Алексей Васильев
Alexei Vasilyev



Сергей Артёха
Sergey Artekha



- в космической плазме, динамика серфотронного ускорения заряженных частиц электромагнитными волнами в космической плазме и вариаций потоков космических лучей, разработка физических принципов конструирования и функционирования квантовых нейронных сетей и современных методов управления автономными аппаратами на их основе;
- развитие нового подхода для изучения крупномасштабного тропического циклогенеза на основе турбулентного вихревого динамо, анализ хода регионального крупномасштабного циклогенеза, взаимосвязь геоэффективных явлений в литосфере, атмосфере и ионосфере Земли, резонансные механизмы воздействия солнечной активности на земной климат, влияние плазмоподобных подсистем на динамику тайфуногенеза;
 - солнечные вспышки малой мощности и всплески рентгеновского излучения, рентгеновская эмиссия ночной ионосферы и её сезонная зависимость, формирование когерентных структур в верхней и нижней ионосфере, их влияние на транспортные свойства, электродинамику, устойчивость гидромагнитных течений в земном ядре;
 - влияние захваченных заряженных частиц на плазменные явления, зарядка тел и частиц пыли в космосе и лабораторных условиях, диагностика плазмы электрическими зондами, динамика быстрых электронов в плазме грозовых разрядов при внешних воздействиях, анализ структурных функций электрической турбулентности в грозовой облачности, экспериментальные исследования пристеночных пульсаций потока и формирование турбулентного шума около движущихся объектов в морях;
 - резонансное туннелирование электромагнитных и других волн в градиентных средах, удвоение частот электромагнитных волн в неоднородной ионосферной плазме, оптимальные условия прохождения внутренних гравитационных волн из тропосферы в ионосферу с генерацией индикаторов кризисных процессов.

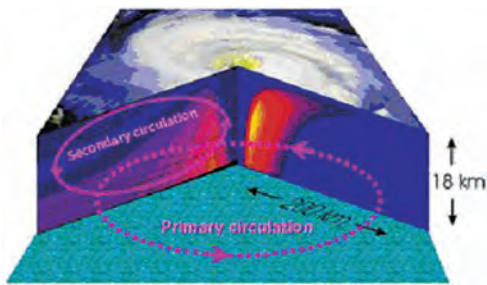
Результаты

Исследовано серфотронное ускорение заряженных частиц электромагнитными и электростатическими плазменными волнами, изучены условия его реализации, найдены его характеристики. Показано, что в плазме межзвёздных облаков частицы могут ускоряться до энергий порядка 10^{15} эВ. Рассмотрен диффузионный механизм роста энергии заряженных частиц в полях электромагнитных волн.

- of the charged particles surfatron acceleration by the electromagnetic waves in the space plasma and variation of the cosmic rays fluxes, development of the physical principles of designing and functioning of the quantum neural networks and modern control methods of the self-contained vehicles based on these networks;
- development of a new approach to study the large-scale tropical cyclogenesis based on the turbulent vortex dynamo, analysis of the regional large-scale cyclogenesis course, interrelations of the geoeffective phenomena in the lithosphere, atmosphere and ionosphere of the Earth, resonance mechanisms of the solar activity influence on the Earth's climate, influence of the plasma-like subsystems on the typhoon genesis dynamics;
 - low-intensity solar flares and X-ray bursts, X-ray emission of night-time ionosphere and its seasonal dependence, formation of coherent structures in the upper and lower ionosphere, their influence on the transport properties, electrostatics, stability of hydromagnetic fluxes in the Earth's core;
 - influence of the captured charged particles on the plasma phenomena, charging of the bodies and dust particles in space and laboratory conditions, plasma diagnostics with electrical probes, dynamics of the fast electrons in the plasma of storm discharges under external influences, analysis of the structural functions of electrical turbulence in the thunderstorm, experimental studies of the flow pulsations in the near-wall layers and formation of the turbulent noise near the moving objects in the seas;
 - resonance tunneling of electromagnetic and other waves in the gradient media, doubling of electromagnetic waves frequencies in the heterogeneous ionospheric plasma, optimum conditions of internal gravity waves passage from the troposphere into the ionosphere with generation of the crisis process indicators.

Results

Surfatron acceleration of the charged particles using the electromagnetic and electrostatic plasma waves was investigated, conditions of acceleration occurrence were studied, acceleration properties were found. It was shown that the particles in the plasma of the interstellar clouds can accelerate to the energies of around 10^{15} eV. A diffusive mechanism of the charged particles energy growth in electromagnetic wave fields was described.



Диагностика зарождения тропического циклона Genesis, зацепление тангенциальной и трансверсальной циркуляций в усиливающемся вихре

Diagnostics of the Genesis tropical cyclone formation, coupling of tangential and transversal circulations in the intensifying vortex

Эти задачи актуальны для исследования характеристик и описания динамики потоков заряженных частиц в хвосте магнитосферы Земли. Результаты важны в контексте современных представлений о возможных механизмах генерации вариаций потоков ультрарелятивистских частиц в космической плазме.

На основе турбулентного вихревого динамо в атмосфере развит новый подход для исследования тропического циклогенеза, предложены критерии диагностики момента, когда зарождающийся крупномасштабный вихрь становится энергетически самоподдерживающимся. Показано, что формирующийся мезомасштабный вихрь становится самоподдерживающимся из-за того, что зацепляются два режима циркуляции: тангенциальная и трансверсальная (где есть и горизонтальная, и вертикальная скорости) — и происходит это с помощью вращающихся структур облачных масштабов — вихревых горячих башен.

Исследованы возмущения ионосферы при воздействии «снизу», в том числе при цунами и молниях. Обнаружена зависимость амплитуды отклика ионосферы в полном электронном содержании на подводное цунамигенное землетрясение от вертикального смещения в нём. Ионосферный отклик, на основе которого можно сделать вывод о зарождении цунами, регистрируется раньше прихода волны к берегу. Установлено, что возникновение аномальных амплитуд УНЧ/КНЧ-сигналов в верхней ионосфере над грозowymi разрядами может быть обусловлено существованием в нижней ионосфере областей высокоионизированной плазмы от молниевых разрядов. Показано, что молнии — локальные мощные источники ионизации ионосферы, а в области от мезосферы к термосфере в результате неустойчивости экмановского типа создаются условия для генерации квазипериодических вытянутых крупномасштабных структур в нейтральной и плазменной компонентах с наблюдаемой в эксперименте ориентацией.

Предложен резонансный механизм влияния солнечной активности на земной климат: наблюдаемая климатическая вариация есть результат воздействия солнечной квазипериодической вариации на собственную климатическую осцилляцию. Это объясняет, почему солнечный и климатический цикл не строго синхронизированы — между ними существует разность фаз. Учитывая этот механизм, удалось в расчётах воспроизвести квазипериодические (около 11 и 22 лет) компоненты вариаций осадков в районе порта Форталезы (Бразилия) на временном отрезке более 160 лет. Показано наличие корреляций вариации уровня осадков между расчётами и данными наблюдений.

These issues are crucial for research of the properties and description of dynamics of the charged particles fluxes in the Earth's magnetosphere tail. The results are important for the purposes of present-day ideas of possible mechanisms of the generation of ultrarelativistic particles flux variations in the space plasma.

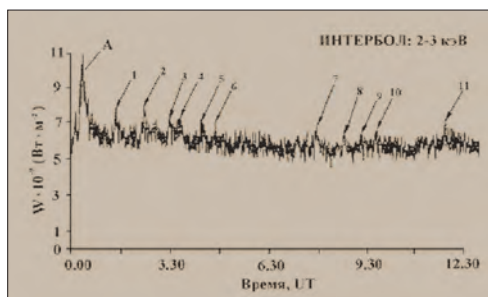
Based on the turbulent vortex dynamo in the atmosphere, a new approach to analyze the tropical cyclogenesis was developed, diagnostic criteria of the momentum when a nascent large-scale vortex becomes a self-maintaining one were proposed. It was shown that a forming mesoscale vortex becomes a self-maintaining one when two circulation modes are coupled: the tangential and the transversal ones (where there are both vertical and horizontal velocities) and the reason is the rotating structures of cloud scales — vertical hot towers.

Ionosphere disturbance as it is influenced from below, including during tsunami and lightning, was studied. The dependence of the ionosphere response amplitude in the total electron content to the tsunamigenic seaquake on the vertical displacement during the quake was found. The ionosphere response, which is the basis for a conclusion on tsunami generation, is recorded before the wave reaches the shore. It was found that the generation of the abnormal amplitudes of LF/ELF-signals in the upper ionosphere above the storm discharges could be associated with highly ionized plasma domains from the lightning discharges in the lower ionosphere. It was shown that the lightning are local powerful sources of ionosphere ionization, and, in the zone from the mesosphere to the thermosphere, the generation of the quasi-periodic stretched-out large-scale structures in the neutral and plasma components with the orientation observed during the experiment is made possible due to Ekman instability.

The resonance mechanism of the solar activity influence on the global climate was proposed: the observed climate variation is a result of the solar quasi-periodic variation influence on its own climate oscillation. That explains why the solar cycle and the climatic one are not completely synchronized, there is a phase difference between them. Taking this mechanism into account, we succeeded in calculations of the quasi-periodic (approx. 11 and 22 years) variation components near Fortaleza (Brazil) over the time line of more than 160 years. It was shown that the correlation of the precipitation variations exists between the calculated and the observed data.

Слабые всплески в рентгеновском диапазоне излучения Солнца в канале 2...3 кэВ 15 декабря 1995 г. в период с 0 ч 00 м UT. Стрелками и цифрами помечены всплески класса 0. Буквой помечен всплеск класса А

Weak solar flares in the X-ray spectrum at 2...3 keV on 15 December 1995 from 00:00 UT. Arrows and figures indicate class 0 bursts. A letter indicates class A burst



Исследованы спектр вспышек малой мощности и структура излучения теплового фона короны в январе-феврале 2003 г. по данным аппарата RHESSI (NASA) в мягкой компоненте рентгеновского излучения Солнца. Обнаружено, что интенсивность рентгеновского излучения вспышек и теплового фона короны для энергий 2...15 кэВ падает. Проведён сравнительный анализ данных RHESSI и «Интербол-Хвостовой зонд». Предложен новый механизм нагрева солнечной короны, связанный с микро-вспышками.

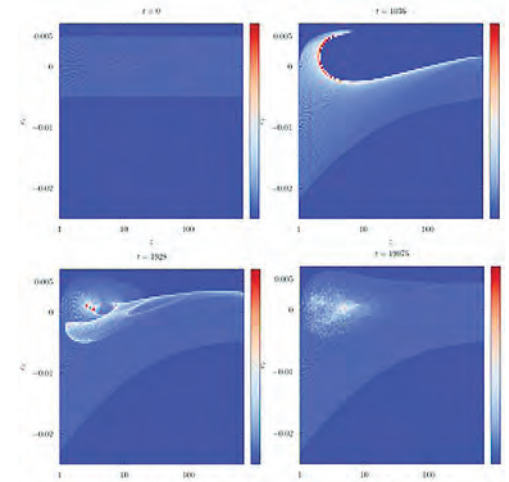
На основе последовательного подхода подробно исследована спутниковая неустойчивость квазимонохроматических волн на ветви свистящих атмосфериков в атмосфере Земли. Получены аналитические выражения для инкрементов неустойчивости, её anomalous поведение при наличии захваченных волной частиц, при равенстве частоты свистовой волны половине гирочастоты электронов в области интенсивного резонансного взаимодействия волна-частица. Показано, что наблюдаемые нелинейные волновые явления в радиационных поясах Земли тесно связаны с неустойчивостью, обусловленной захватом энергичных электронов. Заряженные частицы, захваченные в электростатические потенциальные ямы, участвуют в экранировании заряженных объектов в плазме и могут играть определяющую роль. Расчёты выявили наличие внешней границы области захвата заряженных частиц и позволили установить целый ряд закономерностей, связанных с её существованием. Проведено численное моделирование зарядки поглощающего сферического тела в бесстолкновительной плазме. Численный «эксперимент» позволяет определить все физические характеристики системы, включая наблюдение формирования функции распределения захваченных частиц.

Исследован ряд сценариев динамики мощного атмосферного вихря на основе нелинейной малопараметрической модели (МПМ) регионального крупномасштабного циклогенеза (РКЦ). Показано, что выбором параметров МПМ возможно получить сезонный ход РКЦ с формированием в активном сезоне заданного числа ураганов, имеющих различные характеристики (максимальная скорость ветра в ТЦ, длительность жизненного цикла, времена формирования тайфуна и его затухания). Модель описывает и возможность вариаций скорости ветра в ТЦ. Таким образом, в рамках МПМ можно изучать особенности временной динамики тропического циклогенеза в заданном регионе.

In January-February 2003, the low-energy flare spectra and the structure of the corona thermal background were studied based on the data received from RHESSI (NASA) in the soft component of the solar X-ray radiation. It was found that the intensity of the flare X-ray radiation and corona thermal background for 2...15 keV energies is declining. The comparative study of the RHESSI and *Interball Tail Probe* data was conducted. A new mechanism of the corona heating via microflares was proposed.

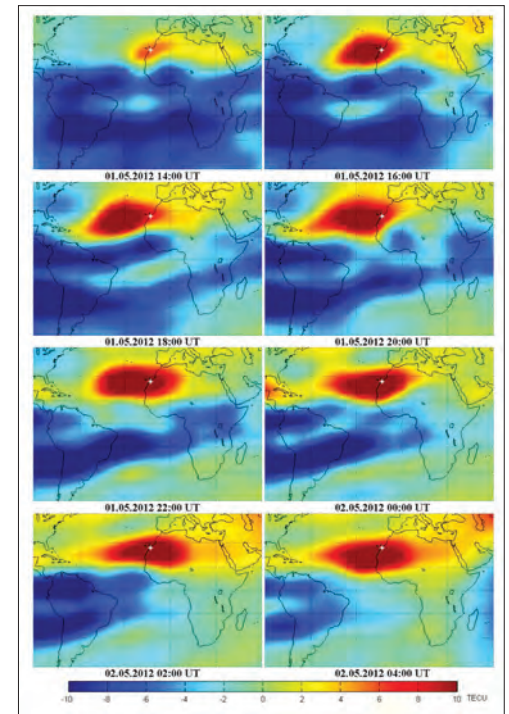
Based on the incremental approach the satellite instability of the quasi-monochromatic waves on the band of whistling atmosphericics in the Earth's atmosphere was studied in details. We obtained the analytic expressions for the instability increments, its anomalous behavior with particles trapped by the wave when the whistler wave frequency is equal to the half of the electron gyrofrequency in the zone of intensive "wave-particle" resonance interaction. It was shown that the observed nonlinear wave phenomena in the radiation belt are closely related to the instability associated with the energetic electrons capture. The charged particles trapped in an electrostatic potential wells participate in the shielding of the charged objects in the plasma and may play a defining role. Our calculations have shown presence of the external boundary of trapped particles and enabled finding a wide range of regularities associated with its existence. A numerical simulation of the charging of the absorbing globe in the collisionless plasma was conducted. The numerical experiment enables to determine all physical parameters of the system including observation of the generation of the trapped particles distribution function.

A number of scenarios of the powerful atmospheric vortex dynamics based on the small parametric nonlinear model (SPM) of a large-scale regional cyclogenesis (LSRC) were studied. It was shown that the selection of SPM parameters enables obtaining a LSRC seasonal variation with formation of a given number of hurricanes during the active season having various parameters (maximum wind velocity in the tropic cyclone, cyclone life cycle, times of the typhoon formation and its fading). This model also describes possibilities of wind velocity variations in a tropic cyclone. Thus, the SPM can be used to study the peculiar features of the tropical cyclogenesis dynamics in a given region.



Плотность ионов в фазовом пространстве в различные моменты времени. Вдоль горизонтальной оси — радиальное расстояние в кубе. Вдоль вертикальной оси — радиальная скорость частиц. На малых расстояниях формируется плотный сгусток захваченных ионов. Облако захваченных частиц вносит значительный вклад в экранирование заряженной поглощающей сферы

The ionic density in the phase space in the different moments of time. The horizontal axis: particle radial distance cubed. The vertical axis: particle radial velocity. A dense bunch of trapped ions is formed at small distances. A cloud of the trapped particles makes a considerable contribution into the shielding of the charged absorbing sphere



Формирование ионосферных неоднородностей над Атлантическим океаном при прохождении песчаной бури 1–2 мая 2012 г. Красный цвет соответствует повышенному полному содержанию электронов в ионосфере

Formation of ionospheric irregularities over the Atlantic Ocean as a sand storm is passing, 1–2 May 2012. The red color shows high complete concentration of electrons in the ionosphere

Основной источник ионизации в приземной атмосфере — естественная радиоактивность Земли и в первую очередь радон, выделяемый из земной коры. С учётом этого разработана комплексная феноменологическая модель воздействия ионизации на параметры атмосферы и ионосферы. В ней удалось выяснить роль глобальной электрической цепи в электромагнитном взаимодействии атмосферы и ионосферы. За счёт изменения проводимости пограничного слоя воздуха меняется потенциал ионосферы над областью с модифицированной проводимостью, что приводит к формированию крупномасштабных ионосферных неоднородностей. Выводы из модели касаются землетрясений, извержений вулканов, пылевых и песчаных бурь, аварий на АЭС, ядерных взрывов.

Исследуется атмосферная эмиссия в диапазоне мягкого (3...10 кэВ) рентгеновского излучения, впервые зарегистрированная спектрометром РПС-1 в эксперименте на ИСЗ «КОРОНАС-Ф» на ночной стороне атмосферы. Соответствующая атмосферная светимость изменяется в пределах от 10 Вт до 40 кВт в зависимости от времени и географического положения (для сравнения: светимость полярных сияний составляет 10...30 МВт). Разрабатывается численная модель генерации и распространения излучения в предположении, что оно является тормозным излучением электронов, высыпавшихся из магнитосферы в ходе геомагнитных возмущений. С этой точки зрения рассмотрены наиболее значительные геомагнитные возмущения в ходе миссии КОРОНАС-Ф (6 и 24 ноября 2001 г., октябрь-ноябрь 2003 г., 20 ноября 2004 г. и 15 мая 2005 г.) и показано локальное повышение рентгеновской атмосферной эмиссии в области зазора между внутренним и внешним радиационными поясами.

На основе анализа лучевых траекторий изучено прохождение внутренних гравитационных волн (ВГВ) из тропосферы через вертикально неоднородные ветровые потоки до ионосферных высот. При различных вариантах выбора параметров численно изучены специфические особенности лучевых траекторий, связанные с наличием на трассе распространения волн слоёв горизонтального и вертикального отражений, а также критического слоя. Показано, что для крупномасштабных ВГВ возможно их прохождение из тропосферы до ионосферных высот. Установлено характерное время достижения ионосферных высот ВГВ из тропосферы, выявлены большие вариации значений этого времени при изменении исходных параметров, типичные значения горизонтального смещения (относительно источника генерации) волновых пакетов по достижении ими ионосферы.

Natural radioactivity, and, first of all, radon released from the Earth's crust, is the primary source of ionization in the atmosphere near the Earth's surface. Taking into account this fact, a complex phenomenological model of ionization influence on the atmosphere and ionosphere parameters was developed. This model facilitated discovering the role of the global electric circuit in the electromagnetic interaction of the atmosphere and the ionosphere. Due to variation of the atmospheric boundary layer conductivity, the ionosphere potential above the area with the altered conductivity is changing that results in the formation of large-scale ionospheric irregularities. The conclusions based on this model are relating to the earthquakes, volcano eruptions, dust and sand storms, meltdowns, and nuclear explosions.

The atmospheric emission within the soft X-ray emission (3...10 keV), first recorded by the RPS-1 spectrometer during the *Koronas-F* satellite experiment on the nightside of the atmosphere is being studied. The respective atmospheric luminance is changing within 10 W – 40 kW range depending on the time and a geographic position (in comparison: a polar glow is 10...30 MW). A numerical model of the emission generation and distribution is developing on the assumption that it is a deceleration radiation of electrons precipitating from the magnetosphere during geomagnetic disturbances. From this point of view, the most significant geomagnetic disturbances were considered during the *Koronas-F* mission (6 and 24 November 2001, October-November 2003, 20 November 2004 and 15 May 2005) and a local X-ray atmospheric emission increase was shown in the region of the gap between the inner and outer radiation belts.

Based on the analysis of ray trajectories, the passage of internal gravitational waves (IGW) from the troposphere through the vertically non-uniform wind flows to the ionospheric altitudes was studied. Under various conditions of the parameter selection, the characteristic features of ray trajectories related to the presence of layers of vertical and horizontal reflection as well as critical layers on the wave propagation paths were studied. It was shown that large-scale IGW can pass from the troposphere to the ionosphere altitudes. Characteristic times of IGW reaching the ionosphere altitudes from the troposphere were found, large variations of these times when the initial parameters changed were identified, typical values of the horizontal displacement (relative to the generation source) of the wave trains when they reach the ionosphere were found.

Лаборатория плазменно-пылевых процессов в космических объектах (513)

(руководитель — д-р физ.-мат. наук
Сергей Попель)

Лаборатория создана в 2014 г. на основе лаборатории микроструктурных объектов в геофизике Института динамики геосфер РАН. Этому предшествовал растущий в международном научном сообществе интерес к физике пылевой плазмы, которую составляют не только электроны, ионы и нейтралы, но также и заряженные частицы пыли. Это частый феномен в космосе, и изучение его — ключ к пониманию многих процессов, как, например, образование планет около звёзд или поведение пыли у поверхности Луны.

Среди важнейших результатов лаборатории, полученных до перехода в ИКИ, — теоретическое предсказание в 1996 г. существования нового вида ударных волн в пылевой плазме, диссипация в которых связана с процессом зарядки пылевых частиц, экспериментально подтверждённое в 1999 г. двумя независимыми коллективами из Японии и США. Сотрудники также добились интереснейших результатов в области геологии и физики атмосферы.

Сейчас деятельность лаборатории направлена на решение или приближение к решению основных проблем исследований и освоения Солнечной системы и космического пространства, связанных с плазменно-пылевыми объектами.

В центре работ, которые проводятся в лаборатории сегодня, — Луна, а именно — плазменно-пылевая система над лунной поверхностью. У Луны нет атмосферы, но есть экзосфера — очень разреженная оболочка из нейтральных атомов, фотоэлектронов, «выбитых» солнечным светом, в частности, из поверхности Луны, и заряженных пылевых частиц. Понимание того, что происходит в этой среде, чрезвычайно важно, в том числе для будущих лунных экспедиций и возможной обитаемой лунной базы.

Основные направления исследований

- Процессы происхождения частиц пыли в Солнечной системе и космосе; анализ свойств частиц указанной пыли, распределений пыли по размерам, химического и минералогического состава пылевых частиц;
- процессы зарядки частиц пыли и механизмы формирования плазменно-пылевых объектов в Солнечной системе и космосе;
- анализ лабораторных исследований по явлениям в пылевой плазме с точки зрения их применения к реальным плазменным процессам в Солнечной системе и космосе;

Laboratory of Dusty Plasma Processes in Space Objects (513). Head — Prof. Dr. Sergey Popel

The laboratory was established in 2014 on the basis of the laboratory of microstructural objects in geophysics within the RAS Institute of Geosphere Dynamics. This was preceded by the growing interest in the international scientific community to dusty plasma physics, which consists not only of electrons, ions, and neutrals, but also of the charged particles of dust. This is a frequent phenomenon in space, and its study is the key to understanding of many processes, such as, for instance, planet formation near the stars or dust behavior near the lunar surface.

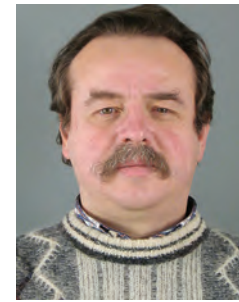
Among most significant results of the laboratory obtained before it moved to IKI is a theoretical prediction in 1996 of existence of a new type of shock waves in the dusty plasma, dissipation of which is related to the process of the dust particles charging, in 1999 this prediction was experimentally confirmed by two independent groups from Japan and the USA. The laboratory's staff members have also obtained fascinating results in the sphere of physics, geology, and atmospheric physics.

Today, the laboratory's activity is aimed at the solution or approach to solution of primary problems of the Solar system and outer space study and exploration, those that are connected with the dusty plasma objects.

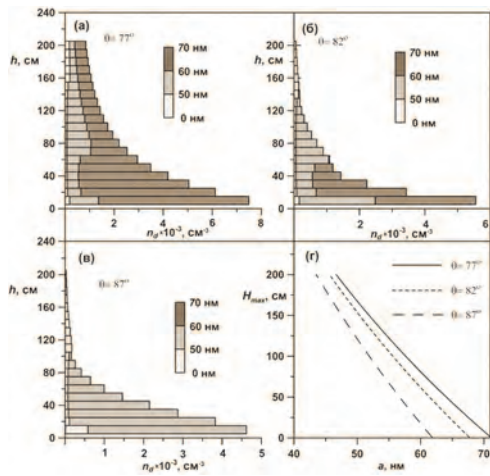
The primary focus of the activities in the laboratory today is the Moon, namely the dusty plasma system above the lunar surface. The Moon does not have an atmosphere but it has an exosphere, a very rarefied envelope consisting of neutral atoms, photoelectrons expelled by the solar light, in particular, out of the lunar surface, and charged dust particles. Understanding of what is going on in this environment is of crucial importance, including its application in the future lunar missions and a possible inhabited lunar base.

Research Areas

- The process of dust particles origin in the Solar system and outer space; analysis of particle properties of this dust, dust distribution by sizes, chemical and mineralogical composition of the dust particles;
- the process of dust particles charging and the mechanisms of dust plasma object formation in the Solar system and the outer space;
- analysis of the laboratory research of the phenomena in the dusty plasma from the point of view of their application to actual plasma processes in the Solar system and the outer space;



Сергей Попель
Sergey Popel



Распределение пылевых частиц (а-в) над поверхностью Луны для различных значений угла θ между местной нормалью и направлением на Солнце, а также максимально возможные высоты подъёма пылевых частиц (г) для условий, соответствующих участкам лунного реголита

Dust particles distribution (a-c) above the lunar surface for various values of θ -angle between the local normal line and the direction to the Sun as well as maximum possible altitudes of the dust particles (d) for the conditions corresponding to the lunar regolith regions

- свойства, характеристики и особенности плазменно-пылевых систем в Солнечной системе и космосе и процессов самоорганизации, приводящих к формированию и эволюции плазменно-пылевых систем;
- теоретическое исследование и численное моделирование процессов в плазменно-пылевой системе Земля-Луна в применении к будущим лунным миссиям;
- теоретическое исследование и численное моделирование процессов с участием пылевых частиц в применении к будущим марсианским миссиям;
- разработка рекомендаций по развитию экспериментальных методов сбора и исследования частиц пыли в Солнечной системе и космосе.

- properties, characteristics and peculiar features of the dusty plasma systems in the Solar system and the outer space and the processes of self-organization resulting in formation and evolution of the dusty plasma systems;
- theoretical study and numerical modeling of the processes in the Earth-Moon dust plasma system as applied to the future lunar missions;
- theoretical study and numerical modeling of the processes with dust particles as applied to the future Mars missions;
- formulation of recommendations on development of the experimental methods of collection and analysis of the dust particles in the Solar system and the outer space.

Проекты и результаты

Разработана теоретическая модель для самосогласованного описания концентраций фотоэлектронов и пылевых частиц над поверхностью освещённой части Луны. Она учитывает положение места наблюдения, эффекты образования фотоэлектронов на поверхности Луны и поверхностях пылевых частиц, динамику пылевых частиц в электрическом и гравитационном полях, зарядку пылевых частиц за счёт их взаимодействия с фотонами солнечного излучения, электронами и ионами солнечного ветра, фотоэлектронами и т. д.

Разработаны методы и создан численный код для вычисления параметров и функций распределения фотоэлектронов у поверхности Луны. Показано, что при расчётах параметров плазменно-пылевой системы и, в частности, фотоэлектронов весьма существенное значение имеет квантовый выход лунного реголита, т. е. количество электронов, выбиваемых одним фотоном с поверхности реголита

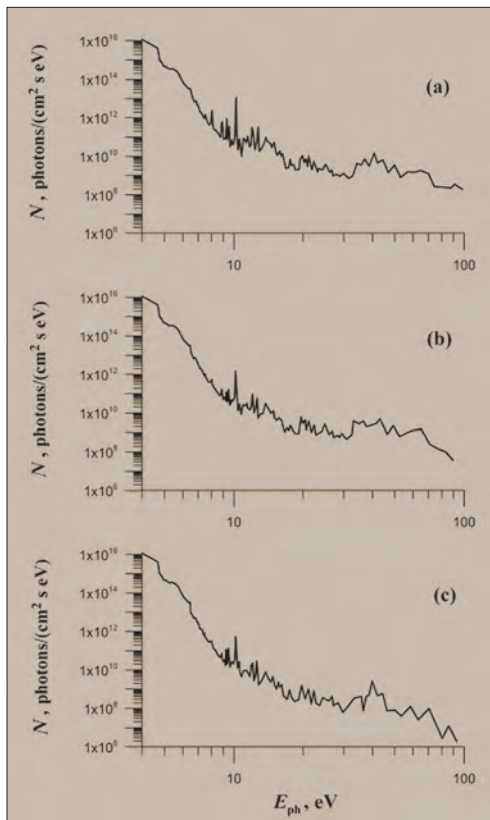
По-видимому, достаточно сложно доставить лунный грунт на Землю так, чтобы избежать его взаимодействия с земной атмосферой. В качестве варианта предложено проводить эксперименты по измерению квантового выхода и работы выхода лунного реголита непосредственно на поверхности Луны, что может быть сделано в будущих лунных миссиях.

Projects and Results

A theoretical model for a self-consistent description of photoelectrons and dust particles concentrations above the surface of the lit portion of the Moon was proposed. This model takes into account the observer's position, the effects of photoelectrons formation on the lunar surface and the dust particles surfaces, dust particles dynamics in the electric and gravitational fields, charging of the dust particles due to their interaction with the photons of the solar radiation, electrons and ions of the solar wind, photoelectrons and so on.

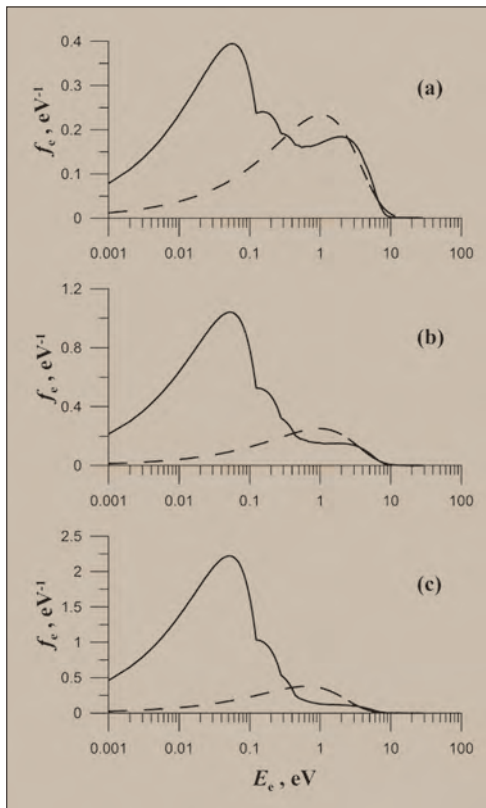
The methods were developed and the numerical code was created to calculate the parameters and functions of the photoelectron distribution near the lunar surface. It was shown that during the parameter calculation of the dust plasma system and, particularly, of photoelectrons, the quantum yield of the lunar regolith is of crucial importance, that is the amount of the electrons expelled by one photon from the regolith surface.

Apparently, it is difficult to deliver the lunar soil to the Earth without its interaction with the Earth's atmosphere. Alternatively, it was proposed to conduct experiments for measurement of the quantum yield and lunar regolith work function directly on the lunar surface that can be implemented during the future lunar missions.



Потоки солнечного излучения в зависимости от энергии фотонов (в логарифмическом масштабе), соответствующие солнечной вспышке класса X28 (а), солнечному максимуму (б) и солнечному минимуму (с)

Solar radiation fluxes depending on the photon energy (in the logarithmic scale) corresponding to a class X28 Sun flare (a), solar maximum (b) and solar minimum (c)



Функции распределения фотоэлектронов по энергиям (сплошные кривые) у освещённой части поверхности Луны, соответствующие солнечной вспышке класса X28 (a), солнечному максимуму (b) и солнечному минимуму (c). Пунктиром показаны максвелловские распределения, вычисленные для значений средней энергии фотоэлектронов, характеризующих соответствующие распределения, изображённые сплошными кривыми

Functions of energy distribution of the photoelectrons (solid curves) near the lit portion of the lunar surface corresponding to the class X28 Sun flare (a), solar maximum (b), and solar minimum (c). The dotted line indicates the Maxwell distributions calculated for the average energy values of photoelectrons marking the respective distributions shown in solid curves

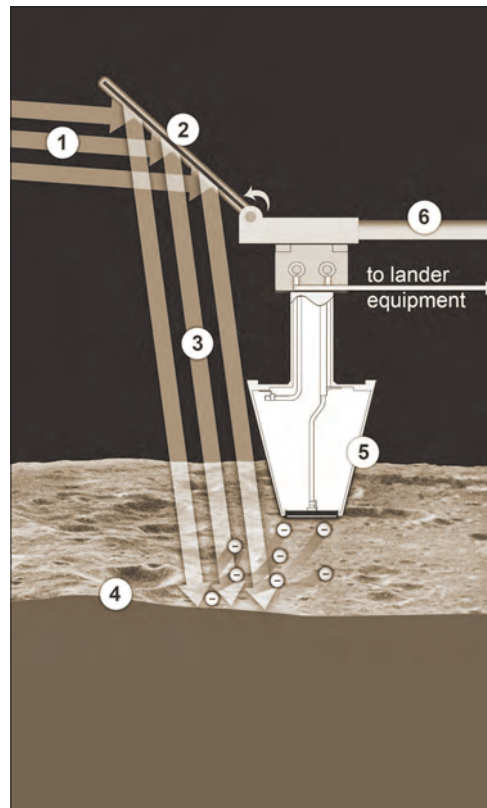


Схема эксперимента для измерений квантового выхода и работы выхода лунного реголита: 1 — световой поток от источника излучения; 2 — зеркало; 3 — световой поток, преобразованный зеркалом; 4 — лунная поверхность; 5 — зонд Ленгмюра; 6 — штанга, на которой укреплено оборудование для измерений. Стрелка указывает направление на научную аппаратуру посадочного аппарата

The experiment layout to measure the quantum yield and lunar regolith workfunction: 1 — light flux from the radiation source; 2 — mirror; 3 — light flux refracted by the mirror; 4 — lunar surface; 5 — Langmuir probe; 6 — arm where the measurement hardware is attached. The arrow indicates the direction to the scientific equipment of the descending module

Движение частиц солнечного ветра по отношению к фотоэлектронам над лунной поверхностью приводит к развитию неустойчивости, в результате чего происходит генерация высокочастотных электростатических колебаний с частотами, находящимися в диапазоне частот ленгмюровских и электромагнитных волн. Не существует факторов, запрещающих возбуждение пылевых звуковых волн над освещённой частью Луны, генерация которых возможна, в частности, в области лунного терминатора. Движение терминатора может быть ассоциировано с распространением ударно-волновой пылевой звуковой структуры.

Solar wind particles motion with respect to photoelectrons above the lunar surface causes instability which results in generation of high-frequency electrostatic oscillations with frequencies in the range of Langmuir and electromagnetic waves. There are no factors preventing dust acoustic waves excitation above the lit portion of the Moon, these waves can be generated specifically in the region of the lunar terminator. The terminator motion can be associated with the propagation of the shock wave dust acoustic structure.

**ОТДЕЛ АСТРОФИЗИКИ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
(52)**
HIGH ENERGY ASTROPHYSICS
DEPARTMENT
(52)



**Руководитель — д-р физ.-мат. наук
Михаил Павлинский**
Head — Dr. Mikhail Pavlinsky



**Научный
руководитель —
академик
Рашид Сюняев**
Scientific advisor —
academician
Dr. Rashid Sunyaev



Академик Я. Б. Зельдович
(08.03.1914–02.12.1987)
Academician Yakov B. Zeldovich
(March 8, 1914 — December 2, 1987)

**Лаборатория экспериментальной астрофизики
(521)** (руководитель — д-р физ.-мат. наук
Михаил Ревнивцев)

Experimental Astrophysics Laboratory (521).
Head — Dr. Mikhail Revnivitsev

**Лаборатория рентгеновской и гамма-
астрономии, Российский центр научных
данных обсерватории «Интеграл» (522)**
(руководитель — д-р физ.-мат. наук
Сергей Гребенёв)

**X-Ray and Gamma Astronomy Laboratory,
Russia Science Data Center of the INTEGRAL
observatory (522).** Head — Dr. Sergey Grebenev

**Лаборатория релятивистских компактных
объектов и рентгеновской навигации (523)**
(руководитель — д-р физ.-мат. наук
Александр Лутовинов)

**Relativistic Compact Objects and X-Ray
Navigation Laboratory (523).** Head —
Dr. Alexandr Lutovinov

**Лаборатория астрофизических
рентгеновских детекторов и телескопов (524)**
(руководитель — канд. технич. наук
Николай Семена), включая сектор
рентгеновских детекторов (№ 524.1)
(руководитель — Василий Левин)

**Astrophysical X-Ray Detectors and Telescopes
Laboratory (524).** Head — Dr. Nikolay Semena,
including X-ray Detectors Sector (524.1).
Head — Vasily Levin

**Лаборатория теоретической астрофизики и на-
учного сопровождения проекта СПЕКТР-РГ
(525)** (руководитель — академик Рашид
Сюняев), включая сектор научной поддержки
обсерватории «Спектр-РГ» (525.1) (руководи-
тель — д-р физ.-мат. наук Сергей Сазонов)

**Theoretical Astrophysics and Scientific Support
of the *Spektr-RG* project Laboratory (525).**
Head — academician Dr. Rashid Sunyaev,
including Sector for *Spektr-RG* Observatory
Scientific Support (525.1). Head —
Dr. Sergey Sazonov

**Лаборатория электроники астрофизических
приборов (526)** (руководитель —
Михаил Бунтов)

**Electronics for Astrophysical Instruments
Laboratory (526).** Head — Mikhail Buntov

Организация и становление отдела астрофизики высоких энергий ИКИ неразрывно связаны с именем одного из крупнейших физиков, Трижды Героя Социалистического Труда, академика **Якова Борисовича Зельдовича** (08.03.1914–02.12.1987). В начале 1960-х гг. он создал в Институте прикладной математики АН СССР отдел теоретической астрофизики. Это десятилетие было началом экспериментов в космосе и временем потрясающих открытий — реликтового излучения Вселенной, квазаров, радиопульсаров, первых компактных рентгеновских источников — аккрецирующих нейтронных звезд и чёрных дыр. Школа Я. Б. Зельдовича в ИПМ уже тогда стала одной из лидирующих в этой области науки.

В 1974 г., по приглашению академика Р. З. Сагдеева, Я. Б. Зельдович организовал и возглавил отдел теоретической астрофизики в относительно молодом тогда ИКИ АН СССР. Через несколько лет в результате реорганизации тематика исследований отдела сильно расширилась, в него влились две экспериментальные лаборатории, и он получил название «Отдел астрофизики высоких энергий». Его возглавил Рашид Алиевич Сюняев (член-корреспондент АН СССР с 1984 г., академик РАН с 1998 г.), ученик Я. Б. Зельдовича. Научное руководство отделом Я. Б. Зельдович оставил за собой. Так отдел и ИКИ начали входить в экспериментальную рентгеновскую астрономию.

Первые экспериментальные результаты, полученные отделом, были связаны с советско-французским экспериментом **SNEG-2MP9** по регистрации гамма-всплесков на спутнике «Прогноз-9» (1983–1984). Самым интересным было обнаружение сильной эволюции спектра ярчайшего космического гамма-всплеска 1 августа 1983 г. и открытие источника мягких повторных всплесков SGR 1806-20 в созвездии Стрельца.

В 1980-х гг. началось расширение международного сотрудничества в области космических исследований, заключены соглашения с Техническим центром Европейского космического агентства (ESTEC), голландским Центром космических исследований (SRON) в Утрехте и Институтом внеземной физики Общества им. Макса Планка (MPE) в Гархинге (Германия) о возможности установки рентгеновских приборов, изготовленных в этих институтах, на первом модуле, получившем впоследствии название КВАНТ, проектируемой космической станции «Мир». С советской стороны отвечать за эту программу было поручено Институту космических исследований. Научным руководителем программы астрофизических исследований на модуле КВАНТ стал Р. А. Сюняев. Так началось создание обсерватории «Рентген».

Organization and formation of the IKI high-energy astrophysics department are closely related to the name of one of the greatest physicists, triple “Hero of Socialist Labour”, academician **Ya. B. Zeldovich**. In the early 1960’s he established a department of theoretical astrophysics within the Applied Physics Institute of the Academy of Sciences of the USSR. That decade was the beginning of experiments in space and the time of dramatic discoveries — the cosmic microwave background, quasars, radio pulsars, first compact X-ray sources — accretive neutron stars and black holes. Even at that time Ya. Zeldovich school in the Applied Physics Institute became one of the leading schools in this field of science.

In 1974 by invitation from academician R. Sagdeev, Ya. Zeldovich arranged and took the lead of the theoretical astrophysics department in the relatively young IKI. Several years later as a result of reorganization the research area was considerably expanded, it included two experimental laboratories and was named “High-Energy Astrophysics Department”. The department was headed by Rashid Sunyaev (correspondent member of the Academy of Sciences of the USSR since 1984, RAS academician since 1998), student of Ya. Zeldovich. Ya. Zeldovich retained academic advising of the department. This was the way how the department and the IKI started their work in experimental X-ray astronomy.

The first experimental results obtained by the department related to the Soviet-French experiment **SNEG-2MP9** for the recording of the gamma-ray bursts on the *Prognoz-9* satellite (1983–1984). The most interesting one was the discovery of the strong evolution of the spectrum of the brightest gamma-ray burst on 1 August, 1983 and the discovery of the source of the soft repeated bursts of SGR 1806–20 in the constellation of Sagittarius.

In 1980’s expansion of international cooperation started in the field of space exploration, agreements were made with the European Space Research and Technology Center (ESTEC), SRON Netherlands Institute for Space Research in Utrecht and Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE) in Garching (Germany) on the possibility of installation of X-ray instruments manufactured by these Institutes on the first module, named afterwards *Kvant*, of the future *Mir* space station. From the Soviet side the Institute of Space Research was responsible for this program. R. Sunyaev has become a scientific advisor for the astrophysical research program on the *Kvant* module. This was the beginning of the *Rentgen* observatory.



Михаил Ревницев
Mikhail Revnitscev



Сергей Гребенёв
Sergey Grebenev



Александр Лутовинов
Alexander Lutovinov



Николай Семена
Nikolay Semena



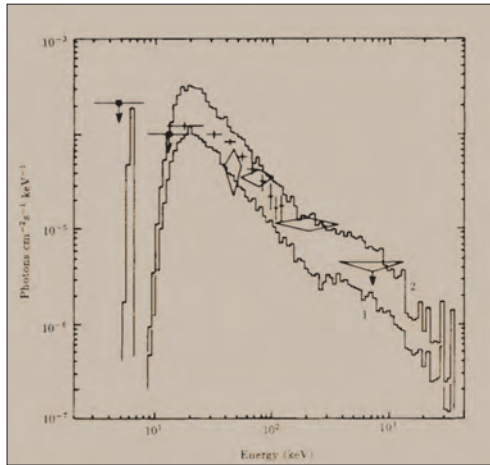
Василий Левин
Vasily Levin



Сергей Сазонов
Sergey Sazonov



Михаил Бунтов
Mikhail Buntov



Спектр жёсткого рентгеновского излучения от сверхновой SN1987a, измеренный приборами модуля КВАНТ. Сплошные кружки (верхние пределы на поток) — телескоп ТТМ, кресты — спектрометр HEXE, ромбы — спектрометр «Пульсар-Х1». Гистограммой показаны модели излучения сверхновой за счёт распада радиоактивного кобальта, полученные при помощи расчётов: 1 — на 180-й день после взрыва; 2 — на 210-й день

A hard X-ray spectrum from SN1987a supernova measured by the instruments of the Kvant module. Solid circles (maximum limits per flux) — TTM telescope, crosses — HEXE spectrometer, diamonds — Pulsar-X1 spectrometer. The histogram shows supernova radiation models due to radioactive cobalt decay obtained by calculations: (1) — on day 180 after the explosion; (2) — on day 210



Станция «Мир» с пристыкованным модулем КВАНТ

Mir space station with the Kvant module docked

Эта обсерватория включала четыре прибора, три из которых были изготовлены в западноевропейских институтах и один — жёсткий рентгеновский инструмент «Пульсар Х-1» — в СССР. За его создание отвечал ИКИ. Существенную роль в его производстве сыграли Институт космических исследований в Баку, Азербайджанская ССР, и филиал ИКИ во Фрунзе, Киргизская ССР. Кристаллы для детекторов прибора были выращены в Усолье-Сибирском и Харькове.

Модуль КВАНТ был выведен на орбиту ракетой «Протон» с космодрома Байконур 31 марта 1987 г. Незадолго до этого, 23 февраля 1987 г., в ближайшей к нам галактике Большое Магелланово Облако вспыхнула сверхновая, которая в пике яркости была видна на пределе чувствительности человеческого глаза. Она стала самой яркой сверхновой за последние 400 лет и получила название SN1987A. Телескопы модуля КВАНТ немедленно начали наблюдения. Одновременно теоретики в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ рассчитали и предсказали спектр излучения, возникающего вследствие радиоактивного распада никеля-56, синтезированного при коллапсе и гибели звезды и выброшенного в околозвёздное пространство вместе с её внешними слоями.

Первые же оценки показали, что оптическая толщина расширяющейся оболочки по комптоновскому рассеянию очень велика, и гамма-линии радиоактивного распада

This observatory included four instruments, three of them were manufactured in the Western European institutes, and one was manufactured in the USSR, it was a hard X-ray instrument *Pulsar X-1*. IKI was responsible for its manufacture. A significant role in the manufacture of this instrument was played by the Institute of Space Research in Baku, the Azerbaijan SSR and an IKI branch in Frunze, Kirgiz SSR. The crystals for the instrument detectors were grown in Ussolye Sibirskoe and Kharkov.

The *Kvant* module was inserted into orbit by the *Proton* launcher from the Baikonur Cosmodrome on 31 March, 1987. Shortly before, on 23 February, 1987, a supernova exploded in the nearest galaxy of the Large Magellanic Cloud, this supernova on its peak brightness was seen at the visual threshold. It has become the brightest supernova over the last 400 years and was named SN1987A. *Kvant* telescopes immediately started observations. At the same time, theoreticians in the IKI high-energy astrophysics department calculated and predicted the emission spectrum resulting from the radioactive decay of nickel-56 synthesized during the collapse and death of a star and emitted to the circumstellar space together with the star's outer layers.

никеля-56, превращающегося в кобальт-56, а затем в привычное нам железо, не имеют никаких шансов выйти из неё. Но с расширением оболочки её оптическая толща по комптоновскому рассеянию уменьшается, и сверхновая должна со временем становиться видимой в жёстких рентгеновских лучах. И такой сигнал действительно был обнаружен через полгода после взрыва, а измеренный спектр оказался похож на результаты расчётов сотрудников отдела. Это позволило молодой команде отдела астрофизики высоких энергий убедить западных коллег, что действительно наблюдается сигнал от взрыва сверхновой звезды, в ходе которого было синтезировано около 7 % массы Солнца в виде радиоактивного никеля-56. Результаты наблюдений были опубликованы в журнале *Nature*, ведь такой спектр излучения астрофизики наблюдали впервые.

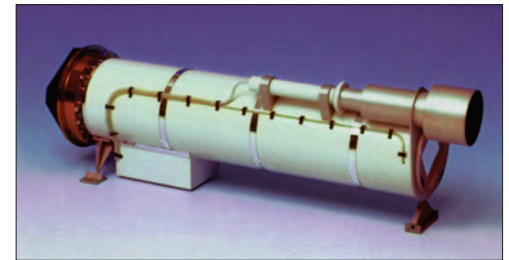
За годы работы обсерватории «Рентген» было получено множество научных результатов и открыты десятки новых рентгеновских источников, названных KS (KvantSource). Были получены уникальные карты области центра Галактики в рентгеновском диапазоне, в частности, даны первые важные ограничения на яркость источника Стрелец A* — сверхмассивной чёрной дыры в центре нашей Галактики, светимость которой, согласно результатам наблюдений, не превышает 10^{35} эрг/с. КВАНТ обнаружил несколько чёрных дыр в тесных двойных системах, открыл одну из наиболее быстро вращающихся нейтронных звёзд в нашей Галактике (KS 1731-260, частота вращения 524 Герц!), следил за изменениями периода вращения десятка рентгеновских пульсаров. Это был один из самых результативных экспериментов на борту космической станции «Мир», на основе его данных было опубликовано около 100 статей, набравших более 1000 ссылок в мировой астрофизической литературе.

Практически одновременно с подготовкой к запуску обсерватории «Рентген» в ИКИ велись работы по созданию космической обсерватории на самостоятельном спутнике для детальных исследований астрофизических объектов в диапазоне энергий 2 кэВ — 100 МэВ. Международная астрофизическая обсерватория получила название «Гранат», её создавали совместно советские, французские, датские и болгарские учёные. Два основных прибора: телескопы ART-P и «Сигма» (Sigma) — работали по принципу кодирующей апертуры и дополняли друг друга, имея перекрывающиеся рабочие диапазоны энергий: 2...60 кэВ (ART-P) и 30 кэВ — 2 МэВ («Сигма»). Телескоп ART-P был разработан специалистами отдела астрофизики высоких энергий ИКИ и ОКБ ИКИ (Фрунзе, ныне Бишкек).

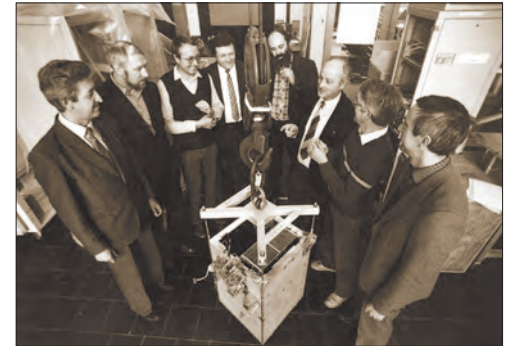
The very first estimates showed that the optical depth of the expanding envelope in Compton scattering is very large and the gamma-ray lines of radioactive decay of nickel-56 turning into cobalt-56 and then into traditional iron have no chance to leave the envelope. But when the envelope is expanding, its optical depth in Compton scattering is reducing and a supernova shall eventually become visible in the hard X-rays. And this kind of a signal was actually discovered half a year after the explosion and the measured spectrum turned out to be similar to the results of calculations made by the department's staff members. This enabled a young team of the high-energy astrophysics department to persuade their Western colleagues that it was the actual signal from the supernova explosion during which about 7 percent of the solar mass was synthesized in the form of radioactive nickel-56. The observation results were published in the *Nature* journal for it was the first time when the astrophysicists observed such an emission spectrum.

During the *Rentgen* observatory work many scientific results were obtained and dozens of new X-ray sources were discovered, named KS (KvantSource). Unique X-ray maps of the Galactic center were obtained, particularly, the first important limits on the brightness of the Sagittarius A* radio source — a location of a supermassive black hole in the center of our galaxy, which luminosity, per observation results, does not exceed 10^{35} erg/s. *Kvant* discovered several black holes in the contact binary systems, one of the fastest spinning neutron stars in our galaxy (KS 1731-260, the spin period is 524 Hertz!), was monitoring the changes in the spin periods of dozens of X-ray pulsars. It was one of the most effective experiments aboard the *Mir* space station. Based on the data obtained from this module more than 100 articles were published which were referred to in the international publications on astrophysics more than 1000 times.

Virtually at the same time with preparation for the *Rentgen* observatory launch, IKI was conducting works on establishing a space observatory on an independent satellite for detailed research of astrophysical objects within energy range of 2 keV through 100 MeV. The observatory was named *Granat*, it was created together by Soviet, French, Danish, and Bulgarian scientists. Two main devices: telescopes ART-P and *Sigma* were operating on a principle of a coded aperture and complemented each other, having overlapping operational ranges of energies: 2...60 keV (ART-P) and 30 keV — 2 MeV (SIGMA). The ART-P telescope was developed by the specialists of the IKI High Energy Astrophysics Department and IKI Special Design Bureau (Frunze, currently Bishkek).



Рентгеновский телескоп ТТМ
TTM X-ray telescope



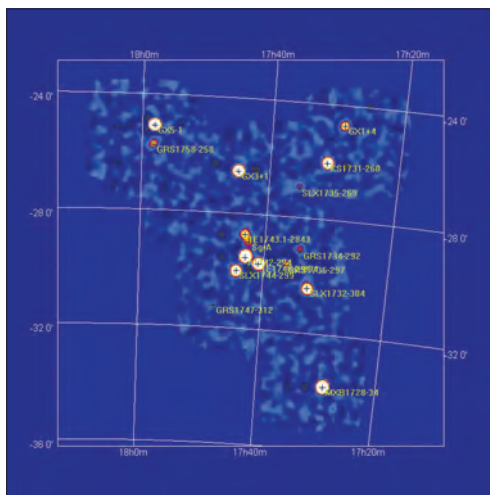
Сотрудники ИКИ и иностранные специалисты возле спектрометра ГЕКСЕ

IKI employees and foreign experts near the HEXE spectrometer



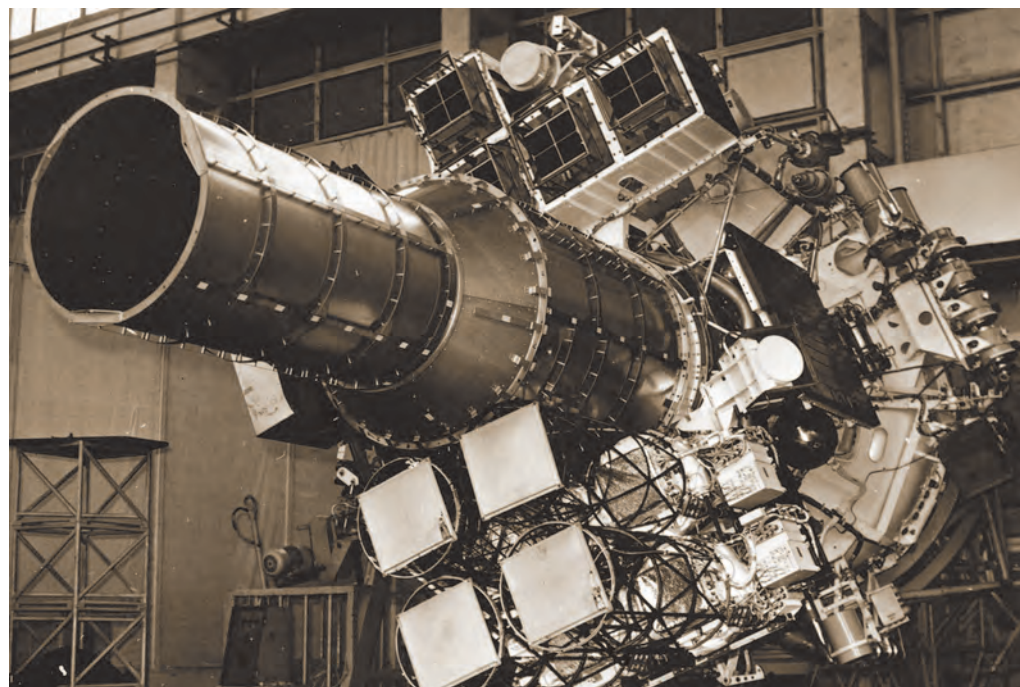
Один из модулей телескопа с кодирующей апертурой ART-P обсерватории «Гранат»

One of the modules of the ART-P coded aperture telescope aboard Granat observatory



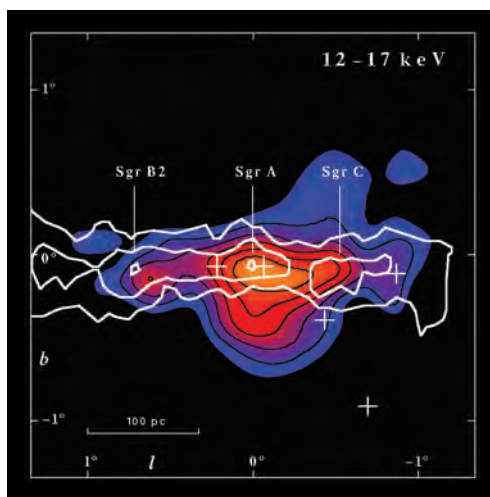
Карта области центра Галактики в диапазоне энергий 4...30 кэВ, полученная телескопом АРТ-П обсерватории «Гранат»

Map of the region on the Galactic center in 4...30 keV energy band, obtained by ART-P telescope aboard Granat observatory



Международная астрофизическая орбитальная обсерватория «Гранат» в цехе НПО им. С. А. Лавочкина. 1988 год

Granat International orbital observatory at Lavochkin Association plant, 1988



Изображение области центра Галактики в диапазоне энергий 12...17 кэВ, полученное телескопом АРТ-П обсерватории «Гранат». Белые контуры показывают распределение молекулярного газа. Рентгеновское излучение, регистрируемое от молекулярного облака Sgr B2, рождается в результате отражения излучения, произведённого в прошлом сверхмассивной чёрной дырой в центре Галактики

An image of the region in the Galactic center within 12...17 keV energy range obtained from the ART-P telescope of the Granat observatory. The white outline shows molecular gas distribution. The X-rays recorded from the Sgr B2 molecular cloud are emitted as a result of reflection of the emission produced by a supermassive black hole in the Galactic center in the past

Гигантский телескоп «Сигма» с кодирующей маской, позволяющей строить изображения в жёстких рентгеновских и мягких гамма-лучах, был изготовлен в Ядерном центре Франции в Сакле и Космическом центре в Тулузе. Обсерватория «Гранат» была запущена 1 декабря 1989 г. с космодрома Байконур.

Одним из главных результатов наблюдений телескопа АРТ-П стало получение надёжного доказательства, что центр Галактики очень слаб в рентгеновских лучах — его светимость оказалась на много порядков меньше критической эддингтоновской светимости для сверхмассивной чёрной дыры с массой 3...4 миллиона солнечных масс.

Однако телескоп АРТ-П зарегистрировал протяжённое жёсткое (8...22 кэВ) рентгеновское излучение от гигантского молекулярного облака Стрелец B2, находящегося примерно в 100 пк от сверхмассивной чёрной дыры. Сотрудники отдела предположили, что это отражённое молекулярным газом излучение чёрной дыры, которая раньше (около 300 лет назад) была примерно в миллион раз ярче, чем сейчас. Было предсказано существование переменного во времени излучения во флуоресцентной линии железа с энергией 6,4 кэВ. Спустя почти 15 лет и этот результат, и предсказание блестяще подтвердили наблюдения зарубежных обсерваторий «Интеграл», ASCA, BeppoSAX, XMM-Newton и Chandra.

По данным телескопа «Сигма» были получены первые изображения области центра

A huge *Sigma* telescope with a coded mask enabling to make images in hard X-rays and soft gamma-rays was built in the Saclay Nuclear Research Center and in the Toulouse Space Center. The *Granat* observatory was launched on 1 December, 1989 from the Baikonur cosmодrome.

One of the main results of the ART-P telescope observations was obtaining a reliable proof that emission of the Galactic central region is very weak in the X-ray spectrum — its luminosity was found to be several orders less than the critical Eddington luminosity for a supermassive black hole having a mass of 3...4 million of the solar masses.

However, the ART-P telescope recorded an extended hard (8...22 keV) X-ray emission from the giant Sagittarius B2 molecular cloud located at approximately 100 pc from the supermassive black hole. The department's staff members assumed that this is a reflected by the molecular gas emission of this black hole, which earlier (about 300 years ago) was approximately one million times brighter than now. Existence of the time-variable iron fluorescent-line emission of 6.4 keV energy was predicted. Almost 15 years later this result and this prediction were confirmed by observations made by the foreign observatories — *Integral*, *ASCA*, *BeppoSAX*, *XMM-Newton*, and *Chandra*.

Based on the data from the *Sigma* telescope, the first images of the region in the Galactic center in hard X-rays and soft gamma-rays from 35 through 600 keV were obtained. Names of the sources discovered by *Granat*

Галактики в жёстких рентгеновских и мягких гамма-лучах от 35 до 600 кэВ. Названия источников, открытых «Гранат», начинаются с букв GRS, т.е. GRanatSource. 13 октября 1990 г. телескоп «Сигма» зафиксировал сильнейшую вспышку от известного источника 1E1740-2942 в диапазоне энергий 400...600 кэВ. Полученные данные были интерпретированы как свидетельство аннигиляции электронно-позитронной плазмы вблизи чёрной дыры. Последовавшие радионаблюдения на крупнейшем телескопе апертурного синтеза VLA в США привели к обнаружению радиовыбросов у этого источника, а сам он был назван Великим Аннигилятором.

Очень важным событием стало открытие в августе 1992 г. с помощью прибора ВОТЧ рентгеновского источника GRS 1915+105, который оказался самым мощным в Галактике. В марте 1994 г. поток излучения от него сильно увеличился. Инициированные этим событием наблюдения на американской решётке 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» разлётом радиокомпонент. До этого такие объекты наблюдались лишь в ярчайших внегалактических радиоисточниках, связанных с активностью сверхмассивных чёрных дыр. Объект, невидимый до 1992 г., с тех пор проявляет себя на разных уровнях активности почти четверть века.

В сентябре 1994 г. обсерватория «Гранат» была переведена в режим сканирования и провела обзор неба в жёстких рентгеновских лучах. Передача данных с обсерватории была закончена 27 ноября 1998 г., обсерватория разрушилась при входе в атмосферу 25 мая 1999 г. Плодом её работы стали более трёхсот научных статей в ведущих научных журналах, собравших более 3500 ссылок.

Серьёзные успехи и научные результаты, полученные обсерваториями «Рентген» и «Гранат», подвели учёных разных стран к мысли о создании полноценной космической лаборатории гамма-лучей, которая позволяла бы не только строить изображения неба в жёстких рентгеновских и гамма-лучах и проводить спектральный и временной анализ рентгеновских источников в широком диапазоне энергий, но также проводить и тонкую спектроскопию. Так родилась концепция международной астрофизической лаборатории гамма-лучей, или обсерватории «Интеграл», совместного проекта Европейского и Российского космических агентств. В октябре 2002 г. обсерватория «Интеграл» была выведена на орбиту. Научный руководитель проекта от России — академик Р. А. Сюняев.

start with letters GRS which means *GRanat-Source*. On 13 October, 1990 the SIGMA telescope recorded the strongest burst from a known source 1E1740-2924 within the energy range of 400...600 keV. The obtained data were interpreted as a proof of annihilation of the electron-positron plasma near the black hole. Further radio observations using the largest aperture-synthesis VLA telescope in the USA led to discovery of radio emission from this source, and the source itself was named the Great Annihilator.

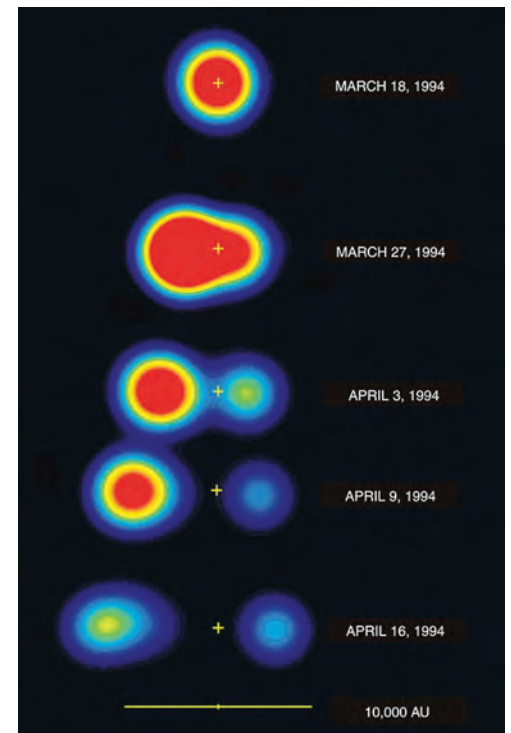
In August 1992 a very important event was the discovery, using the WATCH instrument, of the X-ray source GRS 1915+105 which turned out to be the strongest in the Galaxy. In March 1994 the radiation flux from this source has increased significantly. Initiated by this event observations using the US aperture-synthesis VLA enabled to find two relativistic jets one of which was moving in the perspective plane of the sky at the speed exceeding the speed of light. So that the first in the Galaxy source with superluminal expansion of radio components was discovered. Earlier similar objects were observed only in the brightest extragalactic radio sources associated with activity of supermassive black holes. Since then the object unseen until 1992 is showing itself at various activity levels for almost 25 years.

In September 1994 the *Granat* observatory was switched to a scanning mode and performed the observation of the sky in the hard X-rays. The data transfer from the observatory ended on 27 November 1998 and the observatory underwent destructive reentry on 25 May 1999. The results of its operation included more than 300 research articles in the top journals with more than 3500 references.

Significant achievements and research results obtained by the *Rentgen* and *Granat* observatories gave scientists of different countries an idea of establishing a proper space laboratory of gamma-rays which would enable not only to make sky images in hard X-rays and gamma-rays and perform a spectral and time-line analysis of X-ray sources in a wide range of energies but also to conduct their fine spectroscopy. This was the birth of the concept of *INTErnational Gamma Ray Astrophysical Laboratory*, or *Integral*, a joint project of the European (ESA) and Russian space agencies. In October 2002, the *Integral* observatory was injected into orbit. R. Sunyaev, academician, is an academic advisor of the project on behalf of Russia.



Байконур.
Спутник «Гранат» перед
накаткой обтекателя
Baikonur.
Granat observatory before
encapsulation



**Последовательность
радиоизображений
области неба
вокруг источника
GRS 1915+105, открытого
обсерваторией
«Гранат». Хорошо виден
сверхсветовой разлёт
релятивистских струй**

*Sequence of radio images
of the sky region around
the GRS 1915+105 source
discovered by the Granat
observatory. A superluminal
scattering from the relativistic
jets can be seen clearly*



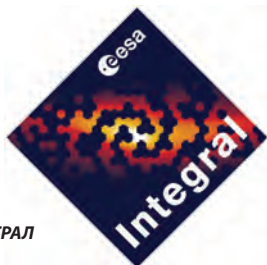
Обсерватория
«Интеграл»
Фото ЕКА

Integral observatory
Photo ESA



Запуск обсерватории
«Интеграл» ракетой
Роскосмоса «Протон»
с космодрома Байконур
Фото ЕКА

Integral launched by Proton
launcher from Baikonur.
Photo ESA



Эмблема проекта ИНТЕГРАЛ
Integral insignia

Наблюдения в жёстком рентгеновском диапазоне энергий, которые проводит обсерватория «Интеграл», позволили открыть несколько сотен новых рентгеновских источников и исследовать статистические свойства объектов разных классов. В нескольких областях неба были проведены сверхглубокие (со временем экспозиции от нескольких миллионов секунд до нескольких десятков миллионов секунд) наблюдения, что практически достигло пределов возможностей телескопов с кодирующей апертурой.

Для обсерватории «Интеграл» впервые в России был реализован принцип «национальной обсерватории». Это значит, что любой учёный из любого российского научного института, университета или обсерватории может подать заявку на проведение наблюдения любого объекта и, в случае если заявка будет одобрена российским и европейским комитетами по распределению наблюдательного времени, — получить данные наблюдений для их последующей обработки и анализа. Все научные данные, полученные в рамках российской квоты наблюдательного времени, поступают в Международный центр научных данных обсерватории «Интеграл» (ISDC, Женева, Швейцария), а затем становятся доступными для российских учёных через РЦНД обсерватории «Интеграл», организованный в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ.

За 12 лет с использованием результатов наблюдений обсерватории «Интеграл» вышло более 250 публикаций российских учёных в ведущих научных журналах, собравших более 4000 ссылок.

Коллектив отдела астрофизики высоких энергий приобрёл большой опыт при работе с обсерваториями «Квант», «Гранат», «Интеграл» и активно использует его при работе с архивными и вновь поступающими данными многих других рентгеновских и гамма-обсерваторий, в первую очередь ROSAT, RXTE (NASA), Chandra (NASA), XMM-Newton (ЕКА). Было получено множество результатов, которые сегодня хорошо известны во всём мире.

Интерпретация данных экспериментальных наблюдений невозможна без глубокого понимания и развития теории релятивистской астрофизики и космологии. Отдел продолжает теоретические исследования по космологии, физике ранней Вселенной, реликтовому излучению Вселенной, физическим процессам в горячем газе скопленных галактик, в ядрах активных галактик и в центральной области Галактики, аккреции вещества на чёрные дыры, нейтронные звёзды и белые карлики, взаимодействию излучения с горячей астрофизической плазмой.

Observations in the hard X-ray range of energies conducted by the *Integral* observatory enabled to discover several hundreds of new X-ray sources and examine statistical properties of objects of various classes. In several regions of the sky ultra deep (with exposure time from several millions of seconds to several tens of millions of seconds) observations were conducted, which was virtually at the limit of capabilities of the coded aperture telescopes.

For the *Integral* observatory it was the first time in Russia when the principle of the national observatory was implemented. This means that any scientist from any Russian scientific institute, university, or observatory can apply for observation of any object and, if this application is approved by the Russian and European Time Allocation Committees, receive the observational data for their further processing and analysis. All the scientific data obtained within the Russian observation time quota are transferred to the International Scientific Data Center of the *Integral* observatory (ISDC, Geneva, Switzerland) and then become available for Russian scientists via the Russian Scientific Data Center (RSDC) of the *Integral* observatory established in the IKI High Energy Astrophysics Department.

Over the 12 years period more than 250 articles of Russian scientists using the *Integral* observational data were published in the top journals with more than 4000 references.

The team of the High Energy Astrophysics Department gained a vast experience when working with the *Kvant*, *Granat*, and *Integral* observatories and is making an active use of it for processing of archived and new data received from many other X-ray and gamma-ray observatories, first of all from ROSAT, RXTE (NASA), *Chandra* (NASA), *XMM-Newton* (ESA). Many results now well known worldwide were obtained.

Interpretation of the experimental observational data is impossible without a deep understanding and development of the relativistic astrophysics and cosmology theory. The department continues its theoretical research in cosmology, physics of the early Universe, cosmic microwave background, and physical processes in the hot gas of galaxy clusters, in the active galactic nuclei and in the central region of the Galaxy, accretion of matter on black holes, neutron stars, and white dwarfs, interaction of radiation with the hot astrophysical plasma.

Параллельно с этим продолжается разработка новых инструментов для рентгеновской астрофизики. Ближайший проект — российско-германская обсерватория «Спектр-РГ», которую планируется вывести на орбиту в 2016 г. Готовятся к работе два эксперимента для Международной космической станции. Кроме этого, отдел астрофизики высоких энергий ИКИ РАН участвует в наземном российско-турецком 1,5-метровом телескопе, одна из задач которого — оптическая поддержка космических наблюдений, в том числе — будущих наблюдений с помощью обсерватории «Спектр-РГ».

Сотрудники отдела опубликовали более 2400 научных статей (из них 20 — в журналах *Nature* и *Science*), на которые в мировой научной литературе было сделано 60 тысяч ссылок (по данным NASA ADS на февраль 2015 г.). На работы четырёх сотрудников отдела сделано более чем по 5 тысяч ссылок.

Проекты отдела / с участием сотрудников отдела

«Прогноз-9» / СНЕГ-2МР9 (1983–1984)
 РЕНТГЕН / КВАНТ (орбитальный комплекс «Мир», 1987–2001 гг.)
 ГРАНАТ (1989–1999)
 ИНТЕГРАЛ (с 2002 г. по настоящее время)

Российско-турецкий телескоп РТТ-150 (совместно с Казанским федеральным университетом, Государственным комитетом по науке и технологии Турции, с 1997 г. по настоящее время)

В стадии разработки

«Спектр-РГ» (совместный проект Федерального космического агентства и Германского аэрокосмического агентства, 2016–2017 гг.)

«Монитор Всего Неба» (МВН, на МКС), 2016 г.)

«Рентгеновский микрофон»

Основные направления исследований

- Реликтовый фон Вселенной, включая эффект Сюняева-Зельдовича. Анализ физических процессов, определяющих рекомбинацию водорода и гелия во Вселенной и реионизацию Вселенной.
- Измерение функции масс скоплений галактик. Получение ограничений на космологические параметры, в том числе свойства тёмной материи и тёмной энергии. Крупномасштабная структура Вселенной. История роста сверхмассивных чёрных дыр во Вселенной.

Concurrently, new instrumentation for X-ray astrophysics is under development. The nearest project is the Russian-German *Spektr-RG* observatory planned to be inserted into orbit in 2016. Two experiments are being prepared for the International Space Station. Additionally, IKI High Energy Astrophysics Department is partaking in operation of the ground Russian-Turkish 1.5-m telescope, a task of which, among other things, is optical support of space observations including future observations using the *Spektr-RG* observatory.

The department's staff members have more than 2400 scientific articles published (20 of them in *Nature* and *Science* journals) these articles were referred to 60 000 times (per NASA ADS data as of February 2015). Papers of 4 department members were referred to more than 5000 times each.

Completed and Ongoing Projects

Prognoz-9 / SNEG-2MP9 (1983–1984)
Rentgen / KVANT (*Mir* space station, 1987–2001)

Granat (1989–1999)
Integral (ESA, 2002 – today)

РТТ-150 Russian-Turkish telescope (together with the Kazan Federal University, Scientific and Technological Research Council of Turkey TUBITAK, 1997 – today)

Projects in Development

Spektr-RG (Roscosmos/DLR, 2016–17)
All-Sky Monitor (onboard the International Space Station, 2016)
X-Ray Microphone

Research Areas

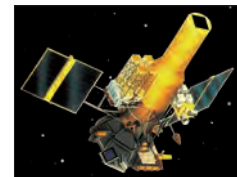
- Cosmic microwave background including Sunyaev-Zeldovich effect. Analysis of the physical processes which determine the hydrogen and helium recombination process in the Universe and Universe re-ionization.
- Measuring the mass function of the galaxy clusters. Data acquisition on the restrictions to cosmological parameters including properties of the dark matter and dark energy. The Universe large scale structure. History of supermassive black holes growth in the Universe.



Обсерватория «Прогноз-9»
Prognoz 9 observatory



Обсерватория КВАНТ
Kvant observatory



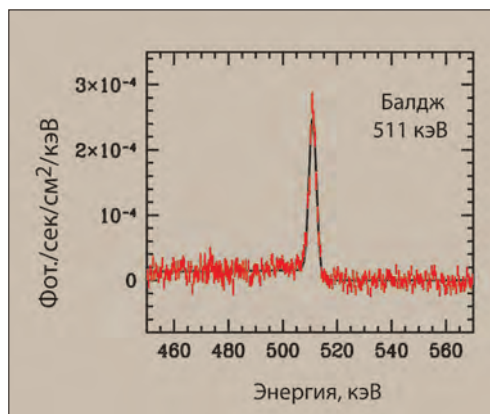
Обсерватория ГРАНАТ
Granat observatory



Обсерватория ИНТЕГРАЛ (ЕКА)
Integral observatory (ESA)

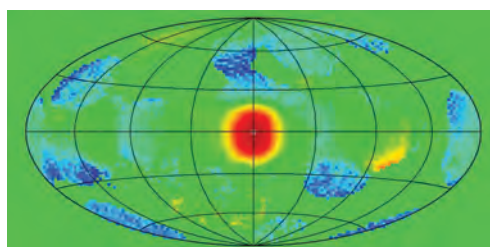


Телескоп РТТ-150
RTT-150 telescope



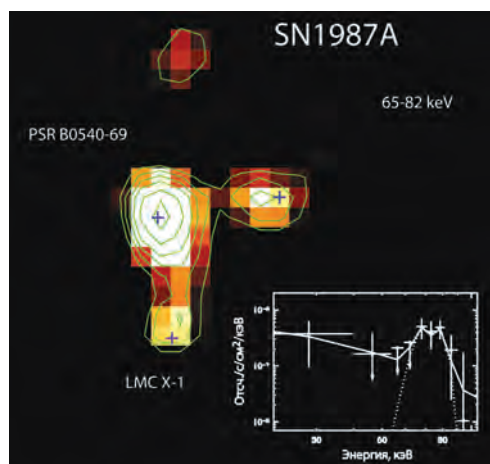
Спектр излучения центральной области Галактики в окрестностях эмиссионной линии аннигиляции позитронов (511 кэВ)

An emission spectrum of the Galactic center in the vicinity of the emission line resulting from positron annihilation (511 keV)



Изображение неба в области энергий 511 кэВ (в галактической системе координат). Хорошо видна концентрация излучения в направлении центра Галактики

An image of the sky within the 511 keV energy range (in the Galactic coordinate system). Emission concentration towards the Galactic center can be seen clearly



Изображение области неба вокруг сверхновой SN1987a в диапазоне энергий 65...82 кэВ. В этой области должно формироваться излучение в линиях 67,9 и 78,4 кэВ, связанное с распадом радиоактивного ⁴⁴Ti. На врезке показан спектр излучения из области вокруг SN1987a

An image of the sky region around SN1987a supernova within 65...82 keV energy range. In this region emission on lines 67.9 keV and 78.4 keV associated with radioactive ⁴⁴Ti decay shall form. The inset shows the emission spectrum from the region around SN1987a

- Исследование свойств и развитие методов диагностики плазмы в скоплениях галактик. Физические процессы вблизи сверхмассивных чёрных дыр, их воздействие на межзвёздную и межгалактическую среду.
- Свойства рентгеновских двойных систем и катаклизмических переменных, а также их популяций. Изучение структуры галактик по данным о пространственном распределении рентгеновских источников.
- Нуклеосинтез при взрывах сверхновых звёзд и аннигиляции вещества во Вселенной методами рентгеновской и гамма-спектроскопии. Получение ограничений на природу сверхновых. Космические гамма-всплески.
- Проведение обзоров неба в рентгеновских лучах. Поиск новых объектов. Наземная поддержка рентгеновских обзоров. Поддержка архива данных обсерватории «Интеграл». Научное сопровождение обзора неба обсерватории «Спектр-РГ».
- Формирование научных задач и разработка научно-технических предложений для будущих астрофизических обсерваторий. Разработка рентгеновских приборов для решения астрофизических задач. Разработка новых методов навигационного обеспечения космических аппаратов по сигналам рентгеновских пульсаров.

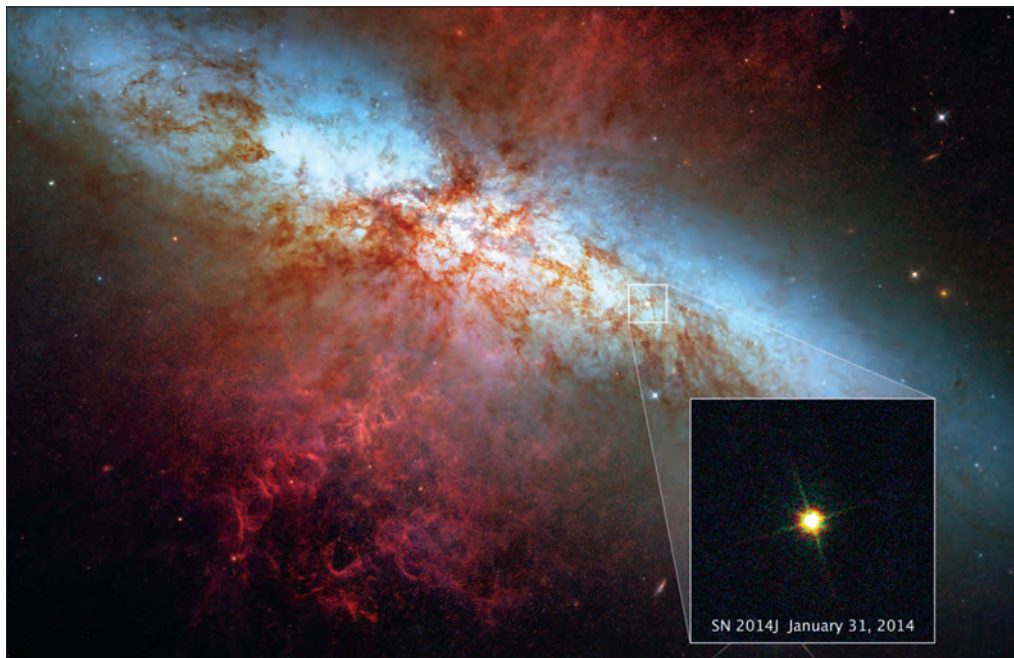
- Analysis of the properties and development of the methods of plasma diagnostic in the galaxy clusters. Physical processes in the vicinity of the supermassive black holes, their influence on the interstellar and intergalactic media.
- Properties of the X-ray binary systems and cataclysmic variable stars as well as their populations. Study of the galaxy structures by the data on the spatial distribution of X-ray sources.
- Nucleosynthesis in the process of supernova explosions and matter annihilation in the Universe using the methods of X-ray and gamma-ray spectroscopy. Data acquisition on the restrictions to the supernovae nature. Cosmic gamma-ray bursts.
- X-ray sky surveys. Search for new objects. Ground support of X-ray surveys. Keeping the data archive of the *Integral* observatory. Scientific support of the sky survey using the *Spektr-RG* observatory.
- Problem descriptions and development of scientific and technical proposals for future astrophysical observatories. Development of the X-ray instrumentation to solve the astrophysical issues. Development of new methods of navigation support for spacecraft by means of signals from the X-ray pulsars.

Приборы, проекты, результаты

С помощью спектрометра высокого разрешения SPI обсерватории «Интеграл» было исследовано гамма-излучение Галактики. В измеренных спектрах выделяются линии на энергиях 511 кэВ и 1,8 МэВ, связанные с аннигиляцией электрон-позитронных пар и распадом радиоактивного изотопа ²⁶Al, синтезируемого массивными звёздами. Пространственные распределения интенсивности излучения этих линий разительно отличаются: линия 1,8 МэВ тяготеет к диску Галактики, где формируются молодые звёзды, а интенсивная аннигиляция позитронов происходит в центральной зоне Галактики. По ширине линии 511 кэВ и относительной яркости трёхфотонного континуума на энергиях ниже 511 кэВ показано, что аннигиляция происходит в тёплой частично ионизированной межзвёздной среде, причём не напрямую, а через образование позитрония — короткоживущей связанной системы из электрона и позитрона. Наиболее вероятный «поставщик» позитронов — термоядерные взрывы сверхновых типа Ia, синтезирующие радиоактивный изотоп ⁵⁶Ni, который в процессе распада ⁵⁶Ni → ⁵⁶Co → ⁵⁶Fe производит позитроны. Однако нельзя исключить и более экзотические сценарии рождения позитронов в центральной зоне Галактики.

Instruments, Projects, Results

Using the high definition SPI spectrometer of the *Integral* observatory Galactic gamma-ray emission was examined. Within the measured spectra the lines are distinguished within energies of 511 keV and 1.8 MeV associated with annihilation of the electron-positron pairs and radioactive isotope ²⁶Al decay synthesized by massive stars. Spatial distribution of these lines emission intensity is in a marked contrast: line of 1.8 MeV gravitates towards the Galactic center where young stars are formed, and intensive positron annihilation takes place in the central region of the Galaxy. 511 keV line width and relative brightness of the three-photon continuum at energies below 511 keV show that annihilation occurs in a warm, partly ionized, interstellar media, and not directly, but through formation of a positronium — a short-living bound system of an electron and a positron. The most probable supplier of the positron is type Ia supernova thermonuclear explosions which synthesize the ⁵⁶Ni radioactive isotope that produces positrons in the process of its decay ⁵⁶Ni → ⁵⁶Co → ⁵⁶Fe. But we cannot exclude even more exotic scenarios of positron production in the central region of the Galaxy.



Вспышка сверхновой SN2014J в галактике M82

SN 2014J explosion in the galaxy M82

В результате проведённых обсерваторией «Интеграл» глубоких наблюдений Большого Магелланова Облака зарегистрировано рентгеновское излучение от остатка уже упоминавшейся сверхновой 1987A в линиях на энергиях 67,9 и 78,4 кэВ, связанное с распадом радиоактивного титана-44 (^{44}Ti). Это первое прямое доказательство образования титана во время взрыва этой интереснейшей сверхновой. По измеренному потоку излучения удалось оценить количество ^{44}Ti , синтезированного при взрыве, — около 0,0003 массы Солнца, и объяснить наблюдающееся поведение яркости сверхновой в последние 20 лет.

15 января 2014 г. в галактике M82 взорвалась сверхновая типа Ia, получившая название SN2014J. Она оказалась самой близкой сверхновой этого типа за всю эпоху космических обсерваторий. Сверхновые типа Ia связаны с термоядерными взрывами белых карликов с массой около Chandrasekharовского предела (1,4 массы Солнца). В процессе взрыва синтезируется большое количество радиоактивного ^{56}Ni , распад которого должен сопровождаться излучением характерных линий в гамма-диапазоне. Высокая скорость разлёта и небольшая масса оболочки должны приводить к раннему выходу гамма-излучения. При поддержке Российского научного комитета проекта ИНТЕГРАЛ программа наблюдений обсерватории была оперативно изменена, чтобы обеспечить максимальный приоритет наблюдениям этого объекта.

As a result of deep observations of the Large Magellanic Cloud by the *Integral* observatory, X-ray emission from the mentioned SN1987A remnant within the lines of energies of 67.9 and 78.4 keV associated with radioactive ^{44}Ti decay was recorded. This is the first direct proof of titanium production in the explosion process of this fascinating supernova. We were able to calculate the amount of ^{44}Ti synthesized during the explosion using the measured emission — about 0.0003 of the solar mass, as well as to explain the observed behavior of the supernova brightness over the last 20 years.

On 15 January 2014 a type Ia supernova named SN2014J exploded in the M82 galaxy. It turned out to be the closest supernova of this type over the whole history of space observatories. Type Ia supernovae are associated with thermonuclear explosions of white dwarfs with a mass close to the Chandrasekhar limit (1.4 solar mass). During the explosion process a large amount of radioactive ^{56}Ni is synthesized, decay of which shall produce indicative lines in the gamma-rays. A high speed of scattering and a small mass of the envelope shall result in early gamma-ray yield. Supported by the Russian Scientific Committee of the project, the *Integral* observation program was quickly changed to ensure the maximum priority in observation of this very object.

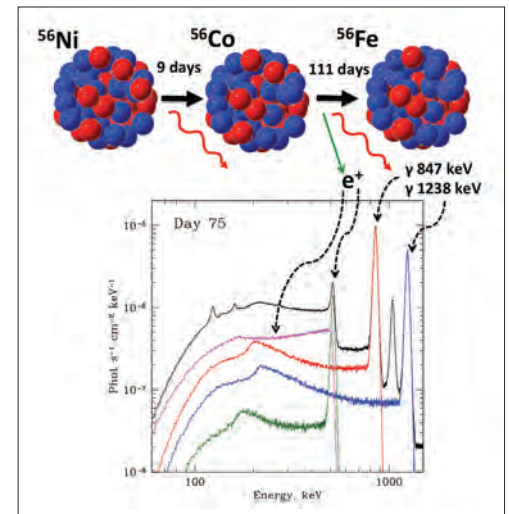
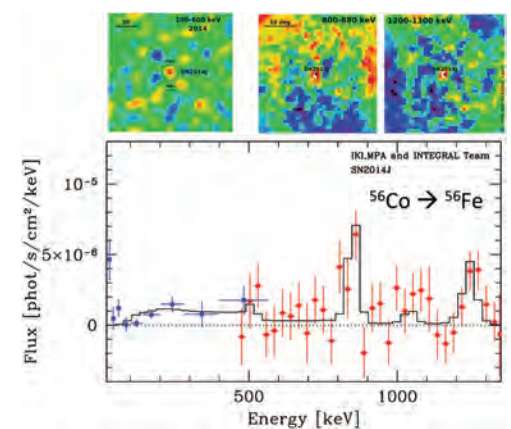


Схема распада радиоактивного никеля в кобальт и железо. Чёрной гистограммой показан ожидаемый спектр излучения сверхновой на 75-й день после взрыва. Ожидаемые вклады комптоновского рассеяния линий 847 (красная), 1238 кэВ (синяя), аннигиляции позитронов (зелёная), трёхфотонной аннигиляции позитрония (сиреневая)

Radioactive nickel decay to cobalt and iron. The black histogram shows the expected emission spectrum of the supernova 75 days after the explosion. The expected contributions of the Compton scattering of the 847 keV (red), 1238 keV line (blue), positron annihilation (green), three-photon positronium annihilation (lilac)

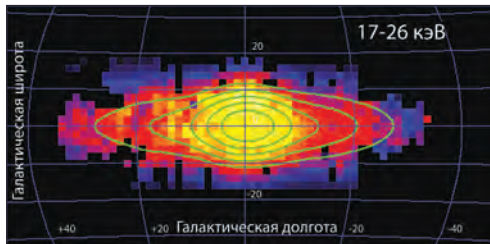
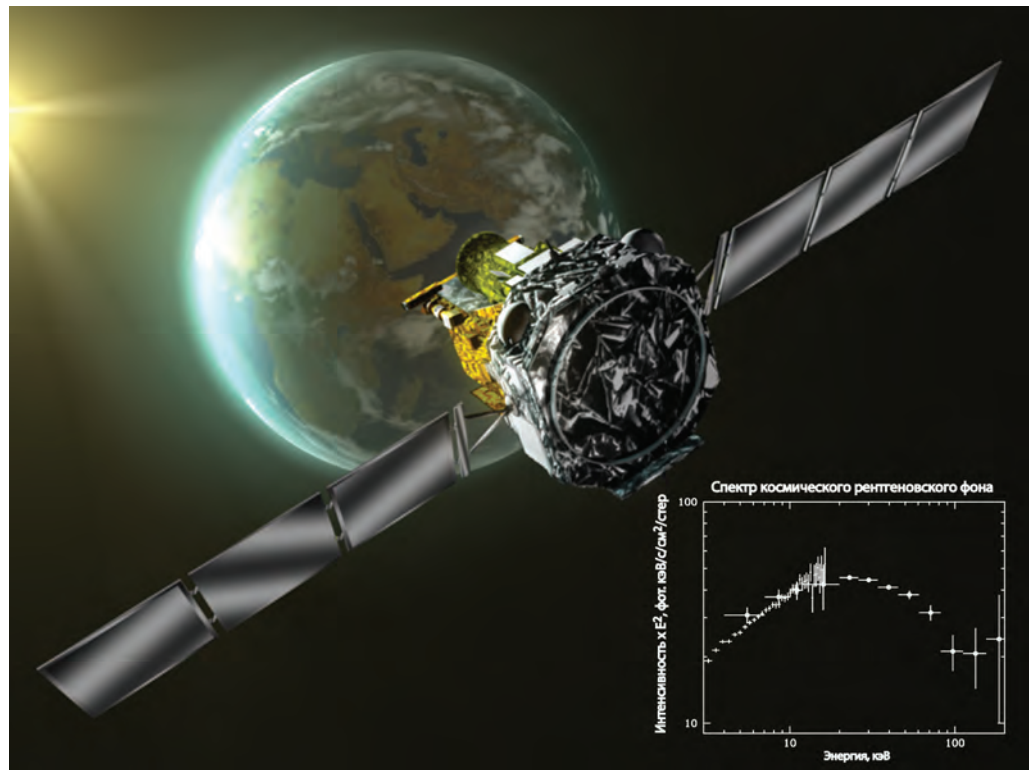


Спектр SN2014J, полученный обсерваторией «Интеграл» с 50-го по 100-й день после вспышки. Красные и синие точки показывают данные приборов SPI и ISGR/IBIS. Чёрная кривая — модель спектра сверхновой на 75-й день после взрыва. В верхнем ряду — изображения, полученные обсерваторией «Интеграл». Чётко виден источник гамма-излучения на месте SN2014J

SN2014J spectrum obtained by the *Integral* observatory 50 to 100 days post the burst. Red and blue dots indicate SPI and ISGR/IBIS data. A black curve is a supernova spectrum model 75 days post the explosion. Top row — images obtained from the *Integral* observatory. A gamma-ray source on SN2014J place can be seen clearly

Обсерватория «Интеграл» во время наблюдений Земли (иллюстрация © ЕКА). Наблюдения Земли были проведены с целью отделения инструментального фона детектора от космического фона Вселенной. По результатам измерений получен спектр космического рентгеновского фона (на врезке)

The Integral observatory during Earth observation (artist's impression, © ESA). Earth observations were conducted to separate the detector instrument background from the cosmic background of the Universe. On completion of measurements the spectrum of the cosmic X-ray background was obtained (see the inset)



Поверхностная яркость «хребта» Галактики на энергиях 17...26 кэВ. Контуры отражают области одинаковой поверхностной яркости Галактики в инфракрасном диапазоне, в котором преобладает вклад обычных звёзд. Соответствие карты поверхностной яркости в жёстком рентгеновском диапазоне инфракрасной карте указывает на то, что источником фотонов для рентгеновского хребта Галактики являются дискретные источники, распределённые в Галактике так же, как и обычные звёзды

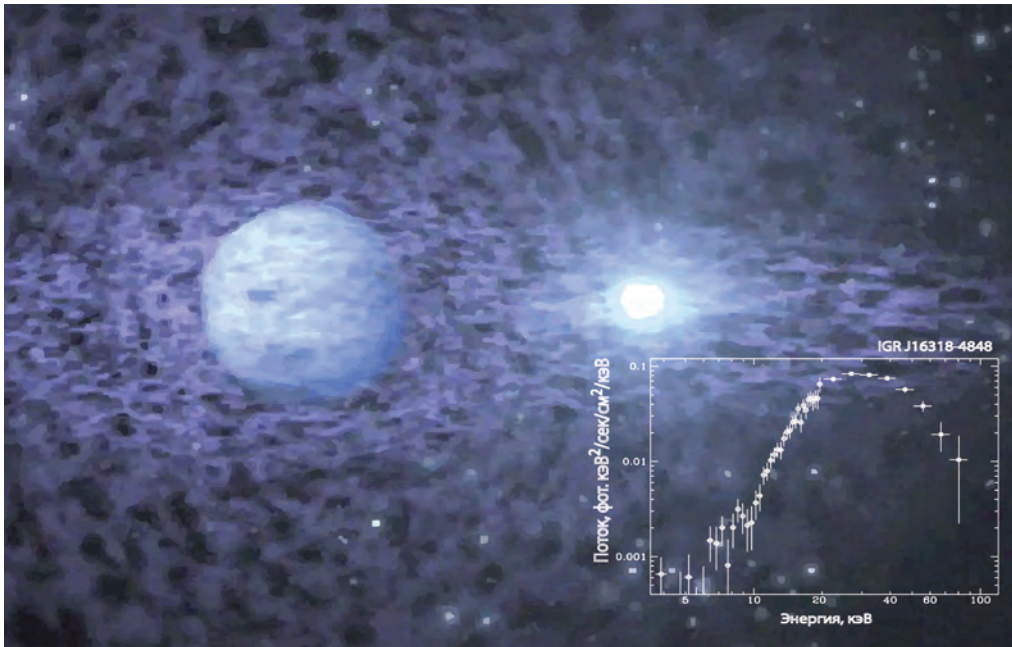
Surface brightness of the Galactic ridge at the 17...26 keV energies. The outlines show the regions with the same surface brightness in the infrared waveband where standard stars contribution prevails. The correspondence of the surface brightness map in the hard X-rays to the map in the infrared rays points out that the discrete sources distributed in the Galaxy same way as the standard stars, are the photon sources for the X-ray Galactic ridge

В результате удалось впервые напрямую подтвердить термоядерную природу таких сверхновых, измерить массу радиоактивного ^{56}Ni и скорость разлёта и сравнить предсказания детальных моделей с наблюдаемыми спектрами в гамма-диапазоне. Эти работы, кроме научного, имели большое значение для поддержки продолжения работы обсерватории «Интеграл». В 2014 г. специальная комиссия ЕКА, рассмотрев полученные результаты и возможные перспективы, признала работу обсерватории успешной и требующей дальнейшего продолжения. Решением ЕКА финансирование обсерватории (управление спутником, приём и передача данных, наземная поддержка) гарантировано до конца 2016 г. с возможным продлением.

Жёсткий рентгеновский обзор неба по данным наблюдений обсерватории «Интеграл» позволил впервые провести систематический поиск активных ядер галактик второго типа, в которых сверхмассивная чёрная дыра скрыта от наблюдателя в других диапазонах длин волн толстым слоем пыли и холодного газа. «Интеграл» обнаружил уже несколько десятков новых объектов такого типа. Считается, что активные ядра галактик вносят основной вклад в космический рентгеновский фон (КРФ) — излучение, пронизывающее всё космическое пространство. К сожалению, чувствительности современных жёстких рентгеновских детекторов не хватает для того, чтобы разрешать рентгеновский фон на отдельные источники в жёст-

As a result, it was the first time when the thermonuclear nature of such supernovae was directly confirmed, the mass of the radioactive ^{56}Ni and scattering speed were measured, detailed predicted models were compared with the observed spectra in gamma-rays. In addition to the science, these work also had a great significance in support of continuation of *Integral* operations. In 2014, ESA special commission reviewed the obtained results and potential prospects and acknowledged the observatory to be successful and the need to continue. The ESA decision guarantees observatory financial support (satellite control, data acquisition and transfer, ground support) till the end of 2016 with probable prolongation.

A hard X-ray observation of the sky based on the data obtained from the *Integral* observatory enabled the first systematic search of active nuclei of the type 2 galaxies where a supermassive black hole is hidden from the observer in other wavelength ranges by a thick layer of dust and cold gas. *Integral* has already discovered several dozens of new objects of this type. Active galactic nuclei are thought to contribute most into the cosmic X-ray background, the emission going through the whole space. Unfortunately, today's hard X-ray detectors are not sensitive enough to resolve the X-ray background into the separate sources in the hard range (above 10 keV), the range where the maximum of background intensity is. But we can obtain an important missing information on the history of supermassive black hole growth



Художественное изображение двойной системы с мощным звёздным ветром и аккрецирующей нейтронной звездой (© ЕКА). На врезке показан спектр излучения одной из таких систем. Видно, что на энергиях ниже 10 кэВ излучение практически полностью поглощено веществом ветра

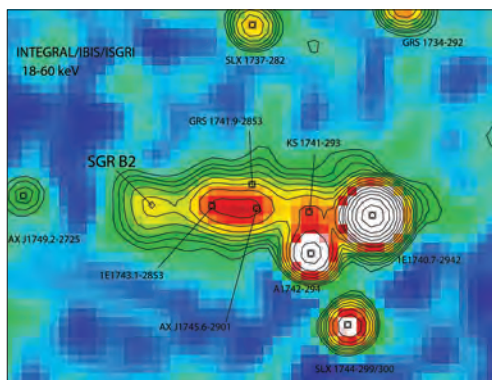
An artist's impression of a binary system with a powerful stellar wind and an accreting neutron star (© ESA). The inset shows the emission spectrum of one of such systems. You can see that at the energies below 10 keV the emission is almost completely absorbed by the wind matter

ком диапазоне (на энергиях выше 10 кэВ), на который приходится максимум его интенсивности. Однако важную недостающую информацию об истории роста сверхмассивных чёрных дыр во Вселенной можно получить и другим способом — измеряя спектр жёсткого рентгеновского фона. Специально для решения этой задачи в 2006 г. учёными отдела астрофизики высоких энергий была инициирована уникальная программа наблюдений Земли обсерваторией «Интеграл». При этом наша планета использовалась как гигантский экран, на время закрывший от приборов обсерватории излучение далёких источников, составляющих фон. В результате впервые удалось построить спектр фона в широком диапазоне энергий от 3 до 150 кэВ с точностью около 10 %.

Большое поле зрения и хорошее угловое разрешение телескопов обсерватории «Интеграл» впервые позволили получить карты и спектры так называемого «хребта Галактики» — слабого протяжённого рентгеновского излучения вдоль галактической плоскости, представлявшего собой загадку последних десятилетий. Удалось показать, что излучение хребта Галактики в жёстком рентгеновском диапазоне энергий 10...60 кэВ представляет собой суммарное излучение миллионов аккрецирующих белых карликов. На энергиях выше 100 кэВ вклад этих источников становится малым и в протяжённом излучении Галактики начинает преобладать излучение межзвёздной среды.

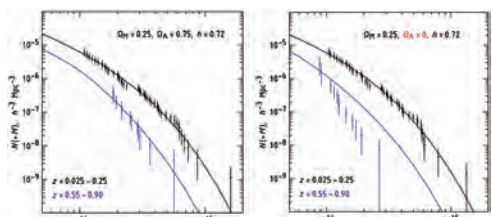
in the Universe by other means, i.e. by measuring the spectrum of the hard X-ray background. In 2006, specifically for resolving this issue, scientists of the High Energy Astrophysics Department initiated a unique program of Earth observation from the *Integral* observatory. Our planet was utilized as a huge screen that temporarily blocked the far source emission from the observatory instrumentation. Consequently, it was the first time when the background was recorded in a wide range from 3 through 150 keV within the accuracy of 10 percent.

Large fields of view and a good angular resolution of the *Integral*'s telescopes first enabled to obtain the maps and spectra of a so-called Galactic ridge — a weak extended X-ray emission along the Galactic plane which was a puzzle of the last decade. We succeeded in showing that the Galactic ridge emission within the hard X-ray energy range of 10...60 keV is an accumulated emission of millions of accreting white dwarfs. At the energies of above 100 keV the contribution of these sources becomes low and the interstellar medium emission starts to prevail in the extended Galactic emission.



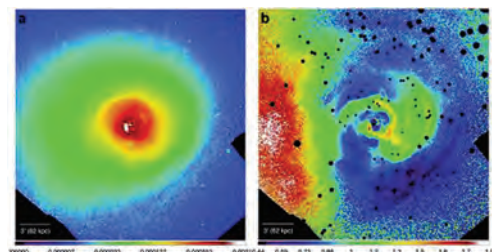
Карта центра Галактики на энергиях 17...60 кэВ, полученная обсерваторией «Интеграл», с основными источниками. Среди них выделяется молекулярное облако Sgr B2. Свечение этой области, по всей видимости, формируется в результате отражения прошлого (300 лет назад) излучения центральной чёрной дыры в нашей Галактике

A map of the Galactic center at 17...60 keV obtained from the Integral observatory including primary sources. Among them, the Sgr B2 molecular cloud is distinguished. The luminance of this region is apparently formed as a result of the reflection of the past (300 years ago) emission of the central black hole in our Galaxy



Функция масс скоплений галактик, измеренная по данным рентгеновских обзоров. Далекие скопления галактик отобраны из обзора площади 400 квадратных градусов, составленного по данным наведения телескопа ROSAT (Германия). Близкие скопления взяты из обзора всего неба телескопа ROSAT. Массы скоплений измерены при помощи рентгеновских наблюдений обсерватории Chandra (NASA). Полученные данные о функции масс скоплений свидетельствуют о том, что космологическая постоянная не равна нулю

Mass function of the galaxy clusters measured using the data of the X-ray observations. The remote galaxy clusters are selected from the 400 sq. deg. observation made on the basis of the pointings of the ROSAT telescope (Germany). The close clusters are selected from the all-sky observation from the ROSAT telescope. The cluster masses are measured based on the X-ray observations by the Chandra observatory (NASA). The acquired data on the cluster mass function are an evidence of a non-zero cosmological constant



Слева: рентгеновое изображение скопления галактик в созвездии Персея по данным обсерватории Chandra (NASA). Справа: то же самое, но поделенное на средний профиль яркости; в таком виде более контрастно выступают относительные вариации плотности вещества в скоплении

Left: an X-ray image of the galaxy cluster in the constellation of Perseus from the Chandra observatory data (NASA). Right: the same image but divided by the average brightness profile; here the relative variations of the matter density in the cluster can be seen better

Уже по первым наблюдениям нашей Галактики обсерваторией «Интеграл» было открыто новое семейство нейтронных звёзд, окружённых «коконами» пыли и газа. Яркие в жёстких рентгеновских лучах, эти объекты практически невидимы в обычном рентгеновском диапазоне (<10 кэВ). Оказалось, что это двойные системы с нейтронными звёздами, которые аккрецируют вещество с молодых звёзд с очень мощными ветрами. Кроме того, при активном участии сотрудников отдела астрофизики высоких энергий был открыт новый класс массивных рентгеновских двойных систем, в которых нейтронные звёзды, аккрецирующие вещество с массивных звёзд, могут вспыхивать на короткий период времени, повышая свою яркость иногда в сотни и тысячи раз. Всего же в ходе многолетнего обзора Галактики приборами обсерватории «Интеграл» было зарегистрировано более сотни массивных рентгеновских двойных систем, и почти половина из них — новые. Это позволило измерить распределение поверхностной плотности таких объектов в Галактике, показать, что оно коррелирует с локальным темпом звёздообразования, и сравнить расположение массивных рентгеновских двойных систем с областями их предполагаемого образования.

Обсерватория «Интеграл» зарегистрировала жёсткое рентгеновское излучение на энергиях 20...150 кэВ от гигантского молекулярного облака Стрелец B2 в центральной области нашей Галактики, подтвердив результат, полученный ранее, но на более низких энергиях, с помощью телескопа ART-P обсерватории «Гранат». Последующие наблюдения показали, что это излучение затухает на масштабе 10 лет. Тем самым подтверждается гипотеза, что сверхмассивная чёрная дыра в центре Млечного Пути активно аккрецировала вещество примерно 300 лет назад, а сейчас мы наблюдаем «эхо» этой активности.

Получены ограничения на космологические параметры Вселенной по эволюции функции масс скоплений галактик, что даёт независимое подтверждение существования тёмной энергии во Вселенной.

Разработана теория нагрева межгалактической плазмы за счёт развития всплывающих пузырей релятивистской плазмы, связанных с активностью центральной сверхмассивной чёрной дыры.

Российско-германская рентгеновская обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма» — флагманский проект отдела. Он несёт два основных научных прибора: германский телескоп eROSITA (MPE) и российский телескоп ART-XC (ИКИ РАН в кооперации с РФЯЦ — ВНИИЭФ (Всероссийским научном-исследовательским институтом экспериментальной физики, Саров) и Космическим центром им. Маршалла, НАСА, США).

Already after the first observations of our galaxy by means of the *Integral* observatory, a new family of neutron stars surrounded by so-called cocoons of dust and gas was discovered. These objects being bright in the hard X-rays were virtually invisible in a standard X-ray range (below 10 keV). It turned out that these are binary systems with neutron stars which accrete matter from the young stars with very strong winds. Additionally, High Energy Astrophysics Department's staff members were actively involved in discovery of a new class of massive X-ray binary systems where the neutron stars accreting the matter from the massive stars can flare for a few minutes with an increase in their brightness sometime hundreds and thousands of times. All in all over the long-term galaxy observation the *Integral* instrumentation discovered more than a hundred of massive X-ray binary systems and almost half of them are the new ones. This enabled to measure the distribution of the area density of such objects on the Galaxy, to show that it correlates with the local rate of star formation and to compare the location of the massive X-ray binary systems with the regions of their assumed formation.

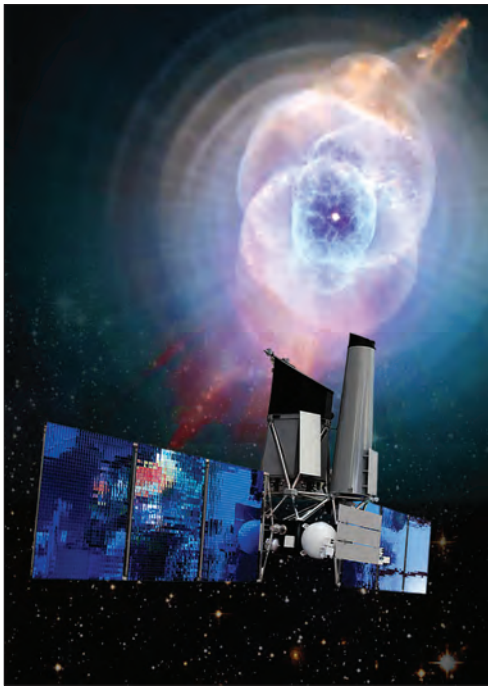
The *Integral* observatory recorded a hard X-ray emission at 20...150 keV from the giant Sagittarius B2 molecular cloud in the central region of our Galaxy that confirmed the previous results obtained at lower energies by means of the ART-P telescope of the *Granat* observatory. Further observations showed the quenching of this emission at the scale of 10 years. This confirms the hypothesis that the supermassive black hole in the center of the Milky Way was actively accreting the matter about 300 years ago and today we can observe the echo of that activity.

By the evolution of the mass function of the galaxy clusters the restrictions to the cosmological parameters of the Universe were obtained that independently confirm existence of the dark energy in the Universe.

The theory of intergalactic plasma heating through the ejection of bubbles of the relativistic plasma related to the activity of the central supermassive black hole was developed.

The Russian-German *Spektr-Rentgen-Gamma* X-ray observatory, or *Spektr-RG*, is a flagship project of the department today. After multiple modifications of the recent years, today it is carrying two primary scientific instruments: the German eROSITA telescope (Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, MPE, Germany) and the Russian ART-XC telescope (IKI in collaboration with the Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov, and the Marshall Space Flight Center, NASA, USA).

In 2008 the department in collaboration with the Russian Federal Nuclear Center in Sarov (RFNC) developed operations on the ART-XC telescope — an X-ray mirror telescope of oblique incidence. The most complex is-



Российско-германская рентгеновская обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма» — флагманский проект отдела

The Russian-German Spektr-Rentgen-Gamma X-ray observatory, or Spektr-RG, is a flagship project of the department today



Рентгеновская зеркальная система с 28 оболочками, установленная на гексапode перед закаткой в вакуумную камеру для тестирования на квази-параллельном рентгеновском пучке

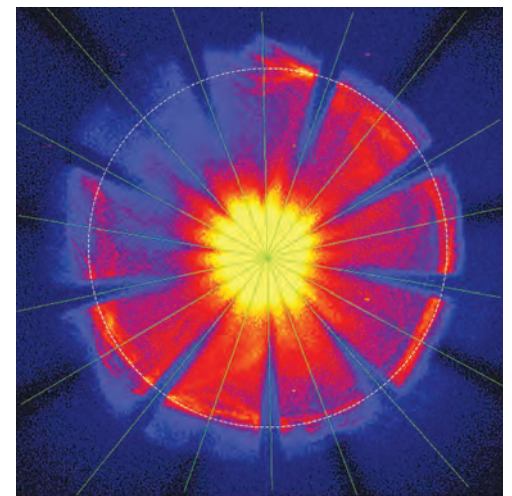
X-ray mirror assembly with 28 shells, installed on the hexapode before placing it into vacuum chamber to test with a quasi-parallel X-ray beam



Сборка детектора телескопа АРТ-ХС
ART-XC detector assembly

В 2008 г. отдел в кооперации с РФЯЦ в Сарове развернул работы по зеркальному рентгеновскому телескопу косоугольного падения ART-XC. Наиболее сложной задачей оказалась разработка рентгеновской оптики на энергии до 30 кэВ и полупроводниковых позиционно-чувствительных и спектрометрических детекторов, также работающих до 30 кэВ. За сравнительно короткий срок были достигнуты заметные успехи в РФЯЦ — разработаны и освоены основные технологические процессы, в частности по прецизионной металлообработке, полировке, гальванопластике, метрологии на уровне ангстрем, высокоточной юстировке на уровне секунд дуги, созданы стенды по проверке и сборке зеркальных систем. В ИКИ был подготовлен специализированный стенд для тестирования зеркальных систем и детекторов при помощи квазипараллельного рентгеновского пучка. Однако быстро выйти на требуемые параметры зеркальных систем по угловому разрешению и эффективной площади не удалось. В 2011 г. было принято решение подключить Космический центр Маршалла NASA (США) к изготовлению лётных зеркальных систем. Изготовленные в РФЯЦ зеркальные системы будут использоваться для квалификационных испытаний телескопа.

Issues during the design of the ART-XC telescope were the development of the X-ray optics at the energy below 30 keV and semiconductor position-sensitive and spectroscopic detectors also operating at the energies below 30 keV. Over a comparatively short period a remarkable success was achieved in the X-ray optics in RFNC, it developed and/or mastered primary processes, among others precision metal forming, polishing, electrotyping, metrology at the Angstrom level, high precision adjustment at the second of arc level, created the testbeds for validation and assembly of the mirror systems. IKI prepared a special test bed to validate the mirror systems and detectors using the quasi-parallel X-ray beam. But it was hard to achieve the required parameters of the mirror systems regarding the angular resolution and the effective area. So in 2011 it was decided to engage the Marshall Space Flight Center (USA) into the manufacturing of the flight mirror assemblies with the world's best parameters. It was decided to use the mirror systems developed by RFNC for the performed validation tests of the telescope.



Рентгеновское изображение в фокальной плоскости рентгеновской зеркальной системы телескопа АРТ-ХС, полученное при помощи матрицы ANDOR (размер 2048x2048, размер пикселя 13x13 мкм, логарифмический масштаб)

X-ray image in the focal plane of the ART-XC mirror system, as obtained by ANDOR matrix (2048x2048, pixel size 13x13 micrometer, logarithmic scale)



Устройство МВН.
 В зоне видимости следующие системы:
 в нижней части — блоки рентгеновских детекторов с блоком электроники;
 в средней — трехслойные цилиндрические коллиматоры и модуль управления приводами;
 в верхней части — система перекрытия апертуры

MVN inner structure.
 Bottom: X-ray detector modules with the electronic module.
 Middle: 3-layer cylindrical collimator and drive control module.
 Top: aperture blocking system

Сборка детектора рентгеновского излучения прибора МВН

Assembly of X-ray detector for MVN instrument



Для регистрации рентгеновского излучения в фокальной плоскости в отделе были развёрнуты работы по полупроводниковым детекторам на основе теллурида кадмия (CdTe). В результате были разработаны уникальные позиционно-чувствительные и спектрометрические детекторы, которые смогли успешно выдержать все тяжелейшие испытания на механические нагрузки по ударам и вибрации, по термоциклированию, вакууму, электрической прочности, электромагнитным помехам и т.д., с сохранением основных параметров по пространственному и энергетическому разрешению. Для сборки детекторов потребовалось разработать несколько уникальных технологических операций, подготовить чистые помещения 7-го класса чистоты.

«Спектр-РГ» — крупнейший совместный проект России и Германии в области астрофизики, нацеленный на решение фундаментальных вопросов космологии — свойств и эволюции Вселенной, природы тёмной энергии и тёмной материи, возникновения и роста сверхмассивных чёрных дыр и поиска наиболее редких объектов. Обсерватория будет запущена во внешнюю точку Лагранжа (L_2) системы Солнце-Земля и должна проработать там как минимум семь лет. Главной целью первых четырёх лет работы обсерватории должен стать обзор всего неба в рентгеновских лучах с рекордной чувствительностью. Ожидается, что в ходе обзора неба «Спектр-РГ» обнаружит все скопления галактик в наблюдаемой части Вселенной (около 100 000), около 3 миллионов аккрецирующих сверхмассивных чёрных дыр, сотни тысяч звёзд с активными коронами и аккрецирующих белых карликов, десятки тысяч звездообразующих галактик и многие другие объекты, в том числе неизвестной природы. В рамках проекта «Спектр-Рентген-Гамма» российские учёные получают 50 % данных телескопа eROSITA и все данные телескопа ART-XC.

Одновременно с созданием телескопа ART-XC в настоящее время в отделе астрофизики высоких энергий заканчивается изготовление «Монитора Всего Неба», который планируется установить на российском сегменте (РС) Международной космической станции. Его главная научная задача — измерение поверхностной яркости космического рентгеновского фона с высокой точностью. При помощи МВН планируется также решить ряд технологических задач: проверка полупроводниковых CdTe-детекторов в условиях открытого космоса, изучение эффектов поляризации CdTe-кристаллов, измерение фоновых условий на МКС.

Как было сказано, КРФ несёт информацию об истории роста сверхмассивных чёрных дыр таких объектов во Вселенной. Большинство предыдущих измерений КРФ

To record the X-ray emission in the focal plane, the department started to work on the semiconductor detectors based on the cadmium telluride (CdTe). As a result, the unique position-sensitive and spectroscopic detectors were made which successfully passed all the extreme tests for impact and vibration loads, thermal cycling, vacuum, electric strength, electromagnetic interference, etc. with main parameters of spatial and energy resolutions unaffected. Several unique process operations were developed, level 7 cleanliness rooms were prepared for detectors assembly.

Spektr-RG is the largest joint project of Russia and Germany in the field of astrophysics aimed at resolution of the fundamental issues of the cosmology — the Universe properties and evolution, nature of the dark energy and dark matter, formation and growth of supermassive black holes and a search for the most rare objects. The observatory will be launched to the outer Lagrangian point (L_2) of the Sun-Earth system and shall operate there for seven years at least. The main goal of the first four years of the observatory operation shall be all-sky observation in the X-rays with the record sensitivity. It is expected that during the sky observation *Spektr-RG* will discover all galaxy clusters in the observable Universe (around 100 000), around 3 million of accreting supermassive black holes, hundreds of thousands of stars with active coronas and accreting white dwarfs, tens of thousands of star-forming galaxies and many other objects including those of unknown nature. Within the framework of the *Spektr-RG* project, the Russian scientists will receive 50 per cent of the data from the eROSITA telescope and all the data from the ART-XC telescope.

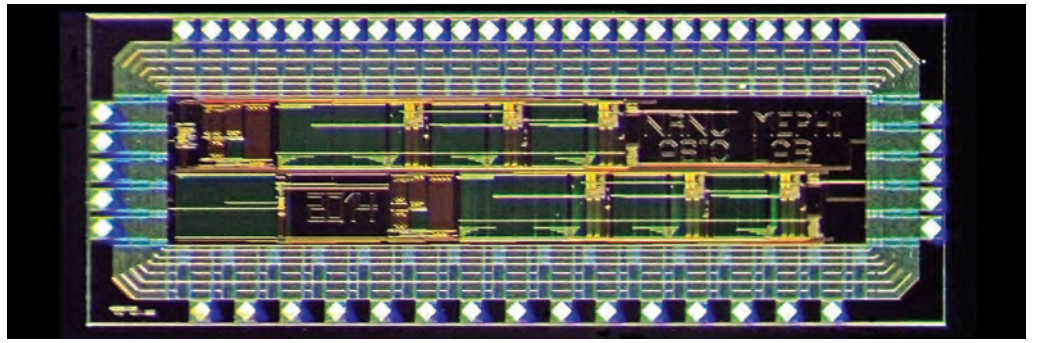
Concurrently with development of the ART-XC telescope the high energy astrophysics department is finalizing manufacture of the *All-Sky Monitor* planned for installation on the Russian segment onboard the International Space Station (ISS). Its primary scientific task is to measure the surface brightness of the cosmic X-ray background (CXB) to high precision. Using *All-Sky Monitor* it is planned to solve several technological tasks: checkup of semiconductor CdTe-detectors under the conditions of the open space, examination of polarization of the CdTe crystals, measurement of the background condition onboard the ISS.

As was said, the CXB is carrying information on the history of supermassive black holes growth of such objects in the Universe. Most of the previous CXB were measured within the energy ranges of 1...10 keV and only some of them (on the series *Cosmos* satellites, on the HEAO-1, *Integral*, and *Swift* observatories) were measured within a harder range of 10-100 keV where the maximum of CXB spectrum is. Unfortunately, the obtained values of the surface brightness of the hard X-ray background differ by 10...15 %. *All-Sky Monitor* will

приходится на диапазон энергий 1...10 кэВ, и лишь несколько (на спутнике серии «Космос», на обсерваториях НЕАО-1, «Интеграл» и Swift) — на более жёсткий диапазон 10...100 кэВ, где расположен максимум спектра КРФ. К сожалению, полученные значения поверхностной яркости жёсткого рентгеновского фона различаются на 10...15 %. МВН сможет измерить поверхностную яркость КРФ с высокой точностью и тем самым существенно поможет в понимании эволюции чёрных дыр во Вселенной. Кроме того, с его помощью можно будет обнаружить крупномасштабную анизотропию КРФ на уровне 1 %, связанную с концентрацией материи в близких скоплениях и сверхскоплениях галактик. Основная особенность спектрометра МВН — способность надёжно выделять вклад инструментального фона из полной скорости счёта событий. Это достигается за счёт вращающегося колеса, периодически закрывающего поля зрения четырёх модулей инструмента. Для отслеживания эволюции характеристик детекторов в инструменте МВН предусмотрены калибровочные источники, которые по команде с блока управления могут быть вдвинуты в поле зрения детекторов.

«Рентгеновский микрофон» — концепция перспективной обсерватории будущего, предложенная в отделе. Её собирающая площадь превысит 10 м². Она предназначена для тонкого временного анализа и спектроскопии релятивистских компактных объектов. В качестве первого шага в создании такой обсерватории и отработки технических решений планируется установка инструмента площадью около 1 м² на МКС (проект МВН-М2).

В отделе начались работы по созданию и отработке элементов перспективной системы автономной навигации космических аппаратов. Система основана на новом принципе: регистрации и анализе ярких импульсных сигналов от быстро вращающихся нейтронных звёзд с сильным магнитным полем — рентгеновских пульсаров. Такие объекты — фактически, природные «трансляторы», аналогичные спутниковым навигационным системам GPS/ГЛОНАСС, генерирующие квазистабильные импульсы и в силу своей удалённости обеспечивающие стационарную пространственную привязку, которая позволяет автономно определить местоположение и вектор скорости космических аппаратов (КА). При использовании такой системы навигации точность определения навигационных параметров КА не будет зависеть от расстояния до Земли и наличия работающих навигационных спутников и будет одинаковой в любой точке Солнечной системы.



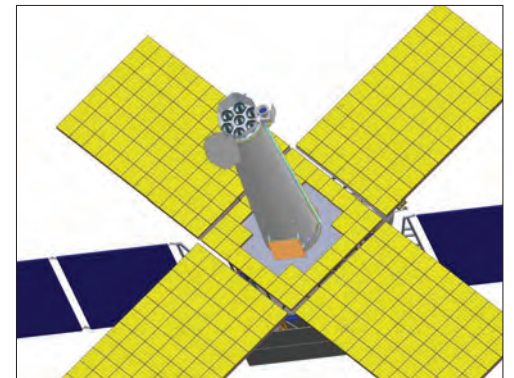
Специализированная ИС обработки сигналов с кремниевых дрейфовых детекторов (совместная разработка НИЯУ МИФИ и ИКИ РАН)

Specialized integrated circuit for signal processing from silicon drift detectors (joint design of MEPhI and IKI)

be able to measure the CXB surface brightness to high precision and thus will help significantly in understanding of the black holes evolution in the universe. Additionally, *All-Sky Monitor* can help discover a large-scale CXB anisotropy at the 1 % level related to the matter concentration in the close galaxy clusters and superclusters. The main peculiar feature of the *All-Sky Monitor* spectrometer is the capability to separate the instrument background contribution from the total event counting rate. This effect is reached through the rotating wheel which periodically blocks the field of vision of the four instrument modules. To track the evolution of the detector parameters, the *All-Sky Monitor* instrument has calibration sources that can be pushed into the detectors field of vision by a command from the control unit.

X-Ray Microphone is a concept of a potential observatory of the future proposed by the Department. Its collecting surface will be more than 10 sq. m. It is designed for a fine timeline analysis and spectroscopy of the relativistic compact objects. As a first step in development of such an observatory and technical solutions it is planned to install an instrument of the area of about 1 sq. m. aboard the ISS (*All-Sky Monitor-M2* project).

The department has started work on construction and development of the elements of prospective systems of autonomous navigation of spacecraft. The system is based on a new principle: recording and analysis of the bright pulse-type signals from the rapidly spinning neutron stars with a strong magnetic field, the so-called X-ray pulsars. These objects are virtually natural broadcasters similar to the GPS/GLONASS satellite navigation systems which generate quasi-stable pulse signals and due to their remoteness ensure a fixed spatial reference which enables to find the position and the velocity vector of a spacecraft independently. When using this navigation system the accuracy of determining the spacecraft navigation parameters will not depend on the distance to the Earth, the presence of operational navigation satellites and will be the same in any point of the Solar system.



Возможный облик перспективной рентгеновской обсерватории под условным названием «Рентгеновский микрофон». Её основной задачей станет определение уравнения состояния сверхплотного вещества в центрах нейтронных звёзд

A probable image of the future X-ray observatory under the conventional name X-Ray Microphone. Its primary task will be to determine the constitutive equation of the superdense matter in the centers of neutron stars



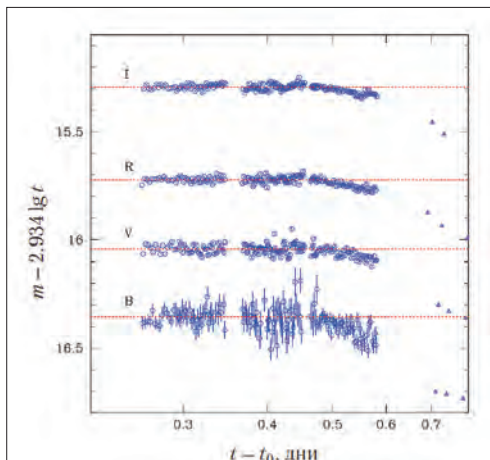
Изображение области неба вокруг скопления галактик, обнаруженного орбитальной обсерваторией «Планк» (© ESA)

An image of the sky region around the galaxy cluster discovered by the Planck orbital observatory (© ESA)



РТТ-150 — Российско-турецкий 1,5-метровый телескоп (РТТ-150) на горе Бакырлы-Тепе в 60 км к северу от Анталии (Турция)

The Russian-Turkish 1.5-m telescope (RTT-150) on the Bakirli-tepe mountain 60 km to the north from Antalya (Turkey)



Кривая блеска одного из ярчайших гамма-всплесков GRB 030329 в разных фильтрах, полученная на телескопе РТТ-150

A light curve of one of the brightest gamma-ray bursts GRB 030329 in different filters obtained from the RTT-150 telescope

Данные **российско-турецкого полутора-метрового телескопа РТТ-150** используются для поддержки рентгеновских наблюдений в оптическом диапазоне и отождествления рентгеновских источников. Установка телескопа началась в 1997 г., научные наблюдения на телескопе — в 2000 г. Телескоп был изготовлен на Ленинградском оптико-механическом объединении (ЛОМО). В проекте участвуют Государственный комитет по науке и технологии Турции, Казанский федеральный университет и ИКИ РАН. В конце 2014 г. действие договора по РТТ-150 было продлено ещё более чем на 10 лет. Предполагается, что основной научной задачей телескопа станет поддержка рентгеновского обзора всего неба обсерватории «Спектр-РГ».

Сегодня РТТ-150 — надёжный, высококачественный инструмент, оснащённый полным набором самых современных приборов. Одна из наиболее успешных программ, проводимых на телескопе, — многолетняя серия наблюдений скоплений галактик, отобранных по рентгеновским данным телескопа ROSAT (Германия). Это самый большой рентгеновский обзор богатых скоплений на высоких красных смещениях. По его данным удалось измерить функцию масс скоплений и получить ограничения на параметры уравнения состояния тёмной энергии и другие космологические параметры, такие как суммарная масса нейтрино. Используя эти данные вместе

The data of the **Russian-Turkish 1.5-m telescope (RTT-150)** are used to support the X-ray observations in the optical range and identification of the X-ray sources. The telescope installation started in 1997, the scientific observations started in 2000. The telescope was manufactured at the Leningrad Optomechanical Association (LOMA). The Turkey State Committee for Science and Technology, the Kazan Federal University and IKI are participating in this project. In the end of year 2014 the RTT-150 contract was prolonged for more than 10 years. It is assumed that the primary scientific task of the telescope will be the support of the X-ray all-sky survey of the *Spektr-RG* observatory.

Today RTT-150 is a reliable, quality instrument equipped with a complete set of most advanced devices. One of the most successful programs conducted with the telescope is a long-term set of observations of the galaxy clusters selected by the X-ray data from the ROSAT telescope (Germany). This is the largest X-ray observation of rich clusters at high redshifts. The data obtained from this telescope enabled to measure the cluster mass function and obtain restrictions to the parameters of the constitutive equation of the dark energy and of other cosmological parameters such as a total neutrino mass. When using these data together with accurate measurement of the anisotropy of the cosmic microwave background by the data from the WMAP (NASA) and *Planck* (ESA) space observatories together with the recent data on the measurement of the baryon acous-

с точными измерениями анизотропии реликтового излучения по данным космических обсерваторий WMAP и «Планк» (ЕКА), а также вместе с последними данными по измерению барионных акустических осцилляций, обнаружено расхождение в измерениях амплитуды возмущений плотности, полученных разными способами, что можно объяснить наличием ненулевой суммарной массы нейтрино. Это различие было недавно подтверждено на новом уровне точности по данным обсерватории «Планк». В течение последних нескольких лет на телескопе РТТ-150 и 6-метровом телескопе Специальной астрофизической обсерватории РАН ведётся обширная программа наблюдений скоплений галактик, обнаруженных по эффекту Сюняева-Зельдовича в обзоре всего неба обсерватории «Планк».

Кроме скоплений галактик, на телескопе РТТ-150 наблюдаются многие другие объекты, в том числе — оптические послесвечения космических гамма-всплесков (уже более сотни), включая наблюдения начальной стадии послесвечения гамма-всплеска 030329, одного из наиболее близких и ярких за всю историю наблюдений.

Опыт, полученный сотрудниками отдела при работе на телескопе РТТ-150, позволил получать наблюдательное время и проводить наблюдения на многих других телескопах в России и за рубежом. В последние годы большое количество различных наблюдений было выполнено на 6-метровом телескопе БТА САО РАН (Большой телескоп азимутальный Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук). Недавно, при активном участии ИКИ РАН, были начаты работы по дооснащению новыми приборами телескопа АЗТ-33ИК Саянской обсерватории Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН). Это позволит подключить этот телескоп к работам по наблюдениям источников, обнаруженных по их излучению в рентгеновском диапазоне.

tic oscillations, the variation in measurements of the density perturbation amplitude obtained by different methods was discovered that can be explained by the presence of the non-zero total neutrino mass. This variation was recently confirmed at the new level of accuracy by the data of the *Planck* observatory. Over the last several years the RTT-150 telescope and the 6-m telescope of the RAS Special Astrophysical Observatory, an extended program of galaxy cluster observations discovered using the Sunyaev-Zeldovich effect during the *Planck* observatory all-sky observations is being implemented.

In addition to the galaxy clusters, many other objects can be observed using the RTT-150 telescope, including the optical afterglows of cosmic gamma-ray bursts (more than one hundred up to now) including observations of the initial stage of the gamma-ray burst afterglow 030329, one of the closest and brightest bursts ever.

The experience gained by the Department's staff members when working with the RTT-150 telescope enabled to receive the observation time and perform observations with many other telescopes in Russia and abroad. In the recent years a large number of various observations were conducted using the 6-m telescope of the RAS SAO (Large Altazimuth Telescope or BTA). Recently, with the involvement of IKI the upgrade of the AZT-33IK telescope of the Sayan Solar Observatory at the Institute of Solar-Terrestrial Physics of the RAS, Siberian Branch (RAS SB), with new devices started. This will enable to engage this telescope in the works on observation of the sources discovered by their X-ray emission.

**ОТДЕЛ ФИЗИКИ ПЛАНЕТ
(53)
PLANETARY PHYSICS
DEPARTMENT
(53)**



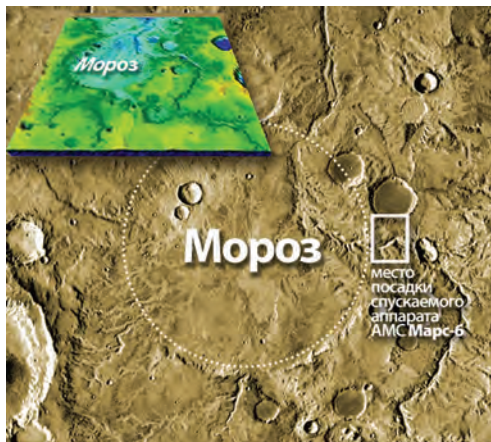
**Руководитель —
д-р физ.-мат. наук Олег Кораблёв**

Head — Dr. Oleg Korablёv



**Профессор В. И. Мороз
(20.05.1931–23.06.2004)**

Prof. V. I. Moroz
(May 20, 1931 – June 23, 2004)



Исследования других планет и малых тел Солнечной системы в ИКИ почти десять лет были одной из задач отдела астрофизики и превратились в самостоятельное направление лишь в 1973–1974 гг. К этому времени стало понятно, что исследования планет — самостоятельное мощное направление космической науки, которое требует своих инструментов, подходов и методов. Космические аппараты подарили исследователям возможность изучать другие планеты Солнечной системы не только издали с помощью телескопов, но и с гораздо более близких расстояний: с орбит вокруг небесных тел, при пролёте около них и, конечно, непосредственно на поверхности. Так начиналась эпоха планетных экспериментов *in situ* (на месте нахождения, *лат.*).

Первый руководитель отдела — **Василий Иванович Мороз** (20.05.1931–23.06.2004), создатель научной школы и основатель инфракрасной спектроскопии в России. ИК-спектрометр на орбите — эффективное средство исследования планет, так как спектр планеты содержит характерные полосы присутствующих в атмосфере газов, информацию о вертикальном профиле её температуры, температуре и составе поверхности, о составе и распределении аэрозольной компоненты. Полученная информация позволяет судить об условиях на планете, в частности о её динамике, и используется для расчёта моделей атмосфер.

Сегодня отдел объединяет различных специалистов: теоретиков, экспериментаторов, инженеров — в области физических исследований атмосферы и поверхности других планет Солнечной системы. В первую очередь, речь идёт о Марсе и Венере, двух ближайших планетных соседях Земли, которые исторически пользовались повышенным вниманием космических исследователей. Но не только о них: работы отдела посвящены также Меркурию, планетам-гигантам Юпитеру и Сатурну и малым телам: спутникам планет, кометам и астероидам. Новое направление — изучение экзопланет в других звёздных системах.

Завершённые и текущие проекты

Исследования Венеры: аппараты «Венера-4» — «Венера-16» (1967–1983), «Вега-1, -2» (1984), *Venus Express* (ЕКА, 2005–2015)

Исследования Марса: «Марс-3» — «Марс-6» (1971–1973), «Фобос-2» (1988–1989), «Марс-96» (1996), Mars Surveyor'98 Program (аппараты MCO и MPL, NASA,

20 августа 2007 г. решением рабочей группы по номенклатуре системы планет при Международном астрономическом союзе название Мороз было официально присвоено одному из кратеров на Марсе. Кратер Мороз (диаметром 123 км) расположен на древней возвышенности Марса (23,7° ю. ш., 20,6° з. д.) вблизи от места посадки советского космического аппарата «Марс-6»

Exploration of planets and small bodies of the Solar system in IKI was conducted within the astrophysics department for almost ten years and turned into an independent line of research in 1973–1974 only. By that time it has become clear that planetary exploration is an independent strong branch of space science which requires its own instruments, approaches and methods. The spacecraft have given explorers a chance to study other planets not only from afar using the telescopes, but much closer: first during fly-bys, then from the orbit around a celestial body, and eventually on its surface. This was the beginning of the *in situ* — on site (Lat.) planetary experiments era.

The first head of the planetary department was Professor Dr. **Vasily Moroz**, the founder of the scientific school and the originator of the infrared spectrometry in Russia. The IR-spectrometer on orbit is an effective means of planetary explorations, since the planetary spectrum contains distinctive bands of gases in the atmosphere, information of its temperature vertical profile, and surface composition, of the composition and distribution of the aerosol component. The obtained information enables to estimate the conditions on the planet, particularly its dynamics, and is used to constrain atmospheric models.

Today the department joins together various specialists: theoreticians, researchers, engineers in the field of physical research of the atmosphere and surface of the planets of the Solar system. First of all, we are talking about Mars and Venus, two closest neighbors of the Earth which historically received greater attention of space researchers. But not limited to these two planets. The research involves also Mercury, giant planets Jupiter and Saturn, and small bodies: planetary satellites, comets and asteroids. The new line of research is exploration of exoplanets in other star systems.

Completed / Ongoing Projects

Venus exploration: *Venera 4* — *Venera-16* (1967–1983), *Vega 1* and 2 (1984), *Venus Express* (ESA, 2005–2015)

Mars exploration: *Mars 3* — *Mars 6* (1971–1973), *Phobos 2* (1988), *Mars-96* (1996), *Mars Surveyor'98 Program* (*Mars Climate Orbiter* and *Mars Polar Lander*, NASA, 1998), *Mars Express*

On August 20, 2007, the International Astronomical Union Working Group for Planetary System Nomenclature adopted the name Moroz for one of the Martian craters. Moroz crater (123 m diameter) is located on an ancient elevation (23.7 South lat., 20.6 West long.) near the landing site of Soviet Mars 6 spacecraft

1998), Mars Express (ЕКА, 2003), MER* (Spirit и Opportunity, NASA, 2003)

Исследование Земли из космоса: РУСАЛКА (Ручной Спектральный Анализатор Компонентов Атмосферы) (российский сегмент Международной космической станции, 2009–2012 гг.)

Будущие проекты

Исследования Марса: «ЭкзоМарс» (ЕКА/Роскосмос, 2016 и 2018 гг.)

Исследования Луны: «Луна-25» («Луна-Глоб», 2018 г.), «Луна-26» («Луна-Ресурс-Орбитальный», 2019 г.), «Луна-27» («Луна-Ресурс-Посадочный», 2020 г.)

Исследования Меркурия: BepiColombo (ЕКА, 2017 г.)

Мониторинг Земли: ДРИАДА (российский сегмент Международной космической станции, 2017 г.)

Исследования Венеры: «Венера-Д» (+2020)

Исследования Юпитера: «Лаплас» (посадочный аппарат на Ганимед, +2020)

Наблюдения планет и малых тел Солнечной системы, экзопланет: «Планетный мониторинг» (РС МКС; +2018), «Звёздный патруль» (2022)

Лаборатория спектроскопии планетных атмосфер (531) (руководитель — д-р физ.-мат. наук Людмила Засова)

Лаборатория была образована одновременно с созданием всего отдела физики планет № 4 1 мая 1974 г., когда из ГАИШ на постоянную работу в ИКИ в качестве руководителя отдела перешёл **В. И. Мороз**. Он руководил лабораторией с момента создания и до своего ухода из жизни в 2004 г.

Лаборатория занимается исследованиями планет Солнечной системы (Венеры и Марса) с космических аппаратов от постановки научных задач, проектирования научных приборов, их изготовления и установки на космические аппараты, обработкой и интерпретацией полученных научных данных. Приборы, созданные в лаборатории, работали на аппаратах «Венера-9...-16», «Вега-1, -2», «Венера-Экспресс» (ЕКА) и продолжают работать на КА «Марс-Экспресс» (ЕКА).

Основные направления исследований

Научные направления

- Перенос излучения в атмосферах Марса и Венеры, включая создание алгоритмов решения прямых и обратных задач переноса излучения в оптически толстых атмосферах с многократным рассеянием и сферической геометрией;

(ESA, 2003), Mars Exploration rovers (Spirit and Opportunity, NASA, 2003)

Earth remote sensing: *Rusalka* (onboard the ISS, 2009–2012)

Projects in Development

Mars exploration: *ExoMars* (ESA/Roscosmos, 2016 and 2018)

Moon exploration: *Luna-Glob* (2018), *Luna-Resurs-Orbiter* (2019), *Luna-Resurs-Lander* (2020)

Mercury exploration: *BepiColombo* (ESA, 2017)

Earth remote sensing: *Driada* (onboard the ISS, 2017)

Venus exploration: *Venera-D* (+2020)

Jupiter exploration: *Laplace-P* (a landing module for Ganymede, +2020)

Observations of planets and small bodies of the solar system, exoplanets: *Planetary Monitoring* (onboard the ISS, +2018), *Star Patrol* (2022)

Laboratory of Planetary Atmospheres Spectroscopy (531). Head — Dr. Ludmila Zasova

The laboratory (former №41) was founded simultaneously with the planetary physics department № 4 on May 1, 1974, when **V. I. Moroz** came to work as the department head on a permanent basis from the Sternberg Astronomical Institute he worked before. He headed the laboratory from the date of its foundation till his death in 2004.

The laboratory deals with planetary exploration of the Solar System (Venus and Mars in particular) from the spacecraft including statement of scientific problems, design of scientific instruments, their manufacture and installation onboard the spacecraft, processing and interpretation of the obtained scientific data. The devices invented in the laboratory were operating on the *Venera-9...-16* spacecraft, *Vega-1* and *Vega-2*, *Venus Express* (ESA) and continue their operation on the *Mars Express* mission (ESA).

Research Fields

Research Areas

- Radiative transfer in the atmospheres of Mars and Venus including the algorithms for direct and inverse problems of the radiative transfer in the optically thick atmospheres with multiple scattering and spherical geometry;

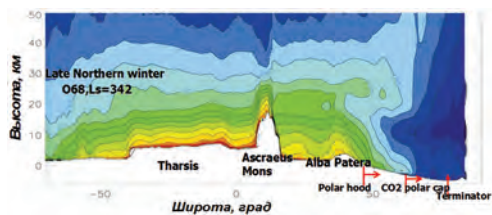


Людмила Засова
Ludmila Zasova



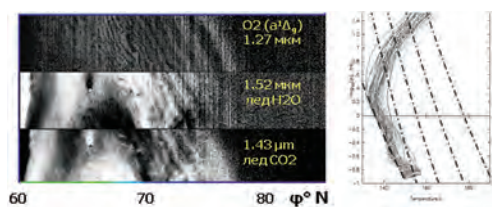
Планетный фурье-спектрометр для КА «Марс-Экспресс»: блок интерферометра, 1 и 2 — интерферометры длинноволнового и коротковолнового каналов соответственно

A planetary Fourier spectrometer for the Mars-Express spacecraft: interferometer units 1 and 2 are the long-wave and short-wave interferometers respectively



Пример поля температуры в координатах широта-высота, восстановленного по спектрам ПФС, полученным вдоль орбиты, проходящей через полюса, Tharsis, Ascreaeus Mons, Alba Patera и др., вблизи весеннего равноденствия (конец зимы в северном полушарии)

An example of temperature field in the latitude-altitude coordinate system retrieved from the PFS spectra obtained along the orbit passing through the poles, Tharsis, Ascreaeus Mons, Alba Patera, etc. near spring equinox (the end of winter in the Northern hemisphere)



Слева — изображения ОМЕГА в полосе свечения O₂ в полосе поглощения водяного и углекислого льдов в северной полярной области Марса, вблизи весеннего равноденствия. Справа — мозаика карт дневной эмиссии O₂, полученных ОМЕГА в высоких широтах южного полушария Марса, на которых также были обнаружены волны. Изображения наложены на альтиметрию высотомера MOLA (КА MGS, НАСА)

Left. An image of OMEGA within the 1.27 μm O₂ (a¹Δ_g), day-glow band, absorption H₂O and CO₂ ices bands in Martian Northern polar region near spring equinox. Right: a mosaic of maps of the O₂ day-glow obtained by OMEGA in high latitudes of the Martian Southern hemisphere where the waves were also discovered. The images are overlaid on the MOLA altimeter (MGS mission, NASA) topography

- решение спектроскопических задач с оптимизацией для ускорения счёта без потери полинейной точности;
- получение параметров атмосфер в результате решения прямых и обратных задач, включая температурные и аэрозольные профили, малые составляющие, динамические атмосферы, неравновесные свечения.

Экспериментальное направление

- Создание спектрометров ближнего и теплового инфракрасного диапазонов, в настоящее время — планетных фурье-спектрометров, включая миниатюрные;
- изготовление отдельных узлов для подобных приборов, производимых в кооперации с европейскими исследователями.

Приборы, проекты, результаты

Первый **планетный фурье-спектрометр** ПФС (1,20...40 мкм) был установлен на аппарате «Марс-96». Он начинался как российский, но из-за невозможности изготовить его в России 1990-х гг. был сделан в Италии и превратился в международный: Италия, Россия, Франция, Германия, Польша, Испания. ПФС для аппарата «Марс-Экспресс» был изготовлен в той же кооперации и с 2004 г. работает у Марса. С его помощью был открыт метан в атмосфере Марса и измерено его содержание. В зависимости от места на планете оно составляет 10–30 частиц на миллиард (ppb). По данным ПФС построены карты сезонного распределения CO и H₂O.

ОМЕГА (OMEGA — Observatoire pour la Minéralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activité) — картирующий спектрометр (0,35...5,1 мкм) для проекта «Марс-Экспресс» был изготовлен во Франции, его сканер — в России.

Обнаружены и прослежены вариации инверсии в температурном профиле в полярном «воротнике» зимой ($\varphi > 50^\circ$), которые коррелируют с присутствием ледяных облаков H₂O и связаны с нисходящей ветвью ячейки Хэдли.

Гравитационные волны в северной полярной области весной наблюдались при $\varphi > 70^\circ$ (на изображениях гиперспектрометра ОМЕГА). Температурные профили, одновременно измеренные в этой области ПФС, имеют волновой характер на высотах, ниже 20...30 км, где температура допускает конденсацию CO₂. Гравитационные волны связаны с неустойчивостью процесса конденсации CO₂, о том же говорит и наблюдаемая антикорреляция H₂O и CO₂ льдов на картах ОМЕГА при $\varphi > 70^\circ$ N.

Изображения распределения эмиссии кислорода O₂ 1,27 мкм, полученные гиперспектрометром ОМЕГА в северном и южном полярных районах ранней весной,

- spectroscopy problems using optimized calculations, allowing to reduce calculation time without losing the line-by-line accuracy;
- obtaining atmospheric parameters such as temperature and aerosol profiles, minor components, atmospheric dynamics, non-equilibrium luminosity by solving direct and inverse problems.

Experimental Areas

- Development of spectrometers for near and thermal infrared spectral ranges, for now those are the Fourier spectrometers including new miniaturized devices;
- manufacture of separate units and components for similar devices being developed in collaboration with the European researchers.

Instruments, Projects, Results

The first instrument of the **Planetary Fourier Spectrometer (PFS)** family was installed on the *Mars-96* spacecraft. This development has started as a Russian project but due to incapability to manufacture this device in 1990's Russia the project became an international one: Italy, Russia, France, Germany, Poland, and Spain. Italy has finally led the consortium. The PFS for *Mars Express* was manufactured with involvement of the same group and since 2004 it is been operating near Mars. This device helped discovering methane in the Martian atmosphere and measuring its concentration. Depending on place on the planet, the concentration is 10–30 parts per billion (ppb). Based on the PFS data the maps of seasonal and latitudinal CO and H₂O distribution were made.

ОМЕГА is the mapping spectrometer with spectral range from 0.35 to 5.1 μm, manufactured in France, with the pointing system, produced in Russia.

Gravity waves in the northern polar region in spring are revealed at $\varphi > 70^\circ$ N in OMEGA images in the distribution of the molecular oxygen day glow (O₂ 1.27 μm) and ices H₂O and CO₂. Temperature profiles (PFS) in these regions, obtained simultaneously, have undulatory pattern on the altitudes below 20...30 km in the atmosphere, where CO₂ can condensate. Gravity waves are linked to instability of the CO₂ condensation in the atmosphere, which is also supported by observed anticorrelation of H₂O and CO₂ ices as presented on OMEGA images at $\varphi > 70^\circ$ N. At $\varphi > 70^\circ$ N the CO₂ ice is on the surface only and no waves are observed.

The image of the 1.27 μm O₂ day glow distribution obtained by the OMEGA hyperspectrometer in the Northern and Southern polar region in spring reveals the propagation of gravity waves at the 20...30-km altitude where maximum of the O₂ dayglow is observed.

In *Venus Express* (ESA) the laboratory's staff members are taking part in two experiments:

указывают на активность гравитационных волн, которые распространяются и возмущают области наблюдаемого дневного свечения O_2 .

В проекте **ВЕНЕРА-ЭКСПРЕСС (ЕКА)** сотрудники лаборатории участвуют в интерпретации полученных данных двух экспериментов: **VIRTIS** и **VMC**.

1. Облака, сплошь покрывающие Венеру, играют огромную роль в тепловом балансе. Находясь на высоте 50...70 км и имея оптическую толщину около 30, они вносят существенный вклад в парниковый эффект. Верхний облачный слой разреженный и, следовательно, не имеет резкой верхней границы. «Условное» положение верхней границы определяется как высота уровня единичной оптической толщины, которая зависит от коэффициента экстинкции, поэтому отличается в различных спектральных интервалах.

2. Построено распределение водяного пара, определены суточные и широтные вариации CO .

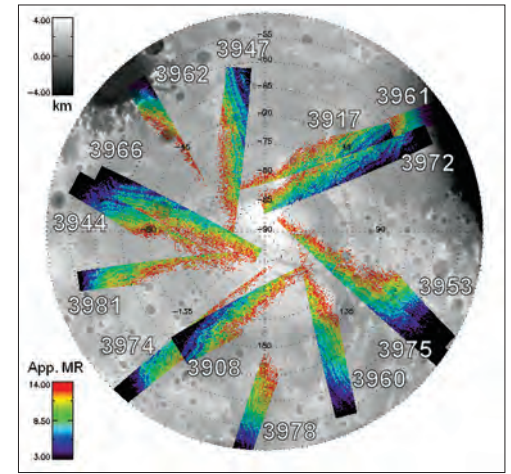
3. Глобальная карта распределения интенсивности ночного свечения O_2 в линии 1,27 мкм по данным VIRTIS свидетельствует о том, что циркуляция в верхней мезосфере отличается от общепринятого представления о движении потока от подсолнечной к противосолнечной точке.

VIRTIS and **VMC**. **VIRTIS** spectrometers were developed in France and Italy and **VMC** was produced in Germany. Russian researchers participate in interpretation of the data.

1. The clouds covering the entire Venus are playing a tremendous role in the thermal balance. Being at the 50...70 km altitude and having the optical depth of about 30, these clouds make a substantial contribution into the greenhouse effect. The top cloud layer has an altitude scale of about 4 km at low latitudes, which decreases down to <2 km at high latitudes, and does not have a distinctive upper boundary (so the position of the upper boundary of clouds, defined as an altitude of unit optical depth) can considerably differ in various spectral intervals depending on the extinction coefficient.

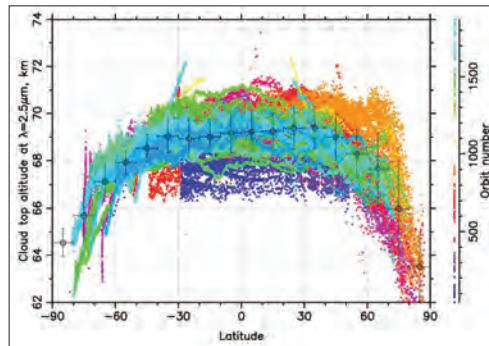
2. Water vapor distribution chart was constructed, daily and latitude CO variations were determined.

3. The global map of the O_2 1,27 μm night-glow distribution from the VIRTIS data gives an evidence that the circulation in the upper mesosphere differs from the general notion of the flux motion from the subsolar point to the anti-solar point (typical for Venus thermosphere).



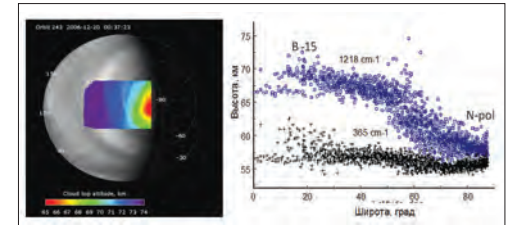
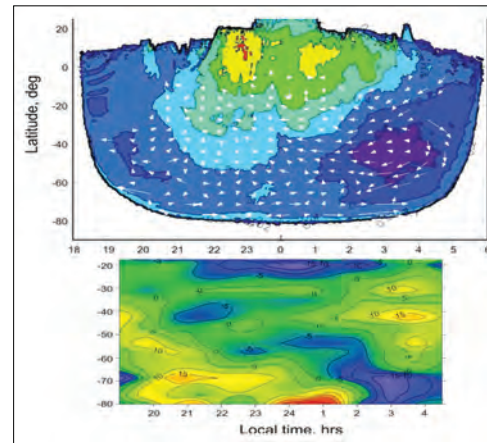
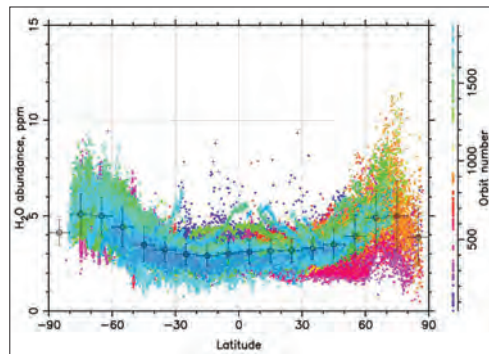
Мозаика карт дневной эмиссии O_2 , полученных OMEGA в высоких широтах южного полушария Марса ранней весной, на которых также были обнаружены волны. Изображения наложены на альтиметрию высотомера MOLA (КА MGS, НАСА)

Mosaic of maps of the O_2 day airglow obtained by OMEGA in high latitudes of the Martian Southern Hemisphere where the waves were also discovered. The images are overlaid on the MOLA altimeter topography (MGS mission, NASA)



Высота верхней границы облаков на длине волны 2,5 мкм (вверху) и содержания водяного пара (внизу) как функция широты по данным эксперимента VIRTIS в 2006–2011 гг.

Altitude of the cloud upper boundary at the 2.5- μm wavelength (top) and the water vapor concentration (bottom) as a function of latitude from VIRTIS data obtained in 2006–2011

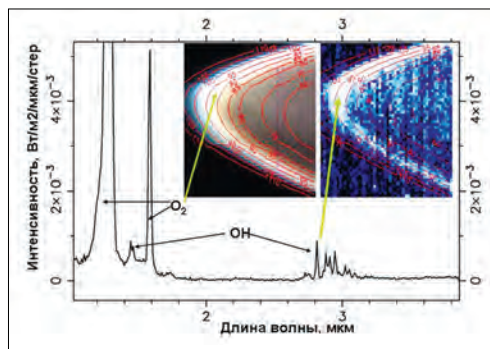


Слева: УФ-изображения, полученные при помощи камеры VMC, с наложенными картами высоты верхней границы облаков, восстановленными по полосам CO_2 около 1,5 мкм, VIRTIS-M. Справа: высота верхней границы облаков в тепловой области 8 мкм (1218 cm^{-1}) и 30 мкм (365 cm^{-1}) (по данным фурье-спектрометра на КА «Венера-15», северное полушарие)

Right: UV-images obtained by VMC with overlaid maps of the cloud top altitude obtained from the CO_2 1.5 μm absorption bands, VIRTIS-M; left: cloud top altitude in 8 μm (1218 cm^{-1}) and 30 μm (365 cm^{-1}) in thermal IR range, retrieved from Fourier Spectrometer data on Venera-15 in the Northern hemisphere

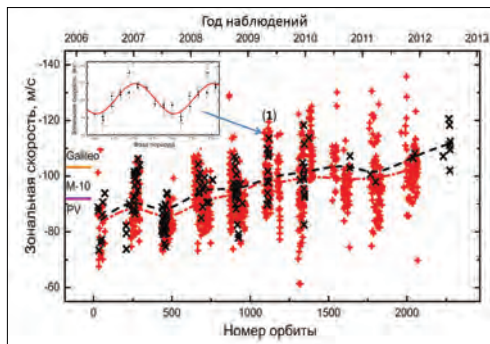
Карта глобального распределения ночной эмиссии O_2 1,27 мкм, стрелки показывают направление ветра, полученного по движению областей свечения O_2 (вверху); горизонтальная дивергенция скорости ветра в единицах 10^{-6} s^{-1} (внизу)

A global distribution map of the O_2 1,27- μm night airglow, the arrows show the wind direction (top); horizontal divergence of the wind velocity in 10^{-6} s^{-1} units (bottom)



Спектр лимба ночной стороны Венеры на высоте 90...100 км, полученный VIRTIS. В спектре наблюдаются полосы свечения O₂ (α¹Δ_g-X³Σ_g⁻) 1,27 и 1,58 мкм и гидроксила 1,44 и 2,7...3,1 мкм. Во вставке — изображения в полосе O₂ 1,27 и OH 2,80 мкм. Полоса O₂ 1,58 мкм обнаружена впервые

A night-side limb spectrum of Venus at 90...100 km altitude obtained from VIRTIS M data. In the spectrum one can see peaks of the O₂ (α¹Δ_g-X³Σ_g⁻) at 1,27 (0-0) and 1,58 (0-1) μm and OH at 1,44 and 2,7...3,1 μm. Inset — images within the O₂ at 1,27 and OH 2,80 μm bands. The O₂ 1,58 μm band was detected for the first time in Venus atmosphere



Долговременные изменения усреднённой широтной компоненты скорости потока на высоте 68±2 км, отражающие её рост. На врезке: короткопериодические вариации, соответствующие периоду суперротации (~4,5 сут), относятся к ряду наблюдений

Long-term variations of the mean latitudinal component of the flow velocity at 68±2 km, reflecting its growth. The inset shows the short-term variations corresponding to the super-rotation period, (~4.5 days), related to the set of observations

Михаил Герасимов
Mikhail Gerasimov



Об этом же говорит распределение горизонтальных скоростей ветра: скорость ветра имеет близкие к нулю значения, а направленные ветра меняет знак в области вечернего терминатора. Обнаружены гравитационные волны в верхней мезосфере Венеры, которые возмущают вертикальные профили свечения O₂.

4. Обнаружено свечение гидроксила OH в верхней мезосфере Венеры, отождествлены полосы Мейнеля (1-0), (2-1), (3-2) 2,7...3,1 мкм и полоса (2-0) — 1,44 мкм. Открытие, важное для фотохимии атмосферы, но неожиданное из-за малого содержания водяного пара в атмосфере Венеры.

5. По данным камеры VMC обнаружен монотонный рост скорости зонального ветра в области верхней границы облачного слоя Венеры (по наблюдениям в ультрафиолетовом диапазоне). На этот тренд накладываются вариации с периодом длительностью около четырёх суток. Неясна природа наблюдаемого тренда. Скорее всего, он отражает не реальный рост средней скорости зонального ветра со временем, а является результатом комбинированного эффекта других переменных факторов.

Сейчас в лаборатории создаются фурье-спектрометры инфракрасного диапазона ТИРВИМ (часть комплекса ACS для аппарата TGO проекта «ЭкзоМарс», 2016 г.), ФАСТ (в составе научного комплекса посадочной платформы проекта «ЭкзоМарс», 2018 г.) и ЛУМИС для орбитального аппарата «Луна-26».

«Венера-Д» — проект для комплексного исследования атмосферы, поверхности и окружающей плазмы Венеры с использованием орбитеров, спускаемых модулей, долгоживущей станции на поверхности или долгоживущего атмосферного зонда. Проект в стадии научно-исследовательских работ. Сотрудники участвуют в проработке проекта: состава комплекса, научных задач миссии, научной аппаратуры и др.

Лаборатория прямых физико-химических исследований планет (532) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Михаил Герасимов)

Специализация лаборатории — исследование химического состава планетных тел в Солнечной системе *in situ*, в том числе поиск органических соединений и веществ-предшественников живых организмов.

Лаборатория была создана в 1968 г. под названием «Лаборатория экзобиологии» для разработки методов поиска жизни на планетах и изучения того, как на Земле и планетах Солнечной системы могут синтезироваться органические соединения. Руководитель лаборатории Л. М. Мухин предложил вулканическую модель предбиологической

This fact is also confirmed by the distribution of the horizontal wind velocities measured by the motion of the O₂ night air glow areas: the region of the descending flow area is shifted from the midnight point in direction of the evening terminator. The gravity waves were discovered in the Venus upper mesosphere that disturb the vertical profiles of the O₂ night airglow.

4. Hydroxyl (OH) night air glow was the first detected in the Venus upper mesosphere. The Meinel bands (1-0), (2-1), (3-2) at 2.7...3.1 μm and (2-0) at 1.44 μm were identified. The discovery is important for the atmospheric photochemistry, but it was unexpected, because of the small abundance of the water vapor in the atmosphere of Venus.

5. By the data of the VMC multispectral camera the monotonic increase of the zonal wind velocity in the region of the cloud upper boundary of Venus (from the data of the UV channel) was recorded. This tendency is accompanied by the variations of about four-days periodicity. The reason is not clear yet. Most probably it reflects not a real increase in the wind velocity with time, but rather is a combined effect of other variable relevant factors, such as topography, local time, etc.

Today the infrared TIRVIM Fourier spectrometer (part of the ACS instruments for *ExoMars Trace Gas Orbiter* mission, 2016), FAST (as a part of the scientific load of the *ExoMars* Descent Module, 2018), and LUMIS for the *Luna-26* are being built in the laboratory.

Venera-D is the project for complex investigation of Venus atmosphere, surface and plasma environment from orbiters, descending modules including long live station on the surface, in the research stage. The staff members are participating in the project development: system composition, scientific goals of the missions, scientific equipment set and so on.

Laboratory for Direct Physical and Chemical Planetary Exploration (532). Head — Dr. Mikhail Gerasimov

The laboratory profile is the research of the sample chemical composition of planetary bodies in the Solar system *in situ*, including the search for organic compounds and precursors to life forms.

The laboratory was established in 1968 and named Laboratory of Exobiology to develop the methods of detecting life forms on planets and to study how organic compounds can be synthesized on the Earth and planets of the Solar system. L. M. Mukhin, the head of the laboratory, proposed a volcanic model of the pre-biological evolution, where volcanoes — the strongest

эволюции, в которой существенную роль в синтезе и эволюции органических соединений играли вулканы — мощнейшие химические реакторы. Эта модель была проверена экспериментально в экспедициях в районы активного вулканизма: Камчатка и Курильские острова.

Параллельно ставились эксперименты, в ходе которых моделировались наземные и подводные вулканические извержения, а также инопланетная среда — атмосфера Юпитера при грозных разрядах.

Для этого были освоены и разработаны весьма сложные методики анализа, в том числе аминокислот и микроколичества веществ, разработан метод стерильного отбора проб, сконструирован полевой газовый хроматограф для анализа вулканических газов на месте, разработан метод моделирования ударно-испарительных процессов с использованием мощного лазера. Всё это легло в основу приборов для прямого химического анализа состава атмосферы и облаков Венеры, грунта планет на спускаемых аппаратах (серия «Венера», проект ВЕГА и др.), межпланетной пыли.

Сегодня главная методическая специализация лаборатории — термический анализ в сочетании с газовой хроматографией и масс-спектрометрией. Продолжается экспериментальное моделирование ударно-испарительных процессов, в первую очередь, для изучения синтеза органического вещества. Когда на поверхность планеты с большой скоростью падает крупное или мелкое небесное тело, грунт разогревается и происходят сложные химические процессы. Возможно, именно они имели значение для зарождения жизни.

Основные направления исследований

- Химический состав атмосфер и твёрдого вещества планет и спутников прямыми методами в космических миссиях на посадочных аппаратах и аэростатных зондах;
- динамика пыли на планетах и спутниках, в том числе разработка методов измерений её параметров и создание приборов для космических миссий;
- развитие методов измерений и создание приборов для химического анализа в космических миссиях, включая анализ органического вещества;
- экспериментальное моделирование химических преобразований в ходе высокоскоростных ударно-испарительных процессов при кратерообразовании на планетных телах;
- происхождение и эволюция органического вещества в Солнечной системе;
- тонкий химический анализ органических загрязнений в технологических целях при подготовке космических миссий.

chemical reactors — were playing a considerable role in the synthesis and evolution of organic compounds. The model was supported by experiments during the expeditions to active volcanoes: Kamchatka and Kuril Islands.

Concurrently, the experiments were performed to simulate terrestrial and underwater volcanic eruptions, as well as the alien environment — the atmosphere of Jupiter during storm discharges.

For that, highly complex experimental methods were created and developed, including analysis of amino acids and trace amounts of substances, the method of clean sampling, designation of a field gas chromatograph to analyze volcanic gases *in situ*, development of the method to simulate impact-induced evaporation using a high-power laser. All these have become the basis for the instruments of direct chemical analysis of the atmosphere and cloud composition of Venus, planetary soils on the descending modules (*Venera*-series, *Vega* project and others), and interplanetary dust.

The present primary methodical profile of the laboratory is the thermal analysis together with the gas chromatography and mass spectrometry. The experimental simulation of impact-induced evaporation continues, preferably, to investigate organic matter synthesis. When a large or a small celestial body impacts the planetary surface at a high velocity, the soils get heated and complex chemical processes take place. Probably, these were the processes that were important for the origin of life.

Research Areas

- Chemical composition of the atmospheres and solid matter of planets and satellites using the direct methods during the space missions on the descending modules and balloon probes;
- dust dynamics on the planets and satellites including the development of the measurement methods of dust parameters and design of instruments for space missions;
- development of the measurement methods and design of instruments for chemical analysis during the space missions including the analysis of the organic matter;
- experimental simulation of the chemical transformations in hypervelocity impact-induced evaporation processes induced by shockwaves during crater formation on the celestial bodies;
- origin and evolution of the organic matter in the Solar system;
- fine chemical analysis of the organic contaminations for technological purposes during preparations for space missions.



«Сигма-А» — первый отечественный хроматограф для исследования малых составляющих атмосферы Венеры («Венера-11 и -12»)

Sigma-A, the first national chromatograph to examine small components of the atmosphere of Venus (Venera 11 and 12)



1

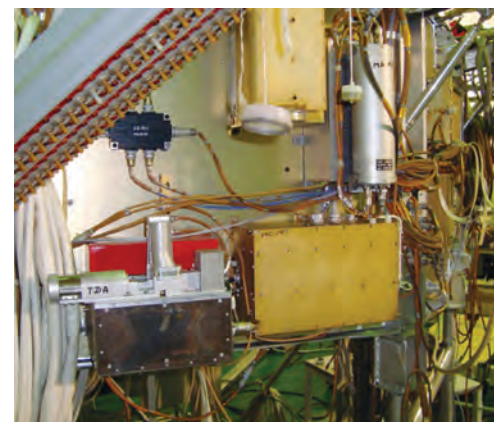
Газовый хроматограф ХМС-1Ф (1) и термический анализатор ТДА (2), составившие вместе с прибором МАЛ-1Ф (ГЕОХИ РАН) газоаналитический комплекс, и прибор ДИАМОНД/DIAMOND (3) для изучения потоков пыли на КА «Фобос-Грунт» (запуск 2011 г.)

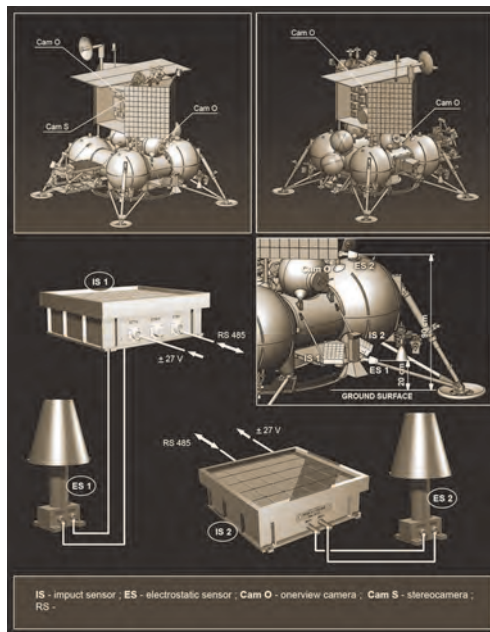
The gas chromatograph KhMS-1F (1) and the thermal analyzer TDA (2) which together with the mass spectrometer MAL-1F (GEOKHI RAS) put together the Gas Analytic Package (GAP), and the instrument DIAMOND (3), aimed at investigation of dust flows, were built for the Phobos Sample Return mission (launched in 2011)



2

3





ПмЛ — эксперимент по прямому измерению потоков пылевых частиц в приповерхностной экзосфере Луны. Прибор способен зафиксировать перемещение пыли у лунной поверхности электроиндукционными и контактными датчиками с чувствительностью по импульсу пылевых частиц до 10...14 кг-м/с

PmL — the experiment for direct measurement of moving dust particles in the near-surface exosphere of the moon. The instrument is able to record dust motion near the lunar surface with electric induction and contact detectors of sensitivity by the dust particle momentum up to 10...14 kg-m/s

Приборы, проекты, результаты

Прибор ПмЛ (Пылевой мониторинг Луны, КА «Луна-25» и «Луна-27»)

Приборы ГХ-Л, ТА-Л и сопровождение швейцарского прибора НГМС (NGMS), входящих в газоаналитический комплекс эксперимента АЛПОЛ (КА «Луна-27»).

Прибор ГХ-М и сопровождение британского прибора НГМС, входящих в газоаналитический комплекс МГАК (проект ЭК-ЗОМАРС, посадочная платформа, 2018 г.).

Приборы ПК (пылевой комплекс) для изучения динамики пыли и механизмов возникновения пылевых бурь и тайфунов, связанных с электрическими полями в атмосфере Марса (проект «ЭкзоМарс», посадочная платформа, 2018 г.).

Instruments, Projects, Results

PmL (Monitoring of the lunar dust activity, *Luna-25 and Luna-27*)

GKh-L, TA-L instruments and support of the Swiss NGMS included into the gas analysis instrument suite of the ALPOL experiment (Analysis of Polar Lunar Volatiles, *Luna-27*).

GKh-M, TAM instruments and support of the Swiss NGMS included into the gas analysis instrument suite of the MGAK (Martian Gas Analysis Package, *ExoMars* landing platform, ESA/Roscosmos, 2018).

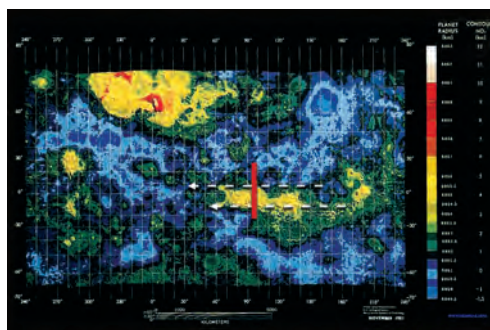
PK (Dust Kit) instruments to study dust dynamics and the mechanisms of dust storms and typhoons genesis related to the electrical fields in the atmosphere of Mars (*ExoMars* landing platform, ESA/Roscosmos, 2018).

Лаборатория малых аппаратов для исследований планет (533)

Основное научное направление — метеорологические исследования, климат планет и климатические явления. Лаборатория разрабатывает различные датчики, приборы, а также интегрированные комплексные научные системы и малые зонды для исследования планет и малых тел Солнечной системы.

Laboratory of Small Vehicles for Planetary Exploration (533)

The primary line of research is meteorological research, planetary climate, and climatic phenomena. The laboratory develops various sensors, devices as well as integrated complex scientific systems and small probes for the research of planets and small bodies in the Solar system.

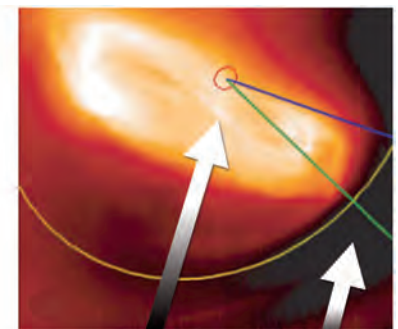
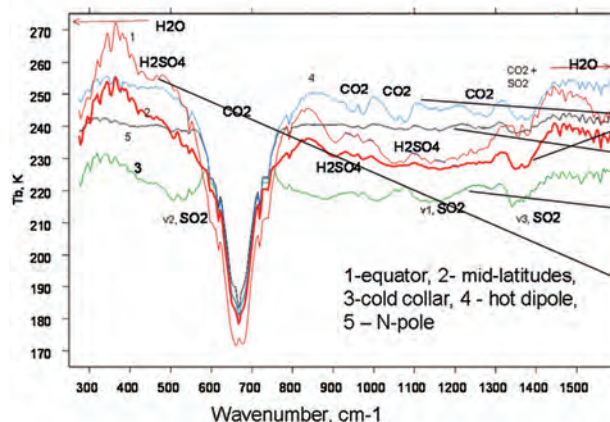


Точки входа спускаемых аппаратов проекта ВЕГА на карте Венеры

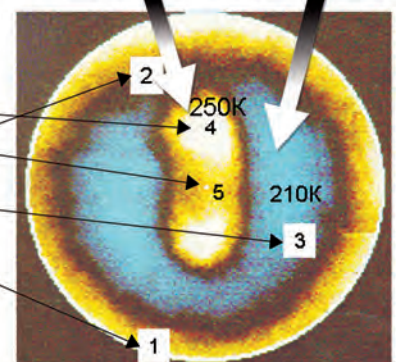
Entry points of the descending modules of the Vega project on the map of Venus

Южный полюс атмосферы Венеры. Видны полярный диполь и «холодный воротник». Изображение получено с помощью советско-немецкого эксперимента «Фурье-спектрометр» на аппаратах «Венера-15, -16»

The south pole of the atmosphere of Venus. The polar dipole and the "cold collar" can be seen. The image was obtained from the Fourier spectrometer Russian-German experiment on the Venera 15, and 16



ПОЛЯРНЫЙ ДИПОЛЬ ХОЛОДНЫЙ ВОРОТНИК



Характеристики атмосферы и их изменение во времени и в пространстве определяют климат и многие климатические явления: глобальную циркуляцию атмосферы, тепловой баланс, её взаимодействие с поверхностью планеты и космическим пространством. В 1970–1980 гг. в лаборатории создавались метеоконкомплексы для исследования Марса и Венеры. В ходе венерианских проектов впервые были напрямую измерены химический состав атмосферы, определён состав сернистых соединений и воды, получены высокоточные профили температуры и давления. Эти данные легли в основу модели венерианской атмосферы, которая остаётся актуальной и сегодня.

Параллельно будущие космические эксперименты отработывались на Земле, с помощью аэростатов или плавающих баллонов сверхдавления над океаном, с метеорологическими приборами. В проекте ВЕГА («Венера-Галлей») группа разработала метеоконкомплексы для спускаемого аппарата и аэростатных зондов. В ходе проекта впервые и пока единственный раз был проведён эксперимент по запуску в атмосферу другой планеты двух исследовательских аэростатов. Лаборатория отвечала за всю полезную нагрузку зондов, для которой совместно с французскими специалистами создала комплекс приборов. Аэростаты дрейфовали в атмосфере южного и северного полушария Венеры в течение 48 ч, передавая прямо на Землю информацию о термической структуре, турбулентности и динамике атмосферы Венеры на высотах 52...55 км. Экспериментально подтвердилось, что атмосфера планеты прозрачна для наблюдений в спектральном «окне» на длине волны около 1 мкм.

Для проекта ФОБОС был предложен проект долгоживущей автономной станции на поверхности спутника, которая должна была осуществить мягкую посадку на спутник и закориться. К сожалению, орбитальный аппарат вместе с автономной станцией на борту был потерян на ранней стадии работы на орбите Марса.

Для проекта МАРС-94/96 лаборатория предложила несколько экспериментов: марсоход и малые автономные станции для изучения атмосферы, грунта и внутренней структуры Марса. Марсоход создавался в сотрудничестве с ВНИИТрансмаш, однако по ходу развития проекта марсоход был исключён из него. Некоторое время работы над марсоходом продолжались на инициативной основе совместно с Планетным обществом США (Planetary Society). Все усилия лаборатория сосредоточила на создании малых автономных станций.

The atmospheric parameters and their evolution in time and space determine the climate and many climatic phenomena: global atmosphere circulation, thermal balance, the interaction of atmosphere with the planet's surface and space. In 1970-80's the laboratory was developing the meteorological instruments to explore Mars and Venus. In Venus projects the chemical composition of the atmosphere was measured directly, the composition of the sulfur compounds and water was defined; high precision temperature and pressure profiles were obtained for the first time. These data have provided the basis for the Venus atmosphere model (VIRA — Venus International Reference Atmosphere), which is relevant up to now.

Concurrently, the future space experiments were tested on the Earth using the aerostats or floating balloons over the ocean with meteorological instruments. For the *Vega* project the group has developed meteorological suites for the descending module and balloon probes. In the course of the project it was the first and, up to now, the only experiment of launching two research balloons into the atmosphere of another planet. The laboratory was responsible for all payload of the probes, for which, together with the French experts, it developed a set of instruments. The balloons have been drifting through the atmosphere of the south and north hemispheres of Venus for 48 hours transmitting information of the thermal structure, turbulence and atmosphere dynamics of Venus at altitudes of 52...55 km directly to the Earth. It was proven by the experiments that the planetary atmosphere is transparent for observations within the spectral window at the wavelength band about 1 μm .

For the *Phobos* project, the project of a long-duration autonomous station on the satellite's surface was built, the station was supposed to perform a soft landing on the satellite and anchor itself. Unfortunately, the spacecraft together with the autonomous station was lost at an early stage of operation in orbit of Mars.

For *Mars-94/96* mission the laboratory has proposed several experiments: Mars rover and small autonomous stations for the research of the atmosphere, soil and internal structure of Mars. The Mars rover was developed in collaboration with All-Russian Scientific and Research Transport Engineering Institute (VNIITransmash), but as the project was developing the rover was excluded. For a spell the work on the Mars rover was continued together with the US Planetary Society. In the following the laboratory concentrated on the development of *Mars-96* small autonomous stations.



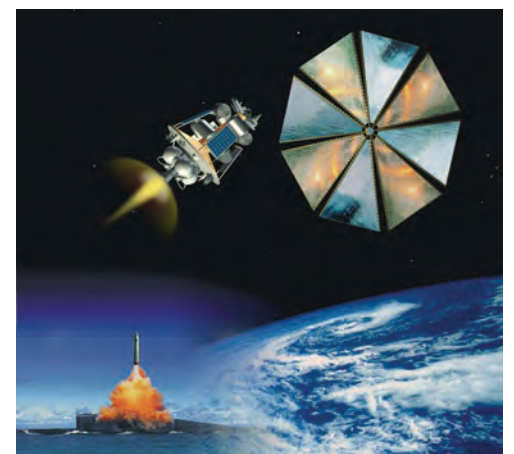
Испытания марсохода в Калифорнии, США

Mars rover tests in California, USA



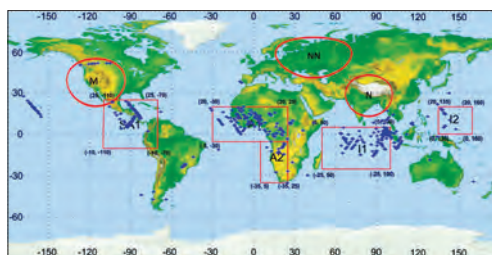
Малая автономная станция для проекта «Марс-94/96»

A small autonomous station for Mars-94/96 mission



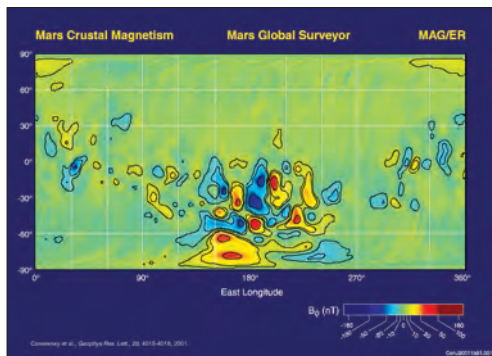
Концепция проекта «Солнечный парус»

The concept of the project Solar Sail



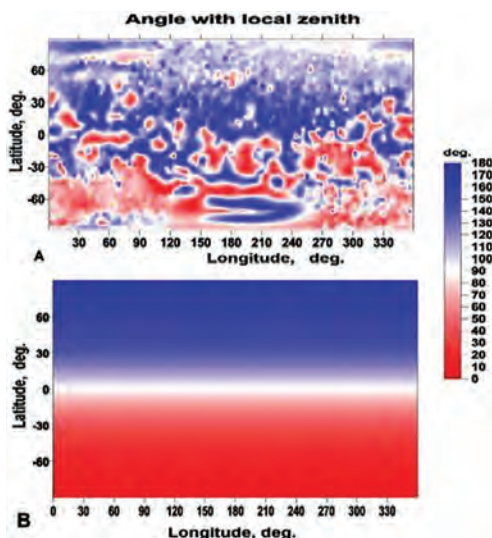
Карта составлена по данным прибора РЧА (радиочастотный анализатор) на борту академического микроспутника «Чибис-М». Точками отмечены срабатывания прибора на радиоизлучение от характерных коротких грозовых разрядов в диапазоне 26...48 МГц. Выделены районы с наибольшим числом срабатываний, которые хорошо совпадают с известными регионами с высокой грозовой активностью, прежде всего, в экваториальных широтах

The map is built by the RChA (radio frequency analyzer) data onboard the Chibis-M academic micro-satellite. The points indicate the device response to radio emission from distinctive short thunderstorm discharges within 26...48 MHz range. The regions with the maximum number of responses are identified, matching the known regions of high thunderstorm activity, primarily in the equatorial latitudes



Магнитные аномалии на Марсе (оригинальный рисунок вверху) генерируют крупномасштабное эффективное дипольное магнитное поле (средний рисунок — рассчитанное распределение углов с направлением на зенит измеренного поля; внизу — модельное поле диполя)

Magnetic anomalies on Mars (original picture on top) are generating a large-scale effective dipole magnetic field (middle picture; bottom — simulated dipole field, top — estimated angular distribution towards the zenith of the measured field)



Приборы, проекты, результаты

Проект «Солнечный парус» был предложен совместно с Планетным обществом США и НПО им. С. А. Лавочкина. В 2000–2005 гг. был создан космический аппарат; на орбите высотой 1000 км он должен был раскрыть солнечный парус площадью 600 м². Под действием солнечного света на парус аппарат должен был повысить орбиту и уйти на гелиоцентрическую траекторию. Под руководством лаборатории была разработана и отработана вся аппаратура космического аппарата, включая полезную нагрузку. Это был один из первых экспериментов по использованию солнечного паруса для космических полётов, но, к сожалению, аппарат не был выведен на орбиту из-за отказа первой ступени носителя «Космос-3М».

Проект ЛЕНГОУТ — создание автоматической системы посадки подводных аппаратов, в рамках которого сотрудники лаборатории разрабатывали систему технического зрения. Цикл испытаний (включая натурные) подтвердил работоспособность прибора, который обеспечивал определение дальности и пространственное положение объекта по конфигурации объектов с точностью 1 мм.

Прибор РЧА для проекта «Чибис-М» — детектор радиоизлучения, который регистрировал с орбиты молниевые разряды в диапазоне 26...48 МГц. Прибор работал в космосе в 2012–2014 гг. и стал ведущим в комплексе всех научных инструментов спутника.

Распределение минимагнитосфер Марса, созданных разными магнитными аномалиями, по данным Mars Global Surveyor (NASA, магнитометр MAGER) и Mars Odyssey (NASA, радиозатмения): как оказалось, хотя у Марса нет собственного внутреннего магнитного поля, магнитные аномалии генерируют крупномасштабное эффективное дипольное магнитное поле. От распределения магнитных аномалий также зависит состояние атмосферы Марса: если минимагнитосфера достаточно сильная, она не даёт солнечному ветру проникнуть в нижние слои и «нагреть» их.

Сейчас лаборатория участвует в проектах: «ТВ-камера-спектрометр» для исследования минералогического состава грунта (проект «Луна-26»)

Аппаратура для эксперимента «Плазма-Э», предназначенного для исследования влияния окружающей плазмы на МКС.

Метеокомплекс для посадочного марсианского аппарата, исследование электрической активности на поверхности (проект «ЭкзоМарс», посадочный аппарат, 2018 г.).

Метеокомплексы для посадочного аппарата и аэростатного зонда (проект «Венера-Д»).

Instruments, Projects, Results

Solar Sail was proposed together with the Planetary Society and Lavochkin Association. In 2000–2005 the spacecraft was manufactured. At a 1000-km orbit it was supposed to swing open the solar sail of 600 sq. m Area. The effect of the solar light on the sail was to raise the orbit height and eventually to deliver the spacecraft to a heliocentric trajectory. The laboratory headed the design and development of the complete spacecraft hardware including the payload. This was one of the first experiments for the use of the solar sail in space flights, but unfortunately the spacecraft was never released inserted due to failure of the first stage of the *Kosmos-3M* launcher

The *Lengout* project is the development of an automated docking system for submarine vehicles within which the laboratory's staff members were developing the artificial vision system. The test campaign (including the field tests) confirmed the functionality of the device allowing to estimate the range and the relative position of the object within the accuracy of 1 mm.

RChA (radio frequency analyzer) for the *Chibis-M* project is the radio emission detector recording the 26...48 MHz lightning discharges from orbit. The instrument was operating in space from 2012 through 2014 and became the leading instrument of the science payload of the satellite.

Distribution of Martian mini-magnetospheres generated by various magnetic anomalies from the data of *Mars Global Surveyor* (NASA, MAGER magnetometer) and *Mars Odyssey* (NASA, radio occultations). As it turned out, though Mars does not have its own magnetic field, the magnetic anomalies are generating a large-scale effective dipole magnetic field. The conditions of the Martian atmosphere also depend on the distribution of magnetic anomalies: if the mini-magnetosphere is strong enough it does not allow the solar wind penetrate the lower layers and heat them up.

Today the laboratory leads the following projects:

TV-camera-spectrometer for investigation of the soil mineral composition (*Luna-26* project).

Hardware for the *Plasma-E* experiment designed for the examination of the surrounding plasma effects on the ISS.

Meteorological suite for the Martian lander, examination of the surface electrical activity (*ExoMars* lander, Roscosmos/ESA, 2018).

Meteorological suites for the lander and the balloon probe (*Venera-D* project)

Лаборатория межпланетной среды (534)
(руководитель — д-р физ.-мат. наук
Владислав Измоленов)

Все планеты Солнечной системы находятся в гелиосфере — области космического пространства, занятой веществом Солнца или солнечным ветром, который истекает из солнечной короны в среднем со скоростью 400 км/с. Процессы в солнечном ветре многообразны и сложны. Он взаимодействует с магнитосферами и атмосферами планет, создавая ударные волны; частицы солнечного ветра рассеивают фотоны; наконец, на границах гелиосферы он сталкивается с межзвёздным веществом и рождает новые ускоренные частицы.

Общая модель взаимодействия солнечного ветра и межзвёздной среды, или гелиосферного интерфейса, была теоретически разработана в 1960-х гг., в том числе с участием советских учёных. В 1970 г. опубликована статья В. Б. Баранова, К. В. Краснобаева и А. Г. Куликовского (в 1971 г. на английском языке), в которой была предложена модель, предсказывающая существование гелиопаузы на расстоянии приблизительно 150 а.е. Сейчас эта модель проходит «экспериментальную» проверку с помощью прямых измерений на космических аппаратах Voyager (NASA) и дистанционных наблюдений. Сотрудники лаборатории создают численные и качественные модели тех процессов, что происходят в гелиосфере и на Солнце, и анализируют экспериментальные данные космических аппаратов. В их числе Voyager 1 и 2 (NASA), достигшие дальних рубежей Солнечной системы, а также IBEX (NASA), SOHO (NASA), Ulysses (NASA/EKA), Cassini (NASA). Новый взгляд на ту же проблему дают астрофизические наблюдения за другими звёздами, которые так же, как и наше Солнце, взаимодействуют с межзвёздной средой. Особенности этих процессов хорошо видны «со стороны» — на изображениях в разных диапазонах света, полученных орбитальными обсерваториями.

Основные объекты исследования

- Глобальная структура гелиосферы и взаимодействие солнечного ветра с межзвёздной средой;
- межпланетная среда;
- рассеянное солнечное Лайман-альфа-излучение;
- данные с космических аппаратов Voyager, IBEX, SOHO, Ulysses, Cassini и др.;
- холодные межзвёздные облака, окружённые горячей плазмой;
- астросферы;
- корональные магнитные петли в солнечной атмосфере;

Laboratory of Interplanetary Environment (534)
Head — Dr. Vladislav Izmodenov

All planets in the Solar system are in the heliosphere — the region of the space occupied with the extra-solar matter or the solar wind, which blows out from the solar corona at the average velocity of 400 km/s. The processes in the solar wind are diverse and complex. It interacts with the magnetospheres and atmospheres of the planets, creating shock waves, the photons are scattered by the solar wind particles; and, finally, it comes into contact with the interstellar matter at the boundary of the heliosphere and generates new accelerated particles.

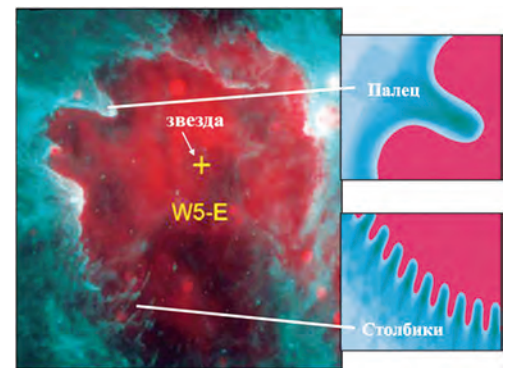
A general model of the solar wind interaction with the interstellar medium, or the heliospheric interface, was developed in the 1960's with involvement of the Soviet scientists. In 1970 the article by V. B. Baranov, K. V. Krasnobae, and A. G. Kulikovskiy was published (in 1971 in the English language) which proposed the model predicting the existence of the heliopause at the distance of about 150 AU. Today this model is undergoing experimental validation by means of direct measurements onboard the *Voyager* spacecraft (NASA) and remote observations. The laboratory's staff members are developing numerical and qualitative models of the processes taking place in the heliosphere and on the Sun and are analyzing the experimental data from the spacecraft. Those include *Voyager 1* and 2 (NASA), that crossed the boundary of the solar system, as well as IBEX (NASA), SOHO (NASA), *Ulysses* (NASA/ESA), *Cassini* (NASA). Astrophysical observations of other stars which, as our sun, interact with the interstellar medium give us new insights in the same problem. The special aspects of these processes are well seen on the outside — on the images in various ray wavelengths obtained by the orbital observatories.

Research Objects

- Global structure of the heliosphere and the solar wind interaction with the interstellar medium;
- interplanetary medium;
- scattered solar Lyman-alpha radiation;
- the data from *Voyager*, IBEX, SOHO, *Ulysses*, *Cassini* and others;
- cold interstellar clouds surrounded with hot plasma;
- astrospheres;
- coronal magnetic loops in the solar atmosphere;



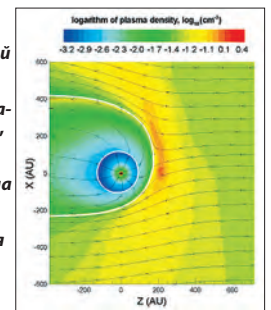
Владислав Измоленов
Vladislav Izmodenov



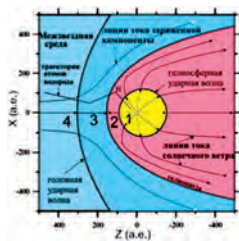
Создана модель возникновения «палецобразных» газовых конденсаций в околозвёздных оболочках и теоретически объяснён «множественный эффект шампанского» при разрушении границы области HII — области ионизованного водорода, которая одновременно является районом активного звездообразования. Холодное вещество («пальцы», «столбики») содержит молодые звёздные объекты и проникает внутрь «пузыря», заполненного нагретым звездой газом: а — данные наблюдений W5-E (Deharveng L. et al. Interstellar matter and star formation in W5-E // A&A. 2012. V. 546. No. A74; b — численное моделирование

The model of the origin of finger-type gas condensations in the circumstellar envelopes was developed and a multiple champagne effect when the HII region boundary breaks up — the ionized hydrogen region which is the region of active star formation at the same time — was derived. The cold matter ("fingers", "pillars") contain young stellar objects and penetrate the bubble filled with gas heated by a star. (a) Data from W5-E observations (Deharveng L. et al. Interstellar matter and star formation in W5-E. A Herschel view // A&A. 2012. V. 546. id. A74. 41 p); (b) Numerical modeling

Результаты расчётов гелиосферного ударного слоя в рамках трёхмерной кинетико-МГД-модели. Цветом показана плотность плазмы, стрелочками — линии тока плазмы, белыми линиями — поверхности разрывов (гелиосферная ударная волна и гелиопауза). За счёт внешнего магнитного поля пропадает головная ударная волна в звёздной среде, а структура гелиосферы становится асимметричной



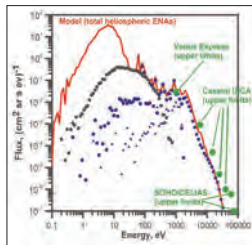
The results of the heliospheric shock layer calculations in the 3D kinetic MHD model. The color illustrates the plasma density, arrows illustrate the plasma flow lines, white lines illustrate the shock surfaces (heliospheric shock wave and heliopause). Through the external magnetic field the bow shock wave in the interstellar medium is lost and the heliospheric structure becomes asymmetrical



На расстоянии примерно 122 а. е. (или в 122 раза дальше, чем расстояние от Земли до Солнца) солнечный ветер сталкивается с веществом межзвёздной среды

At the distance of ca. 122 AU (or 122 times farther than the distance from the Earth to the Sun) the solar wind is coming into contact with the interstellar medium (ISM) matter

Потоки захваченных протонов на 1 а. е. в зависимости от энергии, полученные в рамках модели с учётом неравновесного характера плазмы межзвёздной среды. Красная кривая показывает суммарные потоки, чёрные точки — потоки из области внутреннего ударного слоя, синие треугольники — потоки из внешнего ударного слоя. На больших энергиях видно отличное совпадение результатов модели и экспериментальных данных с различных аппаратов (зелёные точки)



The fluxes of the trapped protons at 1 AU depending on the energy derived within the model taking into account the non-equilibrium plasma nature in the interstellar media. The red curve illustrates the total fluxes, the black dots illustrate the fluxes from the regions of the internal shockwave layer, the blue triangles illustrate the fluxes from the outer shockwave layer. At high energies perfect correspondence of the model results with the experimental data from various spacecraft (green dots) can be seen

Александр Таиров
Alexandr Tavrov



- формирование областей НП и развитие неустойчивости ионизационно-ударных фронтов;
- эволюция самогравитирующих уплотнений;
- распространение нелинейных волн в газопылевых излучающих средах.

Предложена и совершенствуется современная численная модель взаимодействия солнечного ветра с межзвёздной средой. Теоретические выводы сопоставляются с данными космических аппаратов Voyager 1, 2; Космический телескоп им. Хаббла; SOHO, Ulysses, Pioneer, IBEX (NASA).

Лаборатория планетной астрономии (535)
(руководитель — д-р технич. наук Александр Таиров)

Исторически работы лаборатории были связаны с изучением других планет методами радиометрии и фотометрии с помощью наземных и космических средств. Первый руководитель лаборатории — д-р физ.-мат. наук Леонид Васильевич Ксанфомалити. Приборы, созданные здесь, стояли на автоматических межпланетных станциях (АМС) «Марс-2...-5», «Венера-9...-14», «Вега-1, -2», «Фобос-1, -2», «Марс-96».

Наблюдения в оптическом диапазоне (а также инфракрасных и ультрафиолетовых областях спектра) — один из старейших методов планетной науки, который и сегодня даёт новые результаты. Новые же задачи для исследователей лежат уже за пределами Солнечной системы. Лаборатория, одна из первых в России, занялась исследованиями экзопланет с помощью наземных телескопов и работает над инструментами, которые будут исследовать эти объекты из космоса.

Основные направления

- Звёздная коронография для получения непосредственных изображений экзопланет;
- исследование фазовых кривых экзопланет с помощью звёздных коронографов;
- спектральные исследования излучения экзопланет;
- фотометрические исследования известных транзитных объектов;
- разработка космических обсерваторий малого и среднего классов для наблюдения планет Солнечной системы и экзопланет;
- исследование характеристик систем прецизионной адаптивной оптики в космических телескопах;
- экспериментальные (наблюдательные) и теоретические исследования экзопланет;

- formation of HII regions and development of shock and ionization front instabilities;
- evolution of the self-gravitational condensations;
- non-linear waves propagation in the gas and dust emission media.

A modern numerical model of the solar wind interaction with the interstellar medium was proposed and developed. The theoretical conclusions are compared with the data from Voyager 1 and 2; Hubble Space Telescope; SOHO, Ulysses, Pioneer, IBEX (NASA).

Laboratory of Planetary Astronomy (535).
Head — Dr. Alexandr Tavrov

Historically the laboratory activity was related to exploration of other planets using the methods of radiometry and photometry by means of ground and space instruments. The laboratory head was Dr. Leonid V. Ksanfomality. The instruments constructed in this laboratory were installed onboard Mars-2 to Mars-5, Venera-9 to Venera-14, Vega-1 and 2, Phobos-1 and 2, Mars-94/96.

Observations in the optical range (as well as in the infrared and the ultraviolet spectral bands) are one of the oldest methods of the planetary science which still bring new results. But new problems for the researchers are lying outside of the Solar system. The laboratory, one of the first in Russia, started investigating exoplanets using ground telescopes and is working at the instruments to be used for research of these objects from space.

Research Areas

- Stellar coronagraphy to obtain direct images of the exoplanets;
- investigation of the phase curves of exoplanets using the stellar coronagraphs;
- spectroscopic research of exoplanet emissions;
- photometric research of the known transient objects;
- development of small- and middle-class space observatories to observe the planets in the solar system and exoplanets;
- investigation of features of the precision adaptive optic systems in the space telescopes;
- experimental (observational) and theoretical investigations of the exoplanets;

- обработка и каталогизация архивных материалов телевизионных исследований поверхности Венеры, выполненных в миссиях «Венера-9, -10» (1975) и «Венера-13, -14» (1982);
- исследования характеристик рассеяния электромагнитного излучения на частицах (пыль, реголит, аэрозоль и т.п.) в атмосфере и на поверхности небесных тел, в частности, Венеры и Марса.

Приборы, проекты, результаты

Разработаны схемы звёздных интерференционных коронографов CP-AIC и CP-ARC, которые предназначены для искусственного «затмения» диска звезды, что позволяет «разглядеть» находящуюся рядом планету. Изготовлены лабораторные макеты, которые продемонстрировали работоспособность и хорошие рабочие характеристики.

Исследуется возможность применения адаптивной оптики в космических экспериментах по наблюдению экзопланет и их фазовых кривых с помощью звёздного коронографа.

Разрабатываются космические обсерватории малого и среднего классов для наблюдения планет Солнечной системы и экзопланет. Предложены космические эксперименты «Планетный мониторинг» (в стадии опытно-конструкторских работ) — 60-сантиметровый телескоп для установки на Международной космической станции и на микроспутнике (2018+) и «Звёздный патруль» (научно-исследовательские работы) — ~1,5-метровый телескоп на космическом аппарате. Запуск последнего возможен после 2022 г.

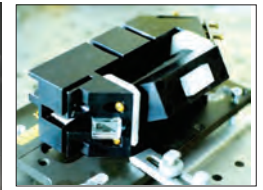
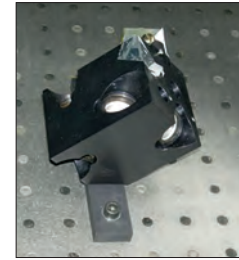
- processing and indexing of archived materials of TV-explorations of the surface of Venus performed during the *Venera-9, 10* (1975) and *Venera-13, 14* (1982) missions;
- investigation of the characteristics of electromagnetic emission scattering using the particles (dust, regolith, aerosol) in the atmosphere and on the surface of planetary bodies, particularly Mars and Venus.

Instruments, Projects, Results

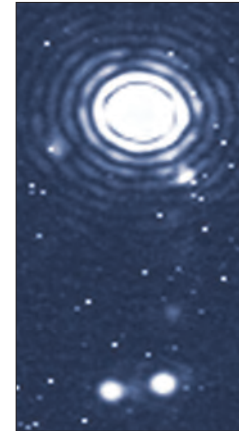
The layouts of CP-AIC and CP-ARC interstellar interference coronagraphs designed for artificial *occultation* of the star disc which enables to *see the* nearby planet were developed. The laboratory models which demonstrated the functionality and proper performance were constructed.

The possibility of using the adaptive optics in space experiments in exoplanet observation and their phase curves by means of the stellar coronagraph is being investigated.

Small- and middle-class space observatories are being developed for observation of the planets of the solar system and exoplanets. The following space experiments were proposed: *Planetary Monitoring* (in the design and experimental stage) is a 60-cm telescope to be installed onboard the International Space Station and onboard the micro-satellite (2018+) and *Star Patrol* (scientific and research activities) is a ~1.5-m telescope aboard a spacecraft. The latter is scheduled for launch after 2022.



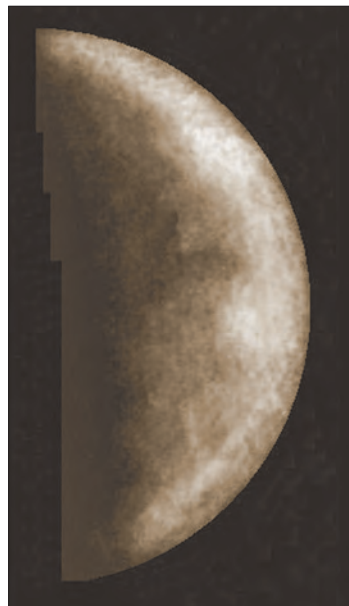
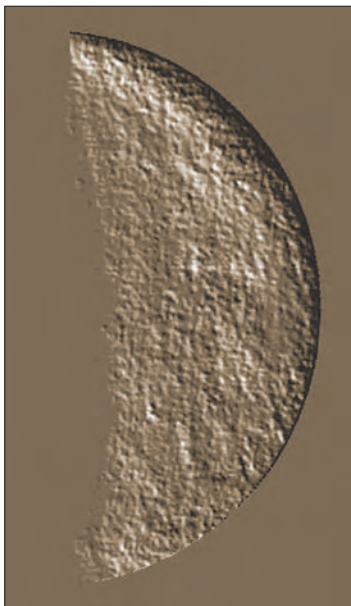
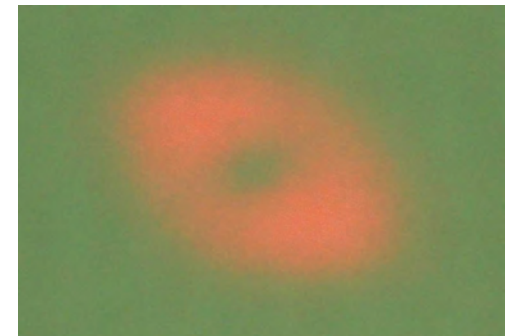
Коронографы CP-AIC и CP-ARC
CP-AIC and CP-ARC



Модель изображения, получаемого коронографом: светлый (слева) и тёмный (справа) выходы
An image model obtained from a coronagraph: light (left) and dark (right) yields

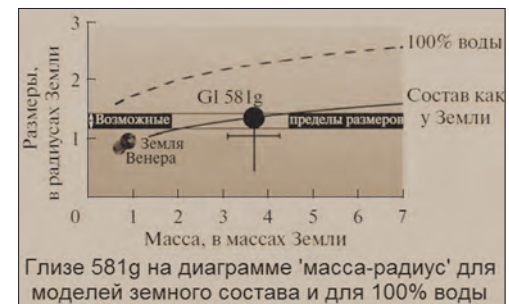
Эксперимент по гашению коронографом лазерного луча

An experiment for beam blanking by a coronagraph



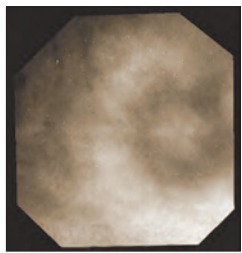
Рельеф Меркурия в секторе 210–290° W (слева), не охваченный съёмкой с аппарата Mariner-10 (NASA). Восстановлен по данным синтезированного изображения (справа), полученного методом коротких экспозиций на наземных телескопах (Ksanfomality L. V. The surface of Mercury in the 210–350° W longitude range // *Icarus*. 2008)

The terrain of Mercury in the 210–290° W range (left), not covered by the photography from Mariner-10 (NASA). Reconstructed by the data of the synthetic imaging (right) obtained using the method of short exposures on the ground telescopes (Ksanfomality L. V. The surface of Mercury in the 210–350° W longitude range // *Icarus*. 2008)



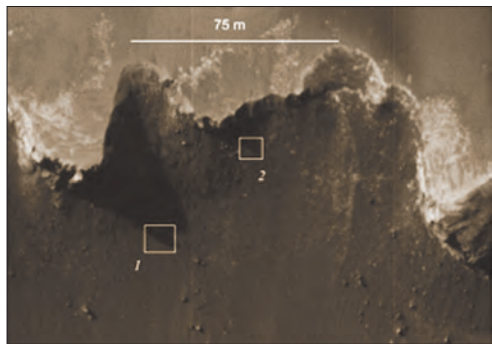
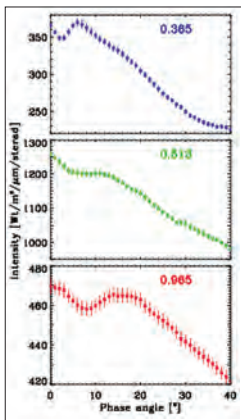
Экзопланета Глизе 581g на диаграмме «масса-радиус» для моделей земного состава и для 100 % воды (Ксанфомалити Л. В. Планетаны — океанические планеты // *Астрономический вестник*. 2014. № 1. С. 81–91)

Gliese 581g exoplanet on the mass-radius diagram for models of the earth composition and for 100 % water (Ksanfomality L. V. Planetans — the Ocean Planets // *Astronomicheskii Vestnik*. 2014. No. 1. P. 81–91)



Изображение глории на верхнем облачном слое Венеры на одном из УФ-снимков камеры VMC/Venus Express (слева), и фазовые функции яркости в 3 длинах волн, полученные из серии изображений (справа)

Image of the glory on the upper cloud layer of Venus on one of the UV-images made by the VMC/Venus Express camera; and brightness phase functions in 3 wavelengths obtained from the series of images

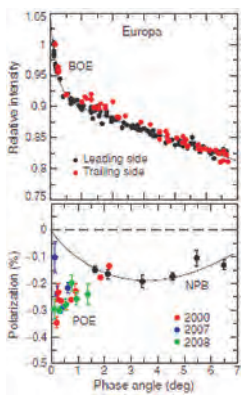


Один из снимков северного вала кратера Виктория, полученных камерой HiRISE орбитального аппарата MRO, с отмеченными для анализа районами (Petrova E. V. et al. Optical depth of the Martian atmosphere and surface albedo from high-resolution orbiter images // Planetary and Space Science. 2012. V. 60. P. 287–296)

One of the images of the northern edge of Victoria crater from the HiRISE camera of the MRO orbiter, the regions of investigation are marked (Petrova E. V. et al. Optical depth of the Martian atmosphere and surface albedo from high-resolution orbiter images // Planetary and Space Science. 2012. V. 60. P. 287–296)

Проявление когерентного обратного рассеяния (КОР) в оппозиционном пике яркости и отрицательной ветви поляризации с узким минимумом у спутника Юпитера Европа (Tishkovets V. P., Petrova E. V. Coherent backscattering by discrete random media composed of clusters of spherical particles // JQRST. 2013. V. 127. P. 192–206)

Appearance of the coherent backscattering (CBS) in the opposition peak brightness and a negative leg of polarization with the narrow minimum value at Europa, the Jupiter's moon (Tishkovets V. P., Petrova E. V. Coherent backscattering by discrete random media composed of clusters of spherical particles // JQRST. 2013. V. 127. P. 192–206)



Анна Фёдорова
Anna Fedorova



Предложена гипотеза о том, как определять планетаны — экзопланеты с глобальным океаном водной природы. Свойствами планетана может обладать Gl 581g (если её сферическое альbedo достигает 0,86), а вот Kepler-22 и GJ 1214b не могут быть планетанами.

С помощью многоспектральной камеры VMC на аппарате «Венера-Экспресс» (ЕКА) оценены размеры и показатель преломления частиц в верхнем слое облаков Венеры, а также их вариации во времени и пространстве. В ряде случаев показатель преломления частиц оказался выше, чем у частиц серной кислоты, которая составляет основную часть облаков. Возможно, это указание на то, что не отождествлённое до сих пор вещество, поглощающее УФ-излучение в верхнем облачном слое, может находиться в каплях облаков.

Разработан метод теней (shadow method), который позволил оценить оптическую толщину атмосферы Марса и альbedo поверхности в ряде районов с помощью снимков высокого разрешения; сравнение с результатами практически одновременных измерений оптической толщины, выполненными в этом районе марсоходом Opportunity (NASA), показало хорошее согласие. Исследованы возможности и ограничения метода.

Для наблюдений других тел Солнечной системы важно представлять, какое влияние на наблюдения оказывают мелкие частицы на поверхности и в газовых оболочках. Разработанный в лаборатории приближённый метод учёта КОР позволяет вычислять характеристики света, отражённого от дискретной среды, состоящей из хаотически расположенных частиц в зависимости от плотности их упаковок. Метод был опробован на нескольких типах кластеров и было получено хорошее согласие ряда моделей с фазовой кривой поляризации, измеренной в лаборатории.

Лаборатория экспериментальной спектроскопии (536) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Анна Фёдорова)

Специализация лаборатории, которая до 2005 г. носила название «Лаборатория оптической спектроскопии верхних атмосфер», — оптическая спектроскопия атмосфер планет от ультрафиолетового до среднего инфракрасного диапазона. Основателем и первым заведующим лабораторией с 1988 по 1991 г. был д-р физ.-мат. наук Владимир Анатольевич Краснополяский. В последующие годы ей руководили д-р физ.-мат. наук Олег Игоревич Кораблёв (1992–2005) и канд. физ.-мат. наук Иммант Иммантович Виноградов (2005–2014).

The hypothesis how to define *planetans* — exoplanets with the global ocean of aquatic nature was proposed. Gl 581g might have the planetan properties (in case its Bond albedo reaches 0.86) and Kepler-22 and GJ 1412b cannot be planetans.

By means of the multispectral VMC camera aboard *Venus Express* (ESA) the size and the coefficient of particles refraction in the upper cloud layer of Venus as well as their variation in time and space were estimated. In some cases, the coefficient of particle refraction was higher than that of the sulphuric acid particles which constitute the major portion of the clouds. Probably, this is an indication that some up-to-now unidentified substance absorbing the UV radiation in the upper cloud layer is contained in the cloud drops.

The shadow method was developed which enabled to assess the optical depth of the Martian atmosphere and albedo in some regions using the high-resolution images; the comparison with the results of virtually concurrent measurements of the optical depth made in these regions by the *Opportunity* rover (NASA) showed a good matching. Method's opportunities and restrictions were examined.

To observe other bodies of the solar system it is important to have an idea of the influence small particles on the surfaces and in the gas envelopes have on the observations. The laboratory developed an approximate method of coherent backscattering (CBS) calculation which enables to calculate the characteristics of the light reflected by the discrete media containing randomly oriented clusters of particles depending on their packing density. This method was tested on several types of clusters and a series of models agree with the polarization phase curve measured in the laboratory.

Laboratory of Experimental Spectroscopy (536). Head — Dr. Anna Fedorova

The laboratory's profile, which until 2005 was called *Laboratory of Upper Atmosphere Optical Spectrometry*, is the optical spectroscopy from the ultraviolet to middle infrared range where the absorption and emission bands of the main components of the planetary atmospheres are located. Dr. Vladimir Krasnopol'sky was the founder and the first head of the laboratory from 1988 through 1991. In subsequent years the laboratory was headed by Dr. Oleg Korablev (1992–2005) and Dr. Imant Vinogradov (2005–2014).

Изначально лаборатория занималась фотохимией и спектроскопией верхних атмосфер, и первым её экспериментом был совместный российско-французский комплекс спектрометров «Огюст» на КА «Фобос-2» (1986). В этом эксперименте впервые у другой планеты был реализован метод солнечного просвечивания атмосферы. Несмотря на то, что миссия проработала всего пару месяцев, были получены уникальные данные по вертикальным распределениям озона, водяного пара и аэрозоля в атмосфере Марса. Успех этого эксперимента дал импульс дальнейшему развитию метода и созданию спектрометра СПИКАМ для следующей экспедиции к Марсу — «Марс-96».

После трагической гибели «Марса-96» ключевым направлением лаборатории стала разработка нового типа спектрометров на основе акустооптической фильтрации света. Первые АОПФ-спектрометры для других планет вошли в состав спектрометра SPICAM на АМС ЕКА «Марс-Экспресс» (запуск 2003 г.) и комплекса SPICAV/SOIR на АМС ЕКА «Венера-Экспресс» (2006–2014). Благодаря гибкой работе спектрометров с орбиты планеты было получено много уникальной информации о многолетних вариациях газовых и аэрозольных составляющих атмосфер Марса и Венеры от поверхности до верхней мезосферы. Эти результаты уже стали основой для физических исследований и численного моделирования циркуляции и фотохимии атмосфер наших ближайших соседей. АОПФ-спектрометр на КА «Марс-Экспресс» работает до сих пор, он — один из немногих долгожителей на борту аппарата.

Приборы, проверенные в космосе, можно использовать для дистанционного зондирования Земли, например, для изучения малых составляющих земной атмосферы, к которым относятся и такие важнейшие парниковые газы как метан и углекислый газ. Чтобы понять, какое влияние они оказывают на изменения климата, нужна точная информация об источниках и стоках этих газов в атмосфере. Их глобальные и непрерывные измерения возможны только с орбиты. Первый эксперимент, под названием РУСАЛКА, по изучению парниковых газов с борта Международной космической станции проводился в 2009–2013 гг.

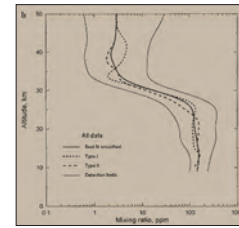
Развивается теоретическое направление моделирования глобальной циркуляции атмосфер планет. В конце 2000-х гг. в лаборатории появилось ещё одно экспериментальное направление — лазерная спектроскопия, и под руководством И. И. Виноградова начали создаваться приборы на основе диодных лазеров с перестраиваемой частотой (TDLAS). Участвовала лаборатория и в создании приборов для КА «Фобос-Грунт» (2011): спектрометр высокого разрешения ТИММ, микроскоп МикроОМЕГА и диодно-лазерный спектрометр TDLAS.

In the beginning the laboratory was dealing with upper atmosphere photochemistry and spectroscopy. One of early experiments was the joint Russian-French spectrometer *Auguste* onboard *Phobos 2* spacecraft (1986). In the course of the experiment it was for the first time when a method of solar occultation sounding of the atmosphere was applied near another planet. Despite the fact that mission lasted for a couple of months only, unique data of vertical distribution of ozone, water vapor, and aerosol in the Martian atmosphere were obtained. The success of this experiment provided a new impetus to the further method development and construction of the SPICAM spectrometer for the following Martian mission (*Mars-96*).

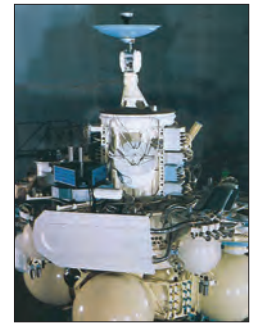
After the tragic loss of *Mars-96* the development of a new type of spectrometers based on the acousto-optic light filtration became the key profile of the laboratory. The first AOTF-spectrometers for other planets were included into the set of the SPICAM spectrometer onboard *ESA's Mars Express* (launched in 2003) and SPICAV/SOIR acousto-optic light filtration suite onboard *ESA's Venus Express* (2006–2014). Due to flexible operation of the spectrometers a lot of unique data about the years-long variations of gas and aerosol components in the Martian and Venusian atmospheres from the surface up to the upper mesosphere were obtained from the planetary orbit. These results have already become the background for physical research and numerical simulation of atmospheric circulation and photochemistry of our closest neighbors. The AOTF-spectrometer onboard *Mars Express* is still operating, it is one of a few survivors onboard the orbiter.

Instruments built for deep space can be used for the Earth remote sensing, for instance, for examination of small components of the Earth's atmosphere which include such most important greenhouse gases as methane and carbon dioxide. To understand how these gases influence the climate, precise information is required about where and how much of those get into the atmosphere and where they leave it. The global and continuous measurements of these parameters are possible from orbit only. The first experiment named *Rusalka* (Manual spectral analyzer of the atmosphere constituents) to study the greenhouse gases from onboard the International Space Station was held in 2009–2013.

The theoretical line of simulation of the global atmospheric circulation of the planets is now being in development. In the end of the 2000's the laboratory started one more series of experiments, the laser spectroscopy, and headed by I. I. Vinogradov started development of instruments based on the tunable diode lasers (TDLAS). The laboratory was also partaking in construction of the instruments for *Phobos Sample Return* mission (2011): the high-resolution spectrometer (TIMM), MicroOMEGA microscope, and TDLAS diode-laser spectrometer.

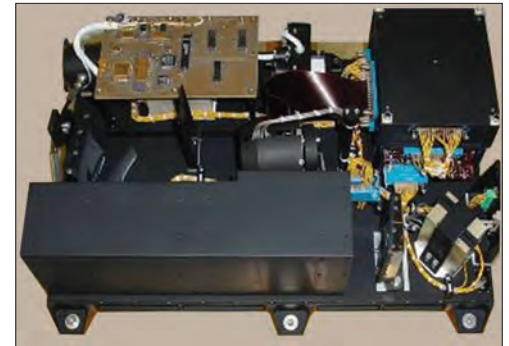


Вертикальные профили H_2O , озона и атмосферной пыли по данным эксперимента с солнечным просвечиванием на аппарате «Фобос-2» (Краснопольский, Корблев, Крыско, Родин и др.)

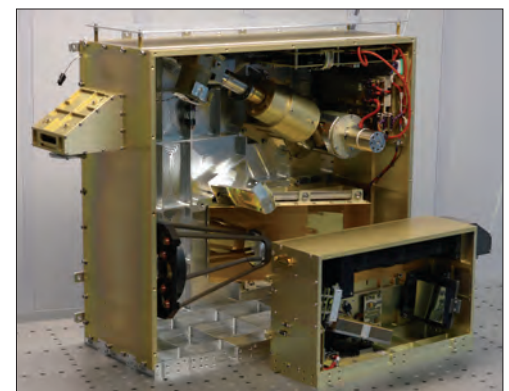


АМС «Фобос-2»
AIS Fobos 2

H_2O , ozone and atmospheric dust vertical profiles by the data of the solar occultation sounding experiment from *Phobos 2* (Krasnopolsky, Krysko, Rodin et al.)



Прибор СПИКАМ для «Марс-96»
SPICAM for Mars-96

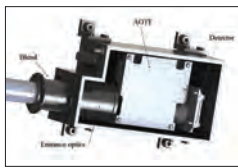


Эшелле-спектрометр ближнего инфракрасного диапазона (АЦС-НИР), эшелле-спектрометр среднего инфракрасного диапазона (АЦС-МИР) спектрометрического комплекса для исследования атмосферы Марса АЦС для орбитального аппарата Trace Gas Orbiter проекта ЭКЗОМАРС (ESA/Роскосмос, запуск 2016 г.)

The Echelle spectrometer of the near infrared band (ACS-NIR), the Echelle spectrometer of the middle infrared band (ACS-MIR) for the ACS suite (Atmospheric Chemistry Suite) for ExoMars Trace Gas Orbiter (Roscosmos/ESA, 2016)

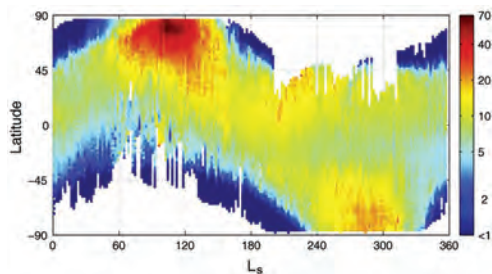
Инфракрасные спектрометры ИСЕМ (ISEM, Infrared Spectrometer for ExoMars) для марсохода Pasteur проекта ЭКЗОМАРС (запуск 2018 г.) и ЛИС для проекта ЛУНА-ГЛОБ

Infrared spectrometers ISEM (Infrared Spectrometer for ExoMars) for the ExoMars rover Pasteur payload (Roscosmos/ESA, 2018) and LIS (Lunar Infrared Spectrometer) for Luna-Glob



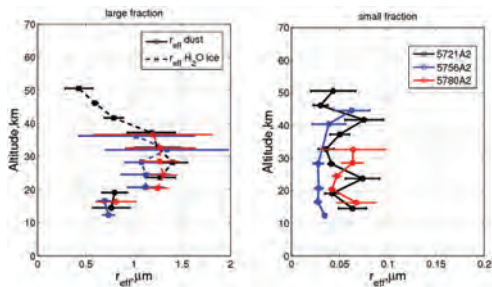
Спектрометр «Озонометр-ТМ»

Ozonometr-TM spectrometer



Широтное распределение влаги в атмосфере Марса в течение года по данным прибора СПИКАМ («Марс-Экспресс», ЕКА)

Latitudinal distribution of moisture in the Martian atmosphere over one year period from the SPICAM data (Mars Express, ESA)

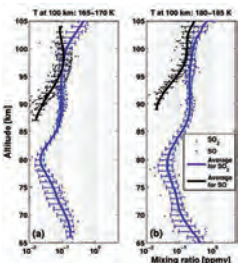


Бимодальное распределение аэрозоля на Марсе. Данные прибора СПИКАМ («Марс-Экспресс», ЕКА)

Bimodal distribution of aerosol on Mars. Data from the SPICAM camera (Mars Express, ESA)

Вертикальное распределение SO₂ и SO в мезосфере Венеры. Данные спектрометров СПИКАВ УФ и СУАР («Венера-Экспресс», ЕКА)

Vertical distribution of SO₂ and SO in the mesosphere of Venus. Data from the SPICAV UV and SUAR spectrometers (Venera-Express, ESA)



Основные направления исследований

Научное направление

- Состав и структура атмосфер планет методами оптической спектроскопии от УФ- до среднего ИК-диапазона;
- численное моделирование атмосфер Марса и Венеры;
- водяной, пылевой и озоновый циклы на Марсе;
- химия атмосферы Венеры;
- минеральный состав, гидраты и ледяные отложения на поверхности Марса.

Экспериментальное направление

- Создание спектрометров на основе акустооптической фильтрации для исследования состава грунта Луны и Марса;
- создание эшелле-спектрометров для мониторинга и исследования атмосфер Земли и планет;
- создание УФ-спектрометров для мониторинга озона в атмосфере Земли;
- диодно-лазерная спектроскопия (ДЛС) для планетных исследований.

Приборы, проекты, результаты

Создаются приборы для мониторинга парниковых газов и озона в атмосфере Земли: «Дриада» на борту Международной космической станции и приборы «Озонометр-З» и «Озонометр-ТМ» в составе аппаратуры проекта «Ионозонд».

Также в лаборатории создаётся марсианский многоканальный диодно-лазерный спектрометр М-ДЛС в составе научной аппаратуры посадочной платформы проекта ЭКЗОМАРС (2018). Сотрудники участвуют в разработке и создании камеры MSASI и УФ-спектрометра PHEBUS для КА BepiColombo (ЕКА).

Многолетние исследования Марса и Венеры, в том числе более 10 лет — с борта одного и того же космического аппарата, дали интереснейшие научные результаты о том, как меняются со временем параметры климата этих планет.

В ходе многолетнего мониторинга водяного цикла на Марсе в его атмосфере был обнаружен водяной пар в перенасыщенном состоянии — иначе говоря, водяного пара в северном полушарии оказалось больше, чем ожидалось при данной температуре. Это, возможно, связано с малым количеством аэрозоля. Многолетние измерения вертикальной структуры аэрозоля привели к открытию бимодального распределения аэрозоля в атмосфере Марса: «разделению» аэрозоля на две хорошо различимые фракции (с размерами частиц около микрона и десятых и сотых долей микрона). По наблюдениям был исследован цикл озона

Research Fields

Research Areas

- Composition and structure of planetary atmospheres using the methods of optical spectroscopy from the ultraviolet to middle infrared band;
- numerical simulation of the Martian and Venusian atmospheres;
- water, dust and ozone cycles on Mars;
- chemistry of the Venusian atmosphere;
- mineral composition, hydrates and ice deposits on the Martian surface.

Experimental Areas

- Construction of spectrometers based on the acousto-optic filtration for examination of the soil composition of the Moon and Mars;
- construction of echelle spectrometers for monitoring and research of the atmospheres of the Earth and planets;
- construction of UV-spectrometers to monitor ozone in the Earth's atmosphere;
- diode-laser spectroscopy (DLS) for planetary explorations.

Instruments, Projects, Results

Instruments for monitoring of the greenhouse gases and ozone in the Earth's atmosphere: *Driada* onboard the International Space Station and *Ozonometr-Z* and *Ozonometr-TM* instruments a part of *IonoZond* project payload.

Martian multichannel diode-laser spectrometer M-DLS in the set of the scientific hardware on the *ExoMars* landing platform (Roscosmos/ESA, 2018). Participating in development and construction of the MSASI camera and PHEBUS UV-spectrometer for *BepiColombo* mission (ESA).

Long-term explorations of Mars and Venus including more than 10-year exploration from the same spacecraft provided fascinating scientific results on how the climatic parameters of these planets change over time.

During a long-term monitoring of the water cycle on Mars, supersaturated water vapor was discovered in the Martian atmosphere, in other words, the northern hemisphere contained more water vapor than it was expected under those temperatures. Probably, it is attributed to a small amount of aerosol. Long-term measurements of the aerosol vertical structure resulted in the discovery of the bimodal aerosol distribution in the Martian atmosphere: separation of the aerosol into two conspicuous fractions (particle size of about one micron and tens and thousands of one micron). During the observations the cycle of the ozone and oxygen nightglow on Mars was investigated. Water ice content in the upper layer of the Martian ground was measured at the periphery of the sublimating polar cap.

и ночного свечения кислорода на Марсе. Было измерено содержание водяного льда в верхнем слое марсианского грунта на периферии сублимирующей полярной шапки.

С помощью аппарата «Венера-Экспресс» (ЕКА) несколько лет подряд измерялось содержание оксидов серы (SO_2 , SO) на базе данных спектрометров СПИКАВ/СУАР, а также водяного пара в её нижней и средней атмосфере. Создана негидростатическая модель общей циркуляции атмосферы Венеры.

Лаборатория физических исследований поверхности планет (537) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Даниил Родионов)

Инструменты и эксперименты, которые создавались в лаборатории с момента её появления, связаны в первую очередь с изучением минерального состава небесных тел. Пылеударный масс-анализатор ПУМА на борту автоматических межпланетных станций «Вега-1» и «Вега-2» во время пролёта вблизи комета Галлея (1986) впервые в мире получил сведения об элементном и минералогическом составе кометных пылинок. В частности, в их составе была обнаружена органическая составляющая. Были определены пики элементов водорода, углерода, азота, кислорода, натрия, магния, алюминия, кремния, серы, хлора, кальция, железа, а также отдельных изотопов, проведён статистический анализ минералогического состава пылинок. Эти данные оставались уникальными на протяжении двух десятилетий, вплоть до доставки кометных пылинок на Землю космическим аппаратом Stardust («звёздная пыль») (NASA) в 2006 г.

Анализ минералогического состава поверхности Марса проводили два мёссбауэровских спектрометра MIMOS II на марсоходах Spirit и Opportunity (проект MER, NASA). Метод мёссбауэровской спектроскопии требует, чтобы изучаемый образец облучался гамма-квантами, поэтому её можно проводить только непосредственно на месте исследований.

Мёссбауэровский спектрометр MIMOS был установлен на манипуляторе космического аппарата «Фобос-Грунт» для минералогического анализа железосодержащих фаз поверхности Фобоса, но из-за аварии проект не дал научных результатов.

Приборы, проекты, результаты

Газоразрядный анемометр разработан для исследования динамики газовых потоков в экспериментальной и космической метеорологии и в частности, для проведения измерений давления, модуля и направления вектора скорости потоков газа в пограничном слое атмосферы Марса.

For several years in a row *Venus Express* (ESA) have been used to measure the sulphur oxides (SO_2 , SO) based on the SPICAV/SOIR spectrometers data and the water vapor in the lower atmosphere of Venus. A non-hydrostatic model of the general atmospheric circulation of Venus was created.

Laboratory of Planetary Surface Physical Studies (537). Head — Dr. Daniel Rodionov

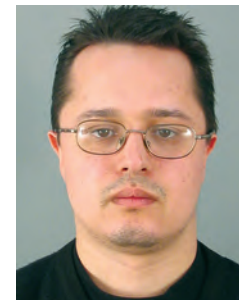
Instruments and experiments created in the laboratory since its foundation are first of all related to the study of the mineral composition of the celestial bodies. PUMA (dust mass spectrometer) onboard the *Vega 1* and *Vega 2* interplanetary stations was the first in the world to obtain information of the element and mineral composition of the comet dust particles while it was passing nearby comet Halley (1986). In particular, they contained organic component. The peaks for hydrogen, carbon, nitrogen, oxygen, sodium, magnesium, aluminum, silicon, sulphur, chlorine, calcium, iron as well as certain isotopes were defined, the statistical analysis of the mineral composition of dust particles was conducted. These data remained unique for two decades until the comet dust particles were delivered to the earth with the *Stardust* spacecraft (NASA) in 2006.

The analysis of the mineral composition of the Martian surface was performed by two MIMOS II Mössbauer spectrometers onboard *Spirit* and *Opportunity* Mars rovers (*Mars Exploration Rovers*, NASA). The method of Mössbauer spectroscopy requires the examined sample to undergo gamma ray irradiation so the spectroscopy may be conducted in situ only.

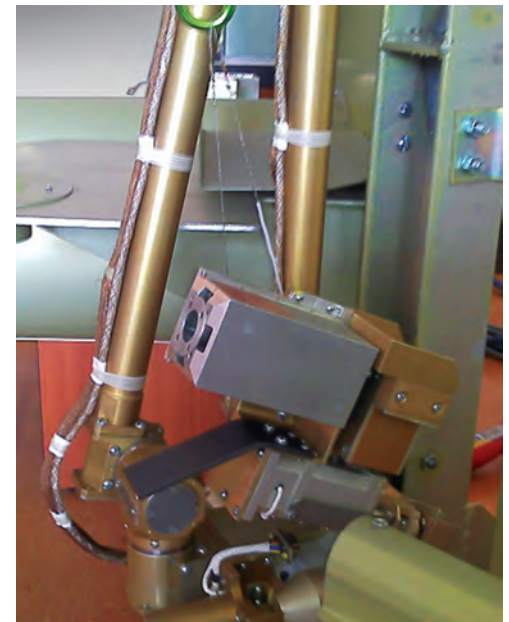
MIMOS Mössbauer spectrometers were installed on the *Phobos Sample Return* manipulator for mineral analysis of the iron-containing phases of the Phobos surface, but because of the failure the project did not provide any scientific results.

Instruments, Projects, Results

A gas discharge anemometer to research the dynamics of gaseous flows in the experimental and space metrology and, in particular, to measure pressure, module, and vector direction of the gas flow velocity in the boundary layer of the Martian atmosphere.

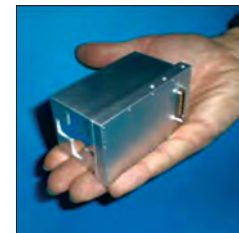


Даниил Родионов
Daniel Rodionov



Мёссбауэровский спектрометр MIMOS на манипуляторе КА «Фобос-Грунт»

A MIMOS Mössbauer spectrometer onboard the Phobos Sample Return manipulator



Мёссбауэровский спектрометр MIMOS II

MIMOS II Mössbauer spectrometer

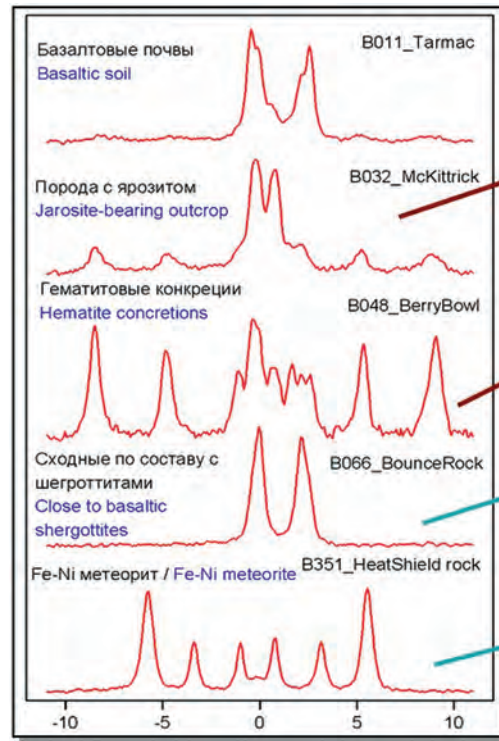


Прототип датчика ветра для проекта ЭКЗОМАРС

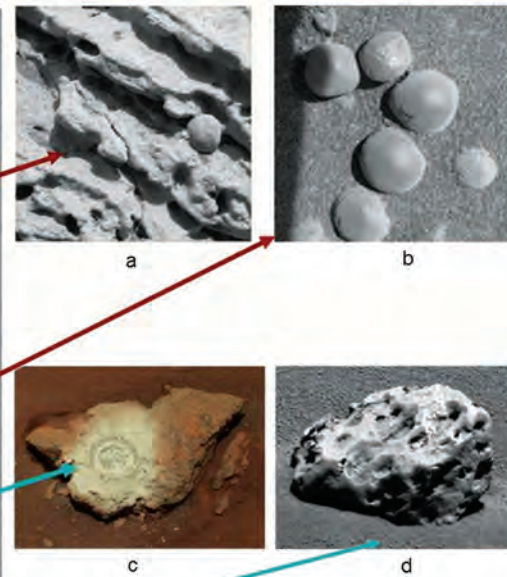
Prototype of the ExoMars wind speed sensor

Приборы MIMOS II (MER, NASA) впервые измерили относительные распространённости железа по отношению к его состоянию окисления, и к фазе содержания железа. Совокупность фаз, отождествлённых при помощи мёссбауэровской спектроскопии, указывает, что в местах посадки обоих марсоходов поверхность планеты менялась под воздействием воды

MIMOS II (Mars Exploration Rovers, NASA) instruments were first to measure the relative fractional iron abundance towards its oxidation state and iron content phase. The set of these phases identified using the Mössbauer spectroscopy indicates that on both of the Mars rovers landing sites the planetary surface changes were caused by water



Мёссбауэровские спектры на Полуденной равнине / Moessbauer spectra at Meridiani Planum



a) Обнаженная порода / Outcrop
b) Гематитосодержащие конкреции / Hematite-bearing spherules
c) «Bounce Rock»
d) «Heat Shield Rock» - Fe-Ni метеорит / Fe-Ni meteorite

Георгий Манагадзе
Georgy Managadze



Лаборатория активной диагностики и масс-спектрометрии (538) (руководитель — д-р физ.-мат. наук, профессор Георгий Манагадзе)

В основе лаборатории лежит идея о проведении в космическом пространстве физических, и прежде всего плазменных экспериментов, в ходе которых на среду искусственно воздействуют с борта космических аппаратов или с поверхности Земли. По тому, как среда реагирует на воздействие, можно судить о физических процессах, происходящих в космосе. Одни из первых экспериментов такого рода проводились в околоземном пространстве, а воздействие оказывали нагревные стенды на Земле или приборы на геофизических ракетах. Затем были попытки провести активные эксперименты в космосе: в эксперименте ЛИМА-Д на космических аппаратах «Фобос» (1986) планировалось воздействовать на реголит Фобоса пучком лазера. Однако из-за технических неполадок проект не достиг главной цели и эксперимент не состоялся.

В лаборатории был изобретён масс-спектрометр TOF MS для измерения элементного и изотопного состава тяжёлых

Laboratory for Active Diagnostics and Mass Spectrometry (538). Head — Prof. Dr. Georgy Managadze

The laboratory is concentrating on conducting physical and, first of all, plasma, experiments in space. In course of these experiments the medium undergoes artificial activation. The reaction of the medium to the influence helps to estimate the physical processes taking place in space. One of the very first experiments of this kind was conducted in the near-earth space and the influence was exercised with heating stands on the ground or instruments onboard the geophysical rockets. In the following the active experiment was attempted in deep space: in LIMA-D experiment onboard the *Phobos* spacecraft (1986), the Phobos regolith was planned to be analyzed activated by a laser beam. But due to technical hitches the project did not reach its main goals and the experiment didn't take place.

The laboratory have invented a time-of-flight (TOF) mass spectrometer to measure the element and isotopic composition of heavy metals in the solar wind of ~50...60 keV energy range. This instrument was patented in several countries and included into the payload of the international projects: SOHO, WIND, and ACE

металлов в солнечном ветре с энергией ~50..60 кэВ. Он был запатентован в ряде ведущих зарубежных космических держав и включён в состав научной бортовой аппаратуры в международных проектах SOHO, WIND и ACE (NASA). С их помощью впервые был измерен изотопный состав элементов от магния до железа.

В параллельных наземных экспериментах по воздействию лазера на твёрдую мишень были получены результаты, которые стали основой оригинальной концепции возможности зарождения жизни в ходе ударных событий. Под действием коротких, длительностью несколько наносекунд, лазерных импульсов на твёрдотельную мишень образуется плазменный факел, очень похожий на факел ударного воздействия, например, при ударе комет, и могут синтезироваться новые химические соединения, в том числе органические. Длительные исследования показали, что взаимодействие электрических и магнитных полей в плазменном факеле с излучением плазмы могут обеспечить генерацию истинных локальных хиральных полей и привести к нарушению зеркальной симметрии энантиомеров — иными словами, органические вещества, которые образовывались при этом, оказываются в большей степени «левыми», чем «правыми». Если то же происходит в плазменном факеле ударной природы, то это может иметь непосредственное отношение к возникновению простейших форм живой материи, которая, как известно, на Земле строится на основе «левых» аминокислот.

Основные направления

- Экспериментальные исследования химического и минералогического состава вещества космических тел;
- лабораторное моделирование синтеза органических молекулярных структур и механизмов нарушения зеркальной симметрии энантиомеров в локальных хиральных физических полях плазменного факела метеоритного удара, которые предположительно могли обеспечить возникновение условий для формирования простейших форм живой материи;
- разработка методов отождествления признаков жизни внезапного происхождения, с помощью бортовых времяпролетных масс-спектрометрических приборов (TOF MS) методами ионизация вещества с помощью матрицы и лазерного излучения и пиролизными инструментами нового поколения;
- разработка методов определения возраста геологических пород космических тел с борта спускаемого аппарата по измерению соотношений изотопов свинца на базе TOF MS, оснащённого химическим реактором.

(NASA). Isotopic composition of elements from magnesium to iron was measured by means of these instruments for the first time.

Concurrent laboratory experiments of laser effect on solid targets gave results, which have become the basis for an original concept of the origin of life in course of shockwave events. Short series of nanosecond laser pulses on a solid-state target form a plasma flare simulating meteorite impacts, during which new chemical compounds may form including the organic ones. Long-term studies showed that the interaction of electric and magnetic fields in the plasma flare with plasma emission generates local true chiral fields and results in the mirror-symmetry breaking of enantiomers, in other words, the organic compounds formed during this process turn out to be more left-handed than right-handed ones. If the same process is taking place in the plasma flare of the impact nature then this can be directly relevant to the origin of elementary forms of the living matter, which on the Earth, as it is well known, is based on the left-handed amino acids.

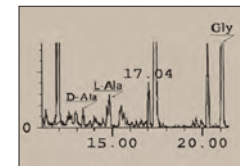
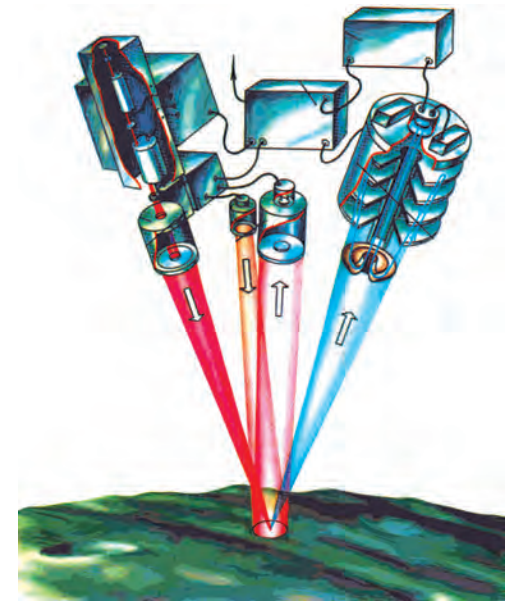


Схема эксперимента ЛИМА-Д на аппаратах «Фобос»

LIMA-D experiment layout onboard the Phobos spacecraft



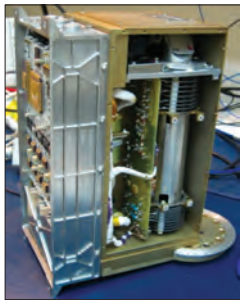
Планировалось, что приборы ЛИМА-Д (TOF-MS) и ДИОН, установленные на космическом аппарате «Фобос», при пролёте на высоте 50...80 м над поверхностью Фобоса в результате активного воздействия на реголит определят элементный и минералогический состав поверхности Фобоса. В приборе ЛИМА-Д воздействие на реголит осуществлялось пучком лазера, в приборе ДИОН вторичная ионная эмиссия возбуждалась потоком ионов солнечного ветра и космических лучей

LIMA-D (TOF MS) and DION active experiments aboard Phobos spacecraft were supposed to investigate elemental and mineral composition of the Phobos's regolith during their fly-by over the surface at the altitude of 50–80 m. In LIMA-D experiment the surface was affected with laser beam. In DION experiment secondary ion emission was excited by solar wind ions and cosmic rays

Research Areas

- Experimental research of the chemical and mineral composition of cosmic bodies;
- laboratory simulation of organic molecular structures synthesis and mechanisms of mirror-symmetry breaking of enantiomers in the local chiral physical fields of the meteorite impact plasma plume which supposedly could enable the formation of the elementary forms of the living matter;
- development of extraterrestrial life signs identification methods by means of the on-board time-of-flight mass spectrometers (TOF MS) using the soft or matrix-assisted sample ionization technique and the advanced pyrolysis instrumentation;
- development of geological formations age determination methods based on the measurement of lead-isotope ratio using TOF MS equipped with a chemical reactor. This technique is usable from the board of the descending module on the surface of cosmic bodies.

Прибор ЛАЗМА для КА «Луна-25» и «Луна-27» — лазерный компактный времяпролётный масс-рефлектор для исследования лунного реголита в полярных областях, а также паров воды и льда. Совместно с университетом Берна
 LASMA instrument for Luna 25 and Luna 27 spacecraft — the laser compact time-of-flight mass reflectron to examine lunar regolith in the polar regions as well as water vapors and ice. In collaboration with the University of Bern



Прибор АБИМАС — модификация прибора ЛАЗМА для проекта ЭКЗОМАРС (Роскосмос/ЕКА) для отождествления биомассы по масс-спектрометрическому анализу матричных и биомаркерных элементов, после подготовки образца с помощью специальной системы экстракции, также разработанной в лаборатории
 ABIMAS instrument is a modification of LASMA instrument for ExoMars (Roscosmos/ESA) to identify the biomass by the mass spectroscopic analysis of matrix and biomarker elements after sample preparation using liquid extraction system constructed in the laboratory as well



Аракел Петросян
 Arakel Petrosyan



Приборы, проекты, результаты

Обнаружены и исследованы новые свойства плазменного факела, возникающего под воздействием лазерного излучения на мишень, которая включает элементы, входящие в состав органических соединений и обеспечивающие синтез простых и сложных органических соединений в процессе разлёта плазменного факела.

Обнаружены аминокислоты белков, синтезированных в плазменном факеле от воздействия ударника, движущегося со скоростью 7 км/с, а также умеренное нарушение симметрии энантиомеров с избытком L-аминокислот, совпадающее с биоорганическим.

Предложен высокоэффективный способ синтеза воды в космическом пространстве. Опытным путём было показано, что молекулы H₂O могут появляться при взаимодействиях ионов водорода звёздных ветров с безатмосферными космическими телами, поверхности которых содержат кислород.

Instruments, Projects, Results

New properties of the plasma flare formed under the influence of laser radiation on the target which includes elements typical for the organic compounds and those inducing the synthesis of simple and complex organic compounds in the course of plasma plume expansion were discovered and studied.

Protein amino acids synthesized in the plasma plume due to the influence of an impactor moving at 7 km/s speed as well as moderate symmetry breaking of enantiomers with surplus of L-amino acids, the same as the bioorganic one were discovered.

A highly efficient method of water synthesis in space was proposed. The experiments have shown that H₂O molecules can form as the hydrogen ions of the solar wind interact with atmosphere-less bodies, if their surface material contains oxygen.

Сектор динамики атмосфер и климата (53.9) (руководитель — д-р физ.-мат. наук, профессор Аракел Петросян)

Сектор динамики атмосфер и климата создан как теоретическое подразделение для научной поддержки экспериментов по изучению планетных атмосфер. В его задачи входит численное моделирование и разработка математического аппарата, который используется для представления процессов, происходящих в атмосферах и магнитных оболочках планет. С одной стороны, мы имеем экспериментальную информацию; с другой стороны, теоретические работы позволяют, во-первых, понять, чего можно ожидать от этих данных, и во-вторых, какого рода эксперименты надо проводить в будущем, чтобы подтвердить или опровергнуть существующие представления.

Sector of Atmosphere Dynamics and Climate (53.9). Head — Dr. Arakel Petrosyan

The division of Atmosphere Dynamics and Climate was established as a theoretical subdivision for scientific support of experiments in planetary atmospheres. Its tasks include numerical simulation and development of the mathematical tools to be used for presentation of processes in the atmospheres and magnetic envelopes of planets. On the one hand, we have experimental information, on the other hand, theoretical insights enable, first, to understand what can be expected from these data and, second, what kind of experiments to conduct in the future to confirm or disprove the current ideas.

Основные направления исследований

- Нелинейные волновые процессы в планетных атмосферах;
- турбулентность в планетных атмосферах;
- новые параметризации пограничного слоя в крупномасштабных моделях атмосферы Марса;
- многочастичные процессы в планетных атмосферах, содержащих аэрозоли;

Research Areas

- Non-linear wave processes in the planetary atmospheres;
- turbulence in the planetary atmospheres;
- new parameterizations of the boundary layer in large-scale models of the Martian atmosphere;
- multi-particle processes in the planetary atmospheres containing aerosols;

- магнитогидродинамическая турбулентность космической плазмы;
- кинетические процессы в диссипативном интервале космической плазмы;
- вычислительные технологии в геофизической гидродинамике планет и Земли и в космической плазме.

Результаты

Разработана модель пограничного слоя Марса, описывающая перенос аэрозолей в областях с горами и кратерами.

Найдены точные решения уравнений мелкой воды нейтральной жидкости над наклонной плоскостью.

Развита теория гидродинамической турбулентности, подверженной вращению, и показана возможность генерации крупномасштабных возмущений в планетных атмосферах.

Развита теория гидродинамической турбулентности в планетных атмосферах, содержащих твёрдые аэрозоли и пузырьки газа, показана возможность зарождения крупномасштабных вихрей в таких системах.

Предложены модернизированные уравнения мелкой воды, учитывающие горизонтальный перенос импульса вследствие вертикальной неоднородности течений и получены их точные решения.

Исследована турбулентность в локальном межзвёздном газе, показана возможность возникновения слабосжимаемого режима турбулентности и объяснены имеющиеся данные о спектрах флуктуации плотности в локальной межзвёздной среде.

Разработан метод исследования масштабно-инвариантных свойств турбулентности космической плазмы на основе прямого и подсеточного моделирования.

Разработан конечно-объёмный численный метод для исследования течений космической плазмы, обеспечивающий высокую точность как в области разрывных, так и непрерывных решений.

- magnetoturbulence of the space plasma;
- kinetic processes in the dissipative interval of the space plasma;
- computer technologies in the geophysical fluid dynamics of the planets and the Earth and in the space plasma.

Results

A model of the Martian boundary layer was developed which describes aerosol transfer in the regions with mountains and craters.

Exact solutions of shallow-water equations for the neutral fluid above the inclined plane were proposed.

The theory of hydrodynamic turbulence subject to rotation was developed and a possibility of large-scale disturbances generation in the planetary atmosphere was shown.

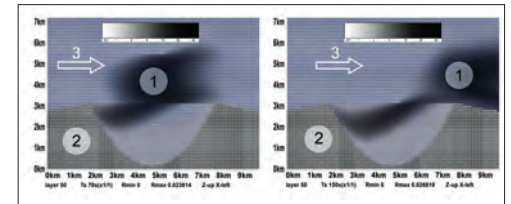
The theory of hydrodynamic turbulence in the planetary atmospheres containing solid aerosols and gas bubbles was developed, a possibility of large-scale vortexes genesis in such systems was shown.

Updated shallow-water equations taking into account the horizontal momentum transfer due to vertical flow nonuniformity were proposed and their exact solutions were obtained.

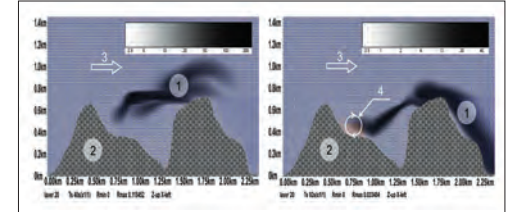
Turbulence in the local interstellar gas was examined, a possibility of a weakly compressible mode of turbulence was shown and current data of the density fluctuation spectra in a local interstellar medium were explained.

The research method of scale-invariant properties of the space plasma turbulence based on the direct and subgrid scale modeling was developed.

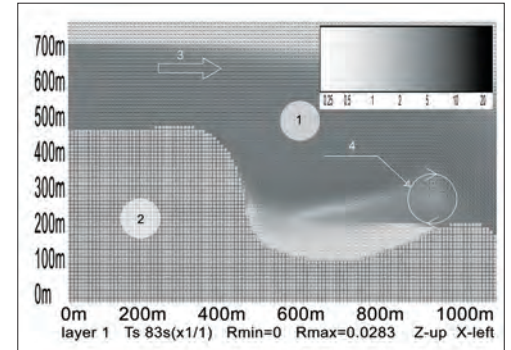
A finite volume numerical method for examination of space plasma fluxes ensuring high precision both for discontinuous and continuous solutions was developed.



1



2



3

Динамика движения облака примеси над кратером (1). Динамика движения пылевого облака над горами (2). Зарождение завихренности над обрывом (3). Цифрами обозначены: 1 — поток примеси; 2 — ландшафт; 3 — направление движения воздушного потока; 4 — области завихрения

Dynamics of the cloud of impurities over the crater (1). Dynamics of the dust cloud over the mountains (2). Vorticity genesis over the precipice (3). Figures indicate: 1 — impurity flow; 2 — landscape; 3 — air flow moving direction; 4 — vortex regions

**ОТДЕЛ ФИЗИКИ
КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ
(54)
SPACE PLASMA PHYSICS
DEPARTMENT
(54)**



**Руководитель — д-р физ.-мат. наук,
член-корреспондент РАН
Анатолий Петрукович**

*Head — RAS correspondent member
Dr. Anatoly Petrukovich*

Физика космической плазмы — одно из основных направлений теоретических и экспериментальных исследований ИКИ. Плазма — основной компонент околоземного пространства, магнитосферы и ионосферы, межпланетной среды, атмосферы Солнца. Именно плазменные процессы управляют солнечной активностью и её следствиями — геомагнитной активностью на Земле (т.н. «космической погодой»). Разреженную плазму Солнечной системы практически невозможно ни зарегистрировать с Земли, ни получить в земной лаборатории. Только с началом космической эры, уже на первых спутниках, были открыты радиационные пояса Земли, плазмосфера и магнитный хвост магнитосферы, солнечный ветер. Сейчас такие наблюдения в Солнечной системе ведутся с борта десятков космических аппаратов.

Плазма — наиболее активное состояние вещества во Вселенной и именно плазменные процессы определяют излучение от астрофизических объектов. Однако объекты дальнего космоса мы можем наблюдать только «со стороны». Поэтому околоземное пространство, достижимое с помощью космических аппаратов, — это и уникальная естественная лаборатория, в которой можно изучать законы, управляющие динамикой космической плазмы, находясь непосредственно внутри среды.

В центре внимания исследований находятся следующие ключевые темы физики космической плазмы и космической погоды:

- преобразование энергии в солнечных вспышках;
- структура и динамика солнечного ветра;
- механизмы ускорения заряженных частиц;
- структура и динамика бесстолкновительных ударных волн;
- происхождение турбулентности и её влияние на процессы переноса, взаимодействие волн и частиц;
- конфигурация и динамика магнитосферы в ходе бурь и суббурь;
- механизмы магнитного пересоединения;
- магнитосферно-ионосферно-атмосферные связи;
- плазменные оболочки планет и безатмосферных тел Солнечной системы.

Основу подразделений Института, занимавшихся плазменной тематикой, составили несколько научных групп, перешедших в ИКИ в первые годы его существования: Ю. И. Гальперина, О. В. Вайсберга, К. И. Грингауза, И. М. Подгорного, Г. А. Скуридина, Н. Л. Григорова и Н. Ф. Писаренко. В современном виде отдел физики космической плазмы был сформирован в 1985 г. Его первым руководителем стал **Альберт Абубакирович Галеев**, а после его назначения директором в 1988 г. — Лев Матвеевич Зеленый.

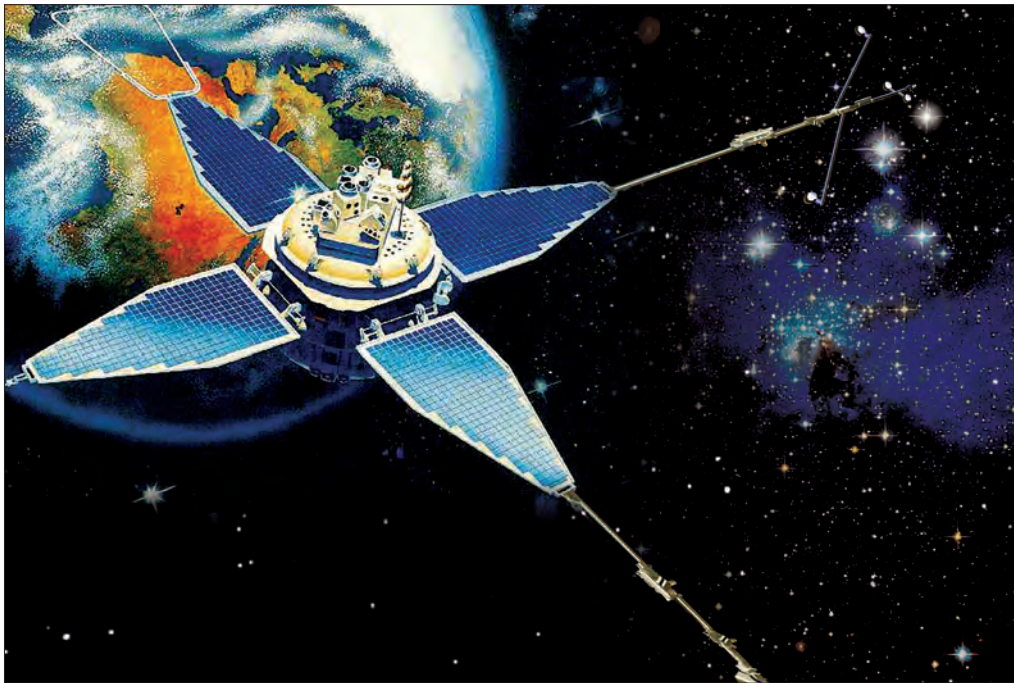
Space plasma physics is one of the main directions of IKI's theoretical and experimental research. Plasma is the main component of the near-Earth space, the magnetosphere and ionosphere, interstellar medium and solar atmosphere. The plasma processes drive the solar activity and its consequences — the geomagnetic activity on the Earth (the so-called space weather). The rarefied plasma of the Solar system can neither be recorded from the Earth nor obtained in the ground laboratory. Only with the beginning of the space era, already on the first satellites, radiation belts, plasmasphere, magnetosphere tail, and solar wind were discovered. Today such observations in the Solar system are conducted with dozens of spacecraft.

Plasma is the most active state of the matter in the Universe and these are the plasma processes that determine radiation from the astrophysical objects. But the far space objects can be studied only remotely. That is why the near space, which the spacecraft can reach, is also a unique natural laboratory where the laws governing the space plasma dynamics can be studied while being directly inside of this medium.

Following topics of space plasma physics and space weather are in the focus of department attention:

- energy conversion in solar flares;
- structure and dynamics of the solar wind;
- mechanisms of charged particles acceleration;
- structure and dynamics of collisionless shocks;
- turbulence origin and its influence on the transport processes, interaction of waves and particles;
- configuration and dynamics of the magnetosphere in the course of storms and substorms;
- mechanisms of magnetic reconnection;
- magnetosphere-ionosphere-atmosphere connections;
- plasma envelopes of planets and atmosphereless bodies of the Solar system.

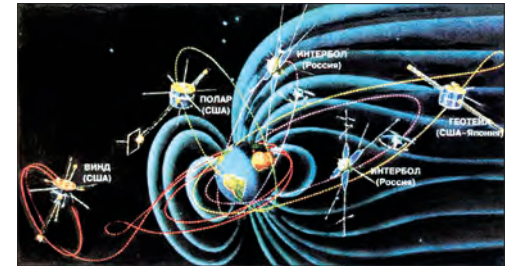
The basis of the Institute's divisions dealing with plasma topics was made up of several scientific groups which joined IKI in the first years of its existence. It's modern form the space plasma physics department acquired in 1985. Its first head was **Albert A. Galeev** and when he was appointed a director in 1988, the department was headed by Lev Zelenyi.



Спутник ИНТЕРБОЛ-2
Interball 2 spacecraft



Эмблема проекта ИНТЕРБОЛ
Project Interball insignia



Орбиты спутников междуна-
родной программы IASTP
IASTP constellation of spacecraft

С 2010 г. заведует отделом А.А. Петрукович. В 2013 г., после реорганизации, в отдел вошла лаборатория инженерно-технического обеспечения экспериментов и проектов.

Сотрудники отдела принимали участие в работах практически по всем советским и российским проектам плазменной и планетной тематики: «Интеркосмос», «Космос», «Прогноз», автоматическим межпланетным станциям «Луна», «Венера», «Марс», «Фобос», космическим станциям «Салют», «Мир», МКС и др.

Вехой современной истории отдела стал международный проект ИНТЕРБОЛ для многоочечных исследований магнитосферы Земли и солнечно-земных связей (1995–2000). Он состоял из двух спутников: «Интербол-1» («Хвостовой Зонд») и «Интербол-2» («Авроральный Зонд») — и двух субспутников («Магион»). Научная аппаратура создавалась в рамках обширной научной кооперации более 20 стран и включала магнитометры, приборы для измерения плазменных волн и спектрометры заряженных частиц. Проект ИНТЕРБОЛ стал частью Межагентской исследовательской программы по солнечно-земной физике IASTP и занял достойное место в уникальном «созвездии» спутников, работающих в это время на орбите: Wind, Polar, SOHO, Geotail (NASA, ESA, JAXA).

Since 2010 A.A. Petrukovich has been the department's head. In 2013 after the reorganization, the laboratory of the engineering support of projects and experiments was included into the department.

The department's staff members were participating in almost all the Soviet and Russian plasma and planetary projects: *Intercosmos*, *Cosmos*, *Prognoz*, automatic interplanetary stations *Luna*, *Venera*, *Mars*, *Phobos*, space stations *Salyut*, *Mir*, *ISS*, and others.

The *Interball* international project for multi-point studies of the Earth's magnetosphere and solar-terrestrial relations (1995–2000) has become a milestone of the department's modern history. The project included two satellites: *Interball-1* (*Tail Probe*) and *Interball-2* (*Auroral Probe*) and two subsatellites (*Magion*). The scientific hardware was constructed by the extensive scientific cooperation of more than 20 countries and included magnetometers, instruments to measure plasma waves and spectrometers of charged particles. The *Interball* project has become a part of the InterAgency Solar-Terrestrial Physics Program (IASTP) with the unique constellation of satellites operating on orbit at that time: *Wind*, *Polar*, *SOHO*, *Geotail*, etc. (NASA, ESA, JAXA).

В эти годы произошёл значительный скачок в качестве и количестве наблюдательных данных, полученных благодаря усовершенствованию научной аппаратуры и непрерывным одновременным измерениям многих спутников. На основе данных, полученных спутниками «Интербол», было опубликовано более 500 научных статей, большинство из которых были написаны в рамках международного научного сотрудничества.

Этот проект, как и более ранний проект ВЕГА, заложили основу активного участия коллектива отдела в работах по комплексному анализу данных в международной кооперации, успешно продолжающегося до сих пор, в том числе по проектам Cluster (ЕКА), THEMIS (NASA), SDO (NASA) и многих других.

В настоящее время сотрудники отдела ведут теоретические исследования и численное моделирование процессов в космической плазме; анализ и интерпретацию наблюдательных данных российских и международных космических и наземных экспериментов; разработку и реализацию космических и наземных экспериментов, создание научной аппаратуры; разработку и внедрение методов мониторинга и прогноза космической погоды.

В последние несколько лет на орбите находились следующие эксперименты отдела:

- микроспутник «Чибис-М» для исследования физических процессов в атмосфере и ионосфере Земли при грозовых разрядах (2012–2014);
- волновой комплекс для исследования атмосферных транзиентов (в составе научной нагрузки МКА «Вернов», 2014);
- комплекс «Плазма-Ф» для исследования солнечного ветра (в составе научной нагрузки КА «Спектр-Р», 2011);
- комплекс «Обстановка» для исследования плазменного окружения МКС (начало эксперимента 2013 г.)

В стадии разработки находятся следующие проекты:

- «Резонанс» (запуск 2018 г.) — многоспутниковый проект для исследований внутренней магнитосферы Земли;
- «Странник» (запуск 2019 г.) — малый космический аппарат для исследований мелкокомасштабных процессов во внешней магнитосфере и солнечном ветре;
- «Ионозонд» (запуск 2019 г.) — многоспутниковый проект для мониторинга ионосферы;
- «Интергелиозонд» (запуск 2021 г.) — космический аппарат для исследований внутренней гелиосферы и Солнца.

Приборы в составе научной нагрузки планетных КА: «Луна-Глоб», «Луна-Ресурс-Орбитальный» и «Луна-Ресурс-Посадочный»; «ЭкзоМарс» (Роскосмос/ЕКА; запуск 2018 г.); «Бепи Коломбо» (ЕКА/JAXA).

During those years leap forward was done in the quality and quantity of the observational data due to scientific instrument improvement and continuous measurements by many satellites. Based on the *Interball* project observations more than 500 scientific papers were published, most of them in international scientific collaboration.

This project, as well as the earlier *Vega* project, has become the basis for current active participation of the department in complex data analysis in the frame of international cooperation, in particular with *Cluster* (ESA), THEMIS (NASA), SDO (NASA) projects.

Today, the department's staff is conducting theoretical studies and numerical modeling of processes in the space plasma; analysis and interpretation of the observational data from the Russian and international space and ground experiments; development and implementation of space and ground experiments, development of scientific instruments, development of the space weather monitoring and forecast methods.

During last several years following experiments of the department were operating in orbit:

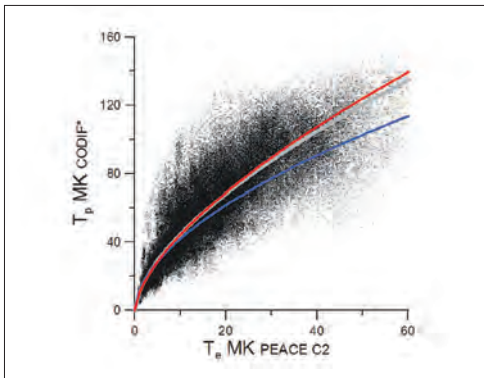
- the *Chibis-M* microsatellite to study physical processes in the Earth's atmosphere and ionosphere during the storm discharges (2012–2014).
 - wave instrument suite to study atmospheric transients onboard the MKA *Vernov* spacecraft (2014).
 - *Plazma-F* experiment for solar wind research (*Spektr-R*, launched in 2011)
 - *Obstanovka* instrument suite for studies of ISS plasma environment (aboard the ISS, the experiment started in 2013)
- Projects in development are:
- *Resonance* (to be launched in 2018) multisatellite mission to study the Earth's inner magnetosphere
 - *Strannik* (to be launched in 2019) small spacecraft to study small-scale processes in the Earth's outer magnetosphere and solar wind
 - *Ionozond* (to be launched in 2019) multisatellite mission to monitor the Earth's ionosphere
 - *Interhelioprobe* (to be launched in 2021) to study inner heliosphere and the Sun
- Instruments included in the scientific payload onboard interplanetary stations *Luna-Glob*, *Luna-Resurs-Orbiter*, and *Luna-Resurs-Lander*; *ExoMars* (Roscosmos/ESA, 2018); *BepiColombo* (ESA/JAXA, 2017)

Лаборатория теории плазменных процессов в космической среде (541) (руководитель — д-р физ.-мат. наук Давид Шкляр)

Лаборатория — одна из системообразующих в ИКИ с момента его формирования. Выдающимися теоретиками плазмы являются бывшие и нынешний директора Института Р. З. Сагдеев, А. А. Галеев и Л. М. Зеленый. Основная тематика лаборатории — аналитические исследования, численное моделирование и анализ экспериментальных данных. За годы существования её сотрудники получили целый ряд фундаментальных результатов по теории токовых слоёв и магнитному пересоединению, квазиadiaбатической динамике заряженных частиц, по фрактальной структуре плазменной турбулентности.

Основные объекты исследований в настоящее время

- Плазменные неустойчивости, распространение излучений в околоземном космическом пространстве, околопланетной, солнечной и межпланетной плазме;
- резонансное взаимодействие волн и частиц в магнитосфере;
- структура и динамика магнитоплазменных объектов: токовых слоёв, ударных волн и пр.);
- турбулентность и ускорение частиц.



Экспериментально изучены и теоретически объяснены структура и динамика токового слоя хвоста магнитосферы Земли, распределения температуры и анизотропии электронов, магнитного поля B_z в хвосте магнитосферы вдоль токового слоя по данным спутниковых проектов Cluster (EKA) и THEMIS (NASA). Анализ спутниковых данных позволил получить эмпирические соотношения между температурой электронов, температурой ионов и вертикальной компонентой магнитного поля B_z : $T_e/B_z = 2 \text{ кэВ/7 нТл}$, $T_p = 11T_e^{0.62}$

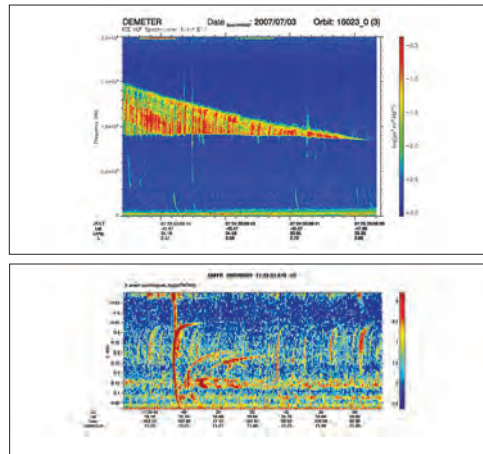
The structure and dynamics of the current sheets in the Earth's magnetospheric tail, temperature distributions and electron anisotropy, t were examined experimentally and explained theoretically basing on the data of the CLUSTER (ESA) and THEMIS (NASA) projects. The empirical relation between the electron temperature, ion temperature and the vertical component of the B_z magnetic field were obtained: $T_e/B_z = 2 \text{ keV/7 nT}$, $T_p = 11T_e^{0.62}$

Laboratory of Theory of Plasma Processes in the Space Medium (541). Head — Dr. David Shklyar

The laboratory is one of the cornerstones of IKI since its establishment. The former and current Institute directors R. Z. Sagdeev, A. A. Galeev and L. M. Zelenyi are the distinguished plasma theoreticians. The primary subject of the laboratory is analytical investigations, numerical modeling and analysis of the experimental data. Over the years a whole range of fundamental results was obtained for the theory of current sheets and magnetic reconnection, quasi-adiabatic dynamics of charged particles, fractal structure of plasma turbulence, etc.

Current research areas

- Plasma instabilities, wave emission propagation in the near-Earth space, planetary, solar and interplanetary plasma;
- resonant wave-particle interactions in the magnetosphere;
- structure and dynamics of magneto-plasma objects: current sheets, shocks etc;
- turbulence and particle acceleration.

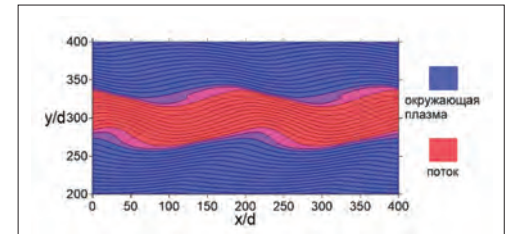
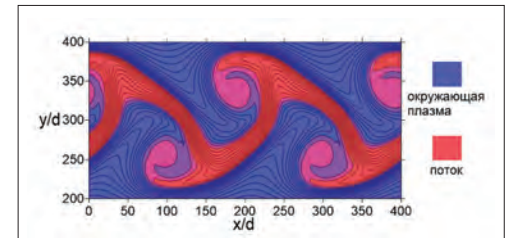


В последние годы активно шли обработка и анализ волновых данных проектов «Интербол», DEMETER (Франция). В этих исследованиях было обнаружено новое волновое явление в ОНЧ-диапазоне — клиноподобные спектры, с резкими нижней и верхней частотами обрезания. Кроме того, на основе шестикомпонентных волновых измерений спутника DEMETER выполнено исследование трансэкваториальных протонных свистов, в том числе впервые зарегистрированных ионосферно-отражённых протонных свистов, наблюдаемых на низких широтах

In the recent years, the wave observations from the Interball and DEMETER (France) projects were actively analyzed. The new wave phenomenon in the VLF band — wedge-like spectra with sharp lower and upper frequency cutoff was discovered and explained. Additionally, using the six-component wave measurements from the DEMETER satellite the trans-equatorial proton whistlers were examined including ionospherically reflected proton whistlers observed at low latitudes



Давид Шкляр
David Shklyar



Детально проанализировано развитие неустойчивости Кельвина-Гельмгольца (К-Г), играющей важную роль в динамике переходных областей. Неустойчивость К-Г — вероятный механизм генерации низкочастотных длинноволновых колебаний магнитного поля в пограничной области плазменного слоя, которые движутся по направлению к Земле вместе с высокоскоростными потоками плазмы. Характерные длины волн и частоты колебаний, полученные аналитически, находятся в хорошем согласии с данными спутниковых наблюдений. С использованием современных численных методов впервые показано, что в сверхзвуковом потоке плазмы возможно развитие крупномасштабной вихревой структуры

The Kelvin-Helmholtz instability (KH), which plays an important role in the dynamics of transient regions, was analyzed in detail. The KH instability is a probable mechanism of generation of the low-frequency long wavelength oscillations of the magnetic field in the boundary region of the plasma sheet, which moves towards the Earth together with high-speed plasma flows. The characteristic wavelengths and oscillation frequencies obtained analytically match the observational data. The use of the modern computational methods helped to show that a large-scale vortex structure can be generated in the supersonic plasma, as can be seen in the image

Анатолий Петрукович
Anatoly Petrukovich

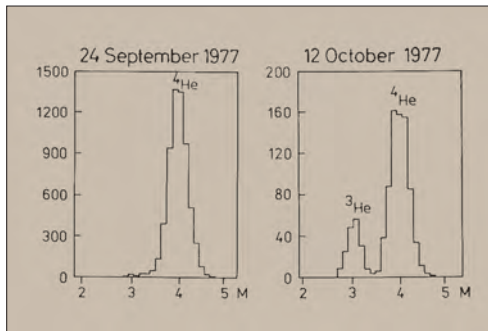


Лаборатория ускорительных процессов в космической плазме и космической погоды (542) (руководитель — д-р физ.-мат. наук член-корреспондент РАН Анатолий Петрукович)

Лаборатория ведёт свою историю от сектора солнечных космических лучей, сформированного в 1967 г. и возглавлявшегося Н.Ф. Писаренко. Специализацией лаборатории стали экспериментальные исследования солнечных космических лучей, коротковолновой солнечной радиации, частиц радиационных поясов Земли, энергичной плазмы магнитосферы.

Laboratory of Acceleration Processes in Space Plasma and Space Weather (542). Head — RAS correspondent member Dr. Anatoly Petrukovich

The laboratory dates back to the division of solar cosmic rays established in 1967 and headed by N. F. Pisarenko. The laboratory speciality were experimental studies of solar cosmic rays, short wavelength solar radiation, radiation belts, energetic plasma of the magnetosphere.



Эксперимент TR-2 («Прогноз-6»). Изотопный состав He в энергичных частицах ($E = 6...30$ МэВ/нук) для «нормальной» и «аномальной» солнечных вспышек

TR-2 experiment (Prognoz-6). The He isotopic composition in energetic particles ($E = 6...30$ MeV/nucleon) for the normal and anomalous solar flares

Тематика современных работ

- динамики и ускорения энергичных частиц плазмы в околоземном космическом пространстве, околопланетной, солнечной и межпланетной среде;
- методов и средств мониторинга и прогноза космической погоды;
- динамики солнечной короны и ускорения солнечных космических лучей;
- влияния космической погоды на биосферу Земли;
- динамики магнитосферы Земли.

Очень интересные результаты по космической радиации были получены уже при первых запусках. Было показано, что динамика потоков солнечных космических лучей может быть рассмотрена как диффузия частиц на неоднородностях солнечного ветра, была вычислена зависимость коэффициентов диффузии от энергии частиц.

Спектрометрия энергичных частиц высокого разрешения проводилась в сотрудничестве с чехословацкими коллегами. При изучении зарядового и изотопного состава частиц от солнечных вспышек в диапазоне 5...100 МэВ приборами И-1 («Прогноз-5»), TR-2 («Прогноз-6» и «Интеркосмос-17») и TR-3 («Прогноз-8») было оценено содержание He³ (обычно He³/He⁴ < 0,02) и выявлены его сильные вариации, что свидетельствует о динамичных режимах ускорения космических лучей в солнечной короне.

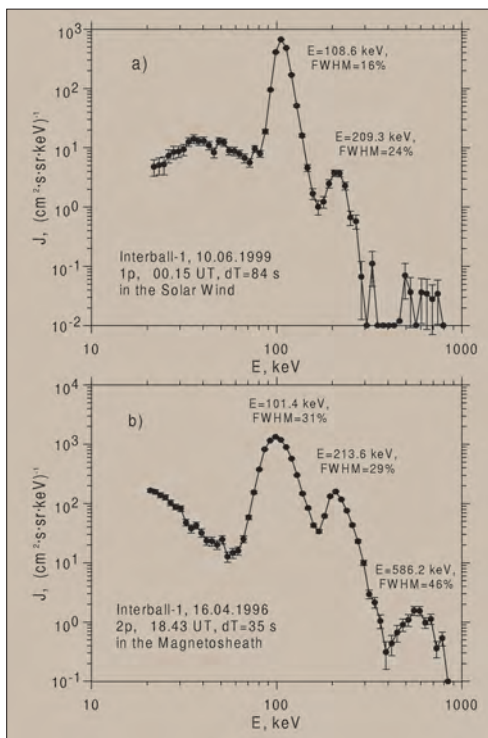
Целью эксперимента ДОК-2 проекта «Интербол» («Хвостовой зонд») было изучение спектров энергичных частиц (20...800 кэВ) во внешней магнитосфере с существенным увеличением спектрального и временного разрешения. В результате обнаружено принципиально новое явление — пучки почти моноэнергетических ионов (ПМИ) около ударной волны и в переходной области. В спектре они представлены 2-3 узкими линиями с отношением энергий 1:2:(5-6), что соответствует ионам H⁺, He⁺² и группе ионов (C, N, O)⁺⁽⁵⁻⁶⁾. Предложенное объяснение ПМИ связывает их с разрывами токовых слоёв, образующих границы в плазме, например при столкновении токового слоя в солнеч-

Modern research

- dynamics and acceleration of energetic particles in the near-Earth space, planetary, solar and interplanetary plasmas;
- methods and means of the space weather monitoring and forecast;
- solar corona dynamics and solar cosmic rays acceleration;
- space weather influence on the Earth's biosphere;
- Earth's magnetosphere dynamics.

Interesting results were obtained already in the very first launches. Dynamics of solar cosmic rays fluxes was proved to be diffusion on solar wind inhomogeneities. The dependence of diffusion coefficient on particles' energy was calculated.

Energetic particle spectrometry of high resolution was performed in collaboration with the Czech and Slovak colleagues. The charge and isotopic composition of the particles from the solar flares within 5...100 MeV was revealed using I-1 (Prognoz 5), TR-2 (Prognoz 6 and Interkosmos 17) and TR-3 (Prognoz 8) instruments. Nominally the He³ content is He³/He⁴ < 0,02, but its strong variations were found.



Спектры ПМИ перед фронтом ударной волны и в переходной области

AMI spectra in front of the shock and in the transition region

ном ветре с ударной волной. В зонах разрыва формируются очень сильные электрические поля, в которых ионы ускоряются до энергий, пропорциональных их заряду.

Тематика **группы гелиобиологии** — экспериментальные исследования воздействия космической и земной погоды на биологические объекты и людей на Земле и в космосе. Группа активно сотрудничает с медицинскими и научными центрами по всей России. Показано, что ритмическая структура биологических объектов повторяет ритмы солнечной и геомагнитной активности и их динамику на всех уровнях биологических систем: от клеточного до популяционного. В частности, обнаружены эффекты воздействия геомагнитных пульсаций. Реакция биологических объектов на воздействие геомагнитной активности имеет характер адаптивного стресса и метеотропных реакций. Показано, что имеются группы риска, в которых проявления эффектов воздействия космической и земной погоды наиболее выражены. Разработаны различные методы профилактики для предотвращения метеотропных реакций у больных и здоровых людей. Начаты исследования воздействия гипомангнитного поля, приближённого по значениям к межпланетному полю и полю немагнитных планет на человека.

По тематике космической погоды в лаборатории разрабатываются методы прогноза эффектов космической радиации; методы и приборы для наблюдений авроральной активности; методы прогноза геомагнитной активности, в том числе по солнечному ветру. Создан веб-ресурс для прогнозов <http://www.spaceweather.ru>.

Солнечная группа — молодёжный коллектив, сформировавшийся в лаборатории несколько лет назад, его научные интересы включают динамику и энергоснабжение вспышек, ускорение и распространение заряженных частиц на Солнце и в гелиосфере; магнитные поля в активных областях Солнца; волны в солнечной короне. Сотрудники

The objective of *Interball* DOK-2 experiment was investigation of energetic particle spectra (20...800 keV) in the outer magnetosphere with a considerable increase of the spectral and time resolution. The research results show a bright new phenomenon — beams of almost monoenergetic ions (AMI) near the shock and in the transition region. In the spectrum they are seen as 2-3 narrow lines with 1:2:(5-6) energy ratios which corresponds to H^+ , He^{+2} ions and the ion group (C, N, O) $^{+(5-6)}$. The proposed explanation of AMI associates them with the disruptions of solar wind current sheets as they hit the shock. Very strong electric fields in the disruption zone accelerate ions to the energies proportional to their charge.

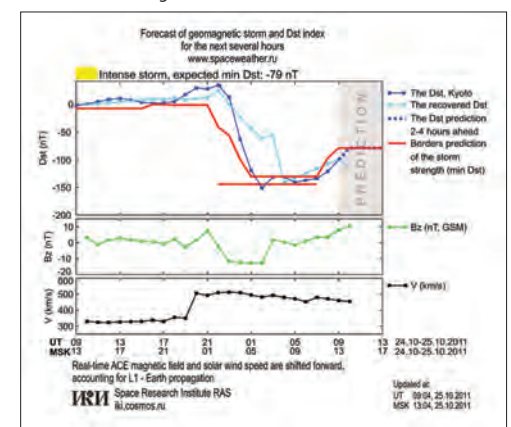
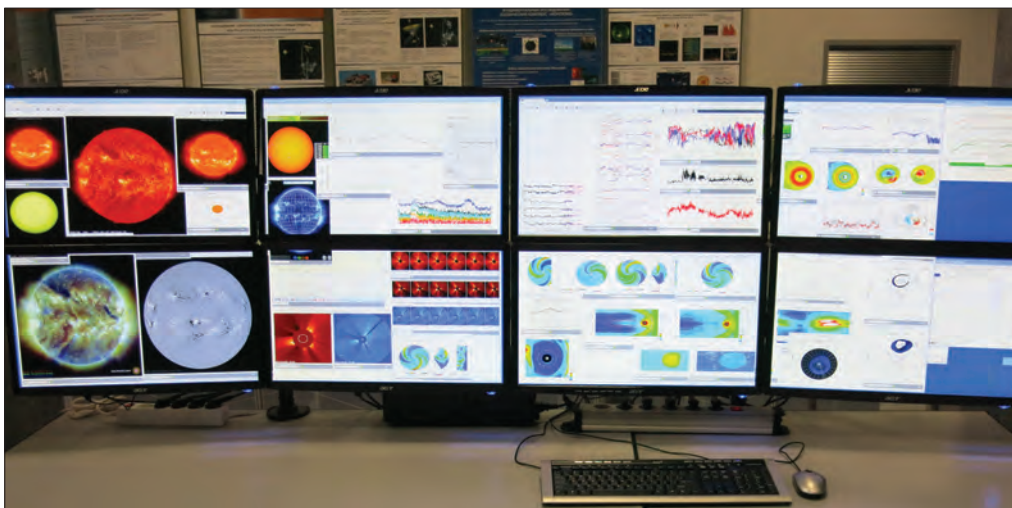
The subject of the **heliobiology group** is experimental investigation of space and Earth's weather influence on the biological objects and humans on the Earth and in the space. The group is in active collaboration with many medical and scientific centers throughout Russia. It was shown that the rhythmic structure of biological objects mirrors the rhythms of the solar and geomagnetic activity at all levels of the biological systems: from the cellular to the population level. In particular, the effects of geomagnetic pulsations were discovered. The response of biological objects to the geomagnetic activity is similar to adaptive stress and meteorotropic reaction. It was shown that there exist the risk groups in which the effects of space and Earth's weather manifest themselves at most. Various methods of prophylaxis to circumvent meteorotropic reactions among both the sick and the healthy people were developed. The research of the hypomagnetic field (with amplitudes similar to that in interplanetary space and nonmagnetic planets) on humans was started.

Группа гелиобиологии

Heliobiology Group

Стенд визуализации текущего состояния космической погоды

Visualization facility for space weather monitoring



Солнечная группа

Solar group



Прибор МЭП (монитор электронов и протонов)
MEP (Monitor for Electrons and Protons)

имеют опыт работы с данными большинства космических аппаратов и наземных телескопов, наблюдающих Солнце и гелиосферу. Показано, что квазипериодические пульсации жёсткого рентгеновского излучения солнечных вспышек могут быть следствием последовательных актов энерговыделения и ускорения электронов в различных магнитных петлях вспышечной области. Подтверждена гипотеза о том, что частотное расщепление солнечных радиовсплесков II типа может быть следствием генерации радиоизлучения впереди и позади поршневой ударной волны, вызванной движением выброса массы. Установлен основной механизм возбуждения высокоамплитудных затухающих изгибных осцилляций корональных магнитных петель, связанный с взаимодействием петель с выбросом массы в нижней солнечной короне.

В настоящее время на орбите работает эксперимент МЭП в составе комплекса «Плазма-Ф» на КА «Спектр-Р», предназначенный для исследований энергичных электронов и протонов во внешней магнитосфере Земли с рекордным временным разрешением. Прибор создан в сотрудничестве со словацкими и греческими специалистами. Ведётся разработка новых приборов для проектов «Резонанс» (приборы «ДОК-М», «РЭМ»), «Странник» («ДОК-МС»), «Луна-Ресурс» («АСПЕКТ-Л»), «Ионозонд» («Летиция»). В инициативном порядке разрабатываются приборы для мониторинга космической погоды, микро- и наноспутников.

As a part of space weather research laboratory develops the prediction methods for geomagnetic activity, space radiation; methods and instruments for auroral activity observations; a web-page for prediction center is <http://www.spaceweather.ru>.

The **solar group** is a team of young scientists formed in the laboratory several years ago, the field of their scientific interest includes flare dynamics and energy release, charged particles acceleration on the Sun and in the heliosphere; magnetic fields in the solar active regions; waves in the solar corona. The staff members have experience of data analysis for the most of spacecraft and ground telescopes observing the Sun and the heliosphere. It was shown that quasi-periodic pulsations of the hard X-rays of the solar flares can be a consequence of successive acts of energy release and electron acceleration in various magnetic loops in the flare region. The hypothesis that the frequency splitting of type II solar radio bursts may be the consequence of radio waves in front of and behind the piston shock wave induced by the mass ejection was confirmed. The primary generation mechanism of high-amplitude flapping oscillations of the coronal magnetic loops associated with the mass ejection in the lower solar corona was suggested.

MEP instrument (abbreviated *Monitor for Electrons and Protons* within the *Plasma-F* experiment aboard the *Spectr-R* spacecraft, launched in 2011) is currently operating in orbit, and is designed to observe energetic electrons and protons in the Earth's outer magnetosphere with a record time resolution. New instruments for the *Resonance* project (DOK-M, REM), *Strannik* project (DOK-MS), *Luna-Resurs* project (ASPECT-L), *Ionozond* project (*Leticia*) are now in the development phase. The laboratory also initiated development of instruments for space weather monitoring, micro- and nano-satellites.

К. И. Грингауз
(05.07.1918–10.06.1993)
Konstantin Gringauz
(July 5, 1918 — June 10, 1993)



Лаборатория исследований околопланетной и межпланетной плазмы (544) (руководитель — д-р физ.-мат. наук Михаил Веригин)

Laboratory for Planetary and Interplanetary Plasma Research (544). Head — Dr. Mikhail Verigin

Михаил Веригин
Mikhail Verigin



История коллектива лаборатории началась до появления ИКИ в 1950 г., когда в НИИ-885 (сейчас НИИ космического приборостроения) была образована лаборатория радиотехнологии под руководством **Константина Иосифовича Грингауза** (05.07.1918–10.06.1993). Её сотрудники участвовали практически во всех ракетных и спутниковых экспериментах начала космической эры. Для

The history of the laboratory started in 1950 before IKI was founded, when in NII-885 (now JSC Russian Space Systems) the laboratory of radio technology was established under the direction of **K. I. Gringauz**. The laboratory's staff members were participating in almost all rocket and satellite experiments at the dawn of the space era. The laboratory developed radio transmitters to broadcast the famous beep-tone

Первого спутника в лаборатории были разработаны и построены радиопередатчики, транслировавшие знаменитые «бип-бип», а также передававшие информацию о температуре и давлении внутри гермоконтейнера.

В числе двенадцати экспериментов на третьем спутнике (1958) был и эксперимент Д-111 лаборатории К.И. Грингауза. Около 10 000 спектров, полученных в его ходе, надёжно подтвердили выводы, сделанные по экспериментам на геофизических ракетах, о достаточно высокой ($\sim 10^5 \text{ см}^{-3}$) концентрации заряженных частиц много выше максимума ионосферного слоя F_2 .

В результате измерений потоков заряженных частиц на АМС «Луна-1, -2, -3» и «Венера-1» было открыто существование ранее неизвестной границы области холодной околоземной плазмы — плазмосферы, называемой в настоящее время плазмопаузой. В этих же экспериментах было открыто существование и впервые измерены потоки ионов корпускулярного излучения Солнца — солнечного ветра. Признанием этих заслуг стала Ленинская премия, присуждённая К.И. Грингаузу в 1960 г.

Первые непосредственные измерения нейтрального газа и плазмы в коме кометы Галлея были проведены в 1986 г. на КА «ВЕГА-1 и -2». Эти измерения, а также обнаружение торможения солнечного ветра и ударной волны, возникших в результате нагружения потока кометными ионами, позволили оценить скорость потерь водяного пара с поверхности ядра как $\sim 40 \text{ т/с}$. Ближе к кометному ядру была открыта ещё одна не предсказанная теоретически резкая граница — кометопауза. В 1986 г. за успехи проекта ВЕГА К.И. Грингауз был награждён Государственной премией СССР.

В лаборатории разработана количественная полуэмпирическая модель положения и формы околопланетных ударных волн. Впервые получено точное аналитическое выражение для формы конуса Маха в МГД-приближении. Модель позволила экспериментально обнаружить эффект приближения околоземной ударной волны к Земле при уменьшении альфвеновского числа Маха, асимметрию околоземной ударной волны в плоскости терминатора (сдвиг на $\sim 1,5R_E$ в «утреннем» направлении). Предложена новая система координат МІРМ для исследования динамических процессов между ударной волной и магнитопаузой.

На спутниках «Интербол-1, -2» и субспутнике «Магион-5» впервые прямыми методами были зарегистрированы каверны плотности — узкие, ограниченные по длине, опустошённые области плазмосферы. Разработана полуэмпирическая трёхмерная модель плазмосферы Земли, которая позволяет по измерениям вдоль одного пролёта спутника восстановить распределение плазмы во всей плазмосфере.

of the first satellite, which also carried the code with temperature and pressure data inside of the pressurized container.

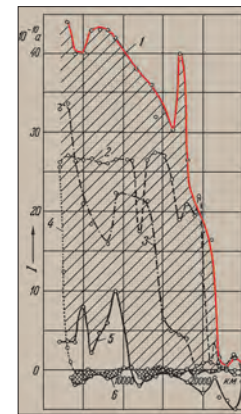
Twelve experiments onboard the Third Sputnik (1958) included the D-111 experiment. About 10 000 spectra obtained verified results of the geophysical rockets, on rather high ($\sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$) concentration of charged particles far above the maximum of the F_2 ionospheric layer.

Charged particle fluxes measurement aboard *Luna-1*, *-2*, and *Venera-1* resulted in the discovery of the previously unknown boundary of the cold near-Earth plasma region — the plasmasphere, now called the plasmopause. In the course of the same experiments the ion flux of the solar particle radiation — the solar wind — was discovered and measured for the first time. In recognition of his work K.I. Gringauz was awarded the Lenin Prize in 1960.

The first direct measurements of the neutral gas and plasma in the Halley's Comet coma in 1986 were performed aboard *Vega-1* and *-2* spacecraft. These measurements as well as the discovery of the solar wind slowdown and of the shock arising as a result of the solar wind flux loading with cometary ions enabled to estimate the rate of water vapor loss from the nucleus of the comet as 40 t/s. One more discovery was made closer to the comet nucleus — the cometopause, a clear boundary which was not predicted theoretically. In 1986 K.I. Gringauz was awarded the USSR State Prize for the success of Vega project.

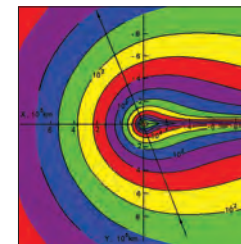
A quantitative semi-empirical model of the position and shape of the planetary shock waves was developed in the laboratory. For the first time ever the exact analytic expression for the Mach cone shape in the MHD approximation was obtained. The model enabled to reveal the effect of the near-Earth shock approach to the Earth with the decrease of the Alfvén Mach number, the asymmetry of the shock in the plane of the terminator (shear by $\sim 1.5R_E$ towards the morning side). A new coordinate system MIPM to study the dynamic processes between the shock and the magnetopause was proposed.

The *Interball-1* and *-2* satellites and *Magion 5* subsatellite recorded the density cavities — the narrow, restricted by longitude, depleted regions of the plasmasphere. A semi-empirical 3D model of the Earth's plasmasphere enabling to reconstruct plasma distribution in the whole plasmasphere by the measurements along one satellite pass was developed.



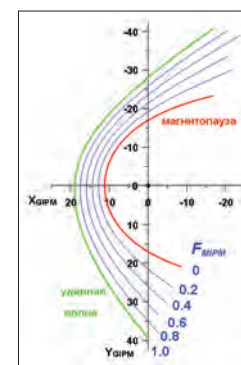
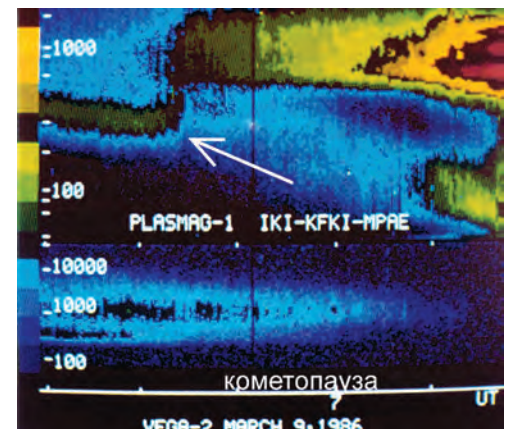
Зависимость максимальных токов сферических ионных ловушек на КА «Луна-2» от высоты при потенциале внешней сетки -10 (1), -5 (2), 0 (3), $+15$ В (5) и минимальных токов при потенциале внешней сетки -10 , -5 , 0 (4) и $+15$ В (6). Резкий спад токов на высотах $(15...20) \cdot 10^3$ км соответствует пересечению плазмопаузы

Altitude dependence of the maximum current of the spherical ion traps onboard the Luna 2 spacecraft at the grid potentials of -10 (1), -5 (2), 0 (3), $+15$ (5) and of the minimum currents at the external grid potentials of -10 , -5 , 0 (4) and $+15$ V (6). Abrupt current decrease at $15...20 \cdot 10^3$ km corresponds to the plasmopause crossing



Распределение плотности нейтрального газа в коме кометы Галлея, восстановленное по измерениям вдоль траектории КА (слева) и спектрограммы плазменных наблюдений при пересечении кометоплаузы 9 марта 1986 г. приблизительно в 6:45 UT (внизу)

Distribution of the neutral gas density in the comet Halley coma along the spacecraft trajectory (left) and the spectrogram of plasma observations as the cometopause crossing on 9 March, 1986 at $\sim 6:45$ UT (down)



Изоповерхности $F_{\text{МІРМ}} = \text{const}$ между ударной волной и магнитопаузой при $M_a = 2$ и $\theta_{bv} = 45^\circ$

Isosurfaces $F_{\text{МІРМ}} = \text{const}$ between the shock wave and the magnetopause at $M_a = 2$ and $\theta_{bv} = 45^\circ$



А. П. Ремизов за сборкой прибора РОМАП, Берлин, 2003 г.

A. P. Remizov during ROMAP instrument assembly, Berlin, 2003

12 ноября 2014 г. на поверхность кометы Чурюмова-Герасименко совершил посадку зонд «Филы» (проект РОЗЕТТА (Rosetta), ЕКА, запуск 2005 г.). В разработке, изготовлении, настройке и калибровке эксперимента РОМАП, успешно начавшего плазменные измерения в коме и на поверхности этой кометы, принимал участие сотрудник лаборатории А. П. Ремизов.

В настоящее время лаборатория занимается разработкой аппаратуры для следующих экспериментов:

- РЕПИН для быстрых и детальных измерений трёхмерной функции распределения плазмосферных ионов для проекта «Резонанс»;
- ГЕЛИОН и ГЕЛИЭС для измерений ионной и электронной компонент межпланетной плазмы в проекте ИНТЕРГЕЛИОЗОНД;
- ЭСИП — энергоспектрометр ионосферной плазмы для проекта ГЕОФИЗИКА;
- зонд Ленгмюра ЛЗЛ-100 для проектов ЛУНА-ГЛОБ и ЛУНА-РЕСУРС;
- комплекс научной аппаратуры ионосферных измерений для наноспутника ПС-2.

On 12 November, 2014 the Rosetta's *Philae* probe (ESA, launched in 2005) landed onto the surface of comet Churyumov-Gerasimenko. A. P. Remizov, a laboratory's staff member was taking part in the development, manufacture, setup and adjustment of the ROMAP experiment which successfully started the plasma measurements in the comet's coma and on its surface.

Currently the laboratory is developing following instruments:

- REPIN for rapid and detailed measurements of the 3D function of plasmasphere ion distribution for *Resonance* project;
- GELION and GELIES for measurement of the ionic and electronic components of the interplanetary plasma for the *Interhelio* project;
- ESIP, an energy spectrometer of the ionospheric plasma for the *Iono* project;
- LZL-100 Langmuir probe for *Luna-Glob* and *Luna-Resurs* projects;
- an instrument for plasma measurements for PS-2 nano-satellite.

Станислав Климов
Stanislav Klimov



Лаборатория электромагнитных излучений (545) (руководитель — профессор, д-р физ.-мат. наук Станислав Климов)

Лаборатория была образована 15 мая 1984 г. на базе конструкторской бригады под руководством С. И. Климова, с багажом, полученным в результате экспериментов на спутниках: «Космос-484» (1972); «Интеркосмос-10» (1973), «Прогноз-8» (1980) и автоматических межпланетных станциях «Марс-6, -7» (1975). С 1984 г. проводились эксперименты по исследованию электромагнитных полей и плазменных волн на аппаратах «Прогноз-10», «Интербол-1», АМС проектов ВЕГА и «Фобос», орбитальных комплексах «Мир» и МКС, а также микроспутниках ИКИ РАН «Колибри-2000» (2002) и «Чибис-М» (2012–2014).

Тематика современных работ лаборатории

- Экспериментальные исследования плазменно-волновых процессов в космической плазме,
- разработка методов и аппаратуры для спутниковых измерений электрических и магнитных полей, а также флуктуаций тока и потоков частиц в рамках единого подхода «комбинированной волновой диагностики» (двойные электрические зонды Ленгмюра, шелевые зонды Ленгмюра, феррозондовые магнитометры, индукционные магнитометры, цилиндры Фарадея, комбинированные волновые зонды).

Electromagnetic Radiation Laboratory (545).
Head — Professor Dr. Stanislav Klimov

The laboratory was established on 15 May, 1984 on the basis of the design team under the direction of S. I. Klimov with the experience of experiments onboard *Kosmos-484* (1972), *Interkosmos-10* (1973), *Prognoz-8* (1980), and automatic interplanetary stations *Mars 6, 7* (1975). Since 1984 new experiments have been conducted onboard the *Prognoz-10*, *Interball-1*, *Vega*, and *Phobos* projects, *Mir* and the ISS, microsatellites *Kolibri-2000* and *Chibis-M*.

Topics of laboratory activity

- Experimental studies of plasma-wave processes in the space plasma;
- development of the methods and instruments for satellite measurements of electric and magnetic fields, electric current and particle fluxes fluctuations, basing on an approach of a combined wave diagnostics (Langmuir double electric and split-type probes, flux gate and induction magnetometers, Faraday caps, combined wave probes);

- теоретические и статистические исследования плазменно-волновых процессов и турбулентности в космической плазме, а также сравнение их с лабораторной и астрофизической плазмой;
- разработка методов и средств контроля электромагнитной совместимости для экспериментальных исследований космической плазмы;
- исследования плазменно-волновых процессов при взаимодействии планет Солнечной системы и экзопланет с межпланетной средой;
- исследования электромагнитных связей в системе магнитосфера-ионосфера-атмосфера.

В последние годы были получены следующие основные результаты

Исследованы свойства турбулентности на границах магнитосферы на частотах 0,2...10 МГц и их влияние на процессы переноса плазмы через границы. Выявлены трёхволновые квазирезонансные взаимодействия колебаний. Статистически перемежаемость и мультифрактальность турбулентного потока приводят к супербаллистическому режиму переноса. Сравнены статистические свойства погранслоёв магнитосферы и термоядерных установок и показано, что они близки. Для квазиплоских границ доминирующие диссипативные структуры в обоих случаях оказались нитевидными, что связывается с образованием критических (по энергетике) струй.

Разработаны методы определения электромагнитных параметров среднеширотной и приэкваториальной ионосферы в спокойных и возмущённых геомагнитных условиях. Изучены корреляционные связи между различными видами солнечной активности и электромагнитными и плазменными параметрами в окрестности МКС.

На российском сегменте МКС в 2010–2013 гг. выполнялся эксперимент «Импульс» (2010–2013), а с 2013 г. работает эксперимент «Обстановка (1-й этап)» по мониторингу электромагнитной обстановки вокруг станции.

Лаборатория активно занимается микроспутниками — космическими аппаратами с массой менее 100 кг. В 2002 г. был запущен микроспутник «Колибри-2000» (20,5 кг). В 2012–2014 гг. на орбите функционировал микроспутник «Чибис-М» (40 кг).

По результатам наблюдений микроспутника «Чибис-М» сделан вывод, что повышение интенсивности волновой электромагнитной активности на субавроральных широтах в диапазоне 10...25 кГц — хороший индикатор увеличения геомагнитной активности и наблюдательный параметр космической погоды.

- theoretical and statistical investigations of plasma wave processes and turbulence in the space plasma, comparison with laboratory and astrophysical plasma;
- development of the methods and tests for electromagnetic compatibility control;
- examination of the role of plasma wave processes in the interaction of solar planets and exoplanets with the interplanetary medium.
- investigations of electro-magnetic processes in the system magnetosphere-ionosphere-atmosphere.

During the latest years following main results were obtained

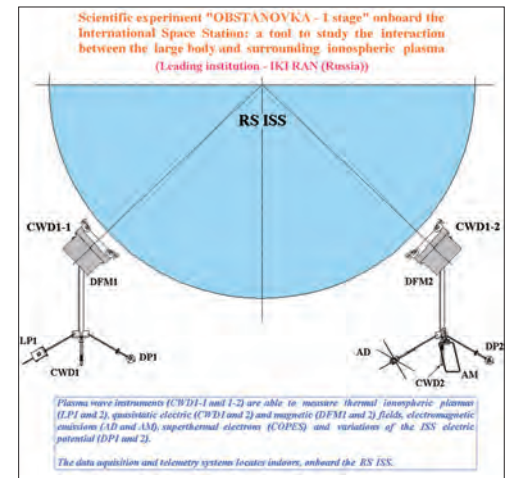
Turbulence properties at the boundaries of the magnetosphere at 0.2...10 MHz frequency and their influence on plasma transfer across the boundary were examined. 3-wave resonant interactions of oscillations were found. Statistically, intermittency and multifractality of the turbulent flow result in the superballistic transfer mode. The statistical properties of the boundary layers in the magnetosphere and in thermonuclear facilities (tokamaks) were compared and their similarity was shown. For quasi-planar boundaries the dominant dissipative structures in both cases are filamentary and associated with the formation of the critical (by energy balance) flows.

Methods of determination of the electromagnetic parameters in the mid-latitude and sub-equatorial ionosphere under the calm and disturbed geomagnetic conditions were developed. Correlations between solar activity and electromagnetic and plasma parameters near ISS were studied.

Impulse experiment was conducted onboard the ISS Russian Segment in 2010–2013, and since 2013 the *Obstanovka* experiment for monitoring of the electromagnetic environment around the station is operating.

The laboratory is actively involved in microsatellites development. In 2002 the *Kolibri-2000* microsatellite (20.5 kg) was launched. In 2012–2014 the *Chibis-M* microsatellite (40 kg) operated in orbit.

With observations by *Chibis-M* microsatellite it was concluded that increase of electromagnetic wave intensity at sub-auroral latitudes within the 10...25 kHz range is a good indicator of the geomagnetic activity increase and an observational parameter of the space weather.

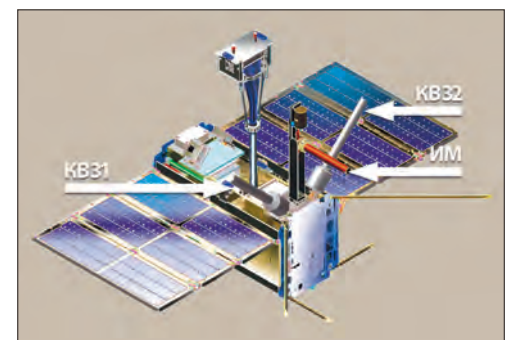


Вверху: размещение аппаратуры эксперимента «Обстановка» на внешней поверхности служебного модуля МКС; внизу: штанга с датчиками

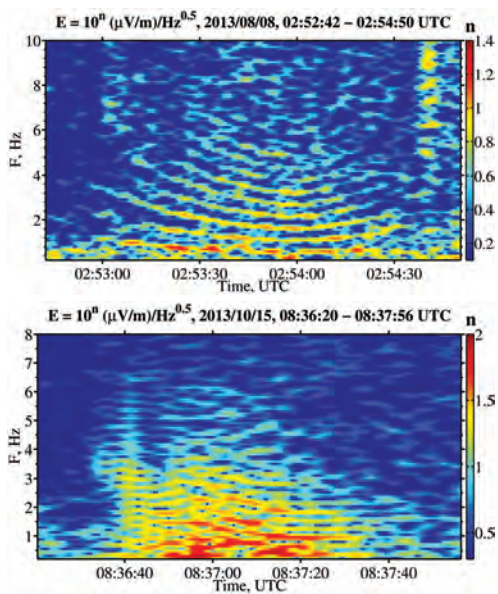
Up. Obstanovka suit allocation on the external surface of the ISS Service Module. Down. Arm with sensors



Эмблема проекта «Чибис-М»
Project Chibis-M insignia



Микроспутник «Чибис-М»
Chibis-M microsatellite



Динамические спектрограммы ионосферного альфвеновского резонанса при пролёте над Юго-Восточной Азией (вверху) и над Тихим океаном (внизу)

Dynamic spectrograms of the ionospheric Alfvén resonance over the Southeast Asia (up) and over the Pacific Ocean (down)

Доказано, что в верхней ночной ионосфере существуют низкочастотные электромагнитные структуры, возбуждаемые атмосферной грозовой активностью: ионосферного альфвеновского и шумановского резонансов.

Сейчас в стадии подготовки находятся следующие эксперименты:

- микроспутники «Чибис-АИ» и «Трабант» в инфраструктуре МКС
- ЛЭМИ и ЛПМС для КА проекта «Луна-Ресурс» (орбитальный аппарат)
- ФПМС для проекта «Странник»
- МЭГРЭ для проекта «ЭкзоМарс» (посадочная платформа)
- ИМВЭ для проекта «Интергелиозонд».

It was proven that in the ionosphere there exist the low-frequency electromagnetic structures excited by atmospheric thunderstorm activity.

Currently, the following experiments are in the preparation stage:

- *Chibis-AI* and *Trabant* micro-satellites within the ISS infrastructure;
- LEMI and LPMS for *Luna-Resurs-Orbiter* project;
- FPMS for *Strannik* project;
- MAIGRET for *ExoMars* (ESA/Roscosmos, 2018);
- IMVE for *Interhelioprobe* project.

Юрий Ермолаев
Yuri Yermolaev



Лаборатория солнечного ветра (546)

(руководитель — д-р физ.-мат. наук Юрий Ермолаев)

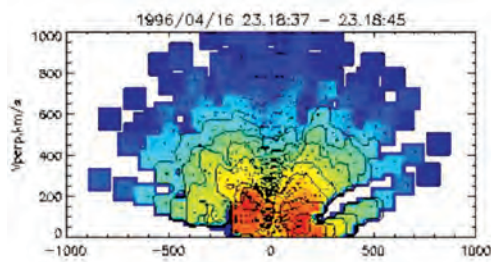
Первоначально лаборатория, созданная и руководимая Олегом Леонидовичем Вайсбергом, занималась экспериментальными исследованиями магнитосферы Земли, солнечного ветра и его взаимодействия с плазменными оболочками планет, разрабатывая методы корпускулярной и волновой диагностики. Одна из первых работ — создание приборов для ИСЗ серии «Прогноз» для исследования солнечно-земных связей на орбитах, выходящих за пределы земной магнитосферы. Первым двум аппаратам, запущенным в 1972 г., удалось провести уникальные наблюдения межпланетных и магнитосферных возмущений, вызванных серией из четырёх экстремальных солнечных вспышек августа 1972 г. В частности, были зарегистрированы экстремальные возрастания скорости солнечного ветра до ~2000 км/с. Приборы, созданные в лаборатории, успешно работали и на последующих спутниках серии «Прогноз», в частности, в международных проектах «Интершок» и «Интербол».

Другим важным направлением стали исследования взаимодействия солнечного ветра с немагнитными планетами и кометами на КА «Марс-2, -3, и -5», «Венера-9 и -10» и в проекте ВЕГА. Были определены параметры магнитосферы этих объектов и объём атмосферных потерь, вызванных солнечным ветром.

Solar Wind Laboratory (546). Head — Dr. Yuri Yermolaev

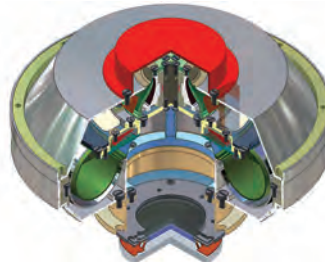
In the beginning the laboratory, founded and headed by O. L. Vaisberg, was conducting experimental studies of the Earth’s magnetosphere, solar wind and its interaction with the plasma envelopes of the planets, developing methods of corpuscular and wave diagnostics. One of its first works was the construction of instruments for the series of *Prognoz* spacecraft aimed on studies of solar-terrestrial links on the orbits outside of the Earth’s magnetosphere. The first two spacecraft launched in 1972 conducted unique observations of interplanetary and magnetospheric disturbances induced by the four extreme solar flares in August 1972. In particular, extreme solar wind speed up to ~2000 km/s was recorded. Instruments of the laboratory were successfully operating also on the follow up *Prognoz* spacecraft, including *Intershock (Prognoz-10)* and *Interball (Prognoz-11)*.

Another important topic was investigation of the solar wind interaction with nonmagnetic planets and comets onboard *Mars-2, -3, and -5*, *Venera-9 and -10* spacecraft, and in the *Vega* project. The parameters of the magnetospheres of these objects and the amount of the atmospheric losses caused by the solar wind were determined.



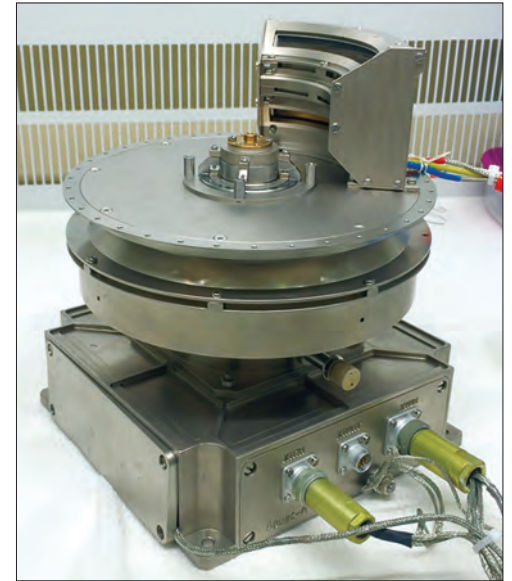
Двухпоточная функция распределения ионов у магнитопаузы Земли — доказательство многократного пересоединения

2-stream ion velocity distribution as the proof of multiple reconnection



2π-энерго-масс-анализатор ДИ для автоматического межпланетной станции «Фобос-Грунт»

2π energy-mass analyzer DI for interplanetary automatic station Phobos Sample Return



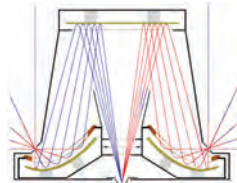
Панорамный спектрометр АРИЕС-Л для исследования лунного реголита в российских лунных проектах

ARIES-L panoramic spectrometer for lunar regolith research in the Russian lunar projects



2π-анализатор заряженных частиц «Камера ОЛЕГ»: ионная оптика и её схема

2π charged particles analyzer "OLEG camera": ion optics and its scheme

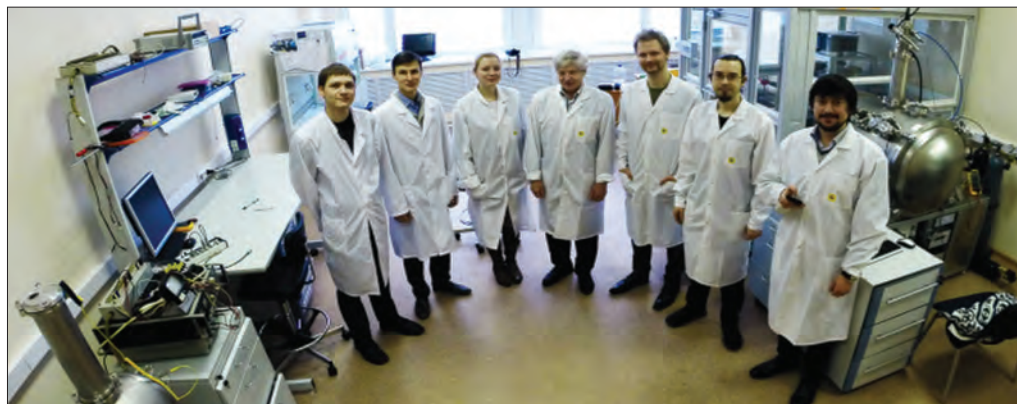


Испытательная лаборатория группы Вайсберга

Laboratory of Vaisberg's group



Испытания ДИ в вакуумной камере
DI tests in vacuum chamber



Профессор О. Л. Вайсберг с коллегами

Prof. O. Vaisberg with colleagues

Сейчас в лаборатории сформировались три основные научные группы:

- группа О.Л. Вайсберга ведёт подготовку экспериментов по измерению трёхмерной функции распределения тепловой плазмы с анализом по массе;
- группа Г.Н. Застенкера ведёт подготовку экспериментов по быстрым параметрам солнечного ветра и анализ данных о вариациях солнечного ветра;
- группа Ю.И. Ермолаева проводит анализ крупномасштабных типов солнечного ветра и их роли в передаче возмущений от Солнца к Земле.

Today the laboratory includes three primary scientific teams:

- O. L. Vaisberg team is preparing experiments for measurements of 3D thermal plasma distribution with mass analysis;
- G. N. Zastenker team is preparing experiments for fast solar wind measurements and data analysis of the solar wind variations;
- Yu. I. Yermolaev team is conducting the analysis of large-scale types of the solar wind and their role transfer of disturbances from the Sun towards the Earth.



Олег Вайсберг
Oleg Vaisberg

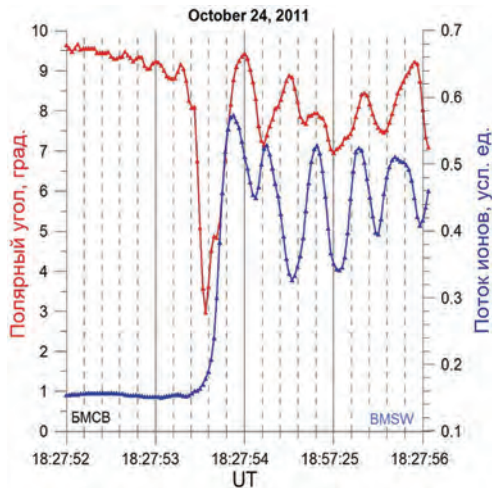


Георгий Застенкер
Georgiy Zastenker



Прибор БМСВ в составе эксперимента по измерениям солнечного ветра «Плазма-Ф» на аппарате «Спектр-Р»

BMSW instrument included in the Plasma-F experiment for the solar wind measurements onboard the Spektr-R spacecraft



Типичная структура фронта межпланетной ударной волны, которая была получена впервые. Изображён временной ход величины потока ионов и полярного угла этого вектора при прохождении фронта межпланетной ударной волны. Нарастание потока во фронте происходит очень быстро — примерно за 0,2 с. Обращает на себя внимание осцилляторный характер возрастания потока и изменения полярного угла — это типично для большинства зарегистрированных межпланетных ударных волн

A typical structure of the interplanetary shock front obtained for the first time. The image illustrates the time dependence of the ion flux and a polar angle of this vector as the interplanetary shock wave front is passing. The flux is increasing in the front very rapidly, in about 0.2 s. The oscillatory behavior of the flux increase and the polar angle change are typical for the majority of the recorded interplanetary shocks

Михаил Могилевский
Mikhail Mogilevsky



Лаборатория физики магнитосферных процессов (547) (руководитель — д-р физ.-мат. наук Михаил Могилевский)

Лаборатория была создана в момент образования ИКИ из сотрудников, перешедших из Института физики атмосферы АН СССР. Её первое название — лаборатория полярных сияний, а первым руководителем стал Юрий Ильич Гальперин (14.09.1932—28.12.2001).

Основные направления

- Экспериментальные исследования, анализ и теоретическая интерпретация волновых и быстропеременных процессов в космической плазме;
- исследования влияния искусственного излучения на приземную плазму;
- экспериментальные и теоретические исследования процессов в авроральной магнитосфере и ионосфере.

Currently the laboratory is conducting the *Plasma-F* solar wind experiment onboard *Spektr-R* spacecraft. BMSW instrument was developed in close collaboration with the colleagues from the Charles University (Prague, Czech Republic) is a spectrometer with six multidirectional Faraday caps. Such a configuration enables to measure the total value and direction of the solar wind ion flux vector, flux energy spectrum, flow velocity, ion temperature, proton density, and, separately, alpha particles density with a record high time resolution of 30 ms. Due to such high time resolution it is now possible to obtain new important data on the fine structure and properties of the solar wind which were not available in the previous experiments.

During the last years a new experimental facility was set up to develop instruments, including a set of vacuum chambers, ion and electron sources, etc. Today the laboratory is working on following future experiments :

- BMSW-LG and LINA for the *Luna-Glob* and *Luna-Resurs-Orbiter* projects;
- BMSW-S, *Kamera-OV*, *Totem-I*, and *Totem-E* for the *Resonance* and *Strannik* projects;
- BMSW-I, PIPLES-A, and PIPLES-S for the *Interhelioprobe* project;
- PICAM for *BepiColombo* (ESA).

Laboratory of Physics of Magnetospheric Processes (547). Head — Dr. Mikhail Mogilevsky

Initially the laboratory included scientists and engineers, who came from the Institute of Atmosphere Physics of the USSR Academy of Sciences when IKI was founded. Its first name was the laboratory of polar auroras and its first head was Prof. Yuri I. Galperin.

The main research topics

- Experimental analysis and theoretical interpretation of the wave processes in the space plasma;
- investigation of artificial radiation effects on the near-Earth plasma;
- experimental and theoretical research of the processes in the auroral magnetosphere and ionosphere.

Одним из наиболее ярких первых результатов было определение свойств искусственного радиационного пояса, который образовался вокруг Земли после американского ядерного взрыва в космосе. Сотрудники лаборатории создали целый ряд приборов для изучения частиц, вызывающих полярные сияния, в том числе были обнаружены источники диффузных полярных сияний.

Важный этап в жизни лаборатории — сотрудничество с французскими учёными. В 1971–1973 и 1981 гг. были запущены спутники «Ореол-1, -2, -3», на которых был реализован качественно новый, комплексный подход к исследованию физических процессов в авроральной плазме. На спутнике «Ореол-3» проекта АРКАД-3 зарегистрирован эффект Гетманцева над ионосферой — нелинейная демодуляция электромагнитной волны в ионосферной плазме в зоне коротковолнового нагрева. Таким образом, была продемонстрирована возможность создания в ионосфере огромной антенны, излучающей в магнитосферу сверхдлинные волны.

В ходе серии активных координированных экспериментов МАССА по воздействию на магнитосферу акустическими волнами от мощных наземных химических взрывов на спутнике «Ореол-3» были зарегистрированы генерация и распространение сильной альвеновской волны, а также других плазменных колебаний и волн в магнитосферной силовой трубке над районами наземных взрывов. Они показали, что явления на уровне поверхности Земли и в нижней атмосфере могут вызывать наблюдаемые эффекты в магнитосфере. Был также зарегистрирован нагрев ионосферных ионов O^+ , He^+ , H^+ до десятков и сотен электрон-вольт над областью ионосферы, облучаемой мощным наземным ОНЧ-передатчиком в субавроральной зоне.

В 1990-х гг. во многом силами лаборатории был подготовлен комплекс научных приборов для спутника «Интербол-2» (из 15 научных приборов в составе КА у одиннадцати научными руководителями были сотрудниками лаборатории). По результатам совместного эксперимента нагревного стенда в Тромсё (Норвегия) и спутника «Интербол-2» было показано, что потоки ускоренных ионосферных электронов достигают области генерации аврорального километрового излучения, что приводит к его подавлению. Впервые измерено время распространения ионосферной плазмы из искусственно нагретой области в магнитосферу на высоту 11 тыс. км. Предложен оригинальный способ определения диаграммы направленности излучения по одновременным измерениям на спутниках «Интербол-Авроральный зонд» и Polar (NASA) частотно-ограниченного спектра.

One of the most prominent first results was determination of the properties of the artificial radiation belt after the US nuclear explosion in space. The laboratory's staff have constructed a series of instruments to study the particles inducing the polar auroras and have discovered the sources of diffusive polar auroras.

An important milestone in the laboratory's activity is collaboration with the French scientists. In 1971–1973 and in 1981 the *Aureol-1*, *-2*, *-3* satellites were launched onboard of which a brand new integrated approach to investigation of the physical processes in the auroral plasma was applied. The *Aureol-3* satellite of the *Arcad-3* project recorded the Getmantsev effect over the ionosphere — a nonlinear demodulation of the electromagnetic wave in the ionospheric plasma within the short-wave heating region. In such a way, the possibility of a giant antenna formation in the ionosphere, which radiates very low-frequency waves into the magnetosphere was demonstrated.

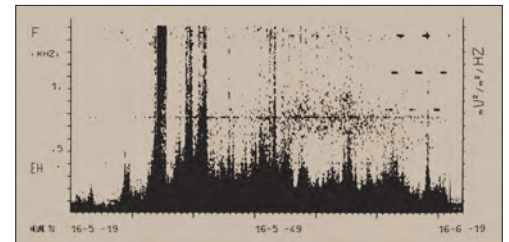
During the series of active coordinated MASSA experiments (“study of MAGnetosphere-ionosphere Relationships during Seismo-Active events”), including modification of the magnetosphere by the acoustic waves from powerful ground-based chemical explosions, the *Aureol-3* satellite has recorded the generation and propagation of a strong Alfvén wave as well as other plasma oscillations and waves in the magnetospheric flux tube over the ground explosion areas. The experiments showed that the events at the ground and in the lower atmosphere may cause the observed effects in the magnetosphere. Heating of O^+ , He^+ , H^+ ionospheric ions up to tens and hundreds of electron-volts over a powerful VLF-transmitter in the subauroral region was also recorded.

In 1990's mostly by efforts of the laboratory the set of scientific instruments for the *Interball-2* satellite was prepared (out of 15 scientific instruments 11 were under the direction of the laboratory's staff members). With the joint experiment with the heating stand in Tromsø (Norway) and the *Interball-2* it was shown that the accelerated ionospheric electron fluxes reach the region of the auroral kilometric radiation and suppress it. For the first time ever ionospheric plasma propagation from the heated region to the magnetosphere at the 11 000 km altitude was observed. An original method to determine the diagram of propagation of radiation using simultaneous measurements of *Interball-2* and *Polar* satellites was proposed.



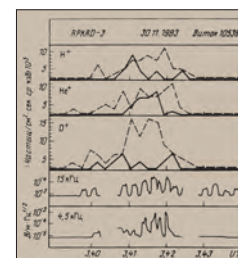
Профессор Ю. И. Гальперин
(14.09.1932 – 28.12.2001)

Prof. Yu. I. Galperin (September 14, 1932 – December 28, 2001)



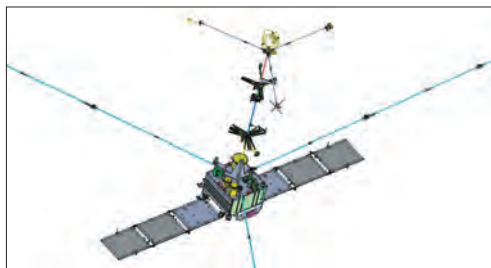
Спектрограмма ОНЧ-излучений, зарегистрированных при пересечении спутником «Ореол-3» силовой трубки, сопряжённой с нагревным стендом

A spectrogram of VLF emission recorded as the *Aureol-3* satellite crosses the flux tube connected to the heating facility



Результаты измерений потоков ионов водорода, гелия и кислорода из ионосферы, нагретой мощным излучением наземного передатчика

Hydrogen, helium, and oxygen ion flux measurements from the ionosphere heated by the ground-based transmitter

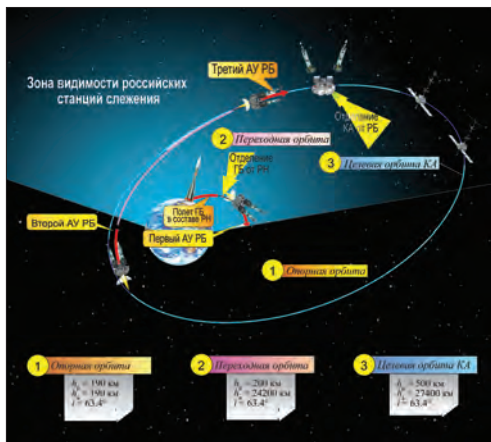


Вверху. Спутник проекта РЕЗОНАНС.

Внизу. Схема выведения группы спутников проекта РЕЗОНАНС

Top. A satellite of the Resonance project.

Below. Resonance's orbital insertion



Система спутников «Ионозонд»

The Ionozond satellite system



Выявлен особый класс аврорального километрового радиоизлучения (АКР) — барстерные структуры, и предложен механизм их формирования.

В настоящее время лаборатория является головной по проекту РЕЗОНАНС, направленному на исследования внутренней магнитосферы Земли и авроральной области. Кроме изучения естественных процессов взаимодействия волн и частиц, определения роли мелкомасштабных процессов в глобальной динамике и изучения динамики магнитосферного циклотронного мазера, в проекте планируется проведение так называемых активных экспериментов — изучение воздействия мощного радиоизлучения от наземных источников на ионосферно-магнитосферную плазму. В рамках проекта будут запущены две пары спутников, параметры орбит которых подобраны таким образом, что в выбранной магнитной силовой трубке обе пары будут находиться более 40 мин. Это позволит отследить динамику процессов, связанных с развитием циклотронной мазерной неустойчивости. В рамках этого проекта в лаборатории подготавливаются эксперименты БЭЛА, ЭЛМАВАН, ВЧА.

Другой современный проект — «Ионозонд» — направлен на изучение ионосферы и влияния на неё «космической погоды». В его рамках будут запущены пять спутников. Четыре однотипных аппарата для мониторинга параметров ионосферы будут снабжены комплексом из 12 приборов. Пятый спутник проекта — «Зонд» — нацелен на мониторинг характеристик солнечного излучения.

Также в лаборатории для проекта «Луна-Ресурс» совместно с Институтом космической физики (Швеция) готовится эксперимент ЛИНА-ЭКРАН — детектор ионов и нейтральных частиц.

A special class of the auroral kilometre radiation (AKR) — burst structures — was discovered and a mechanism of their formation was proposed.

Currently the laboratory is leading *Resonance* project targeted on the Earth's inner magnetosphere and the auroral region. The project includes investigations of the natural processes of wave-particle interaction, of the role of small-scale processes in the global dynamics, of a magnetospheric cyclotron maser, as well as active experiments — analysis of the influence of strong radio emissions from the ground-based sources on the ionosphere-magnetosphere plasma. Within the project two pairs of satellites will be launched with orbital parameters selected in such a way that both pairs will spend more than 40 min in the selected magnetic flux tube. This will enable to trace the dynamics of the processes related to the development of the cyclotron maser instability. For this project laboratory also prepares individual scientific instruments BELA, ELMAVAN, HFA.

The future *Ionozond* project is aimed at the research of the ionosphere and space weather influence on it. Within this project five satellites will be launched. Four similar satellites to monitor the ionosphere will be equipped with a set of 12 instruments. The fifth project satellite, *Zond*, is aimed at the monitoring of the solar radiation.

For the *Luna-Glob* and *Luna-Resurs-Lander* projects laboratory prepares LINA-EKSAN experiment (the ion and neutral particle detector) in collaboration with the Swedish Institute of Space Physics.

Борис Новиков
Boris Novikov



Лаборатория инженерно-технического обеспечения экспериментов и проектов (548)
(руководитель — Борис Новиков)

Лаборатория была сформирована в 2013 г. на основе отдела бортовых программно-управляемых систем и выполняет работы, связанные с инженерно-техническим обеспечением космических проектов. Руководитель отдела и лаборатории — лауреат государственных премии СССР и РФ Борис Сергеевич Новиков.

Laboratory for Engineering Support for Experiments and Projects (548). Head — Boris Novikov

The laboratory was established in 2013 on the basis of the department of onboard program-controlled systems and is providing engineering support for space projects. The department and laboratory head is Boris Novikov, a laureate of the USSR and Russian Federation State Prize.



Коллектив 73 отдела и Почётная грамота Федерации космонавтики СССР, которой отдел был награждён в 1989 г. за успешную работу по программам космических исследований СССР

Department No 73 and Honorary diploma of the Federation of Cosmonautics of the USSR, awarded to the Department in 1989 for large contribution to national Programs of space research

Первой практической работой отдела, сформированного в 1980 г., стало проектирование и реализация комплекса научной аппаратуры на АМС ВЕГА, создание автоматической следающей платформы (АСП-Г) с комплексом наведения на комету Галлея и научной видеоспектральной аппаратурой. При участии специалистов отдела был создан стенд с использованием полноразмерного макета космического аппарата с АСП-Г и специализированной системой для обезвешивания платформы. Позже оставшаяся в запасе платформа АСП-Г была установлена на внешнюю сторону орбитальной станции «Мир». В отделе была создана система управления для АСП-Г-М из кабины космической станции. Платформа проработала в составе станции 11 лет, закончив свою работу вместе со станцией...

Одновременно в отделе велись работы по созданию комплекса научной аппаратуры астрофизического проекта ГРАНАТ. Качество этого проекта с технической точки зрения выделяет тот факт, что его служебная и научная аппаратура успешно работали в космическом пространстве более девяти лет.

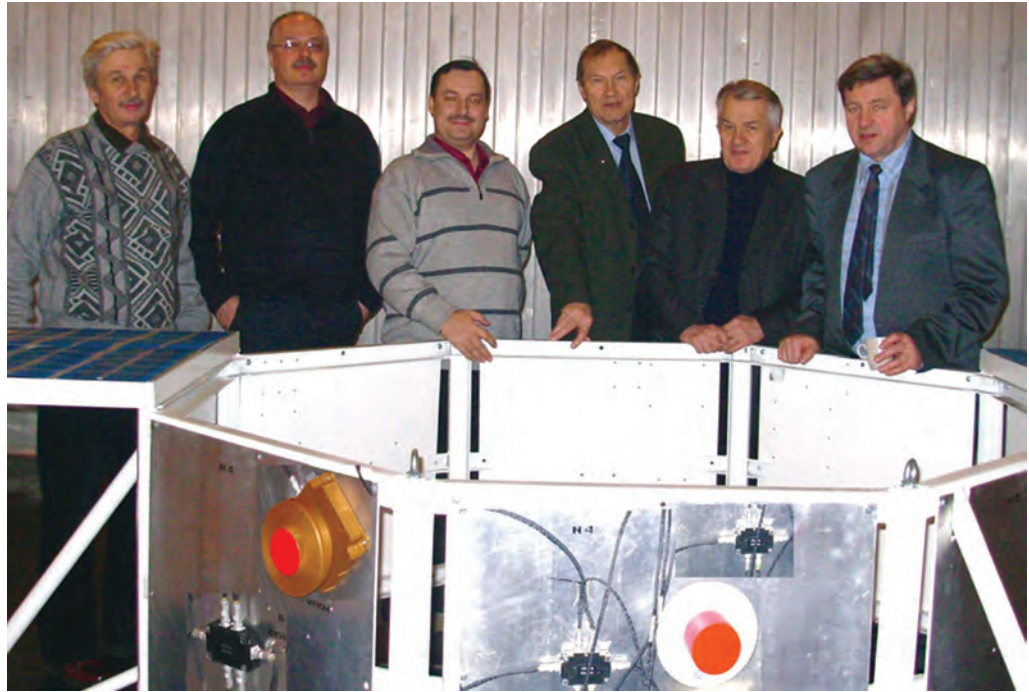
В проекте ФОБОС отделу было поручено в кратчайшие сроки создать сложнейшее устройство блока дальномера-объектива (БДО) для масс-анализатора ЛИМА — прибора для анализа элементного и изотопного состава грунта марсианского спутника при пролёте над ним на высоте 30...80 м. БДО представлял собой систему адаптивной фокусировки лазерного пучка в зависимости от высоты пролёта над поверхностью. При его создании был проведён большой объём специальных испытаний с контролем параметров фокусировки (мощности луча) на реальной дистанции пролёта, в том числе, с имитацией рельефа поверхности Фобоса.

The first practical activity of the department, established in 1980, was the design and implementation of the scientific instrument suite onboard the *Vega* spacecraft, design of the automatic tracking platform (ASP-G) with the guidance system and video-spectral camera. The full-scale mockup of the spacecraft with ASP-G and a specialized system for platform weightlessness was built. Later the spare ASP-G platform was installed at the *Mir* space station. The department created the control system for ASP-G-M to guide it from the space station cabin. The platform had been operating aboard the station for 11 years.

Concurrently, the department was working on the scientific instrument suite of the *Granat* astrophysical project. From the technical point of view the quality of this project is outstanding since it was operational in space for more than 9 years.

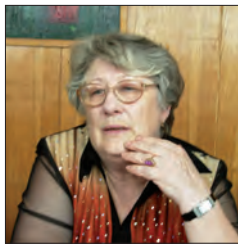
For the *Phobos* project the department was given a task to design an advanced BDO long-distance lens unit for the LIMA mass analyser — the instrument for analysis of the element and isotopic composition of the Martian satellite soil from the altitude of 30...80 m. BDO role was to perform adaptive focusing of the laser beam depending on the altitude. At the design stage a large amount of special tests were conducted at the actual flight altitude including above simulated Phobos terrain.





Сотрудники отдела 73 — в настоящее время лаборатории инженерно-технического обеспечения экспериментов и проектов

The staff of the Department 73 — the Laboratory for Engineering Support for Experiments and Projects



По проекту «Марс-94/96» отделу были поручены работы по комплексу АРГУС, который выполнял одну из основных задач проекта — телевизионная съёмка и видеоспектральные исследования поверхности Марса. Разработанная в отделе бортовая система МАРИОН-С обеспечивала приём, хранение и передачу в радиоканал научной информации проекта.

Велись работы по инженерно-техническому обеспечению проекта «Спектр-Р» и созданию научного комплекса «Плазма-Ф», которые завершились запуском и успешной работой с 2011 г.

Первым масштабным проектом после почти двадцатилетнего перерыва в космических планетных исследованиях был проект ФОБОС-ГРУНТ. Кроме исследования поверхности спутника Марса, главной задачей проекта был забор с поверхности Фобоса грунта и доставка его на Землю. Специалистами отдела было разработано и испытано грунтозаборное устройство (ГЗУ). К сожалению, проект ФОБОС-ГРУНТ завершился аварией.

В настоящее время лаборатория ведёт работы по международным проектам СПЕКТР-РГ, РЕЗОНАНС, СТРАННИК и «ЭкзоМарс» (вторая часть проекта — создание комплекса научной аппаратуры на посадочной платформе).

For the *Mars-94/96* project the department was put on to do the job on ARGUS suit which was performing one of the primary tasks of the project — TV recording and spectral analysis of the Martian surface. The onboard *Marion-S* system developed in the department was to provide acquisition, storage and transfer of the project scientific information.

The department was conducting the engineering support of the *Spektr-R* project and construction of the *Plazma-F* scientific suite which led to its launch and successful operation since 2011.

The first large-scale project after almost a 20-year break in space planetary exploration was the *Phobos Sample Return* project. In addition to the exploration of the Martian satellite surface, the primary task of the project was taking a sample from the Phobos surface and its delivery to the Earth. The department specialists have developed and tested a soil-extraction device (GZU). Unfortunately, *Phobos Sample Return* mission failed.

Today the laboratory is working on the international projects — *Spektr-RG*, *Resonance*, *Strannik*, and *ExoMars* (second part of the project planned for launch in 2018).

Известно, что только космические аппараты позволили увидеть нашу планету сразу и целиком, и потому дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса стало, фактически, единственным источником данных о том, что происходит с нашей планетой в глобальном масштабе.

Отдел 55 (до этого 63, а ещё раньше 26), специализацией которого стало изучение Земли из космоса, был основан в ИКИ в 1974 г. по инициативе профессора **Валентина Семёновича Эткина** (28.06.1931–18.02.1995), основоположника нового научного направления в ИКИ — дистанционного зондирования Земли радиофизическими методами. Особенное внимание уделялось изучению океана и разработке методов, позволявших по процессам, которые можно наблюдать «сверху», судить о том, что происходит в водных глубинах. Такой подход в применении дистанционных радиофизических методов исследования процессов как внутри, так и на морской поверхности привёл к созданию нового направления в науке — радиогидрофизики. Позже фокус интересов сместился в область изучения Земли как единой экологической системы, прежде всего, климатических взаимосвязей океана и атмосферы.

Программы исследований, в которых участвовал отдел, предусматривали проведение ежегодных натурных экспериментов в различных районах Мирового океана: от Чёрного и Баренцева морей до Тихого океана. Экспериментальные работы сопровождались теоретическими исследованиями, направленными, прежде всего, на создание радиофизических и гидрофизических моделей наблюдаемых в океане явлений.

Деятельность отдела в советский период связана с многочисленными, главным образом, лётно-морскими экспедиционными работами в окраинных морях Советского Союза.

Широкомасштабные работы по дистанционному исследованию земных покровов и особенно исследование поверхности океана в интересах экологического мониторинга, прогноза погоды и прикладных задач стали возможными благодаря огромной организаторской способности В. С. Эткина. Работы большей частью были ориентированы на комплексные аэрокосмические эксперименты. Например, в комплексном лётно-морском натурном эксперименте 1980 г. одновременно принимали участие более тридцати организаций, было задействовано семь самолётов-лабораторий, оснащённых многоканальными поляризационными радиометрами, радиолокаторами и оптическими системами, восемь единиц средств обеспечения, космическая станция «Салют-6», а в экспедиции участвовало более 160 человек одновременно, не считая личного состава средств обеспечения. Каждый год проводились испытания новых приборов.

It is known that these were the spacecraft that enabled to see our planet straight and as a whole that is why the Earth's remote sensing (ERS) from the space has become actually the only source of data of what is going on with our planet in the global scale.

Department No. 55 (previously No. 63 and even earlier No. 26) the profile of which is the Earth exploration from space was founded in IKI in 1974 at the instance of Prof. **Valentin Etkin**, the pioneer of the IKI new research area, the Earth remote sensing using the radiophysical methods. Special focus was on the exploration of the ocean and development of the methods that enable to tell what is going on in the deep waters by the processes observed from above. Such an approach to application of the remote radiophysical methods of research of the processes both in the deep and on the ocean surface resulted in creation of a new research area — the radio fluid physics. Later the interest focus shifted to the field of Earth exploration as a single ecological system and, primarily, climatic interaction of the ocean and the atmosphere.

The research programs, the department was involved in, stipulated the annual field experiments in various regions of the world ocean: from the Black and Barents Seas to the Pacific Ocean. The experimental works were conducted together with the theoretical researches aimed, first of all, at the development of the radiophysical and hydrophysical models of the phenomena observed in the ocean.

During the Soviet period the department activity was related to multiple, mostly flight-marine, expeditions to the peripheral seas of the Soviet Union.

Wide-scale activities in the remote exploration of the land cover and particularly the exploration of the ocean surface to the benefit of the ecological monitoring, weather forecast and applied problems have become possible due to managerial abilities of V. S. Etkin. The activities mostly focused on the complex aerospace experiments. For instance, during a complex flight-marine field experiment in 1980 more than thirty organizations were partaking, seven laboratory aircraft equipped with multi-channel polarized radiometers, radio detectors and optical systems were used, eight facility units, *Salyut-6* spacecraft; the expedition included more than 160 people simultaneously not counting the service personnel of the facilities. Each year new instruments were tested.

ОТДЕЛ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА (55) EARTH RESEARCH FROM SPACE DEPARTMENT (55)



**Руководитель —
д-р физ.-мат. наук, профессор
Евгений Шарков**

Head — Prof. Dr. Evgeny Sharkov



**Профессор В. С. Эткин
(28.06.1931–18.02.1995)**

*Prof. V. S. Etkin (June 28, 1931 –
February 18, 1995)*



Самолёт-лаборатория Ан-12 для радиометрических и скаттерометрических измерений на аэродроме Елизово, п-ов Камчатка

An-12 laboratory aircraft for radiometric and scatterometric measurements at Elizovo airfield, the Kamchatka peninsula



Композитный снимок поверхностных проявлений внутренних волн в Гудзоновом заливе по данным РСА «Алмаз» и ERS-1, составленный в ходе проведения российско-американского эксперимента JUSREX'92 по исследованию внутренних волн в океане методами дистанционного зондирования. С российской стороны в эксперименте участвовали самолёт-лаборатория Ту-134СХ, научно-исследовательское судно «Академик Иоффе» и космический радиолокатор высокого разрешения (15...30 м) на спутнике «Алмаз-1». Американская сторона предоставила аэродром базирования на военно-воздушной базе Уоллопс (Вирджиния), два самолёта-лаборатории DC-8 и P-3 с трёхчастотными РСА на борту, спутниковые данные с космического РСА ERS-1

A composite image of the surface manifestation of internal waves in Hudson Bay from SAR Almaz and ERS-1 data constructed in the course of the Russian-US experiment JUSREX'92 to investigate internal waves in the ocean using the methods of remote sensing. On the Russian side Tu-134SX laboratory aircraft, Akademik Ioffe research vessel, and a space high-resolution (15...30 m) radio detector onboard the Almaz-1 satellite were taking part in the experiment. The US side provided a home airfield at the Wallops Flight Facility, DC-8 and P-3 laboratory aircraft with three-frequency synthetic aperture radar hardware (SAR) onboard, satellite data from the space ERS-1 SAR

К достижениям отдела в этот период можно отнести теоретическое предсказание (на базе ранее полученных в лётных экспериментах результатов по обнаружению поляризационной анизотропии) так называемых «критических явлений» в микроволновом излучении морской поверхности. Их следствием можно считать разработку метода определения скорости и направления ветра у морской поверхности по микроволновым поляризационным измерениям. В СССР и в России эти изыскания оказались не востребованы, а в США эти идеи активно использовались при разработке спутника WindSat, который был запущен в 2003 г. и работает до сих пор в интересах военно-морского флота.

Важным этапом в развитии радиогидрофизических исследований стало использование космического радиолокатора с синтезированной апертурой (длина волны 9,6 см, разрешение 25×25 м), установленного на орбитальных станциях «Космос-1870» («Алмаз-0») и «Алмаз-1». В. С. Эткин приложил немало усилий для того, чтобы разъяснить уникальность этих аппаратов как широкой научной общественности, так и директивным органам. ИКИ возглавил программу исследования океана с аппарата «Алмаз-1» (программа «Океан-И»). Анализ радиолокационных изображений позволил детально исследовать разнообразные процессы в Мировом океане, в частности, характеристики крупномасштабной (от 50 м) части спектра поверхностного волнения, следы разливов нефтепродуктов, сигнатуры крупных течений.

С распадом Советского Союза финансирование экспедиционных работ было прекращено. Последние полёты были выполнены в 1992 г. и с тех пор не возобновлялись. Фокус деятельности отдела переместился на исследования окружающей среды. Его сотрудники приняли активное участие в международной программе «Природа», которая привела к созданию модуля «Природа» в составе космической станции «Мир».

В 1994 г. В. С. Эткин предложил новое название отдела «Космические исследования Земли как экологической системы». После кончины В. С. Эткина в 1995 г. Отдел возглавил известный радиофизик профессор Юрий Александрович Кравцов.

На рубеже 1990–2000-х гг. продолжается анализ и интерпретация ценных экспериментальных данных, полученных в предыдущие годы. Экспериментальные работы возобновились летом 1999 г. Но это уже были береговые измерения на Чёрном море с пирса Южного отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ЮО ИО РАН) в Голубой бухте близ Геленджика.

The department's achievements over that period can also include a theoretical prediction (based on the results obtained during the earlier flight experiments of the polarized anisotropy discovery) of the so-called critical phenomena in the microwave radiation of the ocean surface. The development of the method of determination of the wind velocity and direction at the ocean surface by the microwave polarization measurements can be considered the consequence of these phenomena. In the USSR and in Russia these surveys turned out to be not needed, but the USA made an active use of these ideas for the development of the *Wind-Sat* satellite launched in 2003 and still operational to the benefit of the naval forces.

An important stage of radio hydrophysical research was the use of the space radio detector with the synthesized aperture (wavelength 9.6 cm, resolution 25×25 m) installed onboard the *Kosmos 1870 (Almaz-0)* and *Almaz-1* orbital stations. V. S. Etkin put forth tremendous efforts to explain the unique character of these instruments both to the scientific community and to the policy-making bodies. IKI headed the ocean research program from onboard the *Almaz-1* spacecraft (*Ocean-I* program). The analysis of the radar images enabled to study the various processes in the world ocean in details, in particular, the characteristics of a large-scale (from 50 m) part of the spectrum of the surface waves, oil spill traces, large currents signatures.

After the Soviet Union breakup the expedition funding stopped. The last flights were performed in 1992 and never resumed since then. The department focus shifted to the environmental research. Its staff members were taking an active part in the *Priroda* (“Nature”) international program that resulted in construction of the *Priroda* module onboard *Mir* station.

In 1994 V. S. Etkin proposed a new name for the department — “Space Research of the Earth as an Ecological System”. After the death of V. S. Etkin in 1995 the department was headed by professor Yuri Kravtsov, a famous radio physicist.

In 1990–2000 the analysis and interpretation of the valuable research data obtained in the previous years continues. The experimental activities were resumed in the summer of 1999. But these were the coastal measurements, at the Black Sea from the pier of the Southern Branch of the RAS Shirshov Institute of Oceanology in Golubaya Bay near Gelendzhik.

Особенности нашей планеты — плотная атмосфера и большая площадь океанов, которые связаны в тесную систему, определяющую многие происходящие на Земле процессы. Исключительную ценность для наблюдений за ними представляет микроволновый диапазон наблюдений. Оказалось, что электромагнитные волны именно этого участка спектра эффективно взаимодействуют с шероховатостями земной и водной поверхности и микроструктурами в атмосфере, и по особенностям этого взаимодействия можно определять многие параметры происходящего на Земле. В арсенале современных средств ДЗЗ сегодня — многочисленные радиометры, скаттерометры и радиолокаторы.

В дополнение к космическим средствам используются наземные станции наблюдения в России и за рубежом, где также проводятся многочисленные эксперименты для проверки теоретических предположений.

Как и ранее, океан и атмосфера, их взаимосвязи и влияние на климат остаются важнейшей темой, но, кроме них, мы исследуем снеговые и ледовые покровы, степень человеческого воздействия на окружающую среду.

В 2002 г. отдел возглавил д-р физ.-мат. наук, профессор Евгений Александрович Шарков — крупный специалист в области наук о Земле и аэрокосмического зондирования. По его предложению в отделе стало развиваться новое для отдела направление работ — дистанционные исследования по изучению климатических процессов на Земле, а также влияние на взаимодействие «океан-атмосфера» мультимасштабных атмосферных катастроф при помощи радиофизических пассивно-активных методов и средств.

Сотрудники отдела участвовали во многих исследовательских программах, в том числе президиума РАН, ассоциации INTAS, 6-й и 7-й Рамочных программ Европейской комиссии. В 2009–2013 гг. действовали два гранта Президента Российской Федерации для молодых учёных — кандидатов наук.

Кроме «земных» задач, в отделе решаются и космические — сотрудники отдела участвовали в проектах «Фобос» (1986), «Марс-94/96» (1996), Mars Surveyor'98 Program (NASA, 1998 г.).

Лаборатория моделирования и автоматизации (551) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Михаил Раев)

Основанную в 1992 г. как структурное подразделение отдела лабораторию с момента создания по настоящее время возглавляет канд. физ.-мат. наук Михаил Дмитриевич Раев. Сотрудники лаборатории ведут теоретические исследования и активно участвуют в экспериментальных работах отдела.

The peculiar feature of our planet is the dense atmosphere and large areas of the ocean connected into a close system that determines many of the Earth's processes. The microwave observation range is of exceptional value for observation of these processes. It turned out that the electromagnetic waves of that very energy band effectively interact with the ground and water surface irregularities and microstructures in the atmosphere, and the special aspects of this interaction help define many parameters of the events taking place on the Earth. ERS today includes many radiometers, scatterometers, and radio detectors.

In addition to the space means the ground-based observation stations are used in Russia and abroad where multiple experiments are conducted to test the theoretical assumptions.

As before, the ocean and the atmosphere, their interaction and influence on the climate remain the most important topic, but additionally we explore snow and ice covers, the degree of anthropogenic impact on the environment.

In 2002 the department was headed by Prof. Dr. Evgeny Sharkov, a prominent scholar in the field of Earth sciences and aerospace sensing. It was his proposal that the department started developing a new research field — remote examination of climatic processes on the Earth as well as influence of the multi-scale atmospheric disasters on the ocean-atmosphere interaction using the radio physical passive and active methods and means.

The department's staff members were participating in many research programs including those of the RAS Presidium, INTAS association, EU's Sixth and Seventh Framework Programs. In 2009–2013 the department received two fellowships of the Russian President for young scientists — candidates of sciences.

In addition to the ground problems the department is solving the space problems as well, the department's staff members were participating in *Phobos* (1986) and *Mars-94/96* (1996) projects and in the *Mars Surveyor'98* Program (NASA, 1998).

Laboratory of Modeling and Automation Processes (551). Head — Dr. Mikhail Raev

Since its foundation in 1992 as a structural division of the department till today the laboratory is headed by Dr. Mikhail Raev. The laboratory's staff members are conducting theoretical research and taking an active part in the experimental activities of the department.



Михаил Раев
Mikhail Raev

До 1993 г. эксперименты с комплексами приборов дистанционного зондирования: радиометров и скаттерометров — проводились в основном в акваториях морей Северного Ледовитого и Тихого океанов. С 1999 г. район экспериментальных работ был перенесён в Чёрное море — Голубую бухту (Геленджик), где находится база ЮО ИО РАН.

Основные направления исследований:

- разработка методов дистанционного зондирования для изучения поверхностных проявлений океанических процессов, в том числе модернизация используемой аппаратуры (улучшение параметров радиолокатора РЛС), повышение чувствительности и применение цифровых методов регистрации данных скаттерометров и радиолокаторов. Акцент сделан на разработке цифровых методов анализа различного типа данных дистанционного зондирования, в том числе и при обработке радиоизображений. Работы ведутся в тесном сотрудничестве с сотрудниками лаборатории подспутниковых экспериментов;
- использование данных приборов космического базирования для исследования поверхности Земли. С 1987 по 2014 г. были накоплены данные микроволновых приборов космической системы DMSP и создана база данных многоканальных радиометров космического базирования типа SSM/I, SSMIS и AMSR-E, разработаны специализированные программы обработки этих данных с целью изучения процессов энергообмена и массопереноса в системе океан-атмосфера, происходящих в широком диапазоне интенсивностей и с разными пространственными и временными масштабами. Данные вошли в созданную в отделе базу данных GLOBAL-RT и позволили разработать и реализовать в специализированных программах методики пространственно-временного формирования радиотепловых полей. С их помощью можно изучать пространственно-временную динамику различного рода климатических процессов, в том числе — динамику зарождения и развития различного рода циклонов.

Проекты, результаты

Созданная в отделе база многоканальных радиотепловых данных использована в работах по построению и исследованию физических моделей снежных и ледовых покровов. Были выявлены и детально проанализированы особенности пространственно-временной изменчивости залегания снежного покрова в отдельных регионах, в том числе Восточно-Европейской равнины и Сибири.

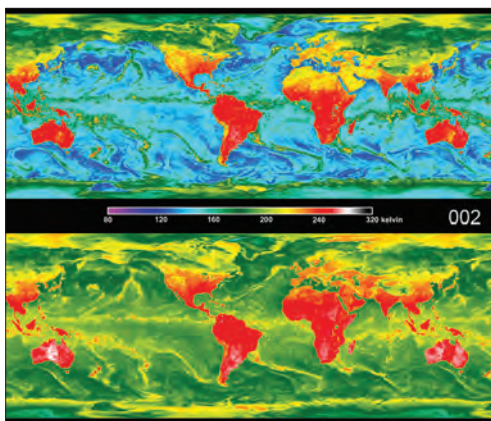
Until 1993 the experiments with remote sensing hardware — radiometers and scatterometers — were conducted mostly in the marine environments of the Arctic and Pacific Oceans. Since 1999 the area of experiments was moved to the Black Sea — Golubaya Bay (Gelendzhik) to the base of the Southern Branch of the RAS Shirshov Institute of Oceanology.

Research Areas

- development of remote sensing methods to study the surface manifestations of oceanic processes including upgrade of the applied hardware (improvement of the radar detector parameters), enhancement of sensitivity and application of digital methods of scatterometer and radio detector data recording. The focus is on the development of the digital methods for the analysis of various types of the remote sensing data including those for radio image processing. The activities are conducted in close collaboration with staff members of the Laboratory of Subsatellite Experiments;
- usage of the data from the space-based hardware to explore the Earth's surface. From 1987 through 2014 the data from the microwave hardware of the DMSP space system were collected and the database of space-based multichannel radiometers of type SSM/I, SSMIS and AMSRE was built up, special programs of data processing to study the energy exchange and mass transfer processes in the ocean-atmosphere system taking place in a wide intensity range and in various spatial and time scales were developed. The data were included into the GLOBAL-RT database established in the department and enabled to develop and implement methods of the space-time formation of the thermal radiation fields for special programs. These methods can be used to study the space-time dynamics of various kinds of climatic processes including the dynamics of various types of cyclones genesis and development.

Projects, and Results

The database of multichannel thermal radiation data established by the department was used during the work on the development and investigation of the physical models of snow and ice covers. The special aspects of space-time variability of the snow lying in different regions including the East European Plain and Siberia were found and analyzed in details.



Синтезированное радиотепловое изображение земной поверхности, полученное 2 января 2000 г. синтезом данных нескольких приборов SSM/I диапазона 19 ГГц на горизонтальной и вертикальной поляризациях

An image of the synthesized thermal radiation of the Earth's surface obtained on 2 January, 2000 through the synthesis of the data from several 19 GHz SSM/I instruments on the horizontal and vertical polarizations

Разработана модель эффективной диэлектрической проницаемости сухого и влажного снега, которая учитывает физические и структурные параметры среды, а также рассеяния излучения на неоднородностях среды, и разработана модель излучения слоистого снежного покрова.

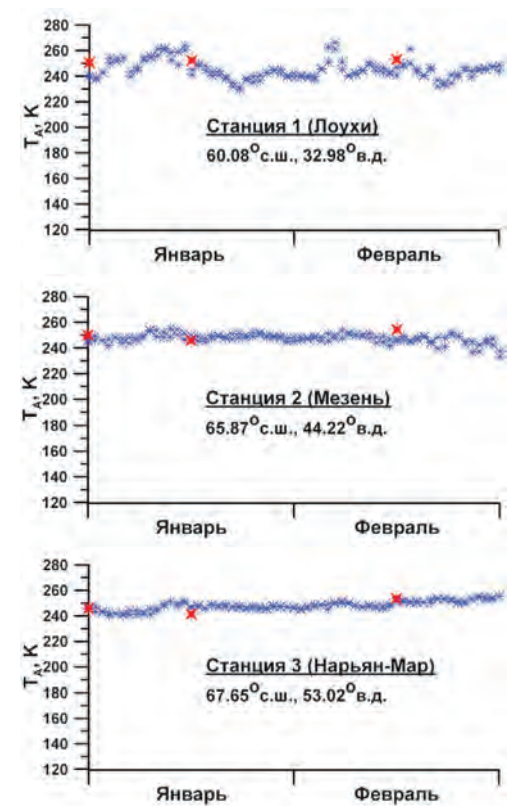
В лаборатории был выполнен обширный цикл работ по исследованию ледяных покровов полярных регионов методами спутниковой микроволновой радиометрии. По их итогам разработаны:

- модель эффективной диэлектрической проницаемости морского льда, учитывающая рассеяние излучения в среде;
- модель излучения системы морская поверхность — ледяной покров — снежный покров — атмосфера;
- комплексный алгоритм определения ледовой обстановки полярных регионов по данным спутниковой микроволновой радиометрии, или VASIA2 (Variation Arctic/Antarctic Sea Ice Algorithm 2), который позволяет, в отличие от общепринятого алгоритма NASATeam2 (США), определять не только сплочённость ледяного покрова, но и площадь снежниц, образующихся на поверхности льда в летний период.

The model of the effective dielectric permeability of dry and wet snow, which takes into account the physical and structural parameters of the environment as well as radiation scattering on the medium nonhomogeneity was developed and the model of radiation from the layered snow cover was developed.

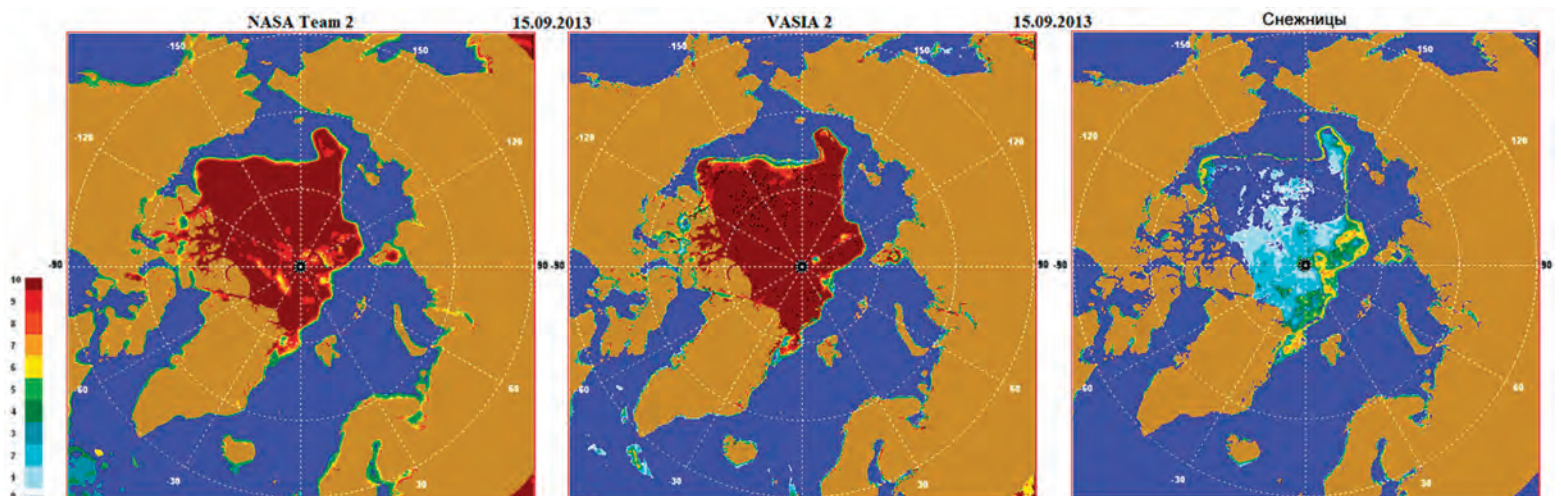
The laboratory has conducted a whole cycle of activities in exploration of the ice covers of the polar regions using the methods of satellite microwave radiometry. The following models were developed by the results of these activities:

- the model of effective dielectric permeability of the sea ice, which takes into account radiation scattering in a medium;
- the model of radiation of the ocean surface — ice cover — snow cover — atmosphere system;
- a comprehensive algorithm to determine the ice situation in the polar regions by the data of the satellite microwave radiometry or VASIA2 (Variation Arctic/Antarctic Sea Ice Algorithm 2) which enable, unlike the common NASATeam 2 algorithm (USA), to determine not only the ice cover compaction, but also the area of the melt water pools forming on the ice surface in summer.



Итог сопоставления экспериментальных данных (для ряда наземных станций наблюдения) и результатов расчётов, полученных по предложенным моделям. Синий цвет — данные SSM/I, красный — модельный расчёт

The result of experimental data comparison (for certain ground-based observation stations) with the calculated results obtained using the proposed models. Blue color marks the SSM/I data, red color marks the model calculation



Изображения сплочённости льда и площадь снежниц в Антарктике 15 января 2013 г., рассчитанные по алгоритму NASATeam2 и разработанному в ИКИ РАН алгоритму VASIA2. Для построения изображений были использованы данные GLOBAL-RT

Image of the ice compaction and melt water pools area in Antarctica on 15 January, 2013 calculated using the NASATeam2 algorithm and VASIA2 algorithm developed in IKI. GLOBAL-RT data were used to construct the images

Евгений Скворцов
Evgeny Skvortsov



Лаборатория подспутниковых экспериментов (552) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Евгений Скворцов)

Subsatellite Experiments Laboratory (552).
Head — Dr. Evgeny Skvortsov

До 2007 г. лабораторию возглавлял канд. физ.-мат. наук Михаил Григорьевич Булатов, много сделавший в становлении лаборатории и внёсший большой вклад в развитие комплексных микроволновых методов дистанционного зондирования.

Prior to 2007 the laboratory was headed by Dr. Mikhail Bulatov, who contributed much to the lab's foundation and to development of microwave remote sensing.

Основные направления исследований

- Разработка современных радиофизических средств и методов дистанционного зондирования;
- исследования характеристик морской поверхности методами микроволнового зондирования;
- верификация спутниковых данных.

Research Areas

- Development of the advanced radiophysical means and methods of remote sensing;
- research of the ocean surface characteristics using the method of microwave sensing;
- verification of the satellite data.

Проекты и результаты

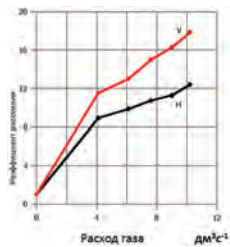
В 2001–2005 гг. основная проблема, на которой сосредоточилась лаборатория, заключалась в дистанционном обнаружении аварийных участков подводных газовых трубопроводов. Для её решения проводились натурные эксперименты, в ходе которых имитировались повреждения подводных газопроводов, а «отклик» поверхности наблюдался с помощью радиолокационно-радиометрического комплекса. В результате впервые были обнаружены микроволновые (радиолокационные и радиометрические) поверхностные проявления потока газа, исходящего из повреждённой трубы, и установлено, что радиотепловые контрасты (различия в радиояростной температуре между морской поверхностью, насыщенной пузырьками газа, и окружающей водой), могут достигать 16...17 К, а радиолокационные контрасты, или различия в интенсивности отражённых сигналов — величин 10...15 дБ. Таким образом, было показано, что с помощью аэрокосмических средств дистанционного зондирования можно надёжно обнаруживать разрушения подводных газопроводов и, что особенно интересно, — подводные природные газовых факелы, которые обычно указывают на газовые месторождения.

Projects and Results

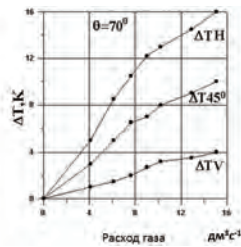
In 2001–2005 the primary problem being solved by the laboratory was the remote detection of the damaged parts of underground gas pipelines. To solve this problem, field experiments were conducted during which the damage of a subsea gas pipeline was simulated and the surface response was observed using the radio detection/radio metering suite. As a result, for the first time ever the microwave (radio detection and radiometric) surface manifestations of the gas flow going out of a damaged pipe were discovered and it was found that the radio-thermal contrasts (the difference in the brightness temperature between the ocean surface saturated with gas bubbles and the surrounding water) can reach 16...17 K and the radio detection contrasts, or the differences in the intensity of the reflected signals, can reach 10–15 dB. So it was shown that by means of the aerospace remote sensing instruments one can effectively detect damages of the subsea gas pipelines and, what is most interesting, subsea natural gas flames, which are usually indicators of the gas and oil fields in the off-shore regions.

The study of the intrinsic and scattered radiation from organic films on the water surface formed by the floating gas bubbles is a new field of laboratory research. As a part of the research it was shown by experiment that the flow of the floating gas bubbles is increasing the phytoplankton cell concentration in the surface water microlayer. This, in its turn, significantly weakens the capillary waves on the surface and changes the characteristics of the reflected signals within the microwave range.

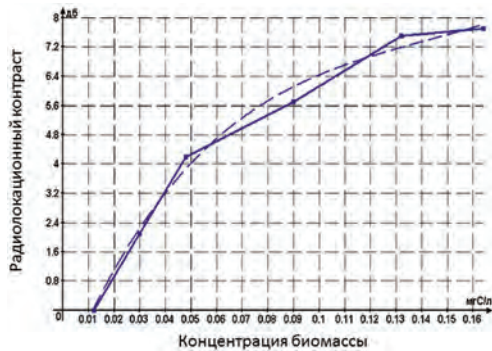
Исследования собственного и рассеянного излучения органических плёнок на водной поверхности, образованных всплывающими газовыми пузырьками, — новое направление работы лаборатории. В ходе исследований экспериментально показано, что поток всплывающих газовых пузырьков увеличивает концентрацию клеток фитопланктона в поверхностном микрослое воды. Это, в свою очередь, заметно ослабляет капиллярные волны на поверхности и меняет характеристики отражённых сигналов в микроволновом диапазоне.



Типичные зависимости радиолокационных и радиометрических контрастов на вертикальной и горизонтальной поляризации от расхода газа

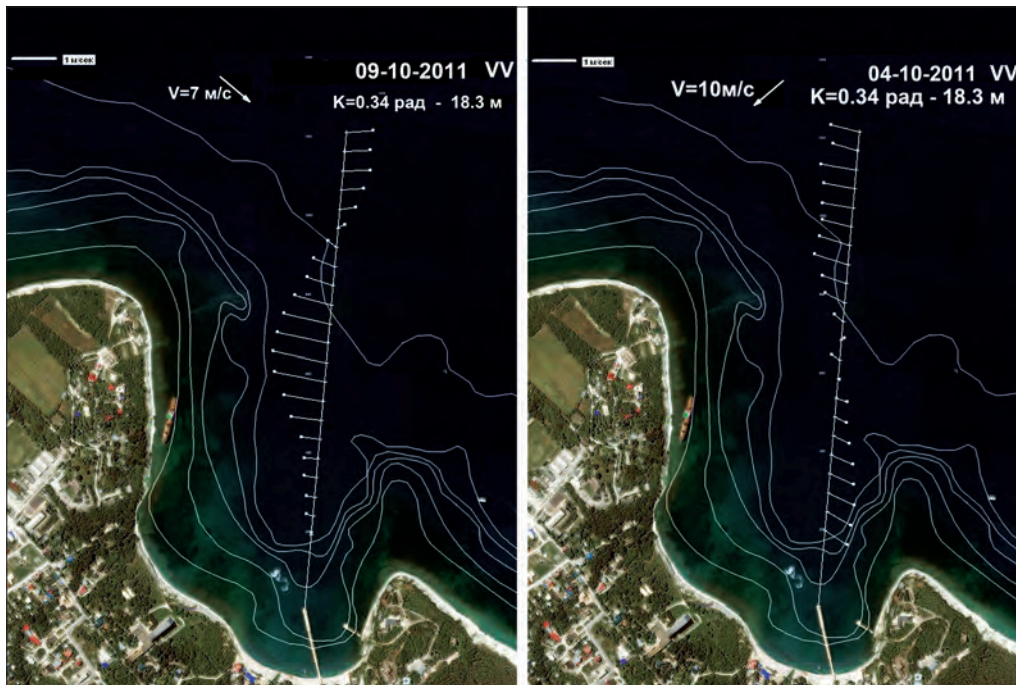


Typical dependencies of the radio detection and radiometric contrasts on the horizontal and vertical polarizations on the gas flow rate



Зависимость радиолокационного контраста от концентрации биомассы фитопланктона

A graph of radio detection contrast against phytoplankton biomass concentration



Карты, отражающие тонкую структуру течений в Голубой бухте (Геленджик), построенные с помощью нового комбинированного метода радиолокационных измерений при разных гидрометеорологических условиях

Maps showing a fine structure of the currents in Golubaya Bay (Gelendzhik) reconstructed using a new combined method of radar measurement under various hydro meteorological conditions

В лабораторных экспериментах исследовались условия образования, динамика развития и время распада плёнок, а также зависимость этих процессов от внешних условий и видового состава фитопланктона. С помощью скаттерометра 8-миллиметрового диапазона впервые в контролируемых условиях исследовалась связь величин радиолокационных контрастов и сдвигов доплеровских частот с физическими параметрами биологических плёнок.

В 2002–2008 гг. проходили натурные эксперименты по исследованию обрушения ветровых волн — одного из наиболее важных и наименее изученных (в статистическом и динамическом смысле) процессов в верхнем слое океана. Наблюдения проводились с помощью локатора ИКИ-2М. По радиоизображениям морской поверхности, представленным в координатах «время-дальность», были определены геометрические характеристики (линейные и площадные размеры) обрушений поверхностных волн, время жизни и скорости распространения обрушающихся волновых гребней. Все эти величины были впервые измерены микроволновыми методами. Эти данные очень важны для фундаментальных исследований, например, генерации турбулентности в верхнем перемешанном слое или скорости обмена газов через границу раздела воздух-море.

During the laboratory tests the conditions of formation, development and film decay period as well as the dependence of these processes on the external conditions and a phytoplankton species composition were studied. By means of the 8-mm scatterometer the connection of the radio detection contrasts and Doppler frequency shifts with the physical parameters of biological films was investigated for the first time.

In 2002–2008 field experiments were conducted in examination of the wind-generated waves collapse — one of the most important and least studied (in the statistical and dynamic terms) processes in the ocean's upper layer. The observations were conducted using the IKI-2M locator. By the radio images of the ocean surface presented in the time-distance coordinate system the geometric characteristics (linear sizes and area) of surface wave collapses, life, and distribution speed of the collapsing wave crests were discovered. All these values were measured first through the microwave methods. This data is very important for the fundamental research, for instance, of the turbulence boundary in the upper mixed layer or the speed of gas exchange across the air-sea interface.

Но, кроме этого, они же стали основой для разрабатываемого в настоящее время нового комбинированного метода радиолокационных измерений параметров поверхностных течений и топографии дна в прибрежной зоне. Его отличия от тех методик, которые применяются сегодня, — более высокая точность определения скорости и направления течений. Повышение точности таких измерений важно для обеспечения безопасности судоходства, при строительстве портовых сооружений, для охраны окружающей среды, а также при верификации спутниковых данных.

But additionally these values have become the basis for a new combined method of radio detection measurements of surface current parameters and bottom topography in the coastal region being currently developed. The difference of this method from the methods applied today is a higher accuracy of velocity measurement and currents direction. Improving accuracy of such measurements is of importance to ensure safe navigation, when constructing docking facilities, for environmental protection and when verifying the satellite data.

Алексей Кузьмин
Alexei Kuzmin



Лаборатория микроволновой радиометрии (553) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Алексей Кузьмин)

Laboratory for Microwave Radiometry (533).
Head — Dr. Alexei Kuzmin

Лаборатория микроволновой радиометрии была образована в 2002 г. До этого момента соответствующее подразделение возглавлял **Юрий Гаевич Трохимовский** (1957–2002), определивший ряд приоритетных направлений лаборатории. Юрий Гаевич пришёл в отдел дистанционного зондирования океана, который возглавлял В.С. Эткин, ещё студентом МФТИ. Пытливый ум, творческая активность, выдающиеся научные способности, умение увлечь своими идеями всегда отличали Ю.Г. Трохимовского, а работоспособность и оригинальность научного мышления сделали его истинным генератором идей, которые легли в основу многих проектов, экспериментов и экспедиций. Он был одним из разработчиков теории «критических явлений» в собственном тепловом излучении морской поверхности и отдал много времени и сил, чтобы подтвердить её экспериментально. Ю.Г. Трохимовский предложил новый метод дистанционной спектроскопии морской поверхности по микроволновым многочастотным радиометрическим измерениям в надир, а также метод восстановления спектра гравитационно-капиллярной части морского волнения по угловым микроволновым радиометрическим измерениям. Под его руководством экспериментально исследован эффект анизотропии морского волнения и на основе этого разработан метод дистанционного измерения скорости и направления ветра у морской поверхности.

The laboratory of microwave radiometry was founded in 2002. Up until that time the respective division was headed by **Yuri G. Trokhimovsky** who defined some priority fields of the laboratory. Yuri Trokhimovsky came to the department of the remote ocean sensing headed by V. S. Etkin while he still was a student of the Moscow Institute of Physics and Technology. Inquiring mind, creative efforts, outstanding research capabilities, ability to captivate others with his ideas always were the distinctive features of Yu. G. Trokhimovsky. And his commitment and distinction of scientific thinking made him a true generator of ideas which became the basis of many projects, experiments and expeditions. He was one of the developers of the critical phenomena theory in the intrinsic thermal radiation of the ocean surface and spent much time and effort to confirm this theory by experiments. Yu. G. Trokhimovsky proposed a new method of remote spectroscopy of the ocean surface through microwave multi-frequency radiometric measurements pointed at nadir and the method of reconstruction of the spectrum of the gravity-capillary part of the ocean disturbance by the angular microwave radiometric measurements. Under his direction the anisotropy effect of the ocean disturbance was examined by experiment and based on the results the method of remote measurement of the wind velocity and direction at the ocean surface was developed.

Сегодня основная задача лаборатории — разработка методик дистанционного зондирования океана и атмосферы Земли с помощью микроволновых радиометров. Для решения этой задачи необходимы и разработка новой радиометрической аппаратуры, и проведение исследований в области физики океана и атмосферы, распространения электромагнитного излучения через атмосферу и рассеяния его на шероховатой поверхности.

Today the laboratory's primary task is to develop the methods of remote sensing of the ocean and the Earth's atmosphere using the microwave radiometers. Both development of new radiometric hardware and research in the field of ocean and atmosphere physics, distribution of electromagnetic radiation through the atmosphere and its scattering along the uneven surface are required to solve this problem.

Ю. Г. Трохимовский
(26.07.1957–2.2.2002)
Yu. G. Trokhimovsky
(July 26, 1957 – February 2, 2002)



Основные направления

Дистанционные исследования поверхности океана:

- Исследование ветрового волнения на морской поверхности и его влияние на характеристики собственного излучения;
- дистанционное определение скорости и направление ветра;
- разработка методики определения спектра гравитационно-капиллярного волнения (ГКВ);
- дистанционное определение потоков тепла через границу океан-атмосфера;
- определение солёности и температура поверхности океана (ТПО).

Исследования атмосферы:

- Повышение точности определения интегрального содержания водяного пара и интегрального содержания капельной влаги;
- определение подробных профилей водяного пара и температуры атмосферы с высоким пространственным разрешением;
- определение интенсивности осадков.

Приборы, проекты, результаты

Разработка уникального метода дистанционного определения параметров спектра ГКВ — метода нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРРС) — можно отнести к основным достижениям последних десяти лет. Определение этой части спектра необходимо для решения фундаментальных задач, связанных с механизмами накачки и диссипации энергии от ветрового потока к поверхностному волнению, как часть механизма взаимодействия океана и атмосферы. Экспериментальные исследования с помощью метода НРРС проводились в рамках международных экспедиций CAPMOS'05 и CAPMOS'07 и подспутниковых экспериментов на Чёрном море (полигон ЮО ИО РАН, Геленджик, Россия; океанографическая платформа МГИ пос. Качивели, Крым). Анализ большого экспериментального материала позволит скорректировать существующие модели гравитационно-капиллярного волнения и разработать новую эмпирическую модель.

Research Areas

Remote sensing of the ocean surface:

- Study of the wind-generated waves on the ocean surface and their influence on the intrinsic radiation characteristics;
- remote wind velocity and direction measurement;
- development of the methods to measure the spectrum of the gravity-capillary disturbance (GCD);
- remote detection of the heat flows across the ocean-atmosphere boundary;
- measurement of salinity and ocean surface temperature (OST).

Atmospheric research:

- Improving the accuracy of measurement of the integral content of the water vapors and integral content of the condensed moisture;
- defining the detailed profiles of water vapors and atmosphere temperature with a high spatial resolution;
- measurement of the precipitation rate.

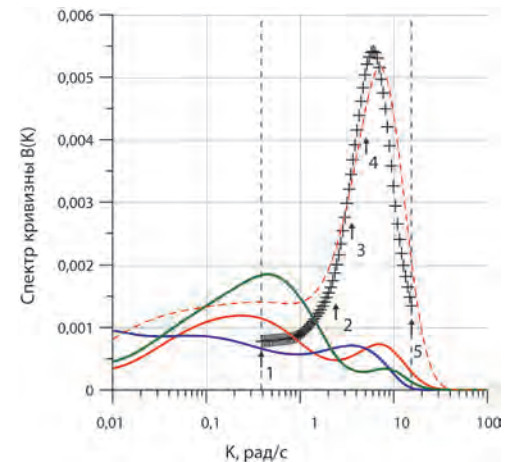
Instruments, Projects, Results

The development of the unique method of remote measurement of the GCD spectrum parameters — the method of nonlinear thermal radiation resonance spectroscopy (NRRS) — can be referred to the primary achievements of the last decade. Measurement of this part of the spectrum is required to solve the fundamental problems associated with the mechanisms of pumping and dissipation of energy from the wind flow towards the surface disturbance as a part of the mechanism of ocean-atmosphere interaction. The experimental research through the NRRS method was conducted within the framework of the CAPMOS'05 and CAPMOS'07 international expeditions and subsatellite experiments at the Black Sea (test ground of the Southern branch of RAS Shirshov Institute of Oceanology, Gelendzhik, Russia, the oceanographic platform of the Marine Hydrophysical Institute, Katsiveli settlement, Crimea). The analysis of a large experimental data will enable to correct the current models of the gravity-capillary disturbance and develop a new empirical model.

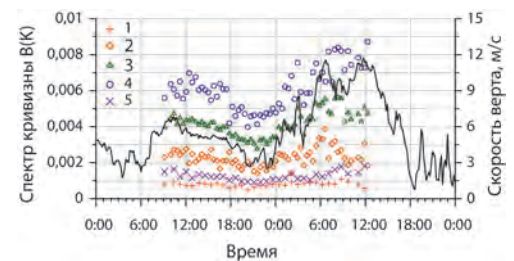
Радиометрический комплекс «Траверс», установленный на гидрофизической платформе на южной оконечности п-ова Крым близ пос. Качивели, с помощью которого были произведены измерения спектра кривизны морского волнения (1). В середине (2) — типичный спектр кривизны, цифрами от 1 до 5 выделены поверхностные составляющие, для которых на рисунке внизу (3) прослежено временное поведение в сравнении со скоростью приповерхностного ветра



1



2



3

Travers radiometric suite installed on a hydrophysical platform at the southern extremity of the Crimea peninsula nearby the Katsiveli settlement which helped to measure the spectrum of the curvature of ocean disturbance (1). Middle (2): a typical example of the curvature spectrum, figures from 1 to 5 mark the surface components for which the down image (3) shows the temporal behavior as compared to the surface wind velocity



Комплекс радиометров
при испытаниях

A radiometer suite during
the tests

Разработка прецизионных радиометров-поляриметров для проведения подспутниковых измерений завершилась созданием двух новых современных радиометров-поляриметров 8-мм диапазона и калиброванных широкоугольных излучателей к ним. Радиометры прошли успешные испытания на полигоне ЮО ИО РАН.

В теоретических разработках развивалась теория взаимодействия плоско-поляризованной монохроматической электромагнитной волны с синусоидальной морской поверхностью. Получено точное решение волнового уравнения на синусоидальной границе вода-воздух для произвольной поляризации. Граничные условия на периодической поверхности разлагаются в ряды Фурье по пространственным гармоникам, после чего приравниваются коэффициенты при одинаковых экспонентах. Это приводит к бесконечномерной системе линейных уравнений, которая решается с любой выбранной степенью точности, в силу её диагональной сходимости. На основе полученного решения проведены расчёты коэффициента поглощения, излучения и радиояркостной температуры морской поверхности в зависимости от различных параметров. Показаны резонансные особенности в коэффициентах излучения и поглощения. Максимальные эффекты связаны, как это и ожидалось, с вертикальной поляризацией излучения.

Разработан и введён в Долгосрочную программу космических экспериментов на российском сегменте МКС проект космического эксперимента «Конвергенция», целью которого является исследование основ зарождения и эволюции крупномасштабных кризисных атмосферных процессов типа тайфунов и тропических циклонов как одних из основных элементов в формировании глобального массо- и влагообмена в системе «океан-атмосфера». Задачи — измерения абсолютных радиояркостных температур системы атмосфера-океан тропиков в диапазоне 6–220 ГГц, определение детальных профилей температуры и влажности атмосферы, исследования по круглосуточному обнаружению всплеск молний, определение энергетических, пространственных и временных характеристик всплеск молний, зон грозовой деятельности.

Для эксперимента разрабатываются и устанавливаются сканирующий микроволновый радиометр-спектрометр (МиРС) и детектор молний (ДМ). Первый предназначен для измерения радиотеплового излучения атмосферы Земли и её поверхности в микроволновом диапазоне и представляет собой многоканальный радиометр панорамного типа обзора со сканированием пространства лучами, вращающимися вокруг направления в надир под постоянным углом $45 \pm 0,1^\circ$ (коническое сканирование) с периодом 1,29 с.

The development of high-precision radiometers-polarimeters for subsatellite measurements ended up in construction of two new advanced 8-mm radiometers-polarimeters and gaged wide-angle radiators for them. The radiometers have successfully passed the tests on the test ground of the Southern Branch of the RAS Shirshov Institute of Oceanology.

In the theoretical research the theory of the interaction of a linearly polarized monochromatic electromagnetic wave with a sinusoidal ocean surface was developed. An exact solution of the wave equation on a sinusoidal water-air interface for arbitrary polarization was obtained. The boundary conditions on a periodic surface are transformed as Fourier series by spatial harmonics and after that the coefficient are made equal at the same exponentials. This results in an infinite-dimensional system of linear equations which can be solved with any selected accuracy degree due to its diagonal convergence. Based on the obtained solution the calculations of the coefficient of absorption, radiation, and brightness temperature of the ocean surface depending on various parameters were made. The resonance peculiarities in the radiation and absorption coefficients were shown. The maximum effects are associated with, as expected, the radiation vertical polarization.

The *Konvergentsiya* space experiment (SE) was developed and included into a long-term program of experiments onboard Russian Segment of the ISS. Its goal is to study genesis and evolution conditions of large-scale crisis atmospheric processes like typhoons and tropical cyclones as one of the primary elements in the formation of the global mass and moisture exchange in the ocean-atmosphere system. The tasks of the experiment are: measurements of the absolute brightness temperatures of the tropic ocean-atmosphere systems within the 6–220 GHz range, measurement of detailed atmospheric temperature and humidity profiles, research in the field of 24-hour detection of flashes of lightning, measurement of energy, space and time characteristics of the flashes of lightning, regions of thunderstorm activity.

For the experiment a scanning microwave radiometer-spectrometer (MiRS) and a lightning detector (DM) are being developed and installed. The first one is designed to measure the radio thermal radiation of the Earth's atmosphere and its surface within the microwave band and is a multi-channel radiometer of the panoramic view type with the function of space scanning using the beams rotating around the direction pointed at nadir at the constant angle of $45 \pm 0,1^\circ$ (conical scanning) with 1.29-sec period.

При таком способе обзора поверхности Земли для высоты орбиты космического аппарата 450 км полоса обзора составит 810 км. Второй прибор предназначен для обнаружения вспышек молний в полосе захвата 680 км (формат кадра 680×550 км). Вспышки молний наблюдаются в надир.

Лаборатория аэрокосмической радиолокации (554) (руководитель — канд. физ.-мат. наук *Ольга Лаврова*)

Лаборатория аэрокосмической радиолокации была образована в 2002 г., и её деятельность продолжает научное направление, разработанное д-ром физ.-мат. наук, профессором В.С. Эткиным, — дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) радиофизическими методами. Основные научные направления деятельности — теоретическое и экспериментальное исследование динамических и волновых процессов в верхнем слое океана и в приповерхностной атмосфере на основе данных спутникового дистанционного зондирования.

За годы существования лаборатории её сотрудники в ходе выполнения целого ряда российских и международных проектов накопили уникальный опыт работы с разнообразной спутниковой информацией о состоянии морей и океанов и развили комплексный (многосенсорный и междисциплинарный) подход к исследованию Мирового океана на основе данных ДЗЗ.

Основу исследований составляют изображения морской поверхности, полученные при помощи радиолокаторов с синтезированной апертурой, а для их уверенной и надёжной интерпретации в лаборатории разрабатываются методики анализа всей совокупности информации, полученной с помощью приборов дистанционной диагностики, установленных на различных спутниках, специализированных на дистанционном зондировании Земли. Ключевым вопросом является возможность комплексного использования данных, различных по своей физической природе (активное и пассивное микроволновое зондирование, много- и гиперспектральные оптические и ИК-данные), пространственному разрешению и размерности.

Разработка физических основ выявления антропогенных загрязнений на морской поверхности — ещё одна из важных задач научных исследований лаборатории. Были разработаны основные критерии, позволяющие с высокой степенью достоверности выявлять нефтяные загрязнения на морской поверхности и отделять их радиолокационные сигнатуры от поверхностных проявлений других феноменов, например областей активного цветения водорослей, ветрового затишья и ледяного покрова.

With this method of Earth surface observation for a spacecraft 450-km orbit altitude, the swath width will be 810 km. The second instrument is designed to discover the flashes of lightning within the 680-km field of view (680×550 km frame size). The flashes of lightning are observed in the direction pointed at nadir.

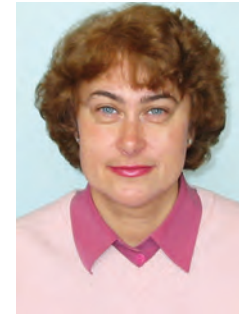
Laboratory of Aerospace Radio Detection (554).
Head — Dr. Olga Lavrova

The laboratory of aerospace radio detection was founded in 2002 and its activities continue the research line developed by professor V.S. Etkin — the Earth remote sensing through radiophysical methods. The primary lines of research are theoretical and experimental research of dynamic and wave processes in the ocean upper layer and in the surface atmosphere based on the data from the satellite remote sensing.

Over the years of laboratory existence its staff members have gained a unique experience in various satellite data on the seas and oceans conditions in the course of a series of the Russian and international projects and developed a complex (multi-sensor and interdisciplinary) approach to exploration of the world ocean based on the Earth remote sensing data.

The research framework includes images of the ocean surface obtained from the radio detectors with synthesized aperture, the laboratory is developing the analysis methods of the whole collection of the data obtained by the remote diagnostic instruments installed onboard various satellite intended for the Earth remote sensing for confident and reliable data interpretation. The key problem is the possibility of complex use of the data different in their physical nature (active and passive microwave sensing, multi- and hyper-spectral optic and IR-data), spatial resolution and units.

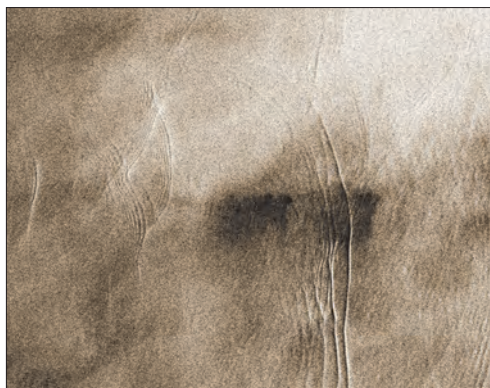
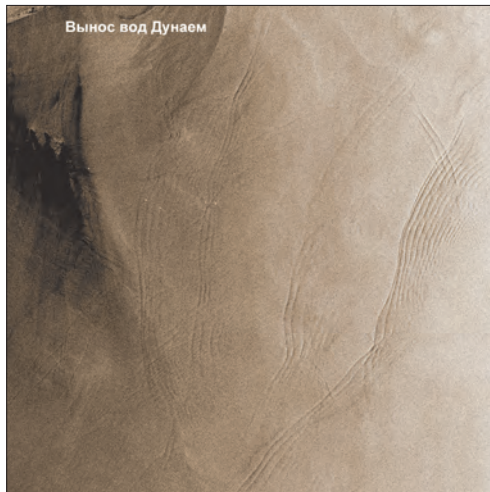
The development of the physical basics to find the anthropogenic pollution on the ocean surface is one more important problem of scientific research of the laboratory. The primary criteria were developed enabling to discover oil spills on the ocean surface with a very high degree of confidence and separate their radar signature from surface manifestations of other phenomena, for instance, from the regions of active algal bloom, wind standstill and ice cover.



Ольга Лаврова
Olga Lavrova

Посредством совместного анализа разнородных спутниковых данных были определены основные типы антропогенных и естественных плёночных загрязнений морской поверхности, характерные для Чёрного, Балтийского и Каспийского морей.

Совокупность накопленных экспериментальных фактов и теоретических моделей легли в основу развиваемой в настоящее время технологии экологического мониторинга состояния и загрязнения прибрежной зоны российских морей. Оно строится на детальном знании всей совокупности гидродинамических процессов, характерных для района мониторинга, так как загрязнения, попадая в морскую среду, становятся частью этой среды и развиваются вместе с ней под воздействием метеорологических и гидрологических факторов. Комплексный подход к оперативному спутниковому мониторингу нефтяного загрязнения морей России впервые был реализован на практике сотрудниками лаборатории совместно с коллегами из Института океанологии им. П. П. Ширшова и Геофизического центра РАН для района юго-восточной Балтики в 2004–2005 гг. Позже разработанные методики и накопленный опыт были использованы при проведении экологического мониторинга Балтийского, Чёрного, Азовского и Каспийского морей в 2004–2011 гг.



Проявление многочисленных цугов внутренних волн на радиолокационных изображениях ASAR Envisat (© ESA) вблизи дельты Дуная в Чёрном море (вверху) и в Каспийском море (внизу)

Display of multiple internal wave trains on the radar images from ASAR Envisat (© ESA) near the Danube Delta in the Black Sea (left) and in the Caspian Sea (right)

Результаты

1. Исследование циркуляционных и динамических процессов во внутренних морях России на основе комплексного использования спутниковой информации

Использование данных спутникового дистанционного зондирования морской поверхности существенно расширило наши представления о внутренних волнах в океане. В последнее время удалось выявить поверхностные проявления внутренних волн не только в хорошо изученных и подробно описанных в научной литературе районах Мирового океана, но и в замкнутых бассейнах: морях и больших озёрах. Наблюдаемые внутренние волны в бесприливном бассейне существенно менее интенсивны, чем их аналоги в океане или морях с приливами, но более разнообразны с точки зрения механизмов своего происхождения. Было выявлено, что механизмом генерации цугов интенсивных внутренних волн в бесприливном море могут служить выходы на шельф длинных внутренних волн — внутренних сейш и квазиинерционных внутренних волн, появляющихся, как правило, в послештормовую погоду. Выходящие на шельф длинные внутренние волны в бесприливном море играют ту же роль, что и внутренние приливы на шельфе океана. По мере распространения к берегу, они сначала претерпевают нелинейную эволюцию, превращаясь из

Through the joint analysis of the heterogeneous satellite data the primary types of the anthropogenic and natural film-type pollution of the ocean surface specific to the Black, Baltic, and Caspian Seas were defined.

The stock of the collected experimental facts and theoretical models has become the basis of the technology of ecological monitoring of the conditions and pollution of the coastal regions of the Russian seas being at the development stage now. It is based on the detailed knowledge of the whole range of hydrodynamic processes specific to the region of monitoring since the pollution, as it enters the marine environment, becomes a part of this environment and develops together with it under the influence of meteorological and hydrological factors. A comprehensive strategy for the on-line satellite monitoring of oil spills in the Russian seas was first implemented in practice by the laboratory's staff members together with their colleagues from the Shirshov Institute of Oceanology and RAS Geophysical Center for the region of Southeast Baltics in 2004–2005. Later the developed methods and the accumulated experience were applied when conducting an ecological monitoring of the Baltic, Black, Azov and Caspian Seas in 2004–2011.

Results

1. Research of the circulation and dynamic processes in the Russian internal seas based on the comprehensive utilization of the satellite information

Utilization of the data of the satellite remote sensing of the ocean surface has significantly expanded our ideas of the internal waves in the ocean. Recently, we were able to discover the surface manifestation of internal waves not only in the world ocean regions well-explored and described in the scientific papers but also in the enclosed basins: seas and large lakes. The observed internal waves in the tideless basins are substantially less intense than the similar waves in the tidal ocean or seas but considerably more diverse from their origin point of view. We found that long internal waves (internal seiches and quasi-inertial internal waves that usually appear in a post stormy weather) going out to the shelf can be the generation mechanism of intense internal wave trains in a tideless sea. The long internal waves going out to the shelf in a tideless sea are playing the same role as the internal tides on an ocean shelf. As they propagate towards the coast, they first undergo a nonlinear evolution and turn from quasi-sinusoidal into nonlinear waves and then generate the trains of soliton-like internal waves. Under the conditions of a narrow steep shelf the generation of waves with maximum amplitudes can be associated with local fronts of the surges

квазисинусоидальных в нелинейные волны, а затем генерируют пакеты солитоноподобных внутренних волн. В условиях узкого приглубого шельфа генерация волн максимальных амплитуд может быть связана с подходом в прибрежную зону локальных фронтов сгонно-нагонного происхождения, наблюдающихся в периоды снятия ветрового напряжения и восстановления нарушенной сгоном или нагоном стратификации. В условиях широкого шельфа возможна генерация интенсивных внутренних волн движущейся поверхностной интрузией распресненных прибрежных вод, как это регулярно наблюдается на придунайском шельфе Чёрного моря. Сотрудники лаборатории на основе спутниковых данных выявили ещё один новый механизм генерации внутренних волн в бесприливных морях, а именно — генерация волн нестационарным фронтом (движущимся и/или подверженным инерционным колебаниям), связанным с прохождением холодного вихря.

В последние годы большое внимание уделяется исследованию субмезомасштабных вихревых структур Чёрного, Балтийского и Каспийского морей с размерами от нескольких сот метров до нескольких километров. Данные процессы являются одним из важнейших элементов динамики вод, ответственных за интенсивное перемешивание, отличаются сильной изменчивостью во времени и пространстве, спонтанностью появления, неустойчивостью и коротким временем жизни.

На основе спутниковых данных высокого пространственного разрешения были выявлены основные механизмы генерации вихревых структур разных масштабов и определены районы их пространственной локализации в Чёрном, Каспийском и Балтийском морях. Был разработан метод реконструкции реальных полей поверхностных течений, позволяющий выявлять мезо- и мелкомасштабные структуры: вихри, диполи и мультиполюсы, струи, филаменты — и проводить оценки влияния динамических структур в прибрежной зоне моря на пространственно-временное распределение основных параметров загрязнения морской среды. Для верификации результатов, полученных на основе спутниковой информации, регулярно проводятся подспутниковые измерения реальных полей течений в прибрежных акваториях Чёрного и Балтийского морей.

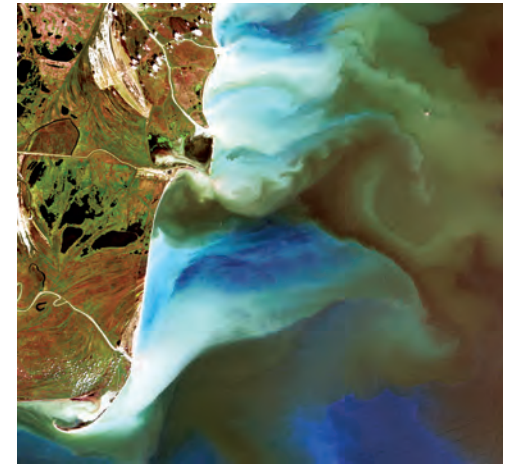
2. Разработка методики выявления антропогенных и естественных загрязнений морской поверхности и прогноза их распространения на основе данных спутникового зондирования

ing origin observed in the periods of wind stress release and stratification recovery disturbed by a negative or positive surge. Under the condition of a wide shelf, the generation of intense internal waves by a moving surface intrusion of the freshened coastal waters as it is often observed on the Danube-influenced shelf of the Black Sea is possible. The laboratory's staff members, based on the satellite data, have found one more mechanism of internal wave generation in tideless seas, namely, wave generation by a transient front (moving and/or subject to inertial oscillations) associated with a cold vortex passage.

In the recent years a lot of attention is paid to exploration of sub-mesoscale vortex structures of the Black, Baltic, and Caspian Seas of the size from several hundreds of meters up to several kilometers. These processes are one of the most important elements of dynamics of the waters responsible for rapid mixing, they feature high variability in time and space, spontaneous formation, instability and short life.

Based on the satellite data of high spatial resolution the primary generation mechanisms of vortex structures of various scales were discovered and the regions of their spatial localization in the Black, Caspian, and Baltic Seas were defined. We developed the method of reconstruction of actual fields of surface currents that enables to discover meso- and small-scale structures: vortices, dipoles and multipoles, streams, filaments, and to estimate the influence of dynamic structures in the coastal regions on the space-time distribution of the primary parameters of the marine environment pollution. To verify the results obtained from processing of the satellite data, subsatellite research of actual current fields in the off-shore strips of the Black and Baltic Seas is conducted on a regular basis.

2. Development of the methods of finding anthropogenic and natural pollution of the ocean surface and prediction of their distribution based on the satellite sensing data.



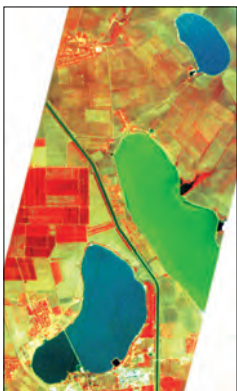
Проявление на цветосинтезированном изображении TM Landsat-5 (НАСА) вихревых структур и внутренних волн, которые сформировались на гидрологическом фронте, связанном с распространением распреснённых мутных вод Дуная

Display of vortex structures and internal waves formed on a hydrological front associated with propagation of Danube freshened muddy waters on a color synthesized image from TM Landsat-5



Результаты мониторинга нефтяного загрязнения Балтийского моря. Слева — сводная карта-схема нефтяных пятен в юго-восточной части Балтийского моря, выявленных в результате анализа данных спутниковой радиолокации в 2009–12 гг.; справа — распределение нефтяных пятен по различным районам

The results of the monitoring of the oil spill in the Baltic Sea. Left: General index map of oil spills in the southeastern part of the Baltic Sea found as a result of data analysis from the satellite radio detection in 2009–2012. Right: Distribution of oil spills by various regions



Пример распознавания различных типов вод в Перекопских озёрах по данным гиперспектрометра Hyperion

An example of recognition of various types of waters in the Perekop lakes based on the Hyperion hyperspectrometer data

На основе архива спутниковых данных за более чем 10-летний период было оценено экологическое состояние акваторий Чёрного, Каспийского и Балтийского морей, которые наиболее подвержены нефтяному загрязнению из-за широкомасштабного освоения запасов нефти и газа на морском шельфе, чему сопутствуют строительство и эксплуатация морских стационарных платформ, береговых терминалов, хранилищ углеводородов, прокладка подводных трубопроводов, сейсмические и буровые работы, рост судоходства и пр. По результатам анализа данных спутниковой радиолокации за 2009–2012 гг. для каждого моря составлены карты нефтяного загрязнения, определены межгодовая и сезонная изменчивость совокупной площади нефтяного загрязнения, пространственное распределение и пространственная изменчивость площадей нефтяных загрязнений для различных акваторий.

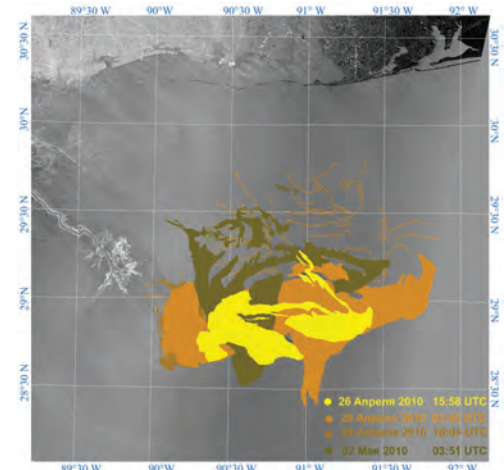
Новое направление исследований для лаборатории — использование данных спутниковых гиперспектральных сенсоров для выявления и распознавания различных типов вод в прибрежной зоне морей и во внутренних водоёмах. Интересные результаты были получены при решении задачи распознавания антропогенных загрязнений в различных частях залива Сиваш и в Перекопских озёрах по данным гиперспектрометров Hyperion (KA EO-1, NASA) и HICO (на борту МКС, NASA). Эти акватории используются либо как источники минерального сырья, либо служат отстойниками многочисленных заводов. В то же время они — зоны отдыха и разведения рыбы. Один и тот же водоём может быть разделён дамбой и использоваться для разных целей. Задачей спутникового экологического мониторинга является отслеживание ситуаций, когда загрязнённая вода попадает в более чистый резервуар.

Based of the archive satellite data for more than 10 years the ecological condition of the aquatic zones of the Black, Caspian, and Baltic Seas which are subject to oil spillage most due to a wide-scale development of the oil and gas deposits on the sea shelf accompanied with construction and operation of offshore fixed platforms, shore-based terminals, hydrocarbon storage facilities, submerged pipeline laying, seismic and drilling operations, shipping traffic increase, etc., was evaluated. By the results of the satellite radio detection data in 2009–2012 for each sea the maps of oil spillage were prepared, year to year and seasonal variations of the total area of oil spillage, spatial distribution, and spatial variations of the areas of oil spillages for various aquatic zones were defined.

The new profile of research for the laboratory is the use of satellite hyperspectral sensors for finding and recognizing various types of waters in the coastal zones of the seas and inland water reservoirs. Fascinating results were obtained while resolving the task of anthropogenic pollution recognition in different parts of the Syvash Lake and the Perekop lakes based on the data from the *Hyperion* and *HICO* hyperspectrometers. These aquatic zones are used either as sources of mineral raw materials or serve as holding ponds for multiple factories. At the same time, these are the recreation areas and areas for fish farming. The same water reservoir can be divided by a dam and used for different purposes. The objective of the satellite ecological monitoring is tracking the situations when the contaminated water goes into a cleaner reservoir.

Катастрофический разлив нефти в Мексиканском заливе. Слева: изображение нефтяного загрязнения с образовавшейся струёй 17 мая 2010 г. по данным MODIS на КА Terra (NASA, © MODIS Rapid Response Team); справа: композиция четырёх радиолокационных снимков ASAR Envisat, показывающая распространение нефтяного пятна с 26 апреля по 2 мая 2010 г.

A disastrous oil spillage in the Gulf of Mexico. Left: an image of the oil spillage with the formed stream on 17 May, 2010 from the data of MODIS Terra (©MODIS Rapid Response Team); right: a composition of four ASAR Envisat radio detection images showing the spillage distribution from 26 April through 2 May, 2010



Сотрудники лаборатории активно участвовали в проведении оперативных спутниковых мониторингов при катастрофических разливах нефтепродуктов: в Керченском проливе, при аварии танкера «Волгонефть-139» (11 ноября 2007 г.); в Мексиканском заливе, вследствие разрушения нефтяной платформы (21 апреля 2010 г.), в Гвинейском заливе, при аварии на морской нефтяной платформе Bonga (21 декабря 2011 г.). На основе всей совокупности доступных спутниковых данных проводился ежедневный мониторинг распространения нефтяной плёнки, оценивались площадь загрязнённой акватории, изучалась гидродинамическая обстановка в районе бедствия и делался прогноз дальнейшего распространения загрязнения. Полученные результаты опубликованы в российских и зарубежных монографиях.

Лаборатория климатических исследований (555) (руководитель — д-р физ.-мат. наук Евгений Шарков)

Лаборатория была образована в 2002 г., её деятельность развивает научное направление, предложенное её руководителем, — разработка научных основ и методов анализа глобальных спутниковых наблюдений радиофизическими методами для объективной оценки изменений окружающей среды и климата планеты.

По данным спутниковых наблюдений можно определить, сколько водяного пара (скрытое тепло) и воды (капельная фаза) содержится в атмосфере Земли, как она переносится, где «пролегают» основные «магистрали» энергии в системе океан-атмосфера, как зарождаются и развиваются тропические циклоны — один из важнейших элементов климатической машины Земли, которые одновременно наносят огромный ущерб технологической инфраструктуре многих государств. Тропический циклогенез — одно из важнейших направлений исследований в лаборатории, и, как было показано сотрудниками, именно тропические циклоны переносят огромную долю тепловой энергии и массы влажного воздуха на нашей планете в средние и высокие широты, обеспечивая таким образом достаточно комфортные условия жизни для человечества и животного мира.

Разработанные методики радиотеплового зондирования системы океан-атмосфера успешно применяются для научного прогноза изменений климатического состояния системы океан-атмосфера в Арктике и в тропической зоне под воздействием природных и космических факторов на основе современных и перспективных спутниковых комплексов. В их числе — программа DMSP, миссия TRMM, миссия Aqua, миссия GCOM-1A, миссия Megha-Tropiques.

The laboratory's staff members were taking an active part in the on-line satellite monitoring during disastrous oil spillages in the Kerch Strait, during the *Volgoneft-139* carrier accident (11 November 2007); in the Gulf of Mexico due to destruction of an oil platform (21 April 2010), in the Gulf of Guinea during the accident at the *Bonga* offshore oil platform (21 December 2011). Based on the whole body of circumstance of the available satellite data the daily monitoring of the oil film distribution was conducted, the area of the polluted aquatic zone was estimated, the hydrodynamic situation in the disaster area was studied and further pollution distribution was predicted. The obtained results were published in the Russian and foreign monographs.

Laboratory of Climatic Research (555). Head — Prof. Dr. Eugene Sharkov

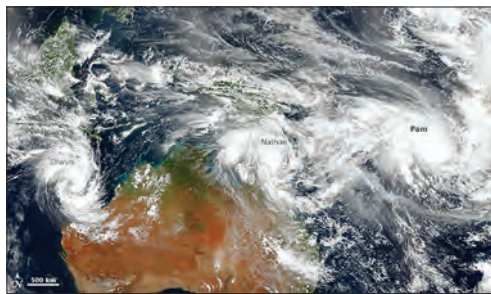
The laboratory was founded in 2002 and it is dealing with the scientific area proposed by its head — the development of scientific grounds and methods of analysis of the global satellite observations using the radio physical methods for objective evaluation of the planetary environment and climate.

By the data of the satellite observations the amount of water vapors (latent heat) and water (droplet phase) can be determined in the terrestrial atmosphere, how they are transferred, where the main energy lines in the ocean-atmosphere system are, how the tropic cyclones form and develop. The cyclones are one of the most important elements of the Earth's climatic machine which can significantly damage the industrial infrastructure of many countries. The tropic cyclogenesis is one of the most important research areas in the laboratory and, as the laboratory's staff members have shown, these are the tropic cyclones (TC) that transfer a significant amount of the thermal energy and mass of the humid air on our planet to the middle and high latitudes and thus providing adequately comfortable living conditions for humankind and wildlife.

The developed methods of the thermal radio sensing of the ocean-atmosphere system are applied successfully for the scientific prediction of the climatic condition changes in the ocean-atmosphere system in the Arctic region and in the tropic zone under the influence of the natural and space factors based on the modern and prospective satellite suites. These suites include, among others, DMSP program, TRMM mission, *Aqua* mission, GCOM-1A mission, and *Megha-Tropiques* mission.



Евгений Шарков
Eugene Sharkov



Комбинированное (мозаика) оптическое изображение Австралии и прилегающих экваторий Индийского и Тихого океанов в момент одновременного функционирования трёх тропических циклонов: Olwyn, Nathan и Pam (11 марта 2015 г.)

A combined (mosaic) optic image of Australia and the adjacent aquatic zones of the Indian and Pacific Oceans at the time of simultaneous action of three tropic cyclones: Olwyn, Nathan, and Pam (11 March, 2015)

Основные направления исследований

- Формирование научной многолетней базы данных глобального тропического циклогенеза GLOBAL-TC (1983–2014) на основе детального реанализа данных спутникового и контактного зондирования;
- развитие анимационных методов изучения циркуляционных свойств глобальных полей водяного пара в атмосфере Земли на основе данных спутникового радиотеплового зондирования (радиотепловидение);
- создание научной основы организации дистанционного мониторинга природных атмосферных катастроф, риска их генезиса и их последствий на основе данных спутникового микроволнового зондирования.

Research Areas

- Establishment of the scientific years-long database of global tropic cyclogenesis (GLOBAL-TC, 1983-2014) based on the detailed reanalysis of the data of the satellite monitoring and contact sensing;
- development of the animation methods to study the circulation properties of the global fields of water vapors in the Earth's atmosphere based on the data from the satellite thermal radio sensing (radio infrared imagery);
- establishment of the scientific grounds for remote monitoring of natural atmospheric disasters, risks of their genesis and their consequences based on the data from the satellite microwave sensing.

Приборы, проекты, результаты

В качестве примера представлена мозаика из комбинации ИК- и видимого изображений прибора VIIRS, размещённого на спутнике Suomi NPP (США). Мозаика получена в момент динамического удара трёх тропических циклонов одновременно по территории Австралии, причём один из них — ТЦ Pam — является одним из сильнейших ТЦ на планете за последние 10 лет. Скорость ветра в нём достигала 265 км/ч.

Projects, Results

As an example, we present a mosaic of the combination of an infrared and visible images from the VIIRS unit onboard the Suomi NPP satellite (the USA). The mosaic was obtained at the time of a simultaneous dynamic shock of three tropic cyclones on the Australian territory, and one of them — Pam TC — is one of the strongest TC's on the planet over the last ten years. The wind velocity in this cyclone was reaching up to 265 km/h.

Разработаны научные основы изучения изменчивости климатических глобальных параметров Земли и характеристик природных катастрофических атмосферных вихрей и явлений, происходящих в системе океан-атмосфера и оказывающих влияние на формирование климата планеты.

The scientific grounds to study the variability of the global climatic parameters and characteristics of the natural disastrous atmospheric vortices and phenomena in the ocean-atmosphere system affecting the planetary climate were developed.

Созданы научные основы проведения мониторинга и изучения глобального тропического циклогенеза как одного из климатообразующих факторов. В частности показано, что:

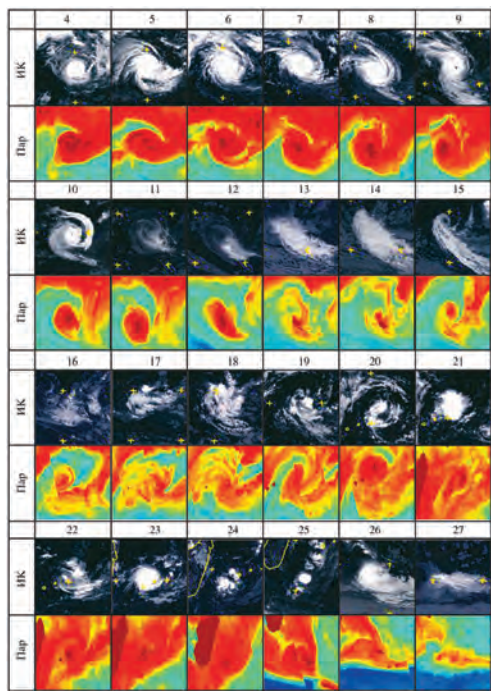
The scientific grounds to monitor and study the global tropic cyclogenesis as one of the climate forcing factors were established. In particular, it was shown that:

- необходимое условие генезиса ТЦ — наличие поля интегрального водяного пара выше 60 кг/м^2 . Иными словами, для зарождения циклона в атмосфере должно быть достаточное количество водяного пара;
- необходимое условие существования и интенсификации (усиления) ТЦ — наличие джетового моста с экваториальным материнским полем интегрального водяного пара;
- разрыв джетового моста приводит к немедленной диссипации ТЦ.

- a prerequisite of the tropic cyclone (TC) genesis is the presence of the field of the integrated water vapor of more than 60 kg/m^2 . In other words, a sufficient amount of water vapors shall be present in the atmosphere for the cyclone to form;
- a prerequisite of the tropic cyclone (TC) existence and intensification is the presence of a jet bridge with the equatorial parent field of the integrated water vapor;
- a breakup of the jet bridge results in the immediate dissipation of a TC.

В качестве примера показана временная эволюция ТЦ Hondo (4–27 февраля 2008 г.) в акватории Индийского океана в синхронных полях ИК-температуры и водяного пара. Загадочной особенностью эволюции этого ТЦ была его неожиданная диссипация (14.02.2008) и ещё более неожиданное восстановление (20.03.2008 г.).

As an example the time evolution of Hondo TC is shown (4–27 February, 2008) in the aquatic zone of the Indian Ocean within the synchronous fields of the IR-temperature and water vapor. A mysterious peculiarity of evolution of this type TC was its unexpected dissipation (02/14) and even more unexpected (03/20) recovery.



Временной ряд композиций (кадров) попарных изображений ИК-канала ИЗС Meteosat-7 (ЕКА) и поля интегрального водяного пара, приведённых к одинаковому масштабу и отображающих различные стадии эволюции и трансформации ТЦ Hondo и сопутствующих метеорологических систем за период 4–27 февраля 2008 г. Сроки наблюдения отображены цифрами над изображениями

A time series of the arrangement (frames) of pairs of the IR-channel images obtained from the Meteosat-7 satellite and the fields of the integrated water vapor brought to the same scale and reflecting the various stages of Hondo TC evolution and transformation and the concurrent meteorological systems over the period from 4 through 27 February, 2008. The figures above the images show the periods of observation

Причина всех этих эволюционных загадок оказалась в пространственных особенностях поля водяного пара.

Определена роль тропических циклонов в полярном переносе скрытой теплоты на планете. Анализ глобальных радиотепловых полей Земли из электронной коллекции GLOBAL-Field показал, что водяной пар и тепло переносятся из приэкваториальной атмосферы планеты в более высокие широты («полярный перенос») не меридиональной циркуляцией, а интенсивными горизонтальными движениями, вызванными тропическими циклонами, и атмосферными фронтами, имеющими большую горизонтальную протяжённость.

Создана методика спутникового радиотепловидения, состоящая в пространственно-временной интерполяции и анализе измеренных с полярно-орбитальных спутников радиотепловых полей Земли и восстановленных по ним полей геофизических характеристик. Методика позволяет получать динамическое описание эволюции рассматриваемых полей с рекордными параметрами на сегодняшний день: временной пиксель с шагом до 1,5 ч на глобальной регулярной географической сетке с шагом до $0,125^\circ$, что даёт возможность прямого расчёта физических величин, характеризующих аспекты массо- и энергопереноса в атмосферных системах с горизонтальными размерами от 100 км, развивающихся на суточных и более длительных интервалах времени.

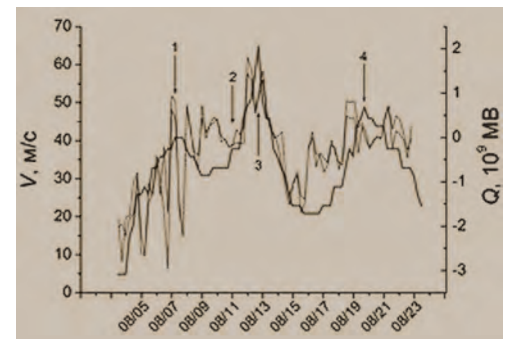
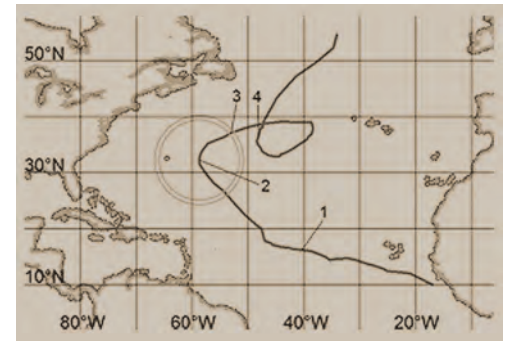
Совместный анализ синхронных пар полей водяного пара W и скорости ветра V позволяет выполнить расчёт адвективных потоков скрытого тепла Q через произвольно заданные границы (контуры), т. е. получить в замкнутой относительно входных радиотепловых данных расчётной схеме важную интегральную характеристику массо- и энергообмена процессов, наблюдаемых в системе океан-атмосфера. Таким образом, экспериментально доказано, что фазы интенсификации и диссипации ТЦ жёстко привязаны к изменению величины и знака потоков Q : интенсификация соответствует конвергентному (положительному, внутрь контура) потоку, а диссипация — дивергентному (отрицательному).

The reason of all these mysteries turned out to be in the spatial peculiarities of the water vapor field.

The role of tropic cyclones in the polar transfer of the latent heat on the planet was defined. The analysis of the global thermal radio fields from the GLOBAL-Field electronic collection has shown that the water vapor and heat are transferred from the near-equatorial atmosphere of the planet to higher latitudes (polar transfer) not by a meridional circulation but by intense horizontal motions induced by tropic cyclones and by atmospheric fronts having a longer horizontal extent.

The method of satellite thermal radio imagery consisting of a space-time interpolation and analysis of the Earth's thermal radio fields measured from the polar orbital satellites and fields of geophysical characteristics reconstructed by these measurements was created. Today this method enables to obtain a dynamic description of the evolution of the fields under investigation with the record parameters: a time pixel in increments of up to 1.5 hours on the global regular grid in increments of up to 1.125 degrees that enables the direct calculation of physical values characterizing the aspects of mass and energy transfer in the atmospheric systems having horizontal dimensions from 100 km and more developing at the 24-hour and longer intervals.

A combined analysis of the synchronous pairs of water vapor fields W and wind velocity V enables to calculate the advective currents of the latent heat Q using the arbitrarily assigned boundaries (outlines), that is to obtain an important integral characteristic of the mass and energy transfer processes observed in the ocean-atmosphere system within a computational pattern closed against the input thermal radio data. Thus, it was proven by experiment that the TC intensification and dissipation depend heavily on the value and sign reversal of Q currents: intensification corresponds to the convergent (positive, inward the loop) current and dissipation corresponds to the divergent (negative) current.



Пример расчёта потоков Q через систему концентрических круговых контуров, дрейфующих вместе с тропическим циклоном Alberto (август 2000 г.) в процессе его эволюции

An example of calculation of Q currents through the system of concentric circular loops drifting together with Alberto tropic cyclone (TC) (August 2000) in the course of its evolution

Георгий Арумов
Georgy Arumov



Сектор оптического зондирования (555.1)
(руководитель — канд. физ.-мат. наук
Георгий Арумов)

Методы лазерного зондирования, которые развивают сотрудники сектора, используются в изучении не только Земли, но и других планет Солнечной системы. Исследования велись, в основном, по двум направлениям. Первое — анализ элементного состава вещества по спектрам излучения лазерной плазмы, образующейся при воздействии лазерных импульсов на поверхность исследуемых образцов. Второе направление связано с разработкой миниатюрных лидаров для исследования атмосферы. В ИКИ эти методы получили развитие в научной группе Г. Арумова в отделе В. С. Эткина, преобразованной затем в лабораторию в отделе С. С. Моисеева и трансформированную в настоящее время в сектор оптического зондирования в отделе «Исследования Земли из космоса».

Параллельно с участием в космических проектах сотрудники разрабатывали методики дистанционного анализа состава поверхности по оптическим спектрам излучения лазерной плазмы. В работах, посвящённых повышению аналитических свойств лазерной плазмы, образующейся при воздействии мощных лазерных импульсов на поверхность исследуемых образцов, исследовано изменение контраста спектральных линий в зависимости от режима облучения. За счёт применения двухимпульсного облучения получено более чем 10-кратное увеличение контраста линий в эмиссионных спектрах лазерной плазмы.

«Земная» часть работ сектора касается, в первую очередь, лазерного зондирования атмосферы, в которых используются лидары — аналоги радаров, в которых источником излучения выступают лазеры. В космосе приоритетными задачами стали участие в разработке прибора ПМЛ (проекты «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс») и разработка предложений по пылевому комплексу (ПК) проекта «ЭкзоМарс».

Основные направления

- Развитие методики двухпозиционного лидарного зондирования атмосферы.
- разработка концепции лидара-нефелометра обратного рассеяния.
- участие в разработке прибора ПМЛ (проекты «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс»)
- участие в разработке Пылевого комплекса (ПК) проекта «ЭкзоМарс».

Sector of Optical Sensing (555.1). Head —
Dr. Georgy Arumov

Methods of laser sensing being developed by the division's staff members are applied for exploration of not only the Earth but for other planets as well. There were primarily two areas of research. The first one is the analysis of the elemental composition of a compound using the emission spectra of the laser plasma formed when the surface of samples under examination is treated with laser pulses. The second area is connected with the development of miniature lidars to explore atmosphere. In IKI these methods gained momentum in the scientific group of G. Arumov in the V.S. Etkin department later reorganized into a laboratory in the S.S. Moiseev department and now transformed into the sector of optical sensing in the department of Earth exploration from space.

Concurrently with participation in space projects the staff members were developing the methods of remote analysis of the surface composition using the visible spectra of the laser plasma emission. The works dedicated to improvement of the analytic properties of the laser plasma formed under the influence of powerful laser pulses on the surface of the samples under investigation the spectral lines contrast variation depending on the irradiation mode was studied. Due to application of a double-pulse irradiation, more than a tenfold increase of the line contrast in the emission spectra of the laser plasma was obtained.

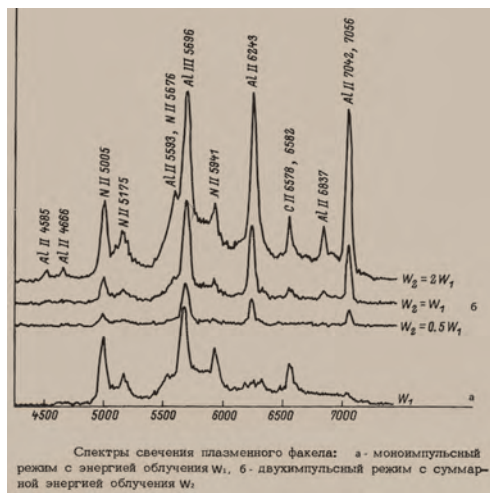
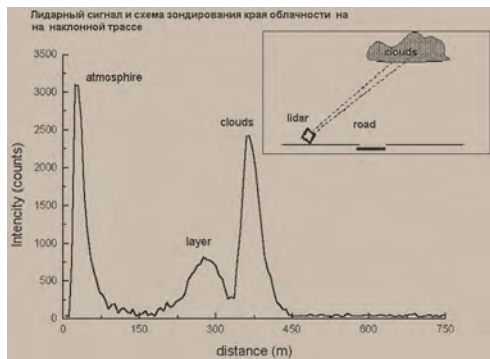
The ground part of the division's activities, first of all, relates to the laser sensing of the atmosphere using the lidars — the analog of radars where the lasers are the radiation sources. In the space the priority tasks were participation in the designing of the PmL instrument (*Luna-Glob* and *Luna-Resurs-Lander* projects) and development of proposals on the *ExoMars* dust suite.

Research areas

- Development of the methods of a two-position lidar sensing of the atmosphere;
- development of the concept of a backscatter lidar-nephelometer;
- participation in the development of the PmL instrument (*Luna-Glob* and *Luna-Resurs-Lander* projects);
- participation in the development of the *Exo-Mars* Dust Suit (DS).

Результаты калибровки лидара в наземных условиях

Calibration results of a lidar in the ground conditions



Увеличение контраста линий в эмиссионных спектрах лазерной плазмы

Increase of line contrast in the emission spectra of the laser plasma

Приборы, проекты, результаты

Разработана методика двухпозиционного лидарного зондирования. В отличие от схемы с одним приёмным каналом, предложенный метод двухпозиционного лидарного зондирования, особенность которого заключается в пространственном разнесении излучающего и двух (или нескольких в общем случае) приёмных каналов, позволяет определить трассовую зависимость перекрытия полей зрения приёмных каналов с зондирующим пучком. Показано, что двухпозиционный метод (в сочетании с использованием перфорированного экрана в приёмном канале) открывает возможность создания стандартного сценария дистанционных измерений размера и концентрации рассеивающих частиц в атмосфере. Метод, в отличие от традиционных лидарных методов, может применяться как для сферических полидисперсных, так и для несферических частиц.

В рамках разработки концепции лидар-нефелометра обратного рассеяния предложен метод модуляции лазерного зондирующего импульса, который даёт возможность измерения лидарного отношения (коэффициента обратного рассеяния к коэффициенту экстинкции) и, как следствие, определения трассовой зависимости коэффициента обратного рассеяния, знание которой необходимо для определения концентрации частиц.

В рамках институтских научных групп сотрудники сектора участвуют в разработках приборов для новых космических миссий. В частности: прибора ПмЛ, предназначенного для исследования плазменно-пылевой компоненты у поверхности Луны в проектах «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс» и пылевого комплекса посадочного аппарата проекта «ЭкзоМарс», предназначенного для изучения динамики пыли и аэрозоля в приповерхностном слое атмосферы Марса.

Наряду с участием в этих проектах, разрабатываются предложения по оптическим датчикам для исследования аэрозоля в атмосфере Венеры с помощью спускаемого аппарата перспективного проекта «Венера-Д» (приборы НЕФАС и НЕЛИДА).

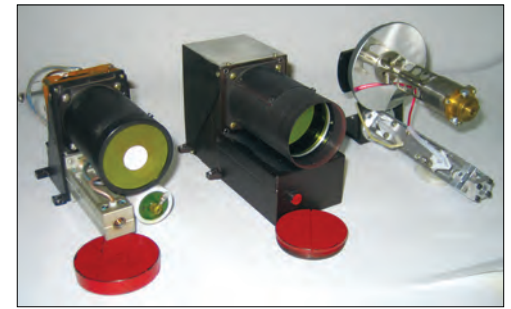
Instruments, Projects, Results

The method of two-position lidar sensing was developed. Unlike the layout with one reception channel the proposed method of two-position lidar sensing, featuring the spatial separation of the emitting and two (or several in the general case) reception channels, enables to define the route dependence of the overlapping reception channels fields of vision with the sensing beam. It was shown that the two-position method (together with the use of a perforated screen in the reception channel) gives an opportunity of developing a standard scenario of remote measurements of the size and concentration of the scattering particles in the atmosphere. This method, unlike the classic methods, can be used both for spherical polydisperse particles and for non-spherical ones.

Within the framework of the development of the backscatter lidar-nephelometer concept, the modulation method of a laser sensing pulse enabling to measure the lidar relation (backscattering index to extinction index) and, as a consequence, to define the route dependence of the backscattering index required to determine the particle concentration was proposed.

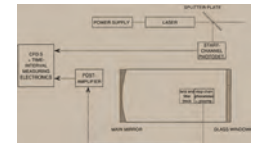
Within the framework of the Institute's scientific groups the division's staff members are participating in the development of the instruments for new space missions. In particular, the PmL instrument designed for exploration of the dust plasma component near the lunar surface for the *Luna-Glob* and *Luna-Resurs* projects and the Dust Suit (DS) of the *ExoMars* lander designed for investigation of the dust and aerosol dynamics in the near-surface layer of the Martian atmosphere.

Together with participation in these projects the sector is developing proposals on optic sensors to investigate aerosol in the Venusian atmosphere using the descending module of the prospective *Venera-D* project (NEFAS and NELIDA instruments).



Лазерные измерители рельефа и отражающей способности поверхности для аэростата проекта «Марс-94/96»

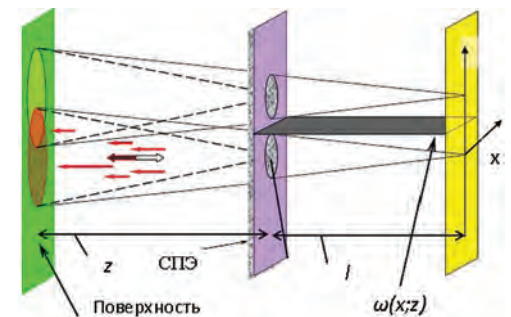
Laser meters of the terrain and the surface reflectance for the Mars-94/96 aerostat



Принципиальная схема прибора
Instrument schematic circuit

Лидар для спускаемого модуля Mars Polar Lander проекта Mars Surveyor 1998/99 (НАСА)

A lidar for the Mars Polar Lander of the NASA Mars Surveyor 1998/99 project



Двухпозиционная схема зондирования с двумя приёмными каналами
Two-position sensing layout with two reception channels

ОТДЕЛ ТЕХНОЛОГИЙ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

(56)
EARTH REMOTE SENSING
TECHNOLOGIES
DEPARTMENT
(56)



**Руководитель — д-р технич. наук
Евгений Лупян**
Head — Dr. Evgeniy Lupian

Отдел был образован в 2002 г. на базе сектора «Методы динамики сплошных сред в задачах космической физики». Его специализацией стало использование спутниковых данных для прикладных задач мониторинга — оперативной оценки с помощью космической информации состояния различных земных объектов: сельскохозяйственных угодий, лесов, рыболовецких судов и многих других.

Сотрудники работают с данными целого ряда спутников дистанционного зондирования, российских и зарубежных. Однако для того, чтобы выстроить систему мониторинга, нужно не только соответствующе обработать спутниковую информацию, но и довести её до потребителя в удобной форме, поэтому отдел сегодня ведёт и фундаментальные, и прикладные исследования. Результаты, которые получают сотрудники отдела, развивают сами технологии дистанционного зондирования Земли из космоса, благодаря чему информационные системы становятся оперативнее и информативнее и углубляют знания о состоянии нашей планеты.

Накопленные за более чем десятилетие архивы спутниковых данных и техническая инфраструктура, а также технологические и программные решения, методики анализа спутниковых данных легли в основу Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды (ЦКП «ИКИ-Мониторинг»).

За время существования отдела его сотрудники опубликовали 816 работ, в том числе 407 статей и книг.

Основные направления исследований

- Разработка методов, технологий, технических и аналитических средств исследований и мониторинга поверхности Земли, гидросферы, атмосферы и биосферы, а также различных антропогенных объектов и их влияния на окружающую среду;
- разработка методов и технологий построения автоматизированных систем дистанционного мониторинга природных и антропогенных объектов для решения фундаментальных и прикладных задач;
- проведение мониторинга состояния окружающей среды и различных объектов для исследования различных природных и антропогенных процессов на планете Земля;
- решение задач, связанных с развитием дистанционных методов изучения наземных экосистем, в том числе их эволюции под воздействием природных и антропогенных факторов.

The Department was founded in 2002 based on the Sector of the Continuous Media Dynamics Methods in the Space Physics. The Department mission is focused on the use of Earth observation data processing and analysis technologies for an on-line evaluation of various Earth objects: cultivated lands, forests, fishing vessels, and many others.

The staff members are working with the data of the variety of remote sensing satellites, both Russian and foreign ones. But to build up the monitoring system it is required not only to process the satellite information but also to bring it to the consumer in a convenient form. The Department mission is focused on the use of Earth observation data processing and analysis technologies for the department is conducting both fundamental and applied research. The results obtained by the department's staff members are developing the actual technologies of the Earth remote sensing from space thereby the information systems are getting more on-line and meaningful and deepen the knowledge of the our planet's state.

The archives of the satellite data collected for more than ten years and technical infrastructure as well as technological and program solutions, methods of satellite data analysis provided the basis for the IKI Center for Collective Use of Satellite Data Archiving, Processing, and Analysis to resolve the problems of environment exploration and monitoring (TsKP IKI-Monitoring).

Throughout the department's existence its staff members prepared 816 publications including 407 articles and books.

Research areas

- Development of the methods, technologies, technical, and analytic means of research and monitoring of the Earth's surface, hydrosphere, atmosphere, and biosphere as well as various anthropogenic objects and their influence on the environment;
- development of the methods and technologies of building automated systems of remote monitoring of natural and anthropogenic objects for fundamental and applied problems;
- monitoring of the state of environment and various objects for investigation of various natural and anthropogenic processes on the Earth;
- terrestrial ecosystems dynamics study under the influence of natural and anthropogenic factors.

Лаборатория технологий мониторинга подвижных объектов (561) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Владимир Пырков)

- Разработка методов, технологий и систем дистанционного мониторинга подвижных объектов;
- фундаментальные и прикладные исследования в области изучения окружающей среды и водных биологических ресурсов с использованием современных методов дистанционного мониторинга;
- создание, внедрение и поддержка специализированных систем дистанционного мониторинга водных биологических ресурсов.

Лаборатория информационной поддержки космического мониторинга (562)

(руководитель — канд. физ.-мат. наук Алексей Мазуров). Сектор ресурсов коллективного пользования (562.1) (руководитель — канд. техн. наук Андрей Прошин)

- Разработка физических основ, методов, технологий и систем для автоматизированного сбора, обработки, анализа и распространения спутниковых данных и результатов их обработки;
- создание и ведение долговременных архивов данных наблюдений за состоянием окружающей среды для решения научных и прикладных задач;
- разработка новых методов и систем для работы с распределёнными информационными ресурсами о состоянии окружающей среды для решения фундаментальных и прикладных задач;
- создание, внедрение и поддержка специализированных систем дистанционного мониторинга.

Задача сектора ресурсов коллективного пользования, который входит в состав лаборатории, — поддержка и развитие Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг».

Лаборатория спутникового мониторинга наземных экосистем (563) (руководитель — д-р техн. наук Сергей Барталёв). Сектор спутникового мониторинга продуктивности земель (563.1) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Дмитрий Плотников)

- Разработка физических основ и методов обработки дистанционных наблюдений для получения различных характеристик состояния наземных экосистем;
- разработка методов и технологий картографирования растительного покрова с использованием данных спутниковых наблюдений;

Mobile Objects Monitoring Technologies Laboratory (561). Head — Dr. Vladimir Pyrkov

- Development of the methods, technologies, and systems of remote monitoring of the mobile objects;
- fundamental and applied research in the field of aquatic environment and biological resources study using the advanced methods of remote monitoring;
- construction, implementation, and maintenance of special systems for the monitoring of aquatic biological resources.



Владимир Пырков
Vladimir Pyrkov

Information Support of Remote Sensing Laboratory (562). Head — Dr. Alexei Mazurov. Collective Use Resources Sector (562.1).

Head — Dr. Andrey Proshin

- Development of the physical basis, methods, technologies, and systems for automated collection, processing, analysis, and distribution of the satellite data and the results of their processing;
- establishment and support of the long-term archives of the processed data on the state of environment for resolution of the scientific and applied problems;
- development of new methods and systems for operations with the distributed information resources on the state of environment for resolution of fundamental and applied problems;
- design, introduction, and support of special systems of remote monitoring.

The laboratory is supporting also the Center for Collective Use *IKI-Monitoring*.



Алексей Мазуров
Alexei Mazurov



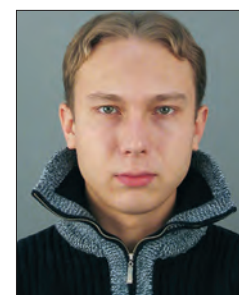
Андрей Прошин
Andrey Proshin

The Terrestrial Ecosystems Monitoring Laboratory (563). Head — Dr. Sergey Bartalev. The Land Productivity Monitoring Sector (563.1). Head — Dr. Dmitri Plotnikov

- Physical basis for the Earth observations data processing methods to retrieve terrestrial ecosystems characteristics;
- methods and technologies of the vegetation cover mapping using the Earth observation data;



Сергей Барталёв
Sergey Bartalev



Дмитрий Плотников
Dmitri Plotnikov

- исследование процессов динамики наземных экосистем с помощью технологий спутникового мониторинга;
- создание и ведение долговременных архивов данных о состоянии наземных экосистем, полученных на основе технологий дистанционного мониторинга;
- участие в создании, внедрении и поддержке специализированных систем дистанционного мониторинга.

Задача сектора спутникового мониторинга продуктивности земель в составе лаборатории — разработка методов и технологий дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель, в том числе для решения задач рационального землепользования.

Основные результаты

Разработка адаптивных методов обработки спутниковых данных

Основная отличительная черта методов тематической обработки спутниковых данных — возможность использовать их на больших территориях национального, континентального и глобального охвата. При этом необходимо, чтобы они обеспечивали как возможность высокого уровня автоматизации обработки спутниковых данных, так и адаптивность разрабатываемых алгоритмов и методов к различным временным и пространственным условиям наблюдения. Именно пространственно-временная адаптивность позволяет использовать эти методы без дополнительной «ручной» настройки параметров в широком диапазоне меняющихся физических характеристик наблюдаемых объектов и условий спутниковых наблюдений.

Принципиально новые возможности в развитии подобных подходов открыл разработанный в отделе метод локально-адаптивной классификации **LAGMA**. В его основе лежит принцип пространственной локализации процессов обучения классификатора и распознавания наблюдаемых объектов. Этот принцип позволяет обеспечить адаптивность классификатора к пространственным изменениям физико-географических условий местности как одно из важнейших требований, предъявляемых к методам обработки спутниковых данных на глобальном уровне. В отличие от ранее известных подходов методу **LAGMA** генетически присущ механизм учёта пространственной изменчивости спектрально-отражательных характеристик (или любых других признаков распознавания) типов земного покрова. Благодаря этому появляется возможность унифицированного картографирования растительного покрова больших территорий без предварительной стратификации, и, как следствие, метод **LAGMA** можно эффективно использовать

- terrestrial ecosystems dynamics using the Earth observation technologies;
- long-term data archives on the terrestrial ecosystems state developed based on the remote sensing technologies.

The Land Productivity Monitoring Sector within the laboratory is focusing on the development of the methods for the agricultural lands remote sensing.

Main Results

Development of adaptive methods for Earth observation data processing

The distinctive feature of the Earth observation data is an opportunity to use them for large territories mapping and monitoring at national, continental-wide, and global levels. Mapping and monitoring of large territories require high-level automation of remote sensing data processing and the algorithms adaptability to observational conditions. It is the space-time adaptability that enables to utilize these methods without additional manual setup of the parameters in a wide range of changing physical characteristics of the observed objects and conditions of satellite observations,

New opportunities in the development of such approaches were open by the **locally adaptive classification method LAGMA** (Locally Adaptive Global Mapping Algorithm). It is based on the principle of spatial localization of the processes of classifier training and observed objects recognition. This principle enables to provide the classifier's adaptability to the spatial changes of the physical and geographical local conditions as one of the most important requirements imposed to the methods of satellite data processing at the global level. Unlike previous approaches, **LAGMA's** specific feature is the accounting instrument of spatial variability of the spectral reflectance characteristics (or other recognition criteria) of the type of land cover. Due to this method we have an opportunity of unified mapping of the vegetation cover on large territories without a prior stratification and, as a consequence, **LAGMA** method can be applied efficiently for plotting the vegetation cover maps of any, even global, geographical coverage.



Карта растительного покрова России TerraNorte RLC по данным MODIS

A map of the Russia's vegetation cover TerraNorte RLC obtained from MODIS

для создания карт растительного покрова любого, вплоть до глобального, географического охвата.

На основе разработанного метода сегодня создана серия тематических карт России, отражающих основные типы растительного покрова, породный состав и биомассу лесов, пространственное распределение пахотных земель.

Спутниковое картографирование наземных экосистем

Благодаря спутниковому картографированию наземных экосистем и, в частности, растительного покрова человечество стало получать самую актуальную информацию о состоянии окружающей среды, что было невозможно ещё десятилетия назад. Сегодня мы можем по-новому взглянуть на различные процессы, происходящие в экосистемах, своевременно обнаруживать и интерпретировать процессы, происходящие при достаточно быстрых глобальных изменениях климата и окружающей среды.

В последние годы в отделе были созданы принципиально новые технологии такого картографирования, позволяющие во многих случаях ежегодно получать информацию практически по всей территории Северной Евразии. В частности, совместно с партнёрами создан и постоянно актуализируется ряд уникальных карт растительного покрова России, отражающих пространственное распределение основных типов растительности, породный состав и биомассу (объёмы стволовой древесины) лесов.

Today, based on the LAGMA method a series of thematic maps of Russia was developed with focus on the land cover, forest species composition, and biomass, arable lands, and crop types.

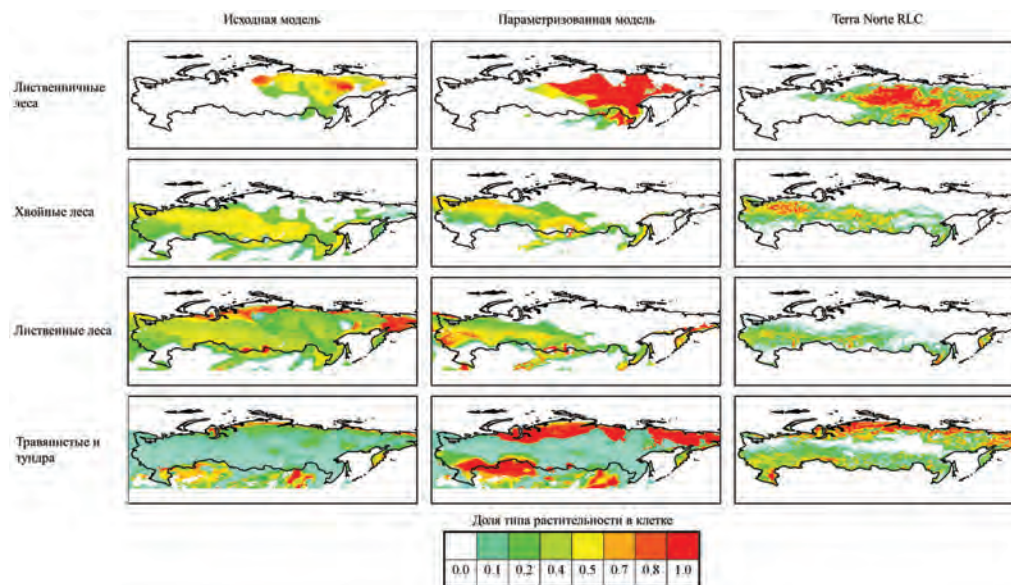
Terrestrial Ecosystems Mapping

Actual information on environment is currently received through terrestrial ecosystems mapping using satellite data, in particular, land cover, which was not possible even a decade ago. Today we have a new look at the different processes in ecosystems, timely detect and interpret the processes taking place under a sufficiently rapid changes of global climate and environment.

In recent years, the Department created fundamentally new mapping technologies, allowing to receive information annually for the entire territory of the Northern Eurasia. In cooperation with partners a series of unique land cover maps for Russia, reflecting the spatial distribution of main vegetation types, tree species, and biomass (volume of stem wood) of forests has been developed and annually updated.

Сравнение распределения растительности по данным исходной и регионально параметризованной модели с картой растительного покрова России

Comparison of distribution of vegetation according to original and parameterized models and regional land cover map of Russia



Ярким примером возможностей разработанных в отделе подходов стала серия карт растительного покрова России **TerraNorte RLC**, ежегодно с начала настоящего столетия создаваемые на основе данных MODIS с пространственным разрешением 230 м. Эти карты включают 22 тематических класса, 18 из которых характеризуют различные типы растительности, выделенные с учётом их жизненных форм, типов вегетативных органов и фенологической динамики.

Разработка новых прогностических моделей, ориентированных на ассимиляцию данных дистанционного зондирования

Один из потенциально эффективных инструментов прогноза динамики биосферы в условиях изменений климата — глобальные динамические модели растительного покрова, предназначенные для воспроизведения пространственного распределения различных его типов в масштабах планеты. Такого рода модели всё более широко применяются в исследованиях биогеохимических циклов и процессов обмена энергией между наземными экосистемами, атмосферой и другими компонентами геосистемы. В последние десятилетия появились принципиально новые возможности получения информации о природных и антропогенных объектах на основе спутниковых данных. Соответственно, резко возросла потребность в моделях, способных ассимилировать данную информацию.

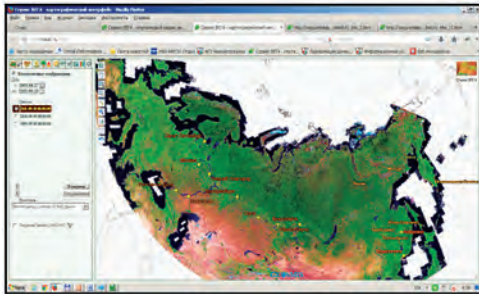
Работы по созданию таких моделей были начаты в отделе в 2010 г. Сегодня разработанные подходы позволяют ассимилировать

Good example of developed in the Department approaches are the series of land cover maps of Russia **TerraNorte RLC**, updated annually since the beginning of this century based on MODIS data with spatial resolution of 230 m. These maps include 22 thematic classes, 18 of which characterize different types of vegetation, classified with account to their life forms, leaves types, and phenological dynamics.

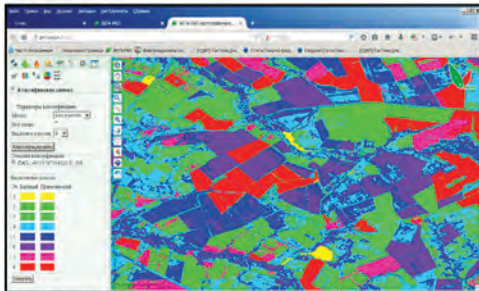
Development of New Predictive Models Based on Remote Sensing Data Assimilation

One of potentially effective tools to forecast the dynamics of the biosphere under climate change are global dynamic models of vegetation for reproducing of different types of its spatial distribution on a global scale. Such models are increasingly used in studies of biogeochemical cycles and processes of energy exchange between terrestrial ecosystems, atmosphere, and other components of geosystems. In recent decades there are fundamentally new opportunities for retrieval of information on natural and man-made objects on the basis of satellite data. And the demand for models to assimilate the information sharply increases.

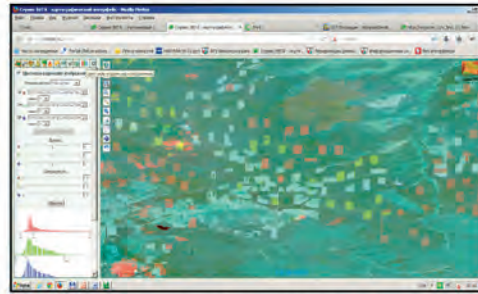
Works on the creation of such models were launched in the Department in 2010. Nowadays developed approaches allow assimilating the results of satellite data processing into various mathematical models and specify their parameters by optimization methods. In particular, assimilation of land cover map of Russia into the SEVER global dynamic vegetation model allowed to conduct its regional parametrization



Выбор нужного региона и проекции



Возможность проведения классификации



Возможность анализа разновременных данных



Анализ рядов данных в различных точках

Возможности построения различных интерфейсов для удалённого анализа данных

Potential of constructing of various interfaces for remote data analysis

результаты обработки спутниковых данных в различные математические модели и уточнять их параметры методами оптимизации. Так, в частности, ассимиляция карты растительного покрова России в глобальную динамическую модель растительности SEVER позволила выполнить её региональную параметризацию и, как следствие, качественно повысить достоверность восстановления географического распределения функциональных типов растительности на территории страны.

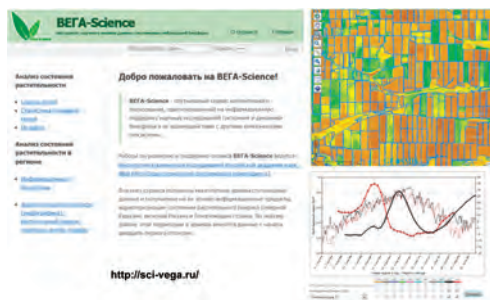
Создание технологий распределённой работы со сверхбольшими архивами спутниковых данных для решения научных и прикладных задач

Быстрый рост возможностей современных спутниковых систем привёл к взрывному росту получаемой ими информации. Сегодня на орбите работают уже почти полторы сотни спутниковых систем, оперативно получающие огромные объёмы информации о состоянии окружающей среды, природных и антропогенных объектов. Архивы накопленных данных в различных центрах уже давно перевалили за петабайтные рубежи. Естественно, что, когда данных так много, необходимы принципиально новые подходы к работе с ними. Фактически в настоящее время необходимо создать такие технологии, которые позволили бы специалистам в области дистанционного зондирования свободно удалённо оперировать с информацией, физически находящейся в различных центрах.

and as a result, qualitatively improve the accuracy of recovery of geographical distribution of functional vegetation types within the country.

Development of Technologies of Distributed Work with Extra-large Archives of Satellite Data for Scientific and Applied Issues

The increasing potential of modern satellite systems led to accelerated growth of information they received. Today, there are nearly a hundred and fifty satellite systems operating on orbit received huge volume of information on environmental condition, natural and anthropogenic objects. Archives of accumulated data in different centres have exceeded petabyte scale. And if there are a lot of data, so new approaches should be developed for their processing. At present it is necessary to create technologies that allow remote sensing experts to operate the information located in different centres distantly. Thus the main task is not only a search of required data and their acquisition, but rather a creation of special tools for processing and analysing the required data sets using the distributed computational resources.



Спутниковый сервис «VEGA-Science»

VEGA-Science Satellite Service

При этом основной задачей становится не столько организация поиска необходимых данных, для их последующего физического получения, сколько создание специальных инструментов, которые могли бы позволить обработать и проанализировать необходимые наборы данных с использованием распределённых вычислительных ресурсов.

Работы по созданию элементов таких технологий были начаты в ИКИ РАН в начале двухтысячных годов. К настоящему времени в отделе создана уникальная технология GEOSMIS, позволяющая создавать распределённые инструменты работы со спутниковой информацией в интересах различных научных и прикладных систем дистанционного мониторинга. Данная технология активно используется при создании и развитии различных информационных систем, примеры которых приведём ниже.

Создание и поддержка специализированных информационных систем дистанционного мониторинга, ориентированных на решение научных задач

Система «VEGA-Science»

Проект «VEGA-Science» — создание на единой технологической платформе информационных сервисов, которые обеспечивают пользователям возможность удалённой работы с данными спутниковых наблюдений, результатами их обработки и сопутствующей информацией для решения задач мониторинга возобновляемых биологических ресурсов. ВЕГА реализует концепцию геопространственного веб-сервиса, собирающего спутниковую и другую географическую информацию из различных источников и дающего пользователям по всему миру доступ к ней практически в режиме реального времени.

«VEGA-Science» — спутниковый сервис, ориентированный на информационную поддержку научных исследований состояния и динамики биосферы. С его помощью можно анализировать состояние и динамику растительного покрова на всей территории Северной Евразии с начала XXI столетия, в том числе с использованием временных рядов вегетационных индексов, получаемых для любой отдельной точки региона или заданного пользователем полигона. Поскольку этот сервис ориентирован в первую очередь на исследователей, то условие работы с ним — согласие пользователя на свободное предоставление введённой им в систему информации для всех пользователей сервиса для решения научных задач.

В настоящее время возможностью работы с системой VEGA-Science пользуются специалисты более 20 научных и учебных организаций для выполнения различных научных проектов.

The works to develop elements of these technologies started in IKI at the beginning of 2000's. To date a unique GEOSMIS technology has been created in the Department, allowing to produce distributed tools to work with satellite information for various scientific and applied systems of remote monitoring. This technology is widely used in the creation and development of various information systems; examples are given below.

Development and Maintenance of Specialized Information Systems of Remote Monitoring focused on Scientific Issues

VEGA-Science System

VEGA-Science project is focused on the development on a unified technological platform for information services providing the users with distant work with satellite data, processing products, and relevant information to meet the challenges of monitoring of renewable biological resources. VEGA implements the concept of geospatial web-service collecting satellite and other geographical information from different sources and providing near real time access to all users worldwide.

VEGA-Science is a satellite service for collective use, oriented on information support of scientific studies on status and dynamics of biosphere. The service is based on long-term archives of satellite data and information products received on their basis, that characterizing vegetation cover conditions in the Northern Eurasia. There are data in the archives on any area of this territory since the beginning of the twenty-first century. Service VEGA-SCIENCE, in particular, allows to analyze condition of vegetation cover using the time series of vegetation indices, its seasonal and long-term dynamics for any individual site or polygon specified by the user.

The main requirement for access to VEGA-Science is the agreement of its potential users on free disclosure of information provided to the system to all users of the service for scientific objectives.

At present experts of more than 20 scientific and educational organizations are used VEGA-Science to implement scientific projects.

Система создавалась и поддерживается в рамках проектов Российской академии наук (тема «Мониторинг»).

Система See The Sea

Спутниковый сервис See The Sea (STS) начал создаваться в ИКИ РАН в 2011 г. Он ориентирован на комплексный анализ данных спутникового дистанционного зондирования в интересах исследования Мирового океана. Систему создают и поддерживают совместно отделы технологий спутникового мониторинга и исследований Земли из космоса ИКИ РАН, при поддержке РФФИ.

Основная цель сервиса STS — обеспечение исследователей возможностями доступа и инструментами анализа информации, полученной на основе данных спутниковых наблюдений (оперативных и архивных), для изучения различных процессов в океане и атмосфере над ним. Особое внимание при создании STS уделялось возможности совместного хранения и комплексного использования данных, различных по своей физической природе (активное и пассивное микроволновое зондирование, многоспектральные оптические, гиперспектральные и ИК-данные), пространственному разрешению, размерности и времени получения.

С помощью инструментов, реализованных в STS, можно не только искать и выбирать информацию из архивов, но и анализировать данные. Основное достоинство созданного сервиса — предоставляемый исследователям инструментарий для комплексного анализа различных явлений и процессов в Мировом океане, оценки их количественных и качественных характеристик, выявления пространственных и временных изменчивостей, изучения условий возникновения и развития. В сервисе STS предусмотрены возможности описания различных процессов и явлений, происходящих в Мировом океане, и ведения долговременных баз данных таких описаний.

Система VolSatView

Основная задача сервиса VolSatView — обеспечить специалистов-вулканологов оперативными спутниковыми данными и информационными продуктами на основе их обработки для мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил. Система развивается совместно ИВиС ДВО РАН, ВЦ ДВО РАН, Дальневосточным Центром (ДЦ) «НИЦ «Планета» и отделом технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН при поддержке РФФИ и программ ДВО РАН.

Сервис обеспечивает автоматический сбор, обработку и архивацию различной информации по регионам действия вулканов Камчатки и Курил, получение и архивацию спутниковой информации и результатов её

The system was developed and is maintained within the framework of projects of the Russian Academy of Sciences (“Monitoring”).

See the Sea System

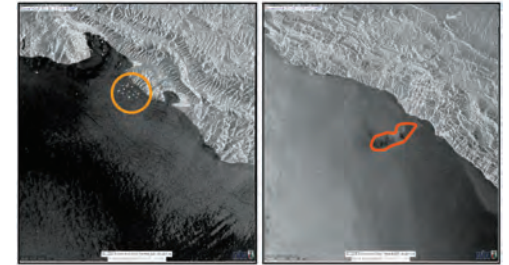
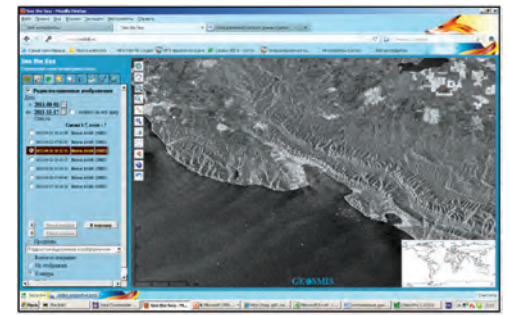
See the Sea (STS) satellite service started in IKI RAS in 2011. It is focused on a complex analysis of satellite remote sensing data for the Ocean studies. The system is developed and maintained jointly by the Earth Remote Sensing Technologies and Earth Research from Space Departments of IKI, with support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR).

The STS main goal is to provide researchers with access facilities and information analysis tools for satellite data (online and archived), to investigate processes in the Ocean and atmosphere. Particular attention, as STS was developing, was paid to the possibility of joint storage and complex use of data of different physical nature (active and passive microwave sensing, multispectral optic, hyper-spectral, and IR data), spatial resolution, size, and time of acquisition.

The tools of STS provide the search and selection of information from archives, as well as data analysis. The main point of the service is the instrumentation for complex analysis of various phenomena and processes in the Ocean, assessment of their quantity and quality characteristics, detection of spatial and temporal variability, and investigation of origin and development conditions. The STS service provides a description of various processes and phenomena in the Ocean and maintenance of the long-term databases of these descriptions.

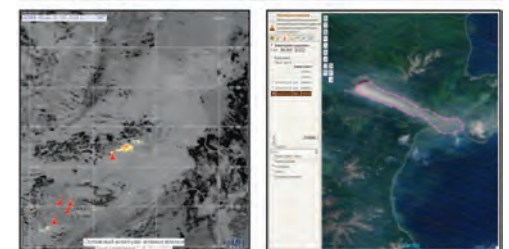
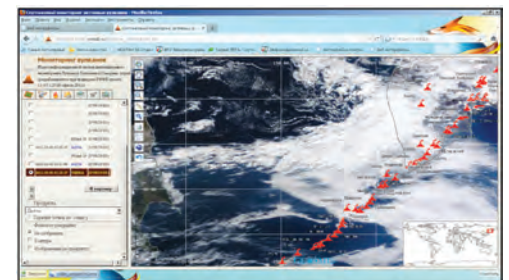
VolSatView System

The main task of the VolSatView service is to provide volcanologists with operational satellite data and information products based on their processing for monitoring of volcanic activity in Kamchatka and the Kuril Islands. The system is developed jointly by the Institute of Volcanology and Seismology of the Far Eastern Branch of the RAS (IVS FEB RAS), Computing Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (CC FEB RAS), the Far Eastern Center of the State Research Center “Planeta” (SRC “Planeta”) and the IKI RAS Earth Remote Sensing Technologies Department with support of the RFBR and the Far Eastern Branch of the RAS programs.



Спутниковый сервис STS — возможность исследовать различные явления на морской поверхности

STS satellite service — the opportunity to study various phenomena on sea surface



Спутниковый сервис VolSatView. Исследование вулканической активности Камчатки и Курил

VolSatView Satellite Service. Study of volcanic activities in Kamchatka and the Kuril Islands

обработки из различных центров приёма и обработки спутниковых данных. В настоящее время в системе используются данные различных метеорологических спутниковых систем, российских и зарубежных (NOAA, Terra, Aqua, «Метеор-М» № 1). Приём и обработку информации, поступающей от них, ведёт ДЦ «НИЦ «Планета». В систему также поступают данные спутников Landsat (в настоящее время функционируют спутники Landsat 7 и 8) и данные прибора Hyperion (спутник EOS-1). Кроме этого пользователи системы имеют возможность работы с данными российских спутников «Ресурс-П» и «Канопус-В», которые предоставляет «НИЦ «Планета» и Геопортал Роскосмоса. В сервис также поступают различные метеоданные. Можно работать с данными различных систем, которые следят за вулканической и сейсмической активностью в регионе, в том числе с данными группы KVERT, информационной системы «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги» Геопортала ИВиС ДВО РАН и АИС «Сигнал». Благодаря этому, в частности, можно непосредственно в системе получать доступ к данным видеонаблюдений за вулканами Шивелуч, Ключевской, Горелый и Авачинский.

В сервисе имеются архивы данных с 2001 г. по настоящее время.

Создание и поддержка специализированных информационных систем дистанционного мониторинга, ориентированных на решение научных задач

Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства («ИСДМ-Рослесхоз»)

«ИСДМ-Рослесхоз» создавалась по заказу Федерального агентства лесного хозяйства для оперативного дистанционного мониторинга лесных пожаров и их последствий. В 2003 г. она была введена в опытную эксплуатацию, а в 2004 г. — в промышленную. Система создавалась большим консорциумом, в состав которого входили организации и институты Рослесхоза, РАН, Росгидромета, а также организации других ведомств и частные предприятия. Эксплуатацию системы осуществляет «Авиалесоохрана».

Система обеспечивает оперативный сбор, обработку и распространение информации по всей территории России. Сегодня она позволяет работать с данными, поступающими с более чем 15 космических аппаратов. В интересах системы сегодня функционируют информационные узлы, расположенные в центрах приёма в Московском, Новосибирском, Красноярском и Хабаровском регионах. Кроме спутниковой информации в систему также поступают метеоданные, данные грозопеленгации и наземных наблюдений. Все процессы сбора, обработки,

Service provides automatic data collection, processing and archiving of information relating to the volcanoes activity areas in Kamchatka and the Kuril Islands, acquisition and archiving of satellite data and processing products from different centers of satellite data collection and processing. At present, the system is using the data of various meteorological satellite systems, both Russian and foreign (NOAA, Terra, Aqua, Meteor-M No.1). Receiving and processing is conducted by SRC “Planeta”. The system also receives Landsat (currently operating satellites Landsat-7 and -8) data and data from Hyperion (satellite EOS-1). In addition, the system users have an opportunity of working with the data from the Russian Resurs-P and Kanopus-V satellites provided by SRC “Planeta” and Roscosmos Geoportal. The service also receives various meteorological data. The data from different systems for monitoring of volcanic and seismic activity in the region including the KVERT group data, data of the Volcanoes of Kurile-Kamchatka Island Arc Information System of the IVS DVO RAS Geoportal and Signal Automated Data System are available for users. Users also have access to video observation data of Sheveluch, Klyuchevskoy, Gorely, and Avachinskiy volcanoes directly in the system.

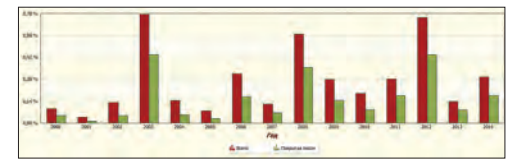
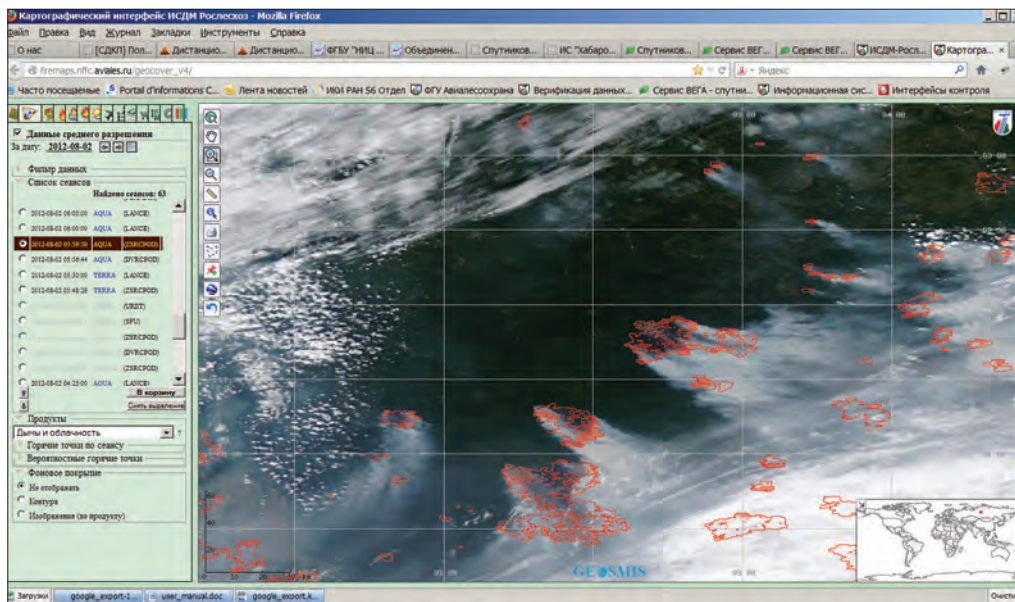
The archive data are available since 2001 to the present.

Development and Support of Special Information Systems of Remote Monitoring

Information System for remote monitoring of the Federal Forestry Agency (“ISDM-Rosleskhoz”)

The ISDM-Rosleskhoz system was developed by the request of the Federal Forestry Agency for real-time remote monitoring of forest fires and caused damages. In 2003 this system was put into a trial operation and in 2004 — into commercial. The system was developed by a large consortium included organizations and institutes of Rosleskhoz, the RAS, Rosgidromet, as well as organizations of other institutions and private enterprises. The system is operated and maintained by Avialesookhrana.

The system provides rapid collection, processing, and dissemination of information within the whole territory of Russia. Currently users can work with data from more than 15 satellites. Operate information hubs, working for the system, are located in receiving centers in Moscow, Novosibirsk, Krasnoyarsk, and Khabarovsk regions. In addition to the satellite information, the system also receives meteorological data, lightning direction data, and Earth observation data. Data collection, processing, archiving, and distribution in the system are completely automated: currently this is the largest system in the world by automation level and coverage of observed territory.



Пример анализа пожарной ситуации в системе «ИСДМ-Рослесхоз»

Example of the fire situation analysis at "ISDM-Rosleskhos system"

архивации и распространения данных в системе практически полностью автоматизированы: по уровню автоматизации и охвату наблюдаемой территории она сегодня является самой крупной в мире.

Как базовые технологии, обеспечивающие работу с данными, в системе используются разработки отдела технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН. Особо стоит отметить, что в интересах системы были разработаны автоматизированные методы обработки спутниковых данных, которые позволяют оперативно восстанавливать различные характеристики, необходимые для оценки пожарной опасности, оценивать площади, пройденные огнём, прогнозировать возможные сценарии развития лесных пожаров и вызванные ими повреждения.

В настоящее время возможностями «ИСДМ-Рослесхоз» пользуются несколько тысяч учреждений и организаций, которые занимаются мониторингом, предупреждением и тушением лесных пожаров, а также оценкой их последствий.

Отраслевая система мониторинга Федерального агентства по рыболовству

Отраслевая система мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за промысловой деятельностью судов («ОСМ Росрыболовства») была введена в эксплуатацию в марте 2000 г. Она создавалась и поддерживается кооперацией отраслевых коммерческих и научных организаций, в частности, ВНИЭРХ, КЦСМ, Региональным центром мониторинга (МРЦМ), ИКИ РАН, НЦМС, ЗАО «Транзас» и др. Головная организация, обеспечивающая поддержку и развитие ОСМ, — ЦСМС.

The works-out of the IKI RAS Earth Remote Sensing Technologies Department are used as basic technologies providing data management in the system. It is noteworthy that automated methods of satellite data processing were developed for the system that allow promptly restore various characteristics required for assessment of the fire danger, estimate areas covered by fire, predict possible scenarios of forest fires and damages.

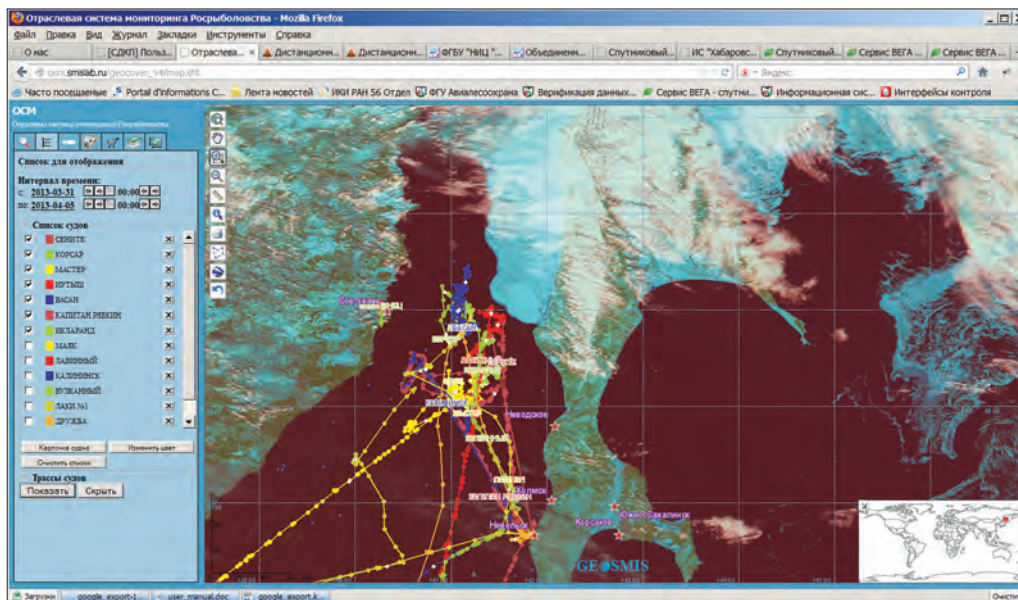
At present thousands of institutions and organizations are used ISDM-Rosleskhos for monitoring, prevention and extinguishing of forest fires as well as damages assessment.

Sectoral monitoring system of the Federal Fishery Agency (OSM Rosrybolovstva)

Sectoral monitoring system of marine biological resources, monitoring, and control of game-fishing activities of vessels (OSM Rosrybolovstva) was put into operation in March 2000. It was developed and supported by commercial and scientific organizations as VIERKh, KTSM, MRTSM, IKI RAS, NTsMS, CJSC "Tranzas", and others. Leading organization providing OSM maintain and development is TsSMS.

Система «ОСМ Росрыболовства». Анализ промысловой ситуации в Татарском проливе

OSM Rosrybolovstva system. Analysis of game-fishing situation in the Tartyry Strait



Сейчас ОСМ обеспечивает мониторинг российских и иностранных судов, ведущих промысел в экономической зоне России, а также российских судов, находящихся на промысле в различных районах Мирового океана. ОСМ обеспечивает контроль нескольких тысяч судов, из которых около 2000 обычно находятся на промысле. По числу судов, находящихся под контролем, система является самой крупной в мире.

В ОСМ в полностью автоматическом режиме собирается и обрабатывается различная информация, необходимая для контроля промысловой деятельности, в том числе о позиционировании промысловых судов.

Сейчас в состав ОСМ входит около 50 информационных узлов в организациях, подведомственных Росрыболовству, подразделениям береговой охраны пограничной службы (ПС) ФСБ, региональным службам, МВД и др.

Автоматизированные процессы сбора, обработки и распространения информации в системе в большой степени реализованы на технологиях, разработанных в отделе технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН.

Объединённая система работы с данными центров НИЦ «Планета» Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

Сегодня данные спутникового дистанционного зондирования Земли стали одним из основных инструментов для решения различных задач гидрометеорологии, мониторинга окружающей среды, чрезвычайных ситуаций и опасных явлений. Для оперативного получения, обработки и распространения такой информации в составе Росгидромета функционирует научно-

Today OSM is monitoring Russian and foreign vessels fishing in economic zone of Russia as well as Russian vessels fishing in various regions of the World Ocean. OSM is providing control of several thousand vessels, 2000 of which are usually in the fishery. The system is the largest in the world by the amount of vessels under control.

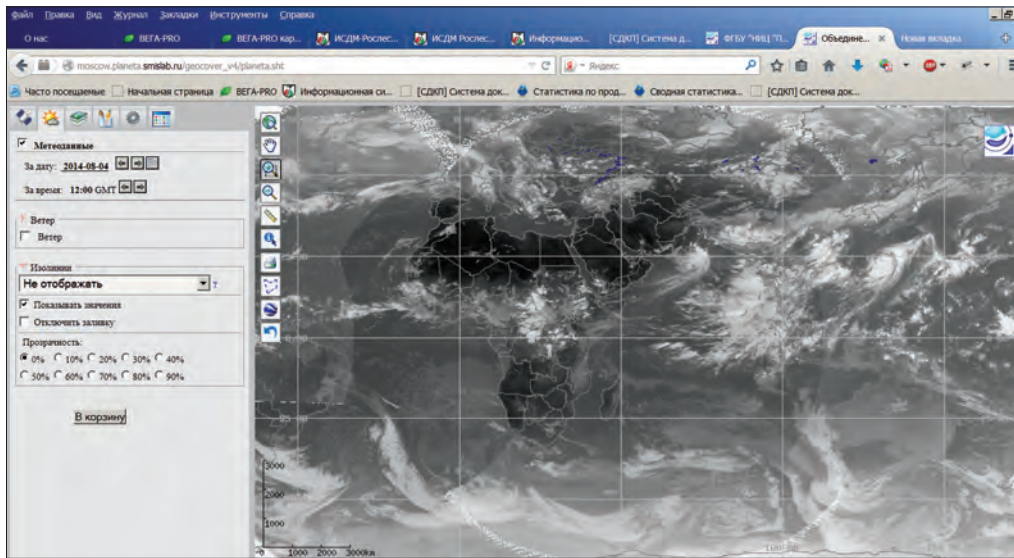
OSM is collecting and processing various information required for fishery control including fishing boat positioning in a completely automatic mode.

Today OSM includes around 50 information web-sites in the organizations subordinated to Rosrybolovstvo, the Coast Guard of the Border Service of the Federal Security Service of the Russian Federation, regional services, the Ministry for Internal Affairs and others.

The automated processes of information collection, processing, and distribution in the system are well implemented in the technologies developed by the Earth Remote Sensing Technologies Department.

Integrated System of Data Management of SRC “Planeta” of the Federal Agency for Hydrometeorology and Environmental Monitoring

Today the data of satellite remote sensing are the primary tools in hydrometeorology, environmental, emergencies, and dangerous events monitoring. SRC “Planeta” is operating in Rosgidromet to provide rapid acquisition, processing, and distribution of information, and is responsible for one of the largest network of satellite data acquisition and processing in the world. The core centers of this network are located



Информационная система НИЦ «Планета» Росгидромета. Анализ данных геостационарных спутников

Information System of Scientific Research Center "Planeta" of Rosgidromet. Geostationary satellites data analysis

исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», обеспечивающий работу одной из крупнейших в мире сетей приёма и обработки спутниковых данных. Основные центры этой сети расположены в Москве, Долгопрудном, Обнинске (Европейский центр «НИЦ «Планета»), Новосибирске (Сибирский центр) и Хабаровске (Дальневосточный центр). Данная сеть обеспечивает приём и обработку более 300 ГБ данных в сутки, поступающих с более чем 20 отечественных и зарубежных КА.

Для оперативного доступа к архивам спутниковых данных и различным информационным продуктам на их основе «НИЦ «Планета» совместно с ИКИ РАН разработали и внедрили объединённую систему работы с информацией, получаемой в центрах приёма. Система позволяет не только получать доступ к информации различных центров, но и проводить комплексный анализ информации, поступающей от спутниковых систем, в том числе и удалённо.

Автоматизированные процессы получения, обработки, архивации и представления спутниковых данных и результатов их обработки реализованы сегодня в системе на основе технологий, разработанных в отделе технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН.

Информационная система VEGA-PRO

VEGA-PRO — профессиональный информационный сервис анализа данных спутниковых наблюдений для оценки и мониторинга возобновляемых биологических ресурсов. В его основу легли многолетние разработки отдела в области автоматизированных методов и технологий сбора, обработки и распространения спутниковых данных.

in Moscow, Dolgoprudny, Obninsk (European Center of SRC Planeta), Novosibirsk (Siberian Center), and Khabarovsk (Far-Eastern Center). This network provide daily acquisition and processing of more than 300 GB data from more than 20 Russian and foreign satellites.

For quick access to satellite data archives and various information products, SRC "Planeta" in cooperation with IKI developed and implemented an integrated system for operating with data from acquisition centers. The system provides access and complex analysis of information from different centers, also distantly.

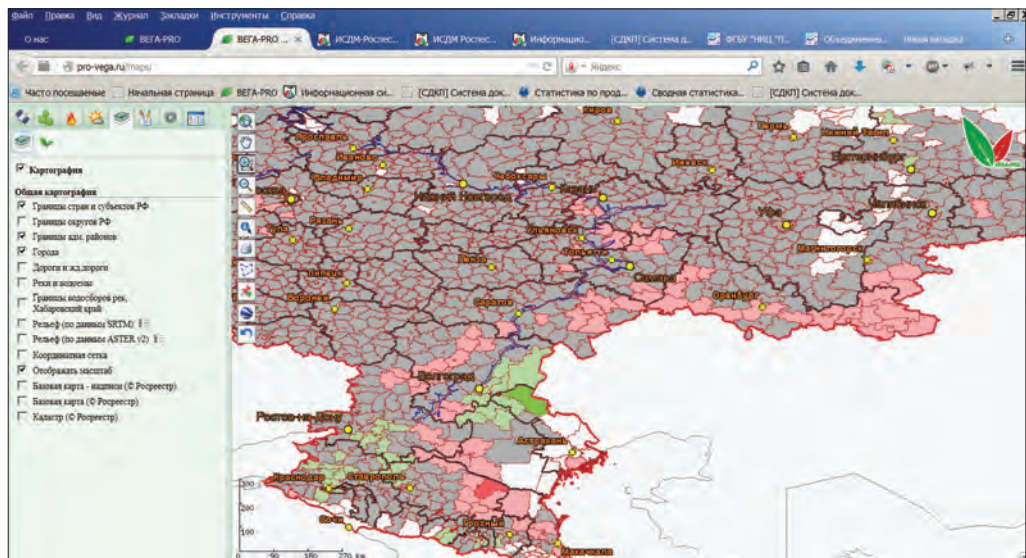
Automated processes of acquisition, processing, archiving and presentation of satellite data as well as the results of their processing are implemented in the system based on the technologies developed by the IKI RAS Department of Satellite Monitoring Technologies.

Information System VEGA-PRO

VEGA-PRO is a professional information service for monitoring of renewable biological resources based on satellite data analysis. VEGA-PRO Service is created based on long-term developments of the Earth Remote Sensing Technologies Department in the field of automated methods and technologies for satellite data collection, processing and dissemination.

Система ВЕГА-PRO. Анализ аномалий в развитии сельскохозяйственных культур

VEGA-PRO system. Analysis of crop development anomalies



Сервис ВЕГА-PRO был создан в 2013 г. совместно специалистами ИКИ РАН и Института космических исследований Земли (ООО «ИКИЗ») при поддержке фонда Сколково. Работу сервиса ВЕГА-PRO поддерживает ООО «ИКИЗ» — компания-участник Кластера космических технологий и телекоммуникаций Сколково.

Это информационный сервис для профессиональной работы с обновляемыми в режиме, близком к реальному времени, архивами спутниковых данных и другой геопространственной информацией, для решения широкого круга задач оценки и мониторинга возобновляемых биологических ресурсов. Сервис ориентирован в основном на специалистов в области сельского и лесного хозяйства. Его задача — обеспечить возможность контроля текущего состояния растительности на интересующем специалисте объекте (сельскохозяйственных полях, участках пастбищ, сенокосов, лесов и т. п.). При этом пользователи сервиса самостоятельно могут задать границы интересующего объекта и анализировать имеющиеся для него данные. Так, например, специалисты в области агрострахования могут использовать получаемую информацию для определения страховой суммы и ущерба от воздействия на посевы неблагоприятных факторов; землевладельцы и землепользователи могут контролировать ход развития культур для принятия необходимых оперативных решений, а специалисты лесного хозяйства и лесопользователи — оперативно оценивать лесные ресурсы, площади изменений в лесах, вызванные пожарами, вырубками, гибелью древостоев.

Сейчас сервис осуществляет постоянный мониторинг около 300 000 объектов.

The VEGA-PRO service was created with support of the Skolkovo Foundation by IKI jointly with the Institute for Space Research of the Earth (IKIZ Ltd.). The VEGA-PRO service is maintained by IKIZ, participating company of Skolkovo's space technologies and telecommunications cluster.

VEGA-PRO is information service for professional operations with in near-real-time updated satellite data archives and other geospatial information to provide solutions for wide range applications focused at assessment and monitoring of renewable biological resources. The service focuses primarily on the experts in the field of agriculture and forestry. Its goal is to provide control of the current state of vegetation at the objects of the expert's interest (agricultural fields, grazing areas, haylands, forests, etc.). And the service users are able to set the ranges of the object of interest themselves and analyze the data pertaining to this very area. For instance, the experts in the agricultural insurance field can use the obtained information to define the insurance coverage and damage caused by the influence of adverse factors on the seeding; the land owners and land users can control the crop development to make the required real-time decisions and forestry experts and forest users can rapidly evaluate forest resources, areas of forest changes caused by fires, clearance, and forest stand loss.

Today this service is performing a constant monitoring of around 300,000 objects.

Лаборатория методов оптико-физических измерений (571)

Лаборатория методов и средств бортовой обработки видеoinформации (572)

Оптико-физический отдел ИКИ РАН (ОФО ИКИ) — одно из старейших подразделений ИКИ, ведущее свою историю с начала 1970-х гг., когда появлялось совершенно новое направление космических исследований — изучение Земли из космоса с помощью спутников дистанционного зондирования. Начав с создания приборов для наблюдений нашей планеты, отдел постепенно расширял тематику своих работ в соответствии с актуальными потребностями космической отрасли. Опыт ОФО ИКИ показывает, что практически все его разработки, начатые в инициативном порядке, востребовались довольно быстро.

Создатель и первый руководитель отдела в той форме, которая существует сегодня, — профессор **Ян Львович Зиман** (16.09.1922–21.08.2009), участник Великой Отечественной войны, кавалер четырёх боевых орденов и 14 медалей, почётный штурман гражданской авиации, лауреат Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки России. Его преемником с 1988 до 2002 г. стал **Генрих Аронович Аванесов**, д-р технич. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Лауреат Ленинской премии. С 2002 до 2011 г. отделом руководил канд. физ.-мат. наук **Анатолий Анатольевич Форш**. С 2011 г. отдел возглавляет канд. технич. наук **Роман Валерьевич Бессонов**.

С начала 1970-х гг. исследования показали, что наблюдения из космоса — богатейший источник информации о Земле, но ещё предстояло понять, как использовать возможности космических аппаратов, чтобы получить нужные сведения. Работа началась с анализа потребностей наук о Земле с точки зрения видов и форм спутниковой информации, возможности их получения с помощью существующих космических аппаратов, определения требований к бортовой аппаратуре для сбора данных, средствам приёма и распространения информации. Отдел инициирует создание новой международной рабочей группы по дистанционному зондированию Земли в рамках совета «Интеркосмос». В это же время создаётся журнал «Исследование Земли из космоса», проводятся первые Всесоюзные научно-технические конференции по этой проблеме.

Laboratory of Optical and Physical Measurement Techniques (571)

Laboratory of Onboard Imagery Processing Techniques (572)

Optico-Physical department of IKI (OFO IKI) is one of the oldest IKI departments and traces its history back to the early 1970s, when a brand-new space research trend was originating — Earth research from remote sensing satellites. Starting with design of instruments for the our planet observations the Department gradually expanded its activities in accordance with the current requirements of the space industry. As the experience of OFO IKI shows practically every pilot project it initiated was rather quickly in demand.

The founder and the first head of the Optico-Physical department was Dr. **Yan Ziman**, a veteran of the Great Patriotic War, awarded four military decorations and 14 medals, an honorary civil aviation navigator, a laureate of the USSR State Prize, an honored worker of science of the Russian Federation, a full professor. His successor from 1988 to 2002 was Dr. **Genrikh Avanesov**, an honored worker of science of the Russian Federation, a laureate of the Lenin Prize, a full professor. From 2002 to 2011 the department was headed by Dr. **Anatoly Forsh**. Since 2011 it is headed by Dr. **Roman Bessonov**.

Since the early 1970s the studies found that observations from space are the most plentiful source of information about the Earth, but first it must be understood how to use the capabilities of spacecraft properly to obtain the information necessary. The work began with analysing the requirements of different Earth sciences for kinds and forms of satellite information, its availability from the existing spacecraft, and defining the requirements to the onboard data collection instruments, means of information reception and distribution. The Department initiated creation of a new international team for Earth remote sensing as a part of the *Intercosmos* Council. At the same time the magazine “Earth Research from Space” (translated in English as “Earth Observation and Remote Sensing”) was founded and the first all-Soviet Union scientific and technical conferences were held devoted to the topic.

ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ (57) OPTICO-PHYSICAL DEPARTMENT (57)



Руководитель — канд. техн. наук Роман Бессонов

Head — Dr. Roman Bessonov



Профессор Я. Л. Зиман (16.09.1922–21.08.2009)

Prof. Ya. L. Ziman (September 19, 1922 – August 21, 2009)



Профессор Генрих Аванесов

Prof. Dr. Genrikh Avanesov



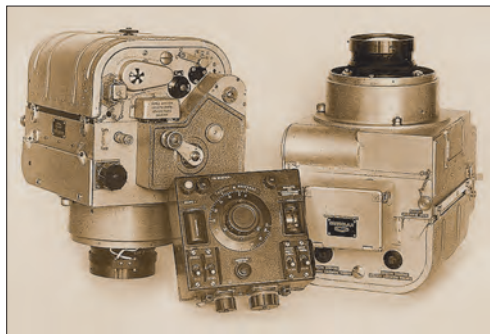
Профессор Анатолий Форш

Prof. Dr. Anatoly Forsh



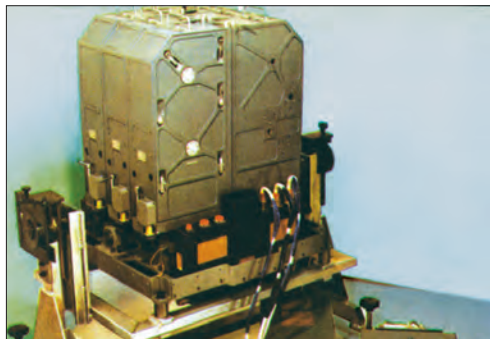
Первый номер журнала «Исследование Земли из космоса»

The first issue of the "Earth Research from Space" magazine



Аэрофотоаппараты АФА БА-210, адаптированные для установки на станцию «Салют»

Aerial photo cameras AFA BA-210 modernized for the Salyut station



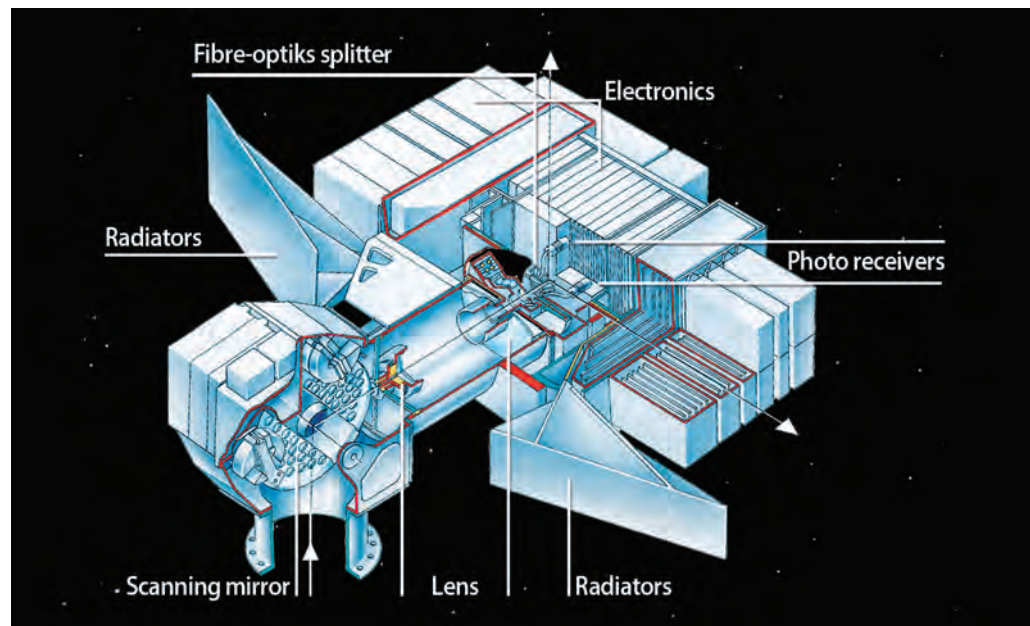
Многозональный фотоаппарат МКФ-6 и многозональный синтезирующий проектор МСП-4 для наземной обработки снимков, подготовленные для пилотируемого космического корабля «Союз-22» на народном предприятии «Карл-Цейсс Йена», ГДР, по техническому заданию ОФО ИКИ

Multispectral photo camera MKF-6 and multispectral synthesizing projector MSP-4 for ground image processing, manufactured for the manned spaceship Soyuz-22 at the VEB Carl Zeiss Jena in the German Democratic Republic according to the technical requirements of OFO IKI



В самолёте-лаборатории Ан-30

Inside flying lab An-30



Многозональное съёмочное устройство «Фрагмент-2»

Multispectral imaging system Fragment-2

В период 1970–1980 гг. отдел проводит серию экспериментов по многозональной фотосъёмке земной поверхности — при таком методе съёмка ведётся отдельно в нескольких диапазонах электромагнитного спектра. Эксперименты велись с борта четырёх пилотируемых станций «Салют» и космического корабля «Союз-22» (оборудование для последнего было изготовлено совместно со специалистами ГДР). На станциях «Салют» съёмка сопровождалась синхронной съёмкой звёзд — таким образом начались разработки методов автоматической геопривязки снимков. Эксперимент по многозональной съёмке земной поверхности на борту пилотируемого космического корабля «Союз-22» (сентябрь 1976 г.) получил название «Радуга». Он дал богатый материал для исследований в виде большого числа высококачественных снимков земной поверхности с разрешением около 15 м.

Следующими шагами в этом направлении стали использование цифровой съёмки и автоматизация процессов обработки данных. Совместно со Специальным конструкторским бюро космического приборостроения ИКИ было создано и в 1980 г. выведено в космос многозональное съёмочное устройство (МСУ) «Фрагмент-2» (КА «Метеор-Природа» № 3). Экспериментальные съёмки продолжались около четырёх лет. Создавался авиационный комплекс средств дистанционного зондирования: многозональные и топографические фотоаппараты,

In the 1970–1980s the Department conducted a series of experiments on multispectral photography of the Earth surface — this technique consisted in imaging conducted separately in several spectral bands. The experiments were carried out from four manned *Salyut* stations and the spaceship *Soyuz-22* (equipment for the latter was produced in cooperation with the East Germany specialists). Aboard the *Salyut* stations the survey was accompanied with the synchronous star imaging, thus starting the development of automatic georeferencing methods. The experiment with multispectral imaging from the manned spacecraft *Soyuz-22* (September 1976) was named *Raduga*. It provided ample material for research in the form of large amount of high-quality Earth surface images with resolution of ca. 15 m.

The subsequent steps in that direction were digital imaging and automatic data processing. In cooperation with the IKI Special Design Bureau for Space Instrument Engineering designed and in 1980 set into space a multispectral imaging system *Fragment-2* (aboard the *Meteor-Priroda* No. 3 spacecraft). Experimental imaging was carried on for four years. An airborne system of remote-sensing instruments was created. It consisted of multispectral and topographic photo cameras, optoelectronic scanners and infrared radiometers, digital data tape recorders. Its first flight was aboard Il-14 over the USSR test areas in 1972, and in 1973 testing began aboard An-30.

оптико-электронные сканирующие устройства и ИК-радиометры, цифровая запись информации на магнитофон. Его первый полёт на самолёте Ил-14 по полигонам СССР состоялся в 1972 г., а в 1973 г. начались полигонные эксперименты на самолёте Ан-30.

В 1980-е гг. отдел начал работы по изучению других планет и малых тел Солнечной системы, в первую очередь — в рамках проекта ВЕГА по изучению Венеры и кометы Галлея. Для двух аппаратов «Vega-1» и «Vega-2» был создан целый комплекс приборов, который должен был при подлёте обнаружить ядро кометы Галлея и навести на него подвижную платформу с научными приборами, а затем сопровождать его при полёте и снимать с помощью фотокамер и спектрометров. Вместе с венгерскими и французскими специалистами была разработана телевизионная система «ВЕГА» на матричных приборах с зарядовой связью (ПЗС). В результате обработки полученных изображений были определены форма и размеры ядра кометы, уточнены структура, абсолютные яркости и фотометрические характеристики его поверхности и джетов; рассчитаны фотометрические характеристики и выполнена томографическая реконструкция комы.

Отдел также принимал участие в проектах ФОБОС (1988 г., съёмочный комплекс) и МАРС-96 (1996).

Параллельно с самого начала 1980-х гг. в отделе были начаты инициативные работы по созданию широкопольных датчиков звёздной ориентации на основе ПЗС-матриц и микропроцессоров, способных определять ориентацию КА по изображениям произвольных участков небесной сферы. Очень скоро это превратилось в самостоятельное и очень мощное направление. На предприятии «Карл-Цейсс Йена» при участии специалистов ОФО ИКИ был изготовлен комплект из трёх оптических звёздных датчиков (ОЗД) «Астро», который в 1986 г. был установлен на пилотируемой станции «Мир». Он успешно проработал на борту до конца её жизни. В 2001 г. станция была сведена с орбиты и затоплена по показаниям этих астродатчиков...

Навигационная камера и бортовая вычислительная машина были установлены и на космическом аппарате «Марс-96», став, по сути, автономным звёздным датчиком. Как известно, аппарат не вышел на траекторию перелёта к Марсу, но с этого момента на долгие годы разработка и последовательное совершенствование оптических звёздных датчиков стало одним из важнейших направлений работ отдела.

Пионерской разработкой отдела стал звёздный датчик «Блок определения координат звёзд» (БОКЗ), с помощью которого определялась ориентация КА по съёмке произвольного участка звёздного неба.

In the 1980s the Department began to study other planets and small bodies of the Solar System, most notably as a part of the *Vega* mission, which focused on Venus and Halley's Comet. For the two probes *Vega-1* and *-2* a complete set of instruments was designed to identify the Halley's Comet nucleus on approach and point the mobile platform equipped with scientific instruments at it, and then follow up and image it with photo cameras and spectrometers. Together with the Hungarian and French specialists a TV system VEGA was designed based on CCD arrays. Following the processing of acquired images the shape and dimensions of the comet nucleus were defined, its structure, absolute magnitudes, and photometric characteristics of its surface and jets were refined; photometric characteristics were estimated with the coma tomographic reconstruction performed.

The Department also participated in the missions *Phobos* (1988, the imaging complex) and *Mars-96* (1996).

At the same time from the early 1980s the Department initiated the design of wide-field star trackers based on CCD-arrays and microprocessors capable to determine a spacecraft orientation by images of arbitrary areas of the celestial sphere. Soon it became a separate and extensive research area. Carl Zeiss Jena with participation of the OFO IKI specialists produced a set of three optical star trackers *Astro*, which was installed on the manned station *Mir* in 1986. The star trackers operated successfully until the end of the station lifetime. In 2001 the station was de-orbited and flooded based on readouts of the trackers...

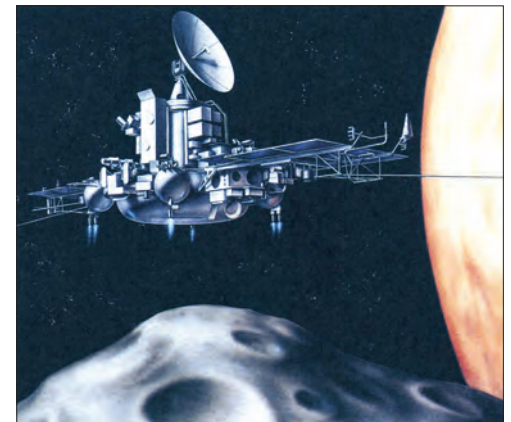
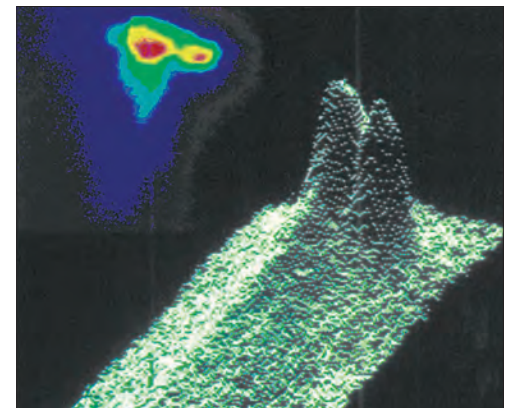
A navigation camera and an onboard computer were also mounted on the *Mars 96* spacecraft, serving as a kind of autonomous star tracker. As known, the spacecraft did not enter the transfer orbit to Mars, but from that point onward for many years design and subsequent modification of optical star trackers became one of the main areas in the Department's work.

A pioneer development of the Department was a star tracker BOKZ, — to determine a spacecraft orientation based on imaging of an arbitrary sky area.



КА «Вега». Общий вид. Результат обработки ТВ-изображения кометы Галлея

Vega spacecraft. General view. The result of processing a TV image of Halley's Comet



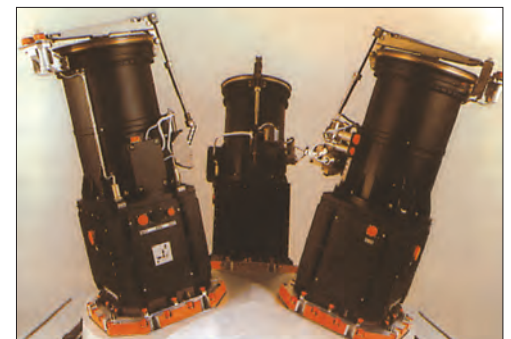
КА «Фобос-2». Общий вид. Снимок Фобоса на фоне Марса

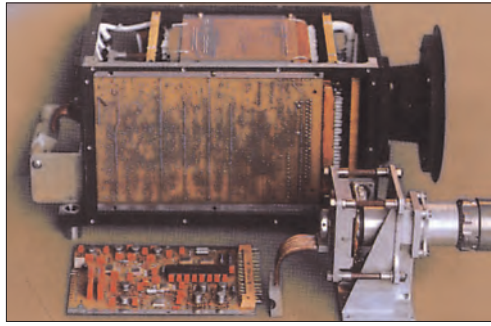
Phobos 2 spacecraft. General view. Phobos with Mars in the background



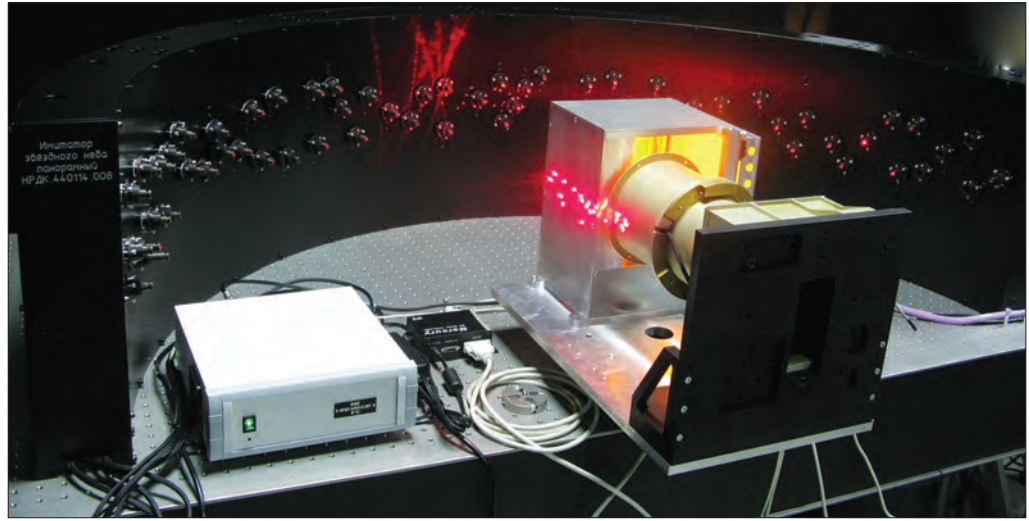
Система оптических звёздных датчиков «Астро»

Optical star tracker system Astro





Навигационная камера для проекта «Марс-96»
Navigation camera for the Mars 96 mission



Многоколлиматорный стенд для отработки звёздных приборов с интегрированными датчиками угловых скоростей

Multicollimating stand for testing star trackers with integrated angular velocity sensors



1. БОКЗ, 1998
1. BOKZ, 1998



2. БОКЗ-У, 1998
2. BOKZ-U, 1998

Два звёздных датчика БОКЗ успешно отработали 10 лет на борту КА «Ямал-100», выведенного в космос в 1999 г. Такие же приборы, выведенные в космос годом позже, работают на борту МКС до настоящего времени, а с 2003 г. — на двух КА «Ямал-200». Сегодня приборы семейства БОКЗ успешно работают на более чем 25 российских КА, а число построенных приборов разной модификации превысило 150. Общий налёт приборов в космическом пространстве уже превысил 1,5 млн ч.

Two star trackers BOKZ successfully operated for 10 years aboard the spacecraft *Yamal-100* launched into space in 1999. The same instruments still operate aboard the ISS, launched a year later, and since 2003 on two satellites *Yamal-200*. By mid of 2015 the BOKZ series star trackers were put into orbit onboard 36 Russian spacecraft, and a number of manufactured instruments of different modifications exceeds 150. Total flight hours for the instruments in space has already surpassed 2,000,000 hours.



3. БОКЗ-М, 2006
3. BOKZ-M, 2006



4. БОКЗ-МФ, 2006
4. BOKZ-MF, 2006



5. БОКЗ-М60, 2009
5. BOKZ-M60, 2009



6. БОКЗ-М60/1000, 2010
6. BOKZ-M60/1000, 2010



Звёздные датчики семейства БОКЗ
BOKZ series star trackers

7. МикроБОКЗ, 2013
7. MicroBOKZ, 2013

Сегодня работы отдела постепенно складываются в самостоятельное направление исследований, сформулированное ещё в 1990-е гг. как создание технологии автономной навигации космических аппаратов на основе естественных физических полей и ориентиров.

Участие отдела в космических проектах

(Перечислены только основные аппараты научного и прикладного характера; приборы, созданные в отделе, также установлены на многих КА иного назначения.)

Приборы для ориентации на борту КА и орбитальных станций: «Салют-1, -2, -3» (1971, 1973, 1974–75), «Союз-22» (1976), «Мир» (1986), Международная космическая станция (2000), «Ямал-100 и -200» (1999 и 2003)

Исследования Луны: «Зонд-3» (1965), «Луна-17» (1970, «Луноход-1»), «Луна-21» (1973, «Луноход-2»)

Исследования Марса: «Фобос-1, -2» (1988), «Марс-94/96» (неудачный); (1996), «Фобос-Грунт» (неудачный) (2011)

Исследования кометы Галлея: «Вега-1, -2» (1986)

Исследования Земли из космоса: «Союз-12» и «Союз-13» (1973), «Союз-22» (1976), «Метеор-Природа» (1980), «Ресурс-ДК» № 1 (2006), «Ресурс-П» № 1 (2013) и № 2 (2014), «Метеор-М» № 1 (2009) и № 2.0 (2014), «Зонд-ПП» (2012)

Будущие проекты

Исследования Марса: «ЭкзоМарс» (ЕКА/Роскосмос, 2016 и 2018)

Исследования Луны: «Луна-25» (2018), «Луна-26» (2019), «Луна-27» (2020)

Исследования Солнца: «Интергелиозонд» (2019)

Астрофизические исследования: «Спектр-РГ» (2016), «Спектр-УФ» (2018), «Миллиметрон» (+2020)

Исследования Земли из космоса: «Метеор-МП» (2016), «Метеор-М» № 2.1 (2015), № 2.2 (2016), «Метеор-М» № 3 (2020), «Ресурс-П» № 3 (2015)

Основные направления

Разработка методов и средств для фундаментальных и прикладных космических исследований:

- ориентации и навигации аппаратов в космическом пространстве;
- съёмки поверхности Земли, планет и малых тел Солнечной системы с борта летательных и посадочных аппаратов;
- наведения космических аппаратов и научных приборов на объекты исследования в интересах дистанционного зондирования, астрономии и астрофизики.

Today the Department's projects gradually fall into a separate research trend, which was defined back in the 1990s as autonomous navigation of spacecraft based on natural physical fields and landmarks.

Department Contribution to Space Projects

(Listed are only the main scientific and applied missions; instruments designed by the Department are also installed on many spacecraft of other designation.)

Instruments for attitude control onboard the spacecraft and orbital stations: *Salyut-1, -2, -3* (1971, 1973, 1974–1975), *Soyuz-22* (1976), *Mir* (1986), International Space Station (2000), *Yamal-100* and *-200* (1999 and 2003)

Lunar studies: *Zond-3* (1965), *Luna-17* (1970, *Lunokhod-1*), *Luna-21* (1973, *Lunokhod-2*)

Mars studies: *Phobos-1, -2* (1988), *Mars-94/96* (unsuccessful launch) (1996), *Phobos Sample Return* (2011)

Halley's Comet studies: *Vega-1, -2* (1986)

Earth research from space: *Soyuz-12, -13* (1973), *Soyuz-22* (1976), *Meteor-Prroda* (1980), *Resurs-DK* No. 1 (2006), *Resurs-P* No. 1 (2013) and No. 2 (2014), *Meteor-M* No. 1 (2009) No. 2.0 (2014), *Zond-PP* (2012)

Projects in Development

Mars studies: *ExoMars* (ESA/Roscosmos, 2016 and 2018)

Lunar studies: *Luna-Glob* (2018), *Luna-Resurs-Orbiter* (2019), *Luna-Resurs-Lander* (2020)

Solar studies: *Interhelioprobe* (2019)

Astrophysical studies: *Spektr-RG* (2016), *WSO-UV* (2018), *Millimetron* (+2020)

Earth research from space: *Meteor-MP* (2016), *Meteor-M* No. 2.1 (2015), No. 2.2 (2016), *Meteor-M* No. 3 (2020), *Resurs-P* No. 3 (2015)

Main research areas

Development of techniques and means for fundamental and applied space studies:

- spacecraft attitude control and navigation in space;
- imaging surface of the Earth, planets and small bodies of the Solar System from flight vehicles and landers;
- guidance of spacecraft and scientific instruments on targets of research for the benefits of remote sensing, astronomy and astrophysics.



Приборы ОФО ИКИ для миссии «Фобос-Грунт»:
1 — БОКЗ-МФ;
2 — УТК;
3 — ШТК;
4 — ОСД;
5 — СИОК

Instruments of OFO IKI for the Phobos Sample Return mission:
1 — BOKZ-MF;
2 — UTK;
3 — ShTK;
4 — OSD;
5 — SIOK

1



2



3



4

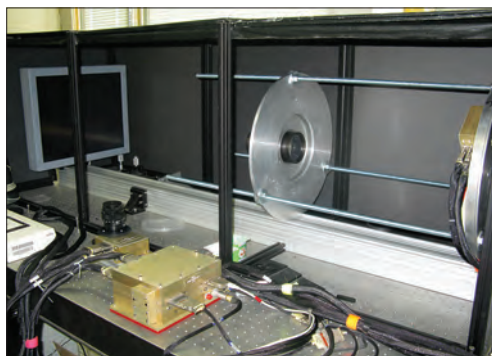


5



Испытания СДГ в САО РАН. Датчики гида на телескопе «Цейсс-1000»

SDG testing at the Special Astrophysical Observatory of the RAS. Guidance sensors on the telescope Zeiss-1000



Стенд для отработки программного обеспечения и моделирования работы системы датчиков гида на борту КА «Спектр-УФ» в составе телескопа T-170M

Test bed for software testing and guidance sensors simulation aboard the WSO-UV in assembly with the telescope T-170M



Три датчика гида на монтажной площадке. Технологический образец СДГ

Three guidance sensors on a mounting pad. The SDG engineering unit



Комплекс многозональной спутниковой съёмки (KMSS) для КА «Метеор-М»: 1 — МСУ-100; 2 — МСУ-50



Multispectral satellite imaging complex (KMSS) for Meteor-M: 1 — MSU-100; 2 — MSU-50

Приборы, проекты, результаты

В состав космического аппарата для проекта «Фобос-Грунт», главной целью которого была доставка на Землю образцов грунта спутника Марса, вошли 13 приборов, разработанных и изготовленных ОФО ИКИ:

- четыре звёздных датчика БОКЗ-МФ;
- четыре оптических солнечных датчика (ОСД);
- телевизионная система навигации и наблюдения (ТСНН) в составе двух узкоугольных (УТК) и двух широкоугольных (ШТК) камер, предназначенная для съёмки поверхности Фобоса и поддержки процесса посадки;
- система информационного обеспечения научного комплекса (СИОК) — резервированное вычислительное устройство для организации взаимодействия бортовых систем КА с научным комплексом.

Создание системы датчиков гида (СДГ) большого ультрафиолетового телескопа проекта «Спектр-УФ» (проект «Всемирная космическая обсерватория — Ультрафиолет») головная организация — Институт астрономии Российской академии наук. СДГ состоит из трёх датчиков гида и блока обработки данных. Она предназначена для наведения ультрафиолетового телескопа на выбранную для исследования звезду. Запуск «Спектра-УФ» запланирован на 2018 г.

В 2006 г. в космос был выведен КА «Ресурс-ДК» со съёмочной аппаратурой высокого разрешения, где для управления ориентацией были использованы приборы БОКЗ-М. В 2013 г. был запущен КА «Ресурс-П», несущий значительно усовершенствованную по сравнению с «Ресурсом-ДК» съёмочную аппаратуру высокого разрешения. Управление ориентацией этого аппарата осуществляется с помощью звёздных датчиков ориентации БОКЗ-М60. Достигнутая в этом проекте точность автоматической географической привязки составила 10 м.

С 2009 г. в космосе эксплуатируется КА «Метеор-М» метеорологического назначения. В его состав входят два аппаратных комплекса, созданные в ОФО ИКИ: КМСС среднего разрешения в составе двух камер МСУ-100 и одной камеры МСУ-50, а также ККВО в составе одного звёздного датчика БОКЗ-М и приёмно-вычислительного устройства АСН. На последующих КА серии «Метеор» планируется использование модификаций камер МСУ-100, МСУ-50: МСУ-100М, МСУ-50М, МСУ-100ТМ и сканера береговой зоны (СБЗ).

Instruments, Projects, Results

The spacecraft for the *Phobos Sample Return* mission, whose primary objective was to deliver soil samples from the Mars satellite to the Earth, included 13 instruments designed and manufactured by OFO IKI:

- four star trackers BOKZ-MF;
- four optical solar sensors (OSD);
- TV navigation and observation system (TSNN) consisting of two narrow-angle (UTK) and two wide-angle (ShTK) TV cameras for imaging surface of Phobos and landing support;
- a system for scientific payload information support (SIOK) — a backup computer for providing interaction of the spacecraft on-board systems with the scientific payload.

Development of the Guidance Sensors System (SDG) for a large ultraviolet telescope of the *WSO-UV* mission (project *World Space Observatory — Ultraviolet*, head organization — Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences). SDG consists of three guidance sensors and a data processing unit. It is designed for pointing the ultraviolet telescope on a targeted star. The *WSO-UV* launch is scheduled for 2018.

In 2006 the spacecraft *Resurs-DK* was set into space carrying high-resolution imaging instruments. The spacecraft used BOKZ-M for attitude control. In 2013 the spacecraft *Resurs-P* was launched with the significantly modified high-resolution instruments compared to the ones aboard *Resurs-DK*. Its attitude is controlled with star trackers BOKZ-M60. The available accuracy of automatic geo-referencing in the mission is 10 m.

Since 2009 the meteorological satellite *Meteor-M* operates in space. It includes two hardware systems designed by OFO IKI: the **multispectral satellite imaging complex (KMSS)** of medium resolution consisting of two cameras MSU-100 and one camera MSU-50, and the **coordinate and time reference system (KKVO)** consisting of one star tracker BOKZ-M and a receiving-computing unit for autonomous satellite navigation (ASN). The subsequent *Meteor* spacecraft are planned to utilize modified versions of MSU-100/MSU-50: MSU-100M, MSU-50M, MSU-100TM and coastal zone scanner (SBZ).

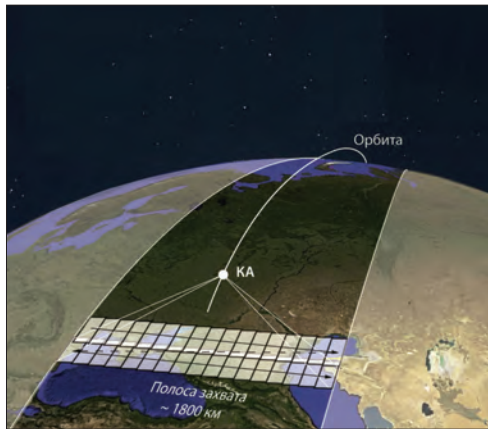
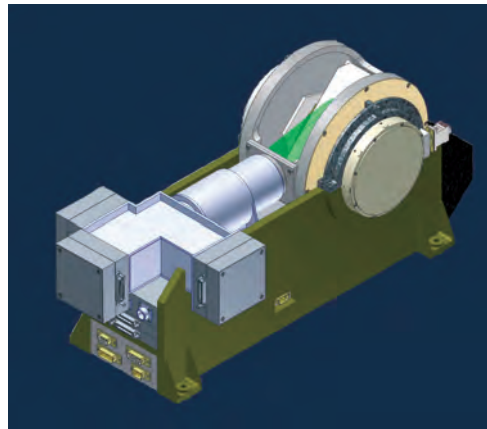


Схема съёмки МСУ «Горизонт»
MSU Gorizont imaging

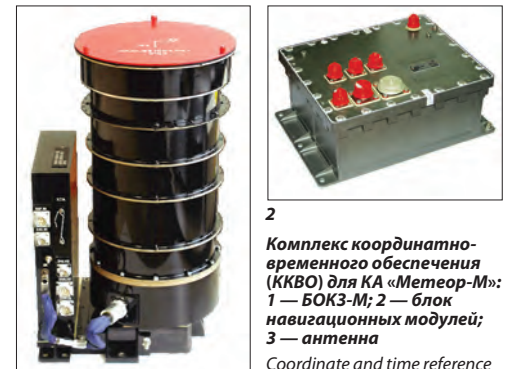
Для мониторинга земной поверхности в видимой и ближней ИК-областях спектра сотрудники отдела предложили новое многозональное съёмочное устройство «Горизонт». Оно вошло в состав аппаратуры КА «Метеор-МП», который планируется к запуску в 2016 г. МСУ «Горизонт», используя крупноформатную КМОП-матрицу в сочетании с оптико-электронным сканирующим устройством, сможет вести съёмку земной поверхности с борта КА на круговой солнечно-синхронной орбите, с высоты 830 км в полосе 1800 км с разрешением в подспутниковой точке 30 м. Такая орбита позволит за одни сутки осуществить мониторинг почти всей территории России с помощью одного аппарата. Съёмочные системы такого типа предназначены для установки и на малогабаритные (до 15 кг), и на крупные спутники гидрометеорологического и природноресурсного назначения.

Совместно с промышленными предприятиями космической отрасли в ближайшие годы планируется создать унифицированный ряд звёздных датчиков ориентации, предназначенный для использования на различных типах КА. В него войдут малогабаритные приборы, обеспечивающие точность измерения параметров ориентации порядка 10 угл.с, достаточную для функционирования большинства отечественных КА, а также приборы большей массы с точностью измерений около 1 угл.с для КА дистанционного зондирования Земли и приборы с точностью измерений порядка 0,1 угл.с и лучше для астрономических обсерваторий космического базирования. Но главная проблема, которая должна быть решена в этот период, — обеспечение надёжного непрерывного функционирования звёздных датчиков ориентации в условиях космического полёта на протяжении 15–18 лет.



For purposes of the Earth surface monitoring in the visible and near infrared spectra the Department staff proposed a new multispectral imaging system (MSU) *Gorizont*. It is a part of the hardware for *Meteor-MP*, scheduled for launch in 2016. MSU *Gorizont* employs a large-format CMOS-array coupled with an optoelectronic scanner to observe the Earth surface from the circular sun-synchronous orbit, at the altitude of 830 km, with a swath width of 1,800 km and a resolution at the subsatellite point of 30 m. Such orbit should enable to monitor almost the whole territory of Russia in one day using one spacecraft. Imaging systems of this type are designed for installing on both small (up to 15 kg) and large hydrometeorological and Earth observation satellites.

There are plans to design in the coming years and in collaboration with aerospace manufacturers unified star trackers for subsequent applications on different types of spacecraft. They should include small-scale instruments ensuring accuracy in measurement of attitude parameters ca. 10 as (sufficient for operation of the majority of the Russian spacecraft), larger instruments (appropriately with larger mass) with accuracy ca. 1 as for Earth remote-sensing spacecraft and instruments with accuracy of 0.1 and better as for spaceborne astronomical observatories. However the main issue that should be solved during this period is the support of reliable continuous operation of star trackers for 15–18 years.

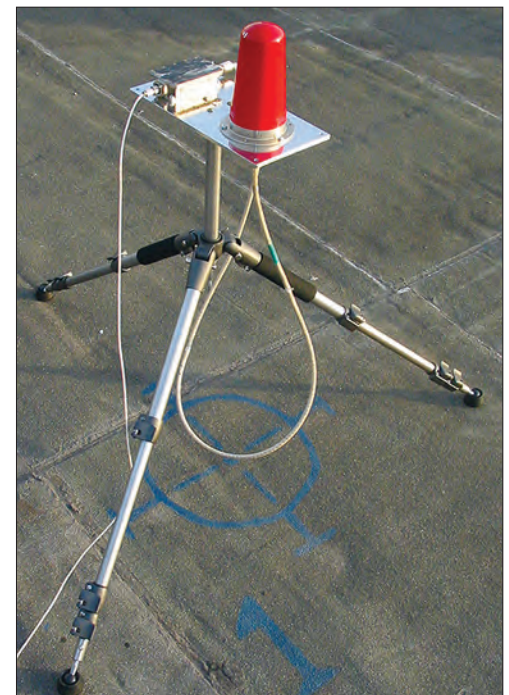


1
3

2

Комплекс координатно-временного обеспечения (ККВО) для КА «Метеор-М»: 1 — БОКЗ-М; 2 — блок навигационных модулей; 3 — антенна

Coordinate and time reference system (KKVO) for Meteor-M: 1 — BOKZ-M; 2 — navigation module; 3 — antenna



Изображение, полученное МСУ-100 с КА «Метеор-М»
Image acquired by MSU-100 from Meteor-M

Служебная телевизионная система СТС-Л для проведения съёмок на этапе снижения и посадки КА проектов «Луна-Глоб» («Луна-25») и «Луна-Ресурс» («Луна-27»). Стереокамеры КАМ-С для мониторинга зоны работы манипулятора, блок сбора и обработки данных, Обзорные видеокамеры КАМ-О со сверхширокоугольными объективами для формирования круговой панорамы поверхности

Housekeeping TV system STS-L for observations during descent and landing of the Luna-Glob and Luna-Resurs-Lander spacecraft. KAM-S stereocameras for monitoring the manipulator operation area, Data collection and processing unit, KAM-O surveillance cameras with ultra-wide angle lens for imaging a circular surface panorama



Оптические солнечные датчики: 1 — ОСД; 2 — ОСД с объективом pinhole (ОСДЗ); 3 — ОСД с объективом «рыбий глаз»

Optical solar sensor: 1 — OSD; 2 — OSD with a pinhole lens (OSDЗ); 3 — OSD with a fisheye lens

Для решения широкого круга задач космических исследований, связанных с наблюдениями и измерениями пространственных распределений яркости космических объектов, начиная от звёздного неба, планет и малых тел Солнечной системы, и, кончая искусственными конструкциями, ОФО ИКИ ведёт разработку многоцелевых устройств на основе высокоинформативных 4- и 20-мегапиксельных КМОП-матриц и быстродействующих радиационноустойчивых вычислителей. Эту новую разработку отдел планирует использовать в проектах «Луна-Ресурс», «Луна-Глоб», «ЭкзоМарс» и ряде других.

Оптический солнечный датчик (ОСД), разработанный на базе шелевой маски и ПЗС-линейки, предназначен для определения направления на центр видимого диска Солнца. В космосе он эксплуатируется с 2008 г. Сейчас изготовлено более 30 приборов ОСД, 18 из которых уже выведены в космос.

Работы ОФО ИКИ в последние годы стали востребованы и в авиации. Для решения задач астронавигации в отделе создан действующий прототип астровизирующего устройства (АВУ), позволяющий наблюдать с поверхности Земли звёзды до $5,5^m$ при отсутствии облачности и определять по ним ориентацию и в ночное, и в дневное время суток. Проведены лётные испытания полностью бесплатформенной астроиерциальной навигационной системы, позволяющей решать задачи автономной высокоточной навигации и наведения, в том числе при отсутствии сигналов спутников ГЛОНАСС/GPS.

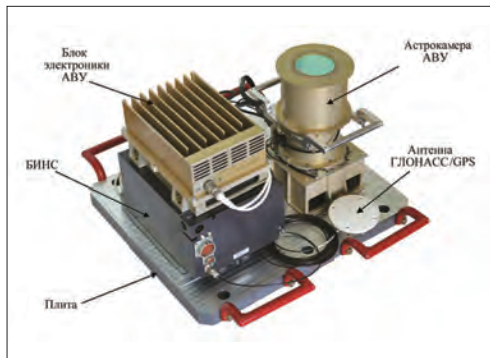
Цифровая топографическая стереокамера ЦТК-140 разработана на базе оптического блока аэрофотоаппарата АФА ТЭ-140, на которых устанавливается съёмный электронный модуль с девятью линейными ПЗС и блок прецизионного определения угловых элементов внешнего ориентирования.

To solve a wide range of space research tasks related to observing and measuring spatial distribution of space objects brightness, from starry sky, planets and small bodies of the Solar system to artificial structures, OFO IKI develops multi-function devices based on 4- and 20-megapixel high-information CMOS arrays and a high-performance radiation-resistant computer. The department plans to employ this new design in *Luna-Resurs*, *Luna-Glob*, *ExoMars*, and other missions.

Optical solar sensor (OSD), developed based on a slot mask and a CCD line, is designed for defining direction to the centre of the visible Sun. It operates in space since 2008, and currently there are over 30 OSD instruments built with 18 already in space.

In recent years the developments of OFO IKI became in demand in aviation. To solve problems of astronavigation the Department built a working prototype of the star guiding device that enables observations from the Earth surface of stars up to 5.5^m under cloudless conditions and orientation determination in both night and day time. There was conducted flight testing of the strapdown astroinertial navigation system for autonomous high-accuracy navigation and guidance, including situations with no signals from GLONASS/GPS satellites.

A digital topographic stereocamera TsTK-140 was developed based on the AFA TE-140 camera optical unit equipped with a portable electronic module with nine linear CCDs and a unit for precision determination of orientation angular elements.



Макет астроиерциальной навигационной системы

Model of an astroinertial navigation system



1

Параметр \ Камера	ЦТК-140	ЦМК-70
Фокусное расстояние объектива, мм	140	70
Тип фотоприемников	линейные ПЗС	
Количество элементов в строке	22 000 × 3	10 200 × 4
Размер элемента, мкм	7 × 7	
Спектральные каналы, нм	400–900 (панхр)	450 / 550 / 650 750–900
Динамический диапазон, бит	8	16
Диапазон высот съемки, м	2500–7000	1500–7000
Пространственное разрешение, см	12–35	15–70
Ширина снимаемой полосы, км	2,6–7,7	1,5–7,1
Объем ЗУ видеоданных, ТБ	до 3,2	2,0
Время непрерывной съемки, час	4–12	10–36

Цифровая аэросъёмочная камера ЦТК-140 (1); фрагмент полосы, снятой цифровой аэрокамерой ЦМК-70 (2)

Digital Aerial Camera TsTK-140 (1); a swath fragment taken with a digital aerial camera TsMK-70 (2)



2

Цифровая многозональная аэрокамера ЦМК-70 представляет собой моноблок, включающий оптический и электронный модуль, и позволяет проводить одновременную съёмку в трёх зонах видимого диапазона (RGB) и в одной зоне ближнего ИК-диапазона.

A digital multispectral aerial camera TsMK-70 is a monoblock that integrates optical and electronic modules, and enables simultaneous imaging in three bands of the visible spectrum (RGB) and one band of near infrared band.

**Сотрудники оптико-физического
отдела ИКИ РАН**
*Employees of Optico-Physical
Department IKI RAN*



**ОТДЕЛ КОСМИЧЕСКОЙ
ДИНАМИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ (58)
SPACE DYNAMICS
AND MATHEMATICAL
INFORMATION PROCESSING
DEPARTMENT (58)**



**Руководитель — д-р техн. наук
Равиль Назиров**
Head — Dr. Ravil Nazirov



**П. Е. Эльясберг (05.06.1914–
30.03.1988)**
P. E. Elyasberg (June 5, 1914 –
March 30, 1988)

Главная задача отдела — всесторонняя информационная поддержка космических проектов. В своём нынешнем виде отдел существует с 1988 г., когда в одном подразделении ИКИ были объединены баллистико-навигационное обеспечение и автоматизированная обработка телеметрической информации.

Телеметрия — техника измерений на расстоянии; телеметрическая информация — данные, которые поступают со спутника во время работы в космосе. Сюда входят и научная информация, ради которой создаётся проект, и данные о состоянии служебных систем спутника, которые нужны не только для контроля его полёта и управления, но и для правильной оценки научной информации и прогноза его работы в будущем.

Выбор орбиты, способа выведения, ориентации аппарата определяет и время жизни аппарата, и качество научных данных, и возможность управления. Поступающую с борта информацию также требуется «привязать» к положению аппарата в пространстве и во времени.

Все эти задачи требуют не только хорошо разработанного математического аппарата, но и понимания научной стороны экспериментов, поэтому сотрудники отдела всегда работают в тесной связке с экспериментаторами. А методы работы с информацией, которые разрабатываются для космических задач, потом оказываются нужны иногда в совершенно других областях.

Первым руководителем математического отдела стал участник Великой Отечественной войны, дважды кавалер ордена Красной Звезды полковник **Павел Ефимович Эльясберг** (05.06.1914–30.03.1988), главный научный консультант НИИ-4 Министерства обороны. С момента образования отдел занимался проектированием траекторий космических аппаратов к планетам Солнечной системы, в частности, к Венере и Марсу. Особенно важной задачей была оценка точности определения параметров траекторий по радиотехническим измерениям. Эта информация — важнейшая составляющая проекта в целом, так как от неё зависит момент, когда аппарат должен выйти на орбиту вокруг планеты и совершить посадку. Разработанные для этих задач методы оказались достаточно универсальными, чтобы их можно было использовать и в других областях техники, где надо получать так называемые гарантированные оценки точности определяемых параметров систем по измеряемым величинам.

Один из наиболее успешных проектов, где применялись теоретические разработки сотрудников отдела и созданные на их основе программные комплексы, — «Венера-Галлей» или, сокращённо, ВЕГА. В его ходе два аппарата совершали облёт Венеры и отправляли на планету спускаемые аппа-

The main role of the department is the comprehensive information support of space programs. The department as it is today exists since 1988, when ballistic and navigational support and automatic processing of telemetry data were combined under one IKI division.

Telemetry is a remote measuring process, and telemetry data is the information transmitted from a satellite while it operates in space. It includes scientific data, which is the main objective of the space mission, and housekeeping information, which is required for the spacecraft flight monitoring and control as well as for the correct assessment of scientific data and prediction of its future performance.

Orbit selection, launch method, and spacecraft attitude determine the spacecraft life expectancy, quality of scientific data and control capability. The incoming data should also be “tied” to the spacecraft position in space and time.

These tasks require not only well-developed mathematical tools, but an understanding of the scientific side of the experiments, for which reason the department staff always works closely with the investigators. And data processing methods developed for space missions sometimes turn to be necessary in completely different areas.

The first head of the Mathematics Department was a participant in the Great Patriotic War, recipient of Order of the Red Star (twice), Colonel **Pavel Elyasberg**, chief scientific consultant to the NII-4 institute of the Ministry of Defence. From its origin the department has been designing spacecraft trajectories to the planets of the Solar system, in particular Venus and Mars. Of prime importance was the estimation of trajectory information accuracy based on radio measurements. This information is the most important component of the whole program, since it determines the moment when the spacecraft enters the target orbit and lands. Methods developed for these tasks were quite universal to be applied in other fields, where it is necessary to make so-called guaranteed estimation of accuracy of system parameters obtained from measured values.

One of the most successful programs that employed the theoretical works of the department staff and the software based on these works was the Venus-Halley (VEGA) mission. During the program the two spacecraft flew near Venus, delivering descent probes to the planet, and then were redirected to the transfer trajectories to Comet Halley, which in 1985-86 came close to the Sun. Using the software developed by that time and experience from the previous programs, the department staff designed a trajectory that made possible the solution of this problem. Such a solution was the first of its kind in the world.

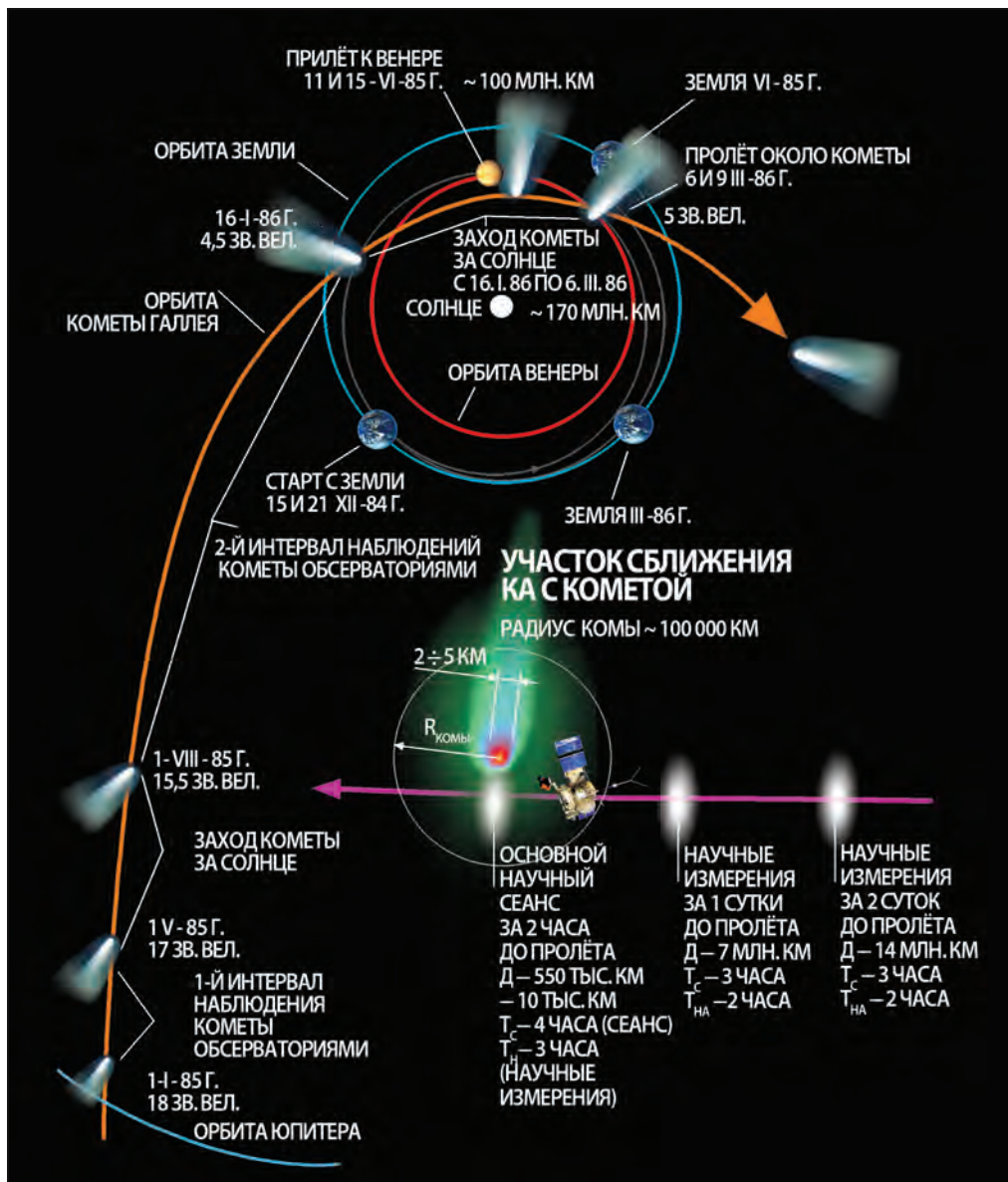
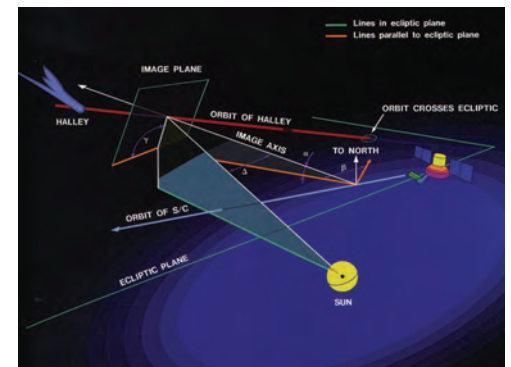


Схема миссии ВЕГА
VEGA mission scenario

Схема миссии ЛОЦМАН
Pathfinder mission scenario



раты, а затем выходили на траекторию перелёта к комете Галлея, которая в 1985–1986 г. сближалась с Солнцем. Опираясь на созданное к этому времени математическое обеспечение и приобретённый в предыдущих проектах опыт, сотрудники отдела спроектировали траекторию, которая обеспечила решение этой задачи. Такое решение было получено впервые в мире.

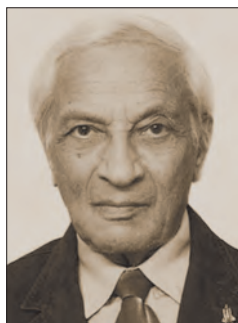
Однако реальный запуск проекта был возможен только в том случае, если точность определения параметров движения при пролёте кометы будет достаточна для физических экспериментов. Проблема состояла в том, что прогнозировать движение кометы достаточно трудно, потому что велика неопределённость реактивных сил от газа, испаряемого с поверхностью кометы.

However the real launch of the mission was possible only if the estimation of motion parameters during the comet flyby was sufficient for physical experiments. The problem laid in the fact that it is rather challenging to forecast the motion of a comet, as there is a high uncertainty in determining reactive forces caused by the gas evaporating from the comet surface.



Борис Бахшиян (1944–2011) — профессор, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ИКИ РАН и выдающийся специалист в области теории оценивания, космической динамики и планирования эксперимента, ученик П. Е. Эльясберга. Внёс значительный вклад в решение различных прикладных задач оценивания параметров траектории космических аппаратов, оценивания надёжности результатов функционирования информационно-измерительных систем, задач планирования экспериментов. Автор более 50 научных трудов и учебных пособий

Prof. Dr. Boris Bakhshiyev (1944–2011) was the leading researcher of the IKI and prominent expert in the field of estimation theory, space dynamics, and experiment planning, the student of P. Elyasberg. He made important contribution to the solution of many practical problems of spacecraft trajectory parameters estimation, assessment of information systems performance and mission planning. He was the author of more than 50 scientific papers and textbooks



Борис Рабинович (1924–2010) — профессор, д-р техн. наук, широко известен своими фундаментальными трудами в области динамики РКТ. Круг его научных интересов включал исследование вариационных режимов полёта самолётов и крылатых ракет, исследования по динамике твёрдого и упругого тела, взаимодействию с жидкостью, разработки численных методов решения задач устойчивости управляемых систем со многими степенями свободы и краевых задач механики и электродинамики сплошных сред, исследования по динамике вращающихся космических аппаратов с деформируемыми элементами, по применению магнетогидродинамических эффектов для ориентации и стабилизации ракетно-космических объектов, решение задач магнитной гидродинамики и гидромеханики, имеющих отношение к небесной механике. Последние работы Бориса Рабиновича были связаны с развитием концепции плазменного протооблака Альвена, вращающегося в магнитном поле центрального тела и обобщением её на Солнечную систему в целом и на некоторые экзопланетные системы. Перу Б. И. принадлежат 12 монографий и более 200 статей

Prof. Dr. Boris Rabinovich (1924–2010) is widely known by his profound works in space and rocket dynamics. He contributed to many fields of science, such as studies of variation modes of aircraft and cruise missiles flight, dynamics of solid and elastic bodies interacting with liquids, numerical solutions of problems concerning controlled systems stability with many degrees of freedom and boundary problems of mechanics and electrodynamics of continuum, dynamics of rotating spacecraft with deforming elements, use of MHD effects for spacecraft attitude control and stabilization, MHD- and hydromechanics problems related to celestial mechanics. His last works dealt with concept of Alfvén plasma protocloud rotating in the magnetic field of the central body and its generalisation for the Solar system and certain exoplanetary systems. B. Rabinovich was the author of 12 monographs and more than 200 papers

Эту проблему удалось решить, используя разработанные в отделе методы оценки точности при наличии так называемых немоделируемых возмущений. Выполненные отделом расчёты показали, что в существующих условиях требуемые условия по точности пролёта удовлетворяются.

В ходе проекта была выполнена ещё одна новая задача — дополнительный проект «Лощман». Его целью было уточнение эфемерид кометы, когда аппараты «Вега» пролетали вблизи её ядра. Полученные данные о положении аппаратов относительно ядра оперативно передавались в Европейское космическое агентство, которое использовало их, чтобы провести максимально близко к ядру европейский аппарат «Джотто» (Giotto). Иными словами, аппараты «Вега» сыграли роль лощмана в наведении европейского космического аппарата в ближайшие окрестности ядра кометы Галлея.

Миссия ВЕГА (КА «Вега-1» и «Вега-2») стала поистине эпохальной, поскольку она показала все возможности успешного выполнения космического проекта при высокой концентрации усилий на всех его этапах: от проектирования, разработки научных приборов, служебных и телеметрических систем, системы сбора данных до управления движением (трасса полёта, манёвр у Венеры, юстировка платформ), обработки телеметрии на всех этапах и баллистико-навигационной привязки научных данных. Проект потребовал и оперативного реагирования на новые ситуации: когда из строя вышла телевизионная установка на аппарате «Вега-2», положение кометы было успешно определено по телеметрическим данным значений углов платформы АСП-Г. И, конечно, проект стал новым этапом международного сотрудничества в космических экспериментах, когда взаимная работа аппаратов разных агентств позволила получить совершенно новый результат.

Направления работы

- поддержка управления работающими спутниками, в частности, «Чибис-М» (2012–2014) и «Спектр-Р» (с 2011 г. по настоящее время);
- разработка математического обеспечения для навигационной поддержки будущих проектов;
- динамика сложных механических систем, проектирование орбит космических миссий;
- построение математических моделей планирования космических экспериментов;
- проблемы космического мусора;
- управляемое движение естественных небесных тел.

The problem was solved by using the accuracy estimation methods developed by the department staff which took into account the so-called unmodeled disturbances. The calculations showed that under existing conditions the requirements for the flyby accuracy had been met.

In course of the program one more task was completed — the *Pathfinder* project. Its objective was to obtain more accurate comet ephemerides when the *Vega* spacecraft flew close to its nucleus. The collected data on the spacecraft positions with respect to the nucleus were promptly forwarded to the European Space Agency, which in its turn used the data to navigate the European spacecraft *Giotto* as close to the nucleus as possible. In other words the *Vega* spacecraft acted as pathfinders and helped to guide the European spacecraft closer to the nucleus of Comet Halley.

The *VEGA* program (spacecraft *Vega-1* and *-2*) truly became a milestone, as it presented the capabilities for successful execution of a space program with increased focus on all stages: from design and development of scientific instruments, service, and telemetry systems, data collection system to navigation (flight trajectory, manoeuvre near Venus, platform alignment), telemetry processing on all stages and ballistic and navigational referencing of the scientific data. The mission also involved prompt responses to new situations: when a television unit failed onboard *Vega-2*, the comet position was successfully defined based on the telemetry data, specifically the ASP-G tracking nonpressurized platform angles. And of course the mission became a new phase of the international cooperation in space experiments, when mutual operation of different agencies spacecraft made it possible to achieve completely new results.

Research Areas

- support of the operational satellites control, in particular *Chibis-M* (2012–2014) and *Spekttr-R* (2011–to date);
- development of the software for navigation support of future projects;
- dynamics of complex mechanical systems, design of space mission orbits;
- development of mathematical models for space experiments planning;
- space debris problems;
- controlled motion of natural celestial bodies.

Работы, проекты, результаты

С 2002 г. на высокоэллиптической орбите работает рентгеновская обсерватория «Интеграл» (ЕКА с международным участием), миссия которой была подготовлена и исполнена при участии российских специалистов, в том числе сотрудников отдела.

Основной российский вклад в проект — выведение аппарата на орбиту с помощью ракеты-носителя «Протон» и разгонного блока типа ДМ. Роль специалистов ИКИ заключалась в выборе рабочей орбиты и сценария запуска.

В результате проведённых в отделе исследований была выбрана орбита, для которой время существования аппарата превышало 30 лет, причём соблюдались ограничения по радиационному воздействию, поставленные разработчиками. Без преувеличений можно сказать, что выбор оказался исключительно удачным и с точки зрения приёма информации, которую можно принимать на протяжении почти полных интервалов измерений на каждом витке, используя, в основном, одну европейскую станцию в Реду с минимальным привлечением американской станции в Голдстоуне (в изначальном варианте орбиты доступное для проведения измерений время на витке составляло примерно половину от варианта ИКИ). Положение апогея орбиты удерживается в районе северного полюса, высота перигея колеблется в оптимальных пределах, чтобы уменьшить пребывание аппарата внутри радиационных поясов. Это также позволяет удовлетворять требованиям по максимально допустимому времени пребывания аппарата в тени Земли.

Чтобы удовлетворить требованиям по надёжности, специалисты ИКИ также предложили модифицированную схему выведения, при которой, в частности, не надо было включать двигатель разгонной ступени (блок ДМ) для операции доразгона.

Ещё один существенный вклад в проект — предложение по оптимизации управления ориентацией аппарата. В результате предложенного метода управления удалось снизить расход рабочего тела в несколько раз. Если при изначальном алгоритме рабочего тела должно было хватить на 5 лет, то предложенный и используемый подход позволил управлять аппаратом вплоть до настоящего времени (с октября 2002 г.) и, по оценкам, рабочего тела может хватить до 2022 г.

Исследования по динамике сложных систем привели к теоретическим выводам, далеко выходящим за рамки традиционных практических приложений. Были получены принципиально новые результаты по квантованию параметров Солнечной системы, тесно связанные с поведением плазменных колец в гравитационно-магнитном поле.

Projects and Results

From 2002, *Integral* X-Ray observatory (European Space Agency in cooperation with international partners) operates on high-elliptical orbit, and its mission was prepared and executed with the participation of Russian specialists, including the department staff.

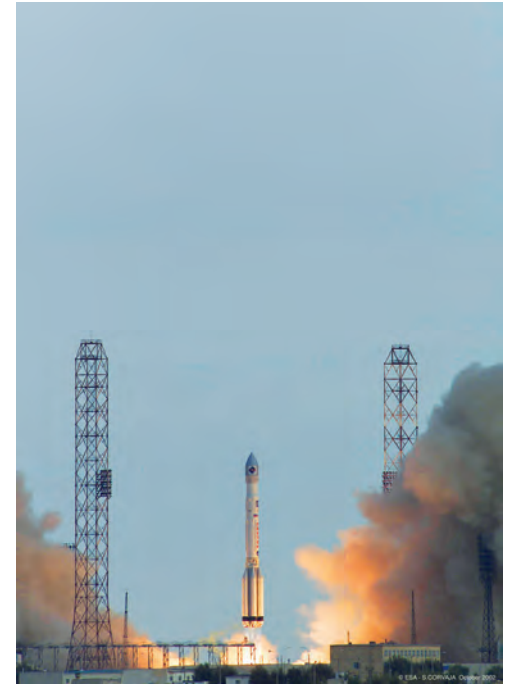
The main contribution to the mission by Russia was the launch of the spacecraft with *Proton* launcher and DM booster. The role of the IKI specialists was the selection of *Integral* operational orbit and launch scenario.

As a result of research conducted by the department the orbit was selected, which provided for the spacecraft life of more than 30 years, and that with the observance of radiation limits set by the developers. It would not be an overstatement to say that the selection has been also exceptionally well done from the point of data transmission, as it can be received during almost complete measuring intervals on every orbit, primarily using one European station in Redu with minimum involvement of the American station in Goldstone (the initially proposed orbit provided only about half of available measuring time per orbit compared to the IKI variant). Position of the orbital apogee is maintained near the North Pole, perigee altitude varies within the optimal range to reduce the spacecraft presence inside the radiation belts. This also makes possible to meet the requirements on maximum allowable time in the Earth shadow.

To satisfy the reliability requirements the IKI specialists further suggested an updated orbit insertion scenario that excluded the need to start the upper stage booster engine (DM block) for the reacceleration operation.

Another significant contribution to the project is a proposal for attitude control optimization. The proposed control method allows reducing the propellant consumption by several times. While according to the initial algorithm the propellant supply had been enough for 5 years, the proposed and actually implemented approach enabled to control the vehicle up to the present (from October 2012) and it is estimated to last until 2017.

Research on complex systems dynamics led to theoretical conclusions that far exceeded the scope of the traditional practical applications. Fundamentally new results were obtained on the Solar system parameters quantization, which are closely related to the behaviour of plasma rings in the gravity-magnetic field.



Старт ракеты-носителя «Протон» 17 октября 2002 г. с обсерваторией «Интеграл» (ЕКА) с космодрома Байконур (ESA/S. Corvaja)

Launch of Proton rocket carrying Integral space observatory (ESA) on October 17, 2002 from Baikonur Cosmodrome. (C) ESA / S. Corvaja

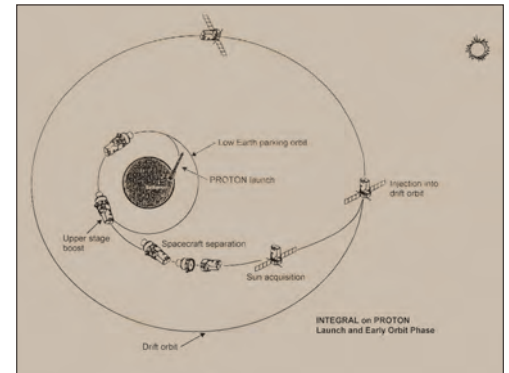
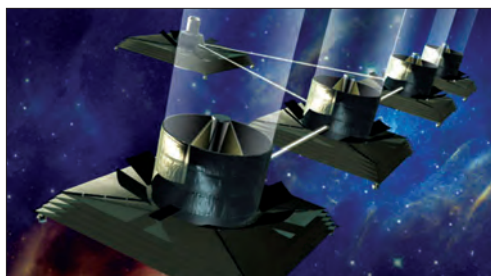


Схема выведения аппарата «Интеграл» с помощью ракеты-носителя «Протон». Картинка из статьи N. A. Eismont et al. Orbit design for launching INTEGRAL on the Proton/Block-DM launcher // A&A. 2003. V. 411. P. L37–L41. doi: 10.1051/0004-6361:2003145

INTEGRAL spacecraft orbit insertion scenario with the Proton launcher. Picture from the article by Eismont N. A. et al. Orbit design for launching INTEGRAL on the Proton/Block-DM launcher // A&A. 2003. V. 411. P. L37–L41. doi: 10.1051/0004-6361:2003145

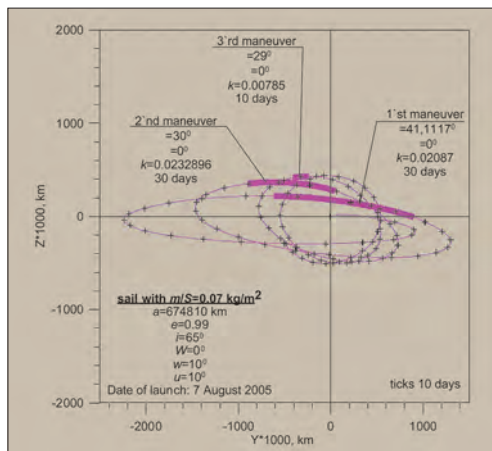
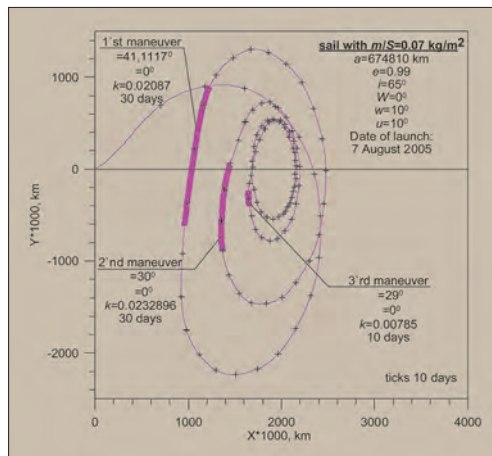


**Проект ТПФ (NASA).
Возможное применение
паруса для создания
и поддержания
группировок аппаратов
в окрестности точек
либрации**

*Project TPF (NASA). Possible
examples of spacecraft
operation using photon sail
in the L2 libration point vicinity*

**Примеры управления
космическим аппаратом
с помощью солнечного
паруса в окрестности
точки либрации L2**

*Examples of spacecraft
operation using photon sail
in the L2 libration point vicinity*



Кроме того, были изучены переходные процессы в многомерных системах, позволившие выявить ранее неизвестные особенности переноса энергии, характерные как для механических, так и для квантово-механических систем. В частности, рассматривались задачи туннелирования, т.е. необратимого переноса энергии под воздействием медленных возмущений параметров. Получены асимптотические решения, описывающие необратимый перенос энергии между механическими осцилляторами и показано, что полученные решения также пригодны для анализа переходов в квантово-механической двухуровневой системе на конечном интервале времени (задача Ландау-Зинера).

Отдельное внимание уделялось задачам динамики и управления механическими системами при случайных возмущениях. Построены явные асимптотические решения задач, связанных с анализом и оптимальным управлением так называемыми «большими отклонениями». Большие отклонения представляют собой редкие, но значительные отклонения от положения равновесия, вызванные слабыми внешними возмущениями. Они могут привести к потере устойчивости системы или, в более общем случае, к выходу из допустимой области движения. Найденные оценки вероятности выбросов и построение управления, препятствующего этим нежелательным событиям, представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Перспективный проект — солнечный парус с переменными управляемыми отражательными характеристиками из жидкокристаллических плёнок, прозрачность которых меняется изменением электрического напряжения между поверхностями. Численное моделирование показало, что такой парус можно эффективно использовать при полётах в окрестности солнечно-земной точки либрации L2. Преимущество концепции состоит в том, что можно отказаться от механических устройств для управления движением космического аппарата, в том числе, управления ориентацией.

При обработке информации на основе концепции замкнутого информационного цикла с обратной связью «наблюдение-управление», математической основой цикла служит один из наиболее современных вариантов алгоритма Калмана — так называемый информационный, в котором информация измеряется не просто в битах, которые не различают нужной и ненужной информации, а в единицах информации, полезной для задач управления. На основе этих алгоритмов развивается программный комплекс «Геодиалог», нацеленный на обработку космической информации о Земле и планетах. На протяжении последних 10 лет с его помощью обрабатывалась гиперспектральная информация о Земле и Марсе.

Moreover transition processes in multidimensional systems were investigated, revealing previously unknown characteristics of energy transfer typical for mechanical and quantum-mechanical systems. Specifically the tunnelling problems were examined (tunnelling is an irreversible energy transfer caused by slow perturbations of parameters). Asymptotic solutions describing irreversible energy transfer between mechanical oscillators had been obtained. It was shown that these solutions were also applicable for analyzing transitions in a 2-level quantum mechanical system on finite interval of time (the Landau-Zener problem).

Special attention was paid to the problems of dynamics and control of mechanical systems with random perturbations. Explicit asymptotic solutions were made for the problems related to analysis and optimal control of so-called “large deviations”. Large deviations are rare, but significant deviations from equilibrium state affected by small external perturbation. It can lead to the system instability and, more generally, exit from the acceptable motion region. The produced estimations of exit probability and design of control rules to prevent these adverse events are not only of theoretical, but also of practical interest.

A promising project is a photon sail with controlled reflecting capabilities made of liquid-crystal film which transparency can be changed by applying different electric voltage between surfaces. Numerical simulation has proved that this sail could be efficiently used in flights near the solar-terrestrial libration point L2. The advantage of the concept is the possibility to exclude the usage of mechanical devices for spacecraft motion control, including attitude control.

Information processing based on the concept of “monitoring-control” close-circuit information feedback cycle. One of the most modern variations of the Kalman algorithm acts as a mathematical framework for such a cycle (this algorithm is so-called informational, where information is not measured simply in bits, which cannot differentiate relevant and irrelevant information, but in information units, useful for control problems). Using these algorithms the software package *Geodialog* is been developed for processing of space information on the Earth and other planets. In the last 10 years it was used to process hyperspectral information about the Earth and Mars.

Получены интересные результаты по определению «тонких» параметров земной растительности, а для Марса — по динамике южной полярной шапки. Практически значимый выход этих исследований — оценка и управление риском для здоровья населения от загрязнения воздушной среды, для которой активно используются данные от предприятий-источников выбросов и космические данные. Такие работы проведены для около 100 предприятий и в целом по нескольким городам, включая Москву, и используются, например, при определении санитарно-защитных зон, планировании реконструкции предприятий и др.

Предложены методы обнаружения мультистабильности в системах высокой размерности. Под мультистабильностью понимается сосуществование двух или нескольких различных устойчивых периодических ритмов в системе с установленным набором параметров, но реализуемых из различных начальных условий. Полученные результаты оказались полезными не только для исследования бифуркаций в технических системах, но и для различных приложений. В частности, было обнаружено, что явление мультистабильности лежит в основе механизма внезапного возникновения аритмий в сердце.

На основе многолетней работы по визуализации объектов в рентгеновском диапазоне для космических обсерваторий («Рентген» на модуле КВАНТ станции «Мир», орбитальная обсерватория «Гранат») предложен принципиально новый способ обработки рентгеновских маммограмм, который резко повышает резкость и контрастность изображений онкологических опухолей и микрокальцинатов (как ранних предвестников рака) в молочной железе. Как следствие, заболевание можно диагностировать на более ранней стадии по сравнению с традиционной маммографией. На способ получено три патента РФ (патент «Способ двухэнергетической делительно-разностной маммографии» вошёл в список ФИПС «100 лучших изобретений России-2013») и Европейский патент в формате PCT (в настоящее время идёт процедура национализации данного патента в США и Японии).

Разработано математическое обеспечение для навигационной поддержки проекта «ЭкзоМарс» (Роскосмос/ЕКА). Согласно плану, первый этап миссии предполагает запуск в 2016 г. аппарата на высокоэллиптическую орбиту спутника Марса, а в 2018 г. будет запущен аппарат для доставки на поверхность Марса марсохода. Для перехода аппарата с высокоэллиптической орбиты спутника Марса на низкую планируется использовать последовательные торможения аппарата в атмосфере Марса в районе перигея.

Remarkable results were obtained on determination of terrestrial vegetation “fine” parameters, and the southern polar cap dynamics on Mars. The significant practical outcome of this research is the assessment and management of population health risk from the air contamination, which actively employs the data from industrial sources of air pollution and space monitoring data. Such work was conducted for approximately 100 industrial enterprises and a number of cities in general (including Moscow) and is applied to define sanitary protection zones, plan enterprise reconstructions, etc.

Methods for detection of multistability in large-dimensional systems were proposed. By multistability it is understood the co-existence of two or several different stable periodic rhythms in a system with the given set of parameters, but which are derived from different initial conditions. These results were helpful not only for study of bifurcations in technical systems, but for other applications as well. Specifically it was discovered that the multistability phenomenon forms the basis for the cardiac arrhythmia uprush mechanism.

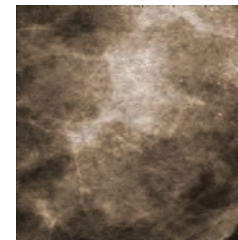
Through many years of work on X-ray spectrum objects visualization for space observatories (*Renigen* on the *Kvant* module of the *Mir* station, the *Granat* orbital observatory) it was proposed a fundamentally new approach to process X-ray mammograms, that enabled to dramatically increase image sharpness and contrast of images of oncology tumors and microcalcifications (as early cancer precursors) in the mammary gland. Consequently the disease can be diagnosed on an earlier stage compared to the traditional mammography. Three Russian patents (the “Method of dual-energy dividing mammography” patent was included in the Federal Institute for Industrial Property list of the 100 best Russian inventions in 2013) and a European PCT patent were obtained for this method. Currently it undergoes national validation procedures in the USA and Japan.

Development of software for the *ExoMars* mission (Roscosmos/ESA) navigation support. As scheduled, the first mission stage envisions the spacecraft launch in 2016 to the highly elliptical orbit of the Mars satellite, and the launch in 2018 of another spacecraft to deliver a Mars rover to the Mars surface. To transfer from highly elliptical to low orbit a sequential deceleration in the Mars atmosphere is planned in the vicinity of the pericenter.

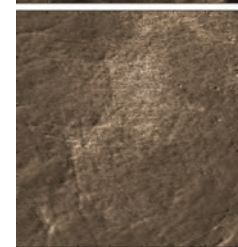


Автор нового способа обработки рентгеновских маммограмм д-р.техн.наук В.А. Горшков

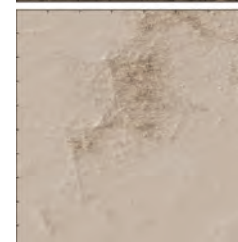
Dr. V.A. Gorshkov, the author of the new approach to process X-ray mammograms



1



2



3

Способ двухэнергетической делительно-разностной маммографии

Традиционная (1), разностно-делительная (2) маммограммы и линейная комбинация разностной и делительной маммограмм (3)

Method of dual-energy dividing mammography.

Traditional (1), dividing-subtracting (2) mammograms and linear combination of subtracting and dividing mammograms (3)

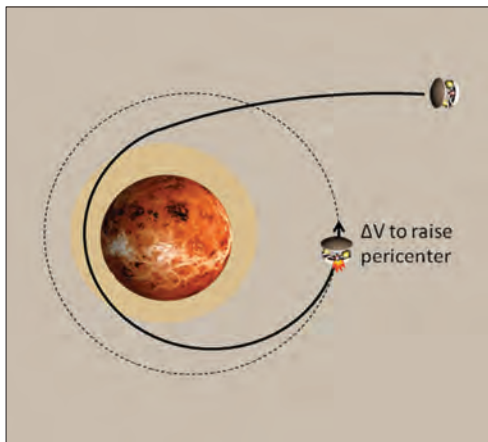
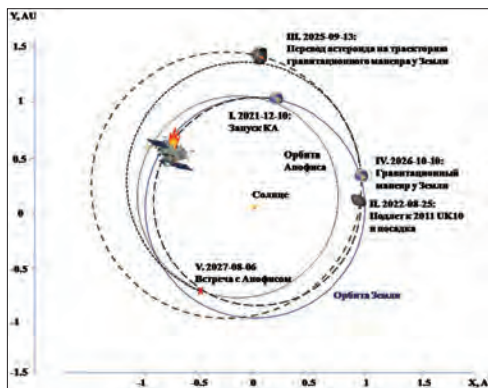
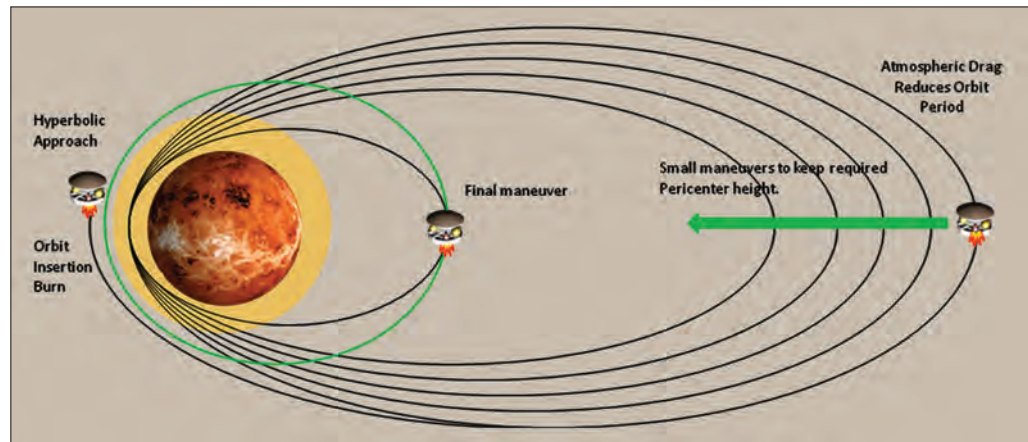


Схема последовательных торможений в атмосфере, которые планируется применить в проекте ЭКЗОМАРС

Atmospheric deceleration sequence planned for the ExoMars mission



Общая схема миссии по посадке на астероид для его перевода на траекторию встречи с астероидом Апофис

General scheme of the mission to land on an asteroid, which is to be transferred on a collision trajectory with Apophis

Этот метод был разработан и соответствующие способы управления были смоделированы в ИКИ более сорока лет назад и сегодня находят приложение при подготовке и реализации межпланетного проекта.

Проблема управляемого движения естественных небесных тел — главное перспективное направление исследований и разработок отдела. По мере открытия угрожающих Земле астероидов растёт интерес к разработке способов предотвратить их столкновение с нашей планетой. Самым известным из таких небесных объектов стал астероид Апофис, вероятность встречи которого с Землёй оценивалась достаточно высоко.

Отделом был предложен оригинальный метод отклонения небесного тела от опасной траектории: направить на него не космический аппарат (масса которого составляет всего несколько тонн), а относительно небольшой астероид размером 10...15 м с помощью гравитационного манёвра у Земли. Масса этого астероида-«снаряда» может быть достаточно, чтобы отклонить «мишень» массой в несколько миллионов тонн.

Поиски среди известных астероидов таких, которые могут быть переведены на траекторию встречи с Апофисом с помощью сообщения астероиду приемлемого по величине импульса скорости (не более, например, 10 м/с), показали, что в имеющемся списке астероидов таковые имеются, причём в наиболее удачном случае необходимый импульс скорости не превышает 2,5 м/с. Это означает, что в идеальном случае — когда не требуются корректирующие импульсы — задача решаема.

This technique with corresponding control methods had been developed by IKI over forty years ago and today they are applied in preparation and execution of the interplanetary mission.

The problem of the controlled motion of natural celestial bodies is the most prospective direction among research and development activities of the department. As the number of discovered asteroids that present a threat to the Earth increases, so does the interest in finding ways to prevent their collision with our planet. The most prominent among such celestial bodies became the asteroid Apophis, the probability of its encounter with the Earth had been not so long ago estimated as quite high.

The department proposed an innovative method for deflection of a celestial body from a hazardous trajectory: to direct at it not a spacecraft (weighing only a few tonnes), but a relatively small asteroid 10...15 m in size using a near-Earth gravity-assist manoeuvre. The bulk of this “projectile” asteroid could be sufficient to deflect the “target” weighing several million tonnes.

The search among the known asteroids for the ones that can be transferred on a collision trajectory with Apophis by imposing an appropriate velocity impulse to an asteroid (e.g. not more than 10 m/s) revealed such bodies in the list and, in the most favourable case, the required impulse would not exceed 2.5 m/s. This means that in an ideal situation — when correcting impulses are not required — the problem can be solved.

Для реальной миссии требуется найти методы значительного снижения ожидаемых величин корректирующих импульсов. В качестве решения было предложено использовать автономные интерферометрические измерения, которые, по предварительным оценкам, позволяет снизить возможные ошибки определения траектории астероида-снаряда относительно астероида-мишени до приемлемых величин, а вместе с ними и необходимые импульсы коррекции.

Развитием этих работ стала концепция перевода малых астероидов на резонансные с орбитальным движением Земли орбиты с помощью гравитационных манёвров. Находясь на таких орбитах, эти астероиды будут периодически сближаться с нашей планетой. В ходе работы было установлено, что для случая резонанса 1:1 существует более десяти астероидов, которые можно захватить на резонансную орбиту ценой импульса скорости, не превышающего 20 м/с.

Это открывает беспрецедентные возможности для дальнейшего управления захваченными астероидами с помощью последующих гравитационных манёвров, вплоть до наведения этих астероидов на Марс, Венеру, Меркурий, Юпитер или иные тела Солнечной системы, включая опасные астероиды и кометы. С другой стороны, резонансные астероиды представляют собой удобный объект исследований, в том числе, в пилотируемых полётах.

For a real mission methods need to be found to significantly reduce the expected correction impulse values. As a solution it was proposed to use autonomous interferometer measurements, which according to preliminary estimates make possible to reduce probable errors in determination of the projectile asteroid trajectory relative to the target asteroid within acceptable range, and with it the required correcting impulses.

A development of these works is the concept of transferring small asteroids to orbits resonant with the Earth orbital motion using gravity-assist manoeuvres. On such orbits the asteroids would periodically approach our planet. During the work it has been established for the 1:1 resonance case there are over ten asteroids which can be captured to a resonant orbit with a velocity impulse not more than 20 m/s.

This opens unprecedented capabilities for further control of the captured asteroids with subsequent gravity-assist manoeuvres up to the targeting these asteroids at Mars, Venus, Mercury, Jupiter, and other bodies in the Solar system, including hazardous asteroids and comets. On the other hand these resonant asteroids represent convenient research targets, including manned spaceflights

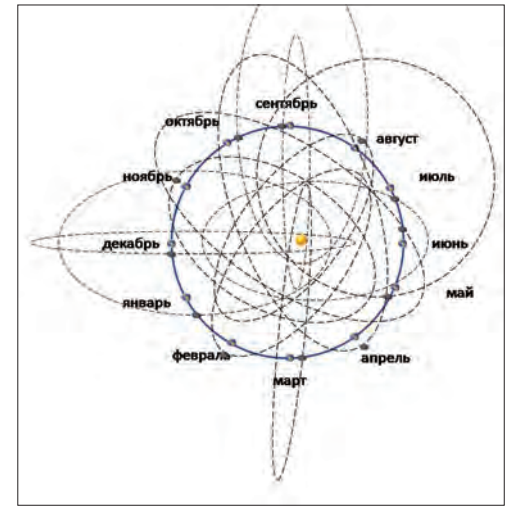


Схема движения астероидов, синхронизированных с годовым вращением Земли

Asteroids' motion, after synchronization with the Earth motion during a year

**ОТДЕЛ ЯДЕРНОЙ
ПЛАНЕТОЛОГИИ
(63)
NUCLEAR PLANETOLOGY
DEPARTMENT
(63)**



**Руководитель — д-р физ.-мат. наук,
профессор Игорь Митрофанов**

Head — Prof. Dr. Igor Mitrofanov



**И. С. Шкловский
(01.07.1916–03.03.1985) —
заведующий отделом
внеатмосферной
астрономии, основатель
группы ядерных
планетных исследований,
которая положила начало
современному отделу
«Ядерной планетологии»
ИКИ РАН**

*Dr. Iosif S. Shklovsky
(July 1, 1916 — March 3, 1985)
Head of the Extraterrestrial
Astronomy Department is
the founder of the nuclear
planetology group, which
originated the modern
department of IKI*

**Лаборатория нейтронной и гамма-
спектроскопии (631) (руководитель —
д-р физ.-мат. наук Максим Литвак)**

**Лаборатория ядерно-физических приборов
(632) (руководитель — канд. физ.-мат. наук
Максим Мокроусов)**

**Лаборатория исследований элементного
состава поверхности планет (633)
(руководитель — д-р физ.-мат. наук
Игорь Митрофанов)**

**Neutron and Gamma Spectroscopy Laboratory
(631). Head — Dr. Maxim Litvak**

**Instruments for Nuclear Physics Measurements
Laboratory (632). Head —
Dr. Maxim Mokrousov**

**Planetary Surface Composition Laboratory
(633). Head — Prof. Dr. Igor Mitrofanov**

Отдел 63 «Ядерной планетологии» — одно из самых молодых структурных подразделений ИКИ РАН. Он был создан 3 марта 2014 г. на базе самостоятельной лаборатории космической гамма-спектроскопии, которая была сформирована в августе 1992 г. из самостоятельной научной группы И.Г. Митрофанова. В свою очередь, решение о создании этой группы было принято в 1984 г. заведующим отделом внеатмосферной астрономии членом-корреспондентом АН СССР **Иосифом Самуиловичем Шкловским** (01.07.1916–03.03.1985).

Отдел Шкловского в то время был институтом в Институте — он объединял около полутора десятка лабораторий, тематика которых покрывала практически все спектральные диапазоны электромагнитного излучения — от радиоволн до рентгеновского и гамма-излучения. Кроме прочих, в отделе также был сектор теоретической астрофизики, который успешно расширял притязания отдела на космологию, гравитацию и физику элементарных частиц. (Читатели, жившие в ту эпоху, оценят высочайший статус отдела Шкловского в ИКИ по тому номеру, который он имел в институтской структуре — № 3, занимая место сразу же после таких важнейших структурных подразделений советского института, как «первый» и «второй» отделы.)

Характер «внеатмосферных» исследовательского отдела Шкловского требовал научных экспериментов на борту космических аппаратов, при том что конкуренция за место под «космическим Солнцем» тогда была достаточно высока, а приоритет в 1970–1980-е гг. отдавался исследованиям Венеры и Марса. С другой стороны, самой горячей областью астрофизики тех лет были космические гамма-всплески, в спектрах которых группой ленинградского астрофизика Е.П. Мазеца были обнаружены спектральные линии циклотронного и аннигиляционного излучения. Поэтому когда старший научный сотрудник отдела № 3 И.Г. Митрофанов обратился к Иосифу Самуиловичу с предложением провести для проверки результатов Мазеца космический эксперимент по гамма-спектроскопии космических всплесков, изобретательный *Доктор* (так

Department No. 63 for Nuclear Planetology is one of the most young departments in IKI. It was formed on 3 March 2014 on the basis of a separate laboratory of space gamma-ray spectroscopy, which was created in August 1992 from the Igor Mitrofanov research team. In turn a decision on putting this team together was made in 1984 by the head of the Extraterrestrial Astronomy Department, who was correspondent member of the Academy of Sciences **Iosif Shklovsky**.

Shklovsky's department was at that time an institute within the Institute, it combined approximately 15 laboratories, which covered almost all spectral range of the electromagnetic radiation, from radiowaves to X-ray and gamma rays. Moreover, it also included a theoretical astrophysics section, which successfully expanded on the department assertions to include cosmology, gravity, and elementary particle physics. (The readers from that period will appreciate the highest status of the Shklovsky's department by its number in the organizational structure — No. 3, right after such important departments of the Soviet institute as the “First” and the “Second”.)

The nature of the department's extraterrestrial studies required scientific experiments onboard spacecraft, and that was in the environment of high competition with priorities in the 1970–1980s given to the investigations of Venus and Mars. On the other hand, the then “hottest” field in astrophysics was cosmic gamma-ray bursts, in which spectra the team headed by Leningrad astrophysicist Evgeny Mazets discovered spectral lines of the cyclotron and annihilation radiation. So when senior researcher of the department No. 3 Igor Mitrofanov approached Iosif Shklovsky with a proposal to conduct a space experiment on gamma spectroscopy and test Mazets's results, resourceful Doctor (as Shklovsky was called by his students) persuaded the head of the Institute and member of the Academy of Sciences Roald Sagdeev to upgrade the instrument GS-14 for recording of the Mars gamma radiation (principal investigator was Prof. Yuri Surkov, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytic Chemistry of the USSR Academy of Sciences) aboard the Mars spacecraft *Phobos 1* and *Phobos 2* with a small VGS unit for the accompanying study

звали И.С. его ученики) уговорил директора Института академика Р.З. Сагдеева дополнить на борту марсианских аппаратов «Фобос-1» и «Фобос-2» прибор ГС-14 (руководитель — профессор Ю.А. Сурков, Институт геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ) им. В.А. Вернадского АН СССР) для регистрации гамма-излучения Марса небольшим блоком ВГС (всплесковый гамма-спектрометр) для попутного изучения гамма-всплесков. Поскольку Митрофанов был физиком-теоретиком и не имел опыта создания лётной аппаратуры, блок ВГС по замыслу Доктора должны были разработать французы — традиционные партнёры ИКИ в космосе.

Достаточно скоро стало понятно, что всплесковый прибор ВГС также можно использовать для регистрации марсианских гамма-лучей во время пролёта вблизи Красной планеты, чтобы повысить пространственное разрешение при измерении гамма-лучей от марсианской поверхности. Так в 1984 г. в ИКИ появилась группа Митрофанова, работающая в областях спектроскопии космического гамма-излучения и «ядерной планетологии». А спустя пять лет, в феврале 1989 г., эта группа в составе советско-французского коллектива эксперимента APEX (Astrophysical Planetological EXperiment) с приборами ГС-14 и ВГС, впервые зарегистрировала и исследовала собственное гамма-излучение Марса.

Основные направления исследований

- космические гамма-всплески и жёсткое излучение солнечных вспышек;
- ядерная планетология; в последние несколько лет это направление выдвинулось на первое место, в его рамках в отделе осуществляются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию новой бортовой аппаратуры;
- научно-организационное руководство подготовкой двух перспективных космических проектов Роскосмоса «Луна-25» (ОКР «Луна-Глоб») и «Луна-27» (ОКР «Луна-Ресурс-1»); отдел также отвечает за отработки и испытания комплексов научной аппаратуры этих проектов.

Проекты с участием сотрудников отдела

ВГС (в составе прибора ГС-14, проект ФОБОС, 1988 г.)
 «Марс-96» (1996),
 ХЕНД (Mars Odyssey, NASA, 2001 г.)
 БТН-М1 (эксперимент «БТН-Нейтрон», РС МКС, начало работы 2007 г.)
 ЛЕНД (LRO, NASA, 2009 г.)
 НС-ХЕНД («Фобос-Грунт», 2011 г.)
 ДАН («Кьюриосити» (Curiosity), NASA, 2011 г.)

of gamma-ray bursts. Since Mitrofanov was a theoretical physicist and did not have experience in designing onboard hardware, the Doctor envisioned that the VGS unit would be designed by the French, IKI's usual partners in space.

It soon became clear that the gamma-ray burst unit could also be applied to register Mars gamma rays during the flight near the Red Planet in order to enhance the spatial resolution while measuring gamma rays from the Mars surface. And so in 1984 the Mitrofanov team was formed in IKI that specialized in cosmic gamma ray spectroscopy and “nuclear planetology”. Five years later, in February 1989, the team, being a part of the Soviet-French experiment APEX (Astrophysical Planetological EXperiment) for the first time recorded and studied the Mars own gamma radiation via GS-14 and VGS instruments.

Research Areas

- cosmic gamma-ray bursts and solar flare hard X-ray bursts;
- nuclear planetology; in the last few years this line of research have come to the forefront, and in its frame the department conducts research and development of new onboard equipment;
- scientific and organizational supervision of two planned Roscosmos space missions *Luna-Glob* and *Luna-Resurs-Lander*; the department is also in charge of development and testing of scientific packages for these missions.

Completed and Ongoing Projects

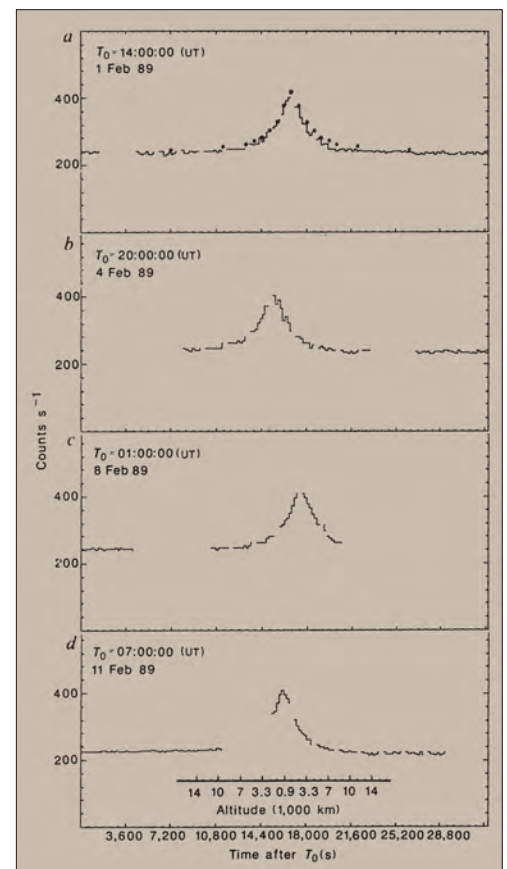
VGS (as part of the GS-14 instrument, *Phobos* mission, 1988)
Mars-96 (1996)
 HEND (*Mars Odyssey*, NASA, 2001)
 BTN-M1 (experiment *BTN-Neutron*, Russian segment of the International Space Station, 2007)
 LEND (LRO, NASA, 2009)
 NS-HEND (*Phobos Sample Return*, 2011)
 DAN (*Curiosity*, NASA, 2011)



Максим Литвак
Maxim Litvak

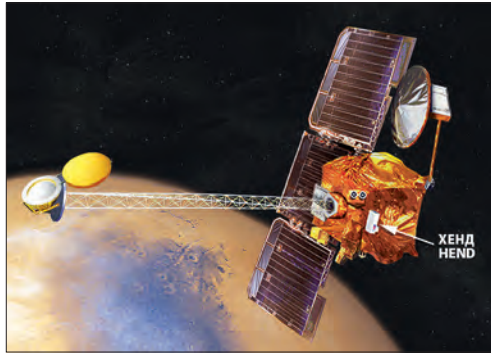


Максим Мокроусов
Maxim Mokrousov



Измерения потока гамма-излучения от Марса в советско-французском эксперименте APEX на борту аппарата «Фобос-2». Показаны профили потока гамма-лучей в четырёх последовательных пролётах над Марсом 1–11 февраля 1989 г. с минимальной высотой в перигеентре около 900 км

Measurements of the Mars gamma ray flux in the Soviet-French experiment APEX aboard the Phobos 2 probe. The gamma ray flux profiles are visible in four successive passes over Mars on 1–11 February 1989 with the pericenter minimal altitude of ca. 900 km

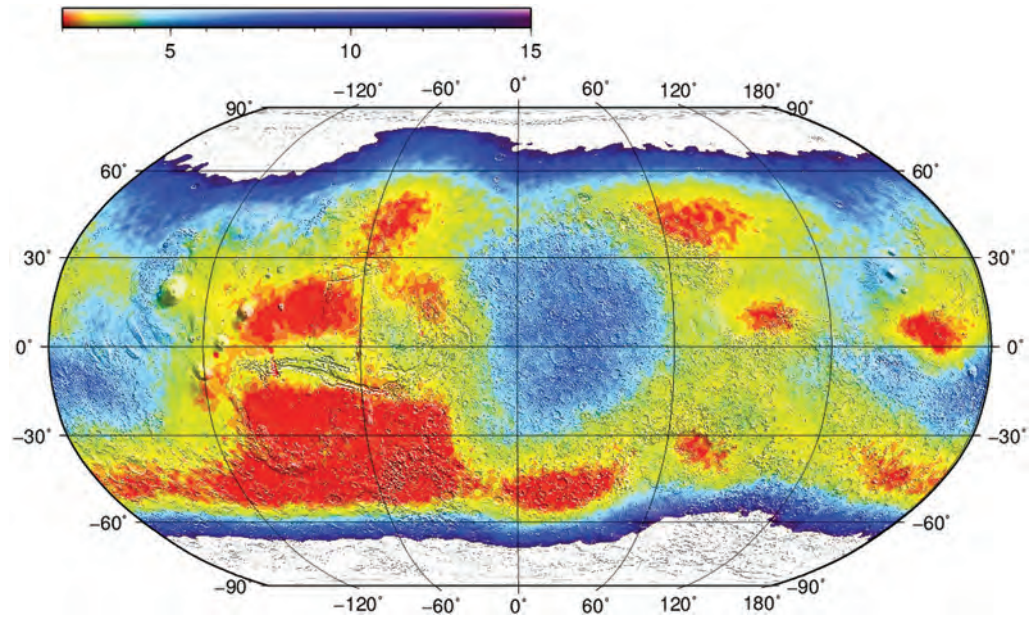


Российский нейтронный детектор ХЕНД (HEND) на борту марсианского аппарата «Марс Одиссей» (© НАСА, запуск 2001 г.)

Russian neutron detector HEND aboard the spacecraft Mars Odyssey © NASA, launch in 2001

Карта распределения воды в грунте Марса (массовая доля, %), полученная по данным эксперимента ХЕНД (см. с 222). Белым цветом показаны районы полярной вечной мерзлоты, где доля водяного льда составляет десятки процентов

Subsurface water distribution map of Mars (mass fraction, %) based on the HEND experiment data. The polar permafrost regions are white, where the water ice fraction is tens percent



В стадии разработки

МГНС («Беппи Колombo», ЕКА, 2017), на орбите вокруг Меркурия

ФРЕНД («ЭкзоМарс», орбитальный аппарат Trace Gas Orbiter, ЕКА/Роскосмос, 2016), на орбите вокруг Марса

АДРОН-МП и АДРОН-МР («ЭкзоМарс», марсоход «Пастер» и посадочная платформа, ЕКА/Роскосмос, 2018 г.), поверхность Марса

БТН-М2 (эксперимент «БТН-Нейтрон», Российский сегмент Международной космической станции, 2017 г.)

ЛГНС, АДРОН-ЛГ и АДРОН-ЛР на окололунной орбите и на поверхности Луны (проекты Роскосмоса «Луна-25» — «Луна-27», 2018–2020 гг.)

Приборы, проекты, результаты

В настоящее время отдел проводит четыре космических научных эксперимента: на околоземной орбите (российский сегмент МКС), на окололунной орбите (проект NASA LRO — «Лунный орбитальный зонд», ЛРО), на околомарсианской орбите (проект NASA «Марс Одиссей») и на поверхности Марса (проект NASA «Кьюриосити»).

Эксперимент ХЕНД (HEND). Эксперимент проводится с апреля 2001 г. по настоящее время на борту марсианского космического аппарата NASA «Марс Одиссей» (Mars Odyssey).

Projects In Development

MGNS (*BepiColombo*, ESA, 2017), Mercury orbital mission

FREND (*ExoMars, Trace Gas Orbiter*, ESA/Roscosmos, 2016), Mars orbital mission

ADRON-MP and ADRON-MR (*ExoMars, Rover Pasteur and Lander*, ESA/Roscosmos, 2018), Mars landing mission

BTN-M2 (experiment *BTN-Neutron*, Russian segment of the International Space Station, 2017)

LGNS, ADRON-LG and ADRON-LR for lunar orbital and landing mission (Roscosmos missions *Luna -Glob and Luna-Resurs*, 2018-20)

Instruments, Projects, Results

Currently the Department conducts four space experiments: in low Earth orbit (the ISS Russian segment), in lunar orbit (NASA mission LRO), in Mars orbit (NASA mission *Mars Odyssey*) and on Mars surface (NASA mission *Curiosity*).

Experiment HEND (High Energy Neutron Detector). The experiment started in April 2001 to the present day aboard the NASA spacecraft *Mars Odyssey*.

Основная задача эксперимента — измерение нейтронного излучения поверхности Марса под воздействием потока космических лучей и изучение на основе анализа этих данных распространённости воды в веществе грунта Марса на глубине до 1 м. Основным научным результатом эксперимента ХЕНД — открытие районов с высоким содержанием воды в веществе грунта. По оценкам, содержание воды в экваториальных областях Земли Аравия (Arabia Terra) и Борозды Медузы (Medusae Fossae) составляет 7...10 % по массе, а на широтах выше 60° к северу и югу доля воды в грунте достигает десятков процентов.

Кроме этого, данные измерений прибора ХЕНД используются для изучения космических гамма-всплесков и жёсткого излучения солнечных вспышек, которых за время работы в космосе было зарегистрировано около 400. Данные измерений гамма-всплесков позволили определить расположение их источников на небесной сфере, а данные по солнечным вспышкам помогли измерить степень анизотропии излучения активных областей на поверхности Солнца.

По результатам эксперимента ХЕНД сотрудники отдела опубликовали более 30 статей в реферируемых журналах, в частности, две статьи в международном журнале *Science*, и сделано более 100 докладов на научных конференциях.

Эксперимент БТН-М1 (бортовой телескоп нейтронов) проводится с 22 февраля 2007 г. на российском сегменте МКС как первый этап комплексного космического эксперимента «БТН-Нейтрон». Основные задачи эксперимента с аппаратурой БТН-М1 — изучение нейтронной компоненты радиационного фона на борту МКС и регистрация рентгеновского и гамма-излучения гамма-всплесков и солнечных вспышек. Для реализации эксперимента БТН-М1 использовался запасной лётный образец прибора ХЕНД, который был размещён в несущей термостабилизированной ферме и установлен на внешней поверхности модуля «Звезда» во время двух выходов в открытый космос российского космонавта Михаила Тюрин и американского астронавта Майкла Лопес-Алегрия. Управление экспериментом и связь с бортовыми системами МКС обеспечивает специально разработанный блок электроники, установленный внутри гермоотсека.

По результатам эксперимента БТН-М1 построена карта мощности эквивалентной радиационной дозы на борту МКС от нейтронной компоненты радиационного фона.

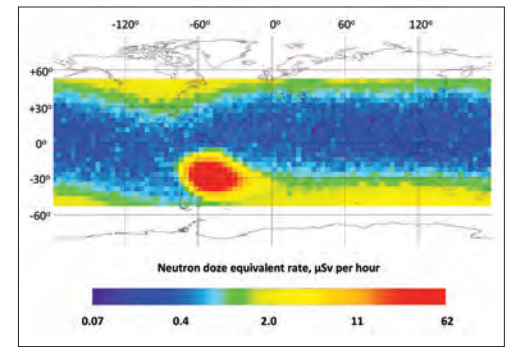
The main task of the experiment is to measure neutron radiation on the Mars surface, which is caused by cosmic ray flux, and following the data analysis to study water abundance in the Mars ground at the depth down to 1m. The main findings of the HEND experiment are discoveries of regions with high water content in the shallow subsurface ground matter. According to the estimates, the water content in the equatorial areas of Arabia Terra and Medusae Fossae is 7...10 % by weight, and in latitudes above 60° north and south the water content reaches tens of percent.

Moreover the measurement data of the HEND instrument is applied for studies of cosmic gamma-ray bursts and solar flare hard X-ray radiation, of which ca. 400 were recorded while in space. The gamma-ray burst measurements allowed to determine their sources on the celestial sphere, and the solar flare data supported radiation anisotropy measurements of the Sun's active areas.

Based on the results of the HEND experiment over 30 papers in peer-reviewed magazines were published, in particular two articles in the international magazine *Science*, and over 100 reports at scientific conferences were made.

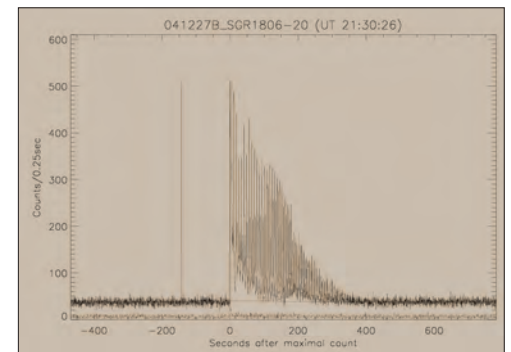
БТН-М1 experiment (short for Russian On-board Neutron Telescope) is conducted since 22 February 2007 onboard the Russian segment of the ISS as the first stage of the *BTN-Neutron* space experiment. The main tasks of the experiment are the study of neutron component of the ISS background radiation and recording of X-ray and gamma-ray emission of gamma-ray bursts and solar flares. To implement the BTN-M1 experiment a backup flight unit of the HEND instrument located on the integrated truss was utilized, which was reinstalled on the external surface of the *Zvezda* module during two EVAs by Russian cosmonaut Mikhail Tyurin and American astronaut Michael Lopez-Alegria. The experiment control and communication with the ISS onboard systems is provided by a specially designed electronic block, mounted inside the pressurized shell.

From the BTN-M1 results the map was plotted for equivalent dose rate from the neutron component of the ISS background radiation.



Карта для мощности эквивалентной радиационной дозы (мЗв/ч) от нейтронной компоненты радиационного фона на борту МКС по данным аппаратуры БТН-М1

A map of equivalent dose rate (millisievert/hour) from the neutron component of the ISS background radiation according to BTN-M1 data



Измеренный в эксперименте ХЕНД профиль уникального космического гамма-всплеска 27 декабря 2004 г.

Unique gamma-ray burst profile measured by the HEND experiment on 27 December 2004

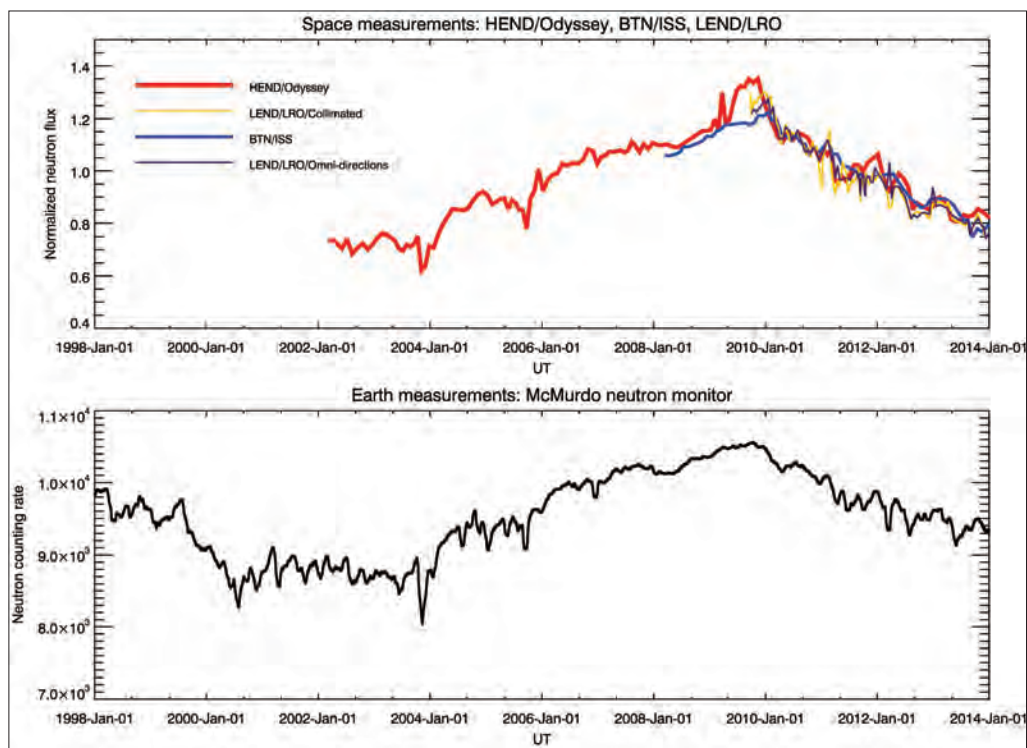


Астронавт НАСА Майкл Лопес-Алегрия устанавливает внешний регистрационный блок аппаратуры БТН-М1 на внешней поверхности модуля «Звезда» Российского сегмента МКС. Фото российского космонавта-участника эксперимента БТН-М1 Михаила Тюрин

Michael Lopez-Alegria, NASA astronaut, mounts the external detector assembly of the BTN-M1 hardware on the external surface of the Zvezda module of the RS ISS. The photo is taken by Mikhail Tyurin, Russian cosmonaut and a participant of the BTN-M1 experiment

Профили вариаций галактических космических лучей во внутренней области Солнечной системы по данным приборов ХЕНД, БТН-М1 и ЛЕНД (вверху) и их сопоставление с наземными наблюдениями на арктической станции Мак-Мердо (внизу)

Profiles of galactic cosmic rays variations in the inner Solar system according to the data of HEND, BTN-M1, and LEND (up) and their correlation with ground observations from the arctic station McMurdo (down)



Кроме этого, данные совместных измерений прибора БТН-М1 с другими ядерно-физическими приборами отдела позволили измерить синхронные профили долговременных вариаций потоков космических лучей в различных областях Солнечной системы: на околоземной орбите (прибор БТН-М1), на орбите вокруг Марса (прибор ХЕНД) и на орбите вокруг Луны (прибор ЛЕНД, см. ниже).

Besides the measurement data of combined BTN-M1 and other nuclear instruments of the Department enabled measurements of synchronous profiles of long-term flux variations of cosmic rays in different areas of the Solar system: in low Earth orbit (BTN-M1 instrument), in Mars orbit (HEND instrument), and in Moon orbit (LEND instrument, see below).



Натурно-массовый образец прибора ЛЕНД готовится к приёмодаточным испытаниям в ИКИ РАН перед отправкой в НАСА. Слева направо: представители группы контроля качества и надёжности Е. В. Ларионов и Б. С. Новиков, конструктор прибора В. С. Трошин, руководитель эксперимента И. Г. Митрофанов и член научной команды эксперимента Р. З. Сагдеев

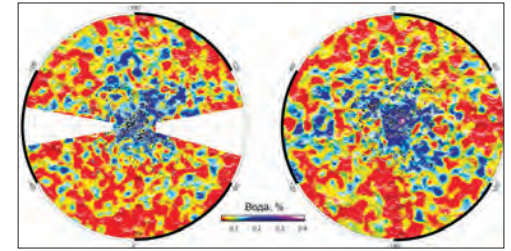
A full-scale prototype of the LEND instrument is prepared for acceptance tests at IKI prior to shipping to NASA. L-R: QC group representatives E. Larionov and B. Novikov, instrument designer V. Troshin, principal investigator I. Mitrofanov and member of the experiment science team R. Sagdeev



Сотрудники отдела Максим Мокроусов (вверху) и Антон Санин (справа) получают премию Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых учёных (2010) за успешную разработку и реализацию космического эксперимента ЛЕНД



The Department members Maxim Mokrousov (left) and Anton Sanin (top) receive the Presidential Award in Science and Innovations for Young Scientists (2010) for successful development and implementation of the LEND space experiment



Карты распространённости воды в реголите северного (слева) и южного (справа) полюсов Луны по данным нейтронного телескопа ЛЕНД на борту лунного спутника ЛРО (НАСА)

Maps of water abundance in the lunar regolith of the North (left) and South (right) poles according to the data of the LEND neutron telescope onboard the LRO satellite (NASA)

По результатам эксперимента БТН-М1 опубликовано 5 статей в реферируемых журналах и сделано около 20 докладов на научных конференциях.

Эксперимент ЛЕНД (LEND) проводится с июня 2009 г. на борту лунного спутника NASA LRO (ЛРО). Этот эксперимент основан на принципиально новой разработке коллиматора космического нейтронного телескопа, который позволяет достичь пространственного разрешения около 10 км на поверхности Луны при наблюдениях с орбиты с высотой около 50 км.

На основе обработки данных измерений нейтронного излучения от полярных районов Луны с высоким пространственным разрешением были впервые построены карты распространённости воды в лунном реголите на северном и южном полюсах Луны. Эти результаты определили современные представления о природных условиях и о распространённости воды и летучих соединений на северном и южном полюсах Луны. Результаты эксперимента ЛЕНД будут использоваться при планировании будущих научных и исследовательских миссий на лунные полюса.

Основные участники космического эксперимента ЛЕНД — молодые сотрудники отдела канд. физ.-мат. наук Максим Мокроусов и канд. физ.-мат. наук Антон Санин — получили премии Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых учёных за 2010 г.

По результатам эксперимента ЛЕНД опубликовано более 15 статей в реферируемых журналах, в частности, две статьи в международном журнале *Science*, и сделано около 100 докладов на научных конференциях.

Based on the results of the BTN-M1 experiment 5 papers were published in peer-reviewed magazines and ca. 20 reports presented at scientific conferences.

LEND experiment (Lunar Exploration Neutron Detector) is conducted since June 2009 onboard the NASA lunar satellite LRO (*Lunar Reconnaissance Orbiter*). The experiment is based on a brand new collimator for space neutron telescope, which achieves spatial resolution of ca. 10 km on the Moon surface with orbital observation at ca. 50 km.

On the basis of the processed neutron radiation measurement data of the Moon polar regions with high spatial resolution for the first time maps of water abundance in the lunar regolith of the North and South poles were compiled. The results define present-day ideas on natural environment and abundance of water and volatile compounds on the North and South poles of the Moon. The LEND findings will be utilized for planning of subsequent scientific and research missions to the lunar poles.

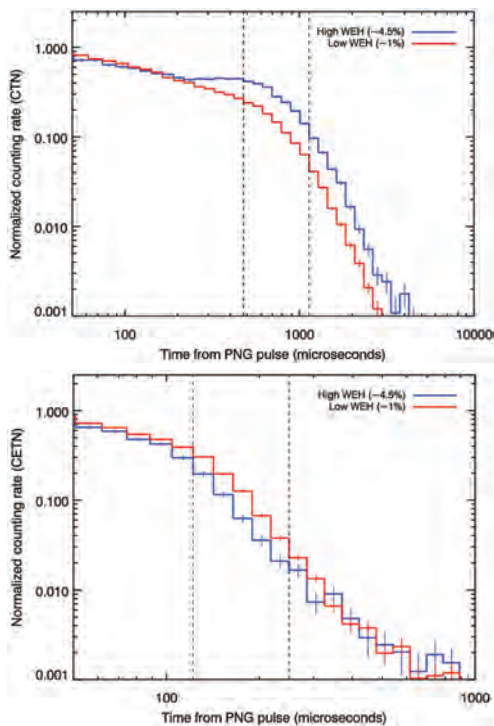
The principal participants of the LEND space experiment Dr. Maxim Mokrousov and Dr. Anton Sanin were awarded the President of Russian Federation Award in Science and Innovation for Young Scientists for 2010.

Based on the results of the LEND experiment over 15 papers were published in peer-reviewed magazines, in particular two articles in the international magazine *Science*, and over 100 reports were presented at scientific conferences.



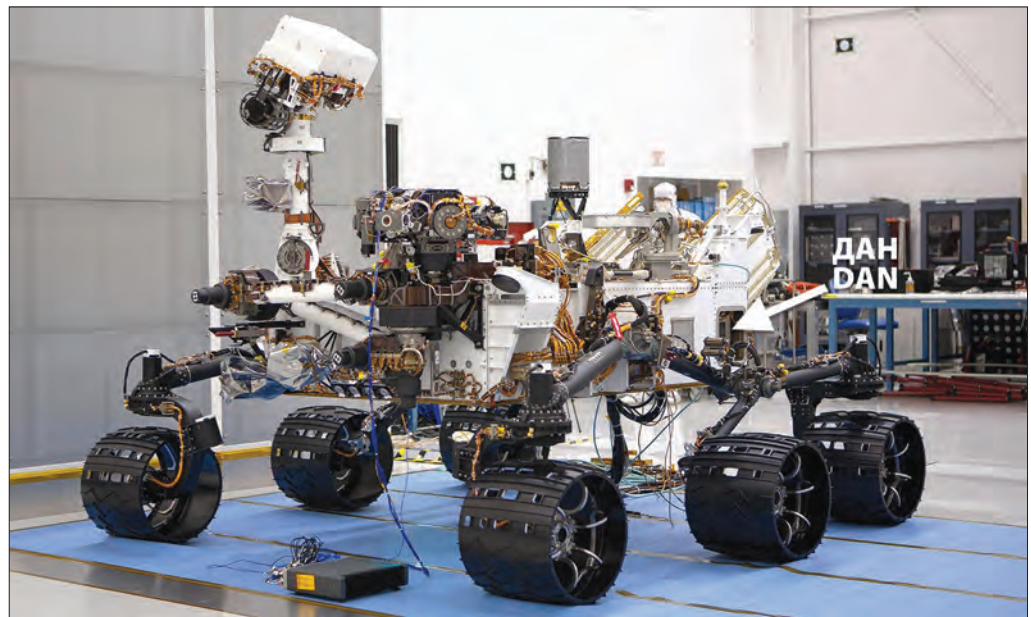
Защита эскизного проекта космического эксперимента ДАН с участием представителей Роскосмоса и НАСА

Presentation of the DAN space experiment concept with the involvement of Roscosmos and NASA representatives



Измеренные в эксперименте ДАН профили послесвечения тепловых (вверху) и эпитепловых (внизу) нейтронов для сухого (красный цвет, около 1 % воды по массовой доле) и влажного (синий цвет, около 5 % воды по массовой доле) марсианского грунта в окрестности посадки марсохода «Кьюриосити» в кратере Гейл. WEH (water equivalent hydrogen) означает массовую долю воды по данным измерений содержания в грунте водорода

Afterglow profiles of thermal (up) and epithermal (down) neutrons measured in the DAN experiment for dry (red color, ca. 1 % of water by weight) and wet (blue color, ca. 5 % of water by weight) Martian soil in the vicinity of the Curiosity landing in the Gale Crater. WEH (water equivalent hydrogen) is mass fraction of water according to the hydrogen measurement data for the soil



Марсоход NASA «Кьюриосити» (©NASA) с российской аппаратурой ДАН на борту. Виден блок детекторов, установленный в специальном отделении внутри корпуса марсохода

The NASA Mars rover Curiosity (©NASA) with the Russian DAN instrument. The detector block is visible, mounted in the special compartment inside the rover body

Эксперимент ДАН на борту марсохода NASA «Кьюриосити» (Curiosity). Эксперимент ДАН на борту марсохода Curiosity проводится на поверхности Марса с августа 2012 г. по настоящее время. В эксперименте впервые в космических исследованиях реализован ядерно-физический метод активного нейтронного зондирования вещества поверхности Марса для измерения содержания воды в грунте вдоль трассы движения марсохода.

Аппаратура ДАН установлена с левой и правой стороны в задней части приборного отсека марсохода. Она включает импульсный генератор нейтронов с энергией 14 МэВ и детекторы эпитепловых и тепловых нейтронов, которые излучаются верхним слоем поверхности в течение нескольких миллисекунд после импульсного облучения нейтронами от генератора.

Построенное на основе анализа данных аппаратуры ДАН распределение среднего по глубине содержания воды в слое с толщиной 60 см представлено на рисунке. Эти значения находятся в пределах от 1 до 3 % по массе со средним значением около 1,9 %. При этом объёмная плотность вещества практически не изменялась и составляла 1,5...2,2 г/см³ со средним значением около 1,85 г/см³, а содержание хлора изменялось в интервале 0,75...1,75 % со средним значением около 1,1 % по массе.

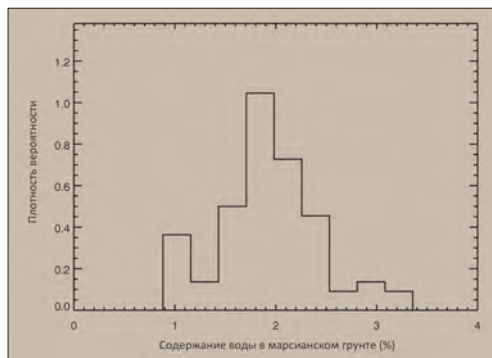
По результатам эксперимента ДАН опубликовано 10 статей в реферируемых журналах и сделано около 50 докладов на научных конференциях.

DAN experiment (Dynamic Albedo of Neutrons) onboard the Mars rover Curiosity (NASA) is conducted on the Mars surface since August 2012 to the present day. For the first time in space research the experiment implemented active neutron sensing of the Mars surface to measure water content in the ground along the rover route.

The DAN hardware is mounted on the left and right sides at the rear of the rover instrument section. It includes a pulsed neutron generator at the energy of 14 MeV and detectors of epithermal and thermal neutrons, which are radiated by the surface for a few milliseconds after pulsed neutron irradiation by the generator.

The distribution of depth-mean water content in the upper layer of 60 cm thickness is illustrated in the figure. These values are within 1 to 3 % by weight with an average value ca. 1.9 %. At that the volume density of the matter is practically unchanged and amounts to 1.5...2.2 g/cm³ with an average value of ca. 1.85 g/cm³, and the chlorine content measured within 0.75...1.75 % with an average of ca. 1.1 % by weight.

Based on the results of the DAN experiment 10 papers were published in peer-reviewed magazines and ca. 50 reports presented at scientific conferences.



Распределение средних по глубине оценок содержания воды в верхнем слое с толщиной 60 см вдоль трассы движения марсохода по данным активных измерений прибором ДАН в течение первого года работы прибора

Distribution of depth-mean water content in the upper layer of 60 cm thickness along the rover route, according to the DAN active measurements during the first year of the instrument operation

Будущие космические эксперименты отдела

В настоящее время отдел разрабатывает бортовую аппаратуру и подготавливает наземный сегмент для восьми космических научных экспериментов.

Эксперимент ФРЕНД (FREND) будет проведён на борту марсианского космического аппарата TGO — первой миссии ЕКА в рамках российско-европейской программы «ЭкзоМарс», запуск которой запланирован на 2016 г. Нейтронный телескоп ФРЕНД разработан на основе опыта создания прибора ЛЕНД и предназначен для картографирования потока нейтронного излучения с поверхности Марса с высоким пространственным разрешением около 80 км. Это почти в 10 раз превышает пространственное разрешение карты нейтронного излучения Марса, построенной на основе обработки данных измерений всенаправленными детекторами прибора ХЕНД.

Данные измерений телескопа ФРЕНД впервые позволят провести орбитальную разведку содержания воды в верхнем слое грунта поверхности Марса, причём высокое пространственное разрешение данных измерений позволит сопоставить районы с повышенным содержанием воды с конкретными структурами марсианского рельефа. В состав прибора ФРЕНД также входит блок дозиметра «Люлин-МО», разработанный Институтом космических исследований и технологий Болгарской академии наук, София. Этот блок измерит радиационную обстановку на околомарсианской орбите, а также на перелёте к Марсу, знание которой необходимо для планирования пилотируемых полётов к Марсу в будущем.

Эксперимент БТН-2 продолжает эксперимент БТН-М1 на борту российского сегмента МКС. Его основная задача — детальное изучение радиационного фона гамма-лучей и нейтронов на борту РС МКС. Планируется изучить угловое распределение указанного фонового излучения относительно базовых осей станции на различных участках околоземной орбиты в условиях спокойной магнитосферы и во время солнечных вспышек. Вторая научная задача эксперимента связана с регистрацией солнечных вспышек гамма-излучения, гамма-всплесков и вспышек гамма-лучей от электрических разрядов в верхней атмосфере Земли с высоким временным разрешением. Третья научно-практическая задача эксперимента состоит в экспериментальном изучении возможностей радиационной защиты от нейтронов и гамма-лучей на борту МКС. Аппаратура БТН-2 состоит из блока детектирования, который разрабатывается на основе опыта разработки прибора МГНС (см. ниже), блока управления и комплекта съёмных экранов для поглощения нейтронов и гамма-лучей.

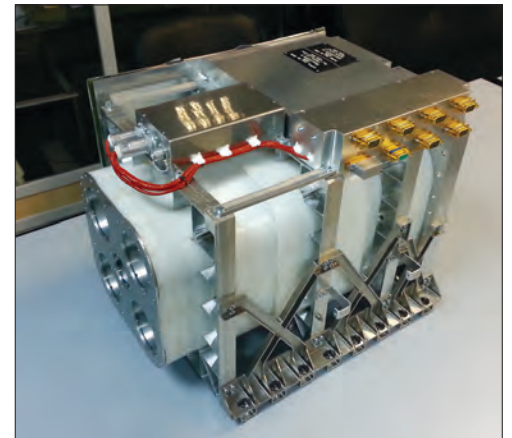
Planned Space Experiments of the Department

Currently the department designs onboard equipment and sets up ground segments for eight space experiments.

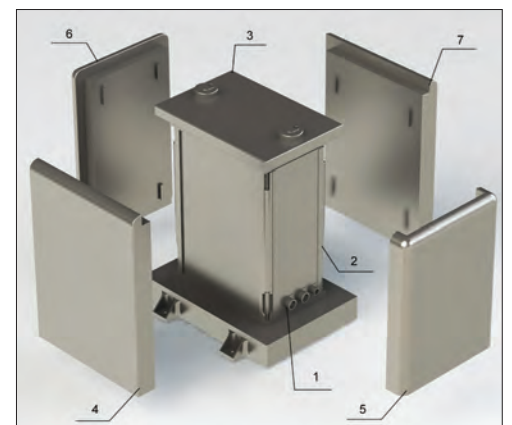
Experiment FREND (Fine Resolution Epithermal Neutron Detector) will be conducted aboard the Martian space vehicle TGO (short for *Trace Gas Orbiter*) — the first ESA mission under the Russian-European program *Exo-Mars*, with launch scheduled for 2016. The neutron telescope FREND is developed based on the LEND experiences and is intended for mapping of neutron flux from the Mars surface with high spatial resolution ca. 80 km. This is almost 10 times higher than the spatial resolution of the Mars neutron flux map generated from the processed data of the HEND omnidirectional detectors.

The FREND measurement data should allow for the first time to conduct orbital survey of the water content in Mars shallow surface. Moreover high spatial resolution will enable to cross-reference the high water content areas with specific Mars surface formations. The FREND instrument also includes a dosimeter unit *Lyulin-MO*, designed by the Space Research and Technology Institute of the Bulgarian Academy of Sciences in Sofia. This unit will measure the radiation environment on the low Mars orbit, as well as during the flight to Mars, whose values will be important for planning of manned Mars missions in the future.

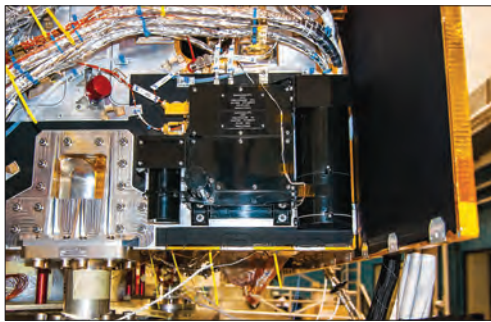
Experiment BTN-2 (Onboard Neutron Telescope, version 2) continues the BTN-M1 experiment aboard the Russian segment of the ISS. Its primary task is a detailed study of gamma-ray and neutron background radiation onboard the RS ISS. It is planned to study angular distribution of background radiation relative to the station reference axis on different orbital flight phases under the conditions of quiet magnetosphere and during solar flares. The second task is related to recording with high temporal resolution of solar gamma bursts, gamma-ray bursts, and gamma-ray flashes in the Earth upper atmosphere. The third research task is experimental study of radiation shielding capabilities against neutrons and gamma rays aboard the ISS. The BTN-2 equipment is comprised of a detector block, which is developed based on the MGNS experience (see below), a control block and removable shields assembly for neutron and gamma-ray absorption.



Общий вид лётного образца марсианского нейтронного телескопа ФРЕНД (вверху) и установка ФРЕНД лётного образца ФРЕНД на борту КА ЕКА ТГО (внизу)
General configuration of a flight unit of the FREND neutron telescope (up) and general installation of the FREND flight unit on the ESA space vehicle TGO (down)



Общий вид аппаратуры для эксперимента БТН-М2: 1 — разъёмы блока детектирования; 2, 3 — семь комплектов съёмных экранов для поглощения нейтронного и гамма излучения
General configuration of hardware for the BTN-M2 experiment: 1 — detector block sockets; 2, 3 — seven removable shields assembly for absorption of neutron and gamma radiation



Общий вид лётного образца прибора МГНС (вверху) и общий вид установки лётного образца МГНС на борту КА «Бепи Колумбо» (внизу)

General configuration of a flight unit of the MGNS instrument (up) and general arrangement of the MGNS instrument on board the spacecraft BepiColombo (bottom)

Эти экраны создаются на основе опыта разработки коллиматоров нейтронов для телескопов ЛЕНД и ФРЕНД.

Эксперимент МГНС (MGNS) на борту аппарата ЕКА «Бепи Колумбо» разрабатывает аппаратуру для изучения состава вещества Меркурия на основе измерений спектра гамма-излучения и нейтронного потока с поверхности этой планеты. Для спектроскопии гамма-лучей в приборе применяется инновационный сцинтилляционный кристалл $CeBr_3$ с высоким спектральным разрешением около 4 % для энергии 662 кэВ и с предельно низким собственным фоном. Для регистрации нейтронов применяются счётчики на основе гелия-3, аналогичные успешно зарекомендовавшим себя счётчикам прибора ХЕНД. Запуск космического аппарата «Бепи Колумбо» запланирован на 2017 г.

В эксперименте будут продолжены исследования состава вещества Меркурия с орбиты, которые были начаты в проекте NASA Messenger. Эксперимент МГНС позволит измерить содержание основных породообразующих элементов и естественных радиоактивных изотопов в веществе поверхности Меркурия, а также оценить количество воды в реголите полярных районов этой планеты. Поскольку гамма-спектрометр на аппарате Messenger оказался неработоспособным, данные МГНС могут предоставить первые результаты о геохимии поверхности Меркурия.

Эксперимент ЛГНС будет проводиться на перспективном российском лунном орбитальном аппарате «Луна-26», запуск которого намечен на 2019 г. Прибор предназначен для измерений с полярной окололунной орбиты потоков и энергетических спектров гамма-лучей и нейтронов с поверхности Луны. На основе полученных данных предполагается построить карту элементного состава лунного реголита и распространённости в нём естественных радиоактивных изотопов. Таким образом, в эксперименте ЛГНС планируется продолжить глобальные исследования элементного состава Луны, проведённые в американском и японском проектах Lunar Prospector и Kaguya. Особенность эксперимента — возможность сравнить данные орбитальных ядерно-физических измерений с данными аналогичных измерений непосредственно на поверхности Луны. Прибор ЛГНС будет создан на основе опыта разработки прибора МГНС, в нём также будут использоваться перспективные детекторы гамма-лучей на основе $CeBr_3$.

Эксперименты серии АДРОН. Приборы этой серии предназначены для активных измерений элементного состава поверхности Луны и Марса непосредственно с борта спускаемого аппарата с применением импульсного нейтронного генератора для облучения поверхности и детекторов вторичного излучения гамма-фотонов и нейтронов от облучённого вещества поверхности. В качестве

The shields are designed based on neutron collimator experience for LEND and FRENД telescopes.

Experiment MGNS (Mercury Gamma and Neutron Spectrometer) aboard the ESA spacecraft *BepiColombo* is designed to study Mercury composition on the basis of the gamma-ray and neutron flux measurements from the planet surface. For the gamma-ray spectroscopy the instrument uses the innovative scintillation crystal $CeBr_3$ with high spectral resolution ca. 4 % at the energy of 662 keV and extremely low intrinsic background. To record neutrons it applies helium-3 filled counters, which are analogous to the well-proven counters of the HEND instrument. The launch of the spacecraft *BepiColombo* is scheduled for 2017.

The experiment will continue the orbital study of the Mercury composition that began during the NASA mission *Messenger*. The MGNS experiment should enable to measure content of basic rockforming elements and naturally-occurring radioactive isotopes in the Mercury surface matter, as well as estimate the quantity of water in the regolith of the planet's polar regions. Since the gamma spectrometer on the *Messenger* craft turned out to be inoperative, the MGNS data can provide the first findings on the Mercury surface geochemistry.

Experiment LGNS (Lunar Gamma and Neutron Spectrometer) will be conducted on an upcoming Russian lunar *Luna-Resurs-Orbiter*, which is scheduled for launch in 2019. The instrument is designed to measure from the polar lunar orbit fluxes and energy spectra of gamma rays and neutrons from the lunar surface. The obtained data is planned to be the basis of a map of Moon regolith composition and occurrences of natural radioactive isotopes. Therefore the LGNS experiment should continue the global studies of the lunar composition, conducted during the American and Japanese missions *Lunar Prospector* and *Kaguya* respectively. The distinctive characteristic of the experiment is an opportunity to compare the orbital nuclear measurement data to the similar measurements on the Moon surface (see description of the ADRON experiments). The LGNS instrument will be designed based on the MGNS development experience, and it is going to use advanced gamma ray detectors based on $CeBr_3$.

ADRON experiments (Active Detector Gamma-Ray and Neutron). The instruments of the series are designed for active measurements of the Moon and Mars surface composition directly from aboard the lander, that apply a pulsed neutron generator to irradiate the surface and detectors of gamma-ray photons and neutrons from the irradiated surface. For the neutron generator the ADRON hardware

генератора нейтронов в аппаратуре АДРОН применяются генераторы, разработанные для эксперимента ДАН, а конструкция детекторов основана на разработках прибора МГНС. Различные модификации аппаратуры АДРОН будут установлены на борту российских лунных посадочных аппаратов «Луна-25» и «Луна-27» и на борту российского посадочного аппарата и европейского марсохода российско-европейского проекта «ЭкзоМарс» (миссия с запуском в 2018 г.).

Проекты отдела

Отдел является ведущим структурным подразделением Института по двум перспективным космическим проектам: «Луна-25» и «Луна-27». Сотрудники отдела готовят научную программу исследований этих лунных миссий, проводят комплексные испытания образцов научной аппаратуры на стендах ИКИ РАН и в НПО им. С. А. Лавочкина, обеспечивают научно-организационную поддержку реализации этих проектов.

Отдел также проводит исследования по конкурсному проекту Российского научного фонда «Ядерная планетология». В его рамках разрабатываются новые перспективные приборы для ядерно-физических исследований Луны, планет и небесных тел Солнечной системы, проводятся специальные ядерно-физические наземные эксперименты (физические калибровки и полевые испытания) для интерпретации экспериментальных данных, полученных в космических экспериментах, и изучаются свойства небесных тел Солнечной системы на основе анализа данных научных приборов на борту космических аппаратов.

Исследования и разработки отдела проводятся на основе широкой кооперации с ведущими российскими научными и исследовательскими организациями, и также с иностранными исследовательскими центрами. В их числе — Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова (ВНИИА), Институт физики атомных реакторов, Объединённый институт ядерных исследований (Дубна) (ОИЯИ), Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН), Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС), Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (ФТИ РАН) и другие. Десять сотрудников отдела входят в международные научные группы космических проектов NASA «Марс Одиссей», ЛРО, «Кьюриосити» и проектов ЕКА «Бепи Колombo» и «ЭкзоМарс».

Отдел — это сплочённый коллектив единомышленников, объединённый общей целью — развитием российской космической науки на основе современных ядерных и электронных технологий.

applies generators developed for the DAN experiment, and the detector design is based on the MGNS instrument. Various modifications of the ADRON equipment will be mounted on the Russian lunar landers *Luna-Glob* and *Luna-Resurs*, as well as the Russian lander and the European Mars rover under the Russian-European mission *ExoMars* (mission launch in 2018).

Department Projects

The Department is the leading division of the Institute in two future space missions: *Luna-Glob* and *Luna-Resurs-Lander*. The Department employees prepare research programs for these missions, conduct tests of the hardware at IKI and Lavochkin Association, and provide scientific and organizational support of these missions.

The Department also leads researches under a competitive project of the Russian Science Foundation “Nuclear Planetology”. For the purpose of the project new advanced instruments are designed for nuclear physics investigations of the Moon, planets, and small bodies of the Solar system, special nuclear ground-based experiments (physical calibrations and field trials) are conducted for interpretation of the experimental findings, and the properties of the celestial bodies in the Solar System are investigated based on the instrument data analysis.

Research and development of the Department are carried out based on extensive cooperation with the leading Russian science and research institutes, as well as foreign research centers. These include the Dukhov All-Russia Research Institute of Automatics, Institute of Physics of Nuclear Reactors, Joint Institute for Nuclear Research (Dubna), A. A. Blagonravov Institute for Engineering Science of RAS, Fedorovsky All-Russia Research Institute of Mineral Resources, Ioffe Physical and Technical Institute, and others. Ten of the employees are included in the international science teams for the NASA missions (*Mars Odyssey*, LRO, *Curiosity*) and ESA missions (*BepiColombo*, *ExoMars*).

The Department is a tight-knit group of like-minded people, bound by a common goal — to advance the Russian space science with modern nuclear and electronic technologies.



Сотрудник отдела №63 Андрей Вострухин подготавливает прибор АДРОН-ЛГ к комплексным испытаниям научной аппаратуры проекта «Луна-25»

Andrey Vostrukhin prepares the ADRON-LG instrument for the tests of the Luna-Glob hardware



*Коллектив отдела
ядерной планетологии
№63 с образцами приборов
МГС, ХЕНД, ЛЕНД, ДАН
и АДРОН (слева направо)*

*The department staff
holding prototypes
of MGNS, HEND, LEND, DAN,
and ADRON (left to right)*

Отдел создан в конце 2013 г. на основе нескольких лабораторий и секторов Института. Идея его создания состояла в том, чтобы объединить теоретические и экспериментальные астрономические исследования, в разных диапазонах электромагнитного спектра, от радио- до гамма-излучения.

Теоретическими исследованиями и численным моделированием задач современной астрофизики и космологии занимается лаборатория магнитоплазменных процессов в релятивистской астрофизике. Основы релятивистской астрофизики были заложены выдающимся советским физиком, академиком **Я. Б. Зельдовичем**, и руководитель лаборатории д-р физ.-мат. наук, профессор **Г. С. Бисноватый-Коган** — один из первых учеников Якова Борисовича в области астрофизики. Тематика исследований лаборатории включает исследование физических процессов, происходящих в сверхновых звёздах, изучение свойств коры нейтронных звёзд, задачи аккреции на нейтронные звёзды и чёрные дыры, гравитационное линзирование, исследования влияния тёмной энергии на истечения из скоплений галактик и др.

Сектор быстропеременных космических источников занимается исследованием космических гамма-всплесков — одних из самых мощных катастроф во Вселенной. Эти работы начались в ИКИ РАН с 1980-х гг. под руководством **Исаия Вениаминовича Эстулина** в отделе внеатмосферной астрономии, который возглавлял **Иосиф Самуилович Шкловский**. Проводятся фотометрические наблюдения на российских и зарубежных телескопах различных проявлений гамма-всплесков в оптическом диапазоне в их активной фазе, фазе послесвечения и родительских галактик, а также исследования связи гамма-всплесков со сверхновыми. Другое направление работ — исследование земных гамма-вспышек (TGF), которые связывают с молниевой активностью в верхней атмосфере.

Лаборатория сверхдальней радиointерферометрии занимается исследованиями в области радиointерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ). Главный научный сотрудник, д-р физ.-мат. наук **Леонид Иванович Матвеевко** — автор метода и один из пионеров создания и развития РСДБ, метода, который позволяет радиоастрономическим наблюдениям достичь очень высокого углового разрешения.

Исследования лаборатории микроволновой техники и лаборатории радиометрии продолжают работы отдела прикладной космической миллиметровой и субмиллиметровой астрономии под руководством д-ра физ.-мат. наук **И. А. Струкова**. В этом отделе был реализован важнейший проект «Реликт-1» (на борту аппарата «Прогноз-9») и были начаты работы по проекту «Реликт-2».

The department was created in the end of 2013 on the basis of a number of laboratories and departments in the Institute. The idea was to combine theoretical and experimental astronomical research in different electromagnetic spectra, from radio to gamma rays.

Theoretical research and numerical simulations in astrophysics and cosmology are carried out by the laboratory of magnetoplasma processes in relativistic astrophysics. The groundwork of relativistic astrophysics was created by a prominent Soviet physicist, academician **Yakov Zeldovich**, and the head of the laboratory Prof. Dr. Gennady Bisnovaty-Kogan is one of the first his students in astrophysics. The laboratory areas of research are physics in supernovae, neutron star crust properties, accretion problems for neutron stars and black holes, gravitational lensing, effect of dark energy on the galactic cluster outflow, etc.

The department of rapidly-changing cosmic sources deals with cosmic gamma-ray bursts, which are one of the most energetic catastrophic events in the Universe. This research began in IKI since the 1980s under the guidance of **Isay Estulin** in the department of exoatmospheric astronomy, headed by **Iosif Shklovsky**. With the Russian and foreign telescopes photometric observations are made of various instances of gamma-ray bursts in optical spectrum in active phase, afterglow and host galaxy phase, as well as connection of gamma-ray bursts to supernovae. Another focus area is terrestrial gamma-ray flashes (TGF), which are linked to the lightning activity in the upper atmosphere.

The ultralong radiointerferometry laboratory researches very long base interferometry (VLBI). The chief research scientist Dr. Leonid Matveenko, is the inventor and one of the pioneers of VLBI creation and development, the method that enables radioastronomical observations to achieve very high resolution.

Research conducted by the microwave engineering laboratory and radiometry laboratory takes over the work of the department of applied extraterrestrial millimeter- and submillimeter-wave astronomy headed by Dr. Igor Strukov. The department executed a very important mission *Relikt-1* (aboard *Prognoz-9* spacecraft) and began the *Relikt-2* project.

ОТДЕЛ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ И РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

(64)

THEORETICAL AND OBSERVATIONAL ASTRONOMY AND RADIOINTERFEROMETRY DEPARTMENT

(64)



Руководитель — д-р физ.-мат. наук Сергей Моисеенко

Head — Dr. Sergey Moiseenko



И. В. Эстулин
(16.10.1917–15.11.1982)
I. V. Estulin
(October 16, 1917 –
November 15, 1982)



Леонид Матвеевко
Leonid Matveenko

Инициатором «Реликта-1» был академик **Николай Семёнович Кардашев** (сегодня — руководитель АКЦ ФИАН). В его ходе была впервые измерена анизотропия микроволнового реликтового излучения, которое осталось во Вселенной с самых ранних стадий её развития.

Сектор субмиллиметровой и инфракрасной астрономии как лаборатория появился в ИКИ РАН в начале 1970-х гг. Здесь были разработаны охлаждаемые фотометры субмиллиметрового диапазона и проведены астрономические исследования межзвёздной пыли и характеристик земной атмосферы на высокогорных и самолётных телескопах. Сейчас главное направление работ сектора — исследование астрономическими методами свойств и распределение пыли в космосе и атмосфере Земли.

Проекты отдела или подготовленные с участием сотрудников отдела

Астрофизические исследования: «Реликт» («Прогноз-9», 1983–84); «Радио-Астрон» (с 2011 г. по настоящее время)

Исследования планет: «Фобос-Грунт» (2011), «Фобос-1, -2, «Марс-96»

Будущие проекты

Исследования Марса: «ЭкзоМарс» (ЕКА/Роскосмос, 2016)

Исследования Луны: «Луна-25» (2018), «Луна-27» (2020)

Исследования Земли: «Чибис-АИ» (2016)

Лаборатория магнитоплазменных процессов в релятивистской астрофизике (641)

(руководитель — д-р физ.-мат. наук **Геннадий Бисноватый-Коган**)

Тематика исследований лаборатории сформировалась под влиянием научной астрофизической школы академика **Я. Б. Зельдовича**. Специализация лаборатории — разработка теоретических подходов к исследованию астрофизических объектов и численное моделирование. Плазма — четвёртое и самое распространённое состояние вещества во Вселенной, поэтому круг интересов сотрудников отдела широк: от отдельных астрофизических объектов до физической космологии.

Основные направления исследования

- Физические процессы в сверхновых;
- МГД-моделирование задачи о магниторотационном взрыве сверхновой с коллапсирующим ядром;
- гравитационное линзирование на чёрных дырах;
- процессы аккреции на звёзды с магнитным полем;

The proponent of *Relikt-1* was academician **Nikolay Kardashev** (now the head of the Astro-Space Center of the RAS Lebedev Physical Institute). During this project for the first time anisotropy of the relict microwave background was measured that remained in the Universe after its early development stages.

The department of submillimeter and infrared astronomy appeared as a laboratory in IKI in the early 1970s. There a cooled submillimeter-wave photometers were developed and studies of interstellar dust and the Earth's atmospheric properties were conducted in high-altitude and airborne telescopes. Today the department's main area of research is the study with astronomical methods of dust properties and distribution in space and the Earth atmosphere.

Completed and Ongoing Projects

Astrophysical research: *Relikt (Prognoz-9, 1983–84)*; *RadioAstron* (2011– to date)

Planetary exploration: *Phobos Sample Return* (2011), *Phobos-1, -2, Mars-96*

Projects in Development

Mars exploration: *ExoMars* (ESA/Roscosmos, 2016)

Moon exploration: *Luna-Glob* (2018), *Luna-Resurs-Lander* (2020)

Earth exploration: *Chibis-AI* (2016)

Laboratory of MagnetoPlasma Processes in Relativistic Astrophysics (641). Head —

Dr. Gennady Bisnovaty-Kogan

The area of research of the laboratory was shaped by the astrophysics school of the member of the Academy of Sciences **Yakov B. Zel'dovich**. The laboratory specialty is development of theoretical approaches to research of astrophysical objects and numerical modeling. Plasma is the fourth and the most widespread state of matter in the Universe, therefore the range of interests of the department employees is wide: from individual astrophysical objects to physical cosmology.

Research Areas

- Physical processes in supernovae;
- MHD simulation of magnetorotational explosion of core-collapsed supernovae;
- gravitational lensing on black holes;
- accretion processes for stars with magnetic field;

Геннадий Бисноватый-Коган
Gennady Bisnovaty-Kogan



- МГД-моделирование движения нейтронной звезды с магнитным полем сквозь межзвёздную среду.

Результаты

Моделирование задачи о магниторотационном взрыве (МР) сверхновой с коллапсирующим ядром. При магниторотационном взрыве учитывается, как энергия магнитного поля, которое увеличивается при коллапсе звезды, переходит в радиальную кинетическую энергию взрыва. В моделях, которые предложены в лаборатории, учитывается перенос нейтрино при помощи процедуры ограничения потоков. Кроме этого, сравнивались результаты расчётов МР-взрыва при различных уравнениях состояния, и показано, что этот механизм слабо зависит от выбора уравнения состояния (то есть соотношения между давлением, температурой и плотностью звезды, которая становится сверхновой) и деталей учёта нейтринного переноса. Энергия МР-взрыва растёт с увеличением массы железного ядра, а также с увеличением начальной вращательной энергии. Разрабатывается программа для трёхмерного моделирования магниторотационных астрофизических процессов, которые должны представить эти процессы с ещё большей детализацией, чем в двумерном случае.

Антигравитация тёмной энергии как ускоритель газа, истекающего из скоплений галактик. Решена задача об истечении политропного газа в сферически симметричном гравитационном поле в присутствии тёмной энергии в виде космологической постоянной, создающей антигравитацию. Это имеет прямое отношение к тому, как ведёт себя горячий газ в скоплениях галактик. Показано, что тёмная энергия может приводить к ускорению ветра до скоростей, много больших вириальных скоростей галактик в скоплении. Столкновение сильно ускоренных ветров в присутствии магнитного поля может рождать космические лучи сверхвысоких энергий. При этом пекулярные (собственные, не связанные с тёмной энергией) скорости двух скоплений должны быть направлены противоположно друг другу.

Гравитационное линзирование на невращающейся чёрной дыре, окружённой плазмой, при больших углах отклонения. Исследованы релятивистские изображения источника, сформированные фотонами, совершающими один или несколько оборотов вокруг чёрной дыры. Получены асимптотические формулы для углов отклонения фотонов. Аналитически рассчитаны угловые положения и коэффициенты усиления релятивистских изображений при наличии однородной плазмы.

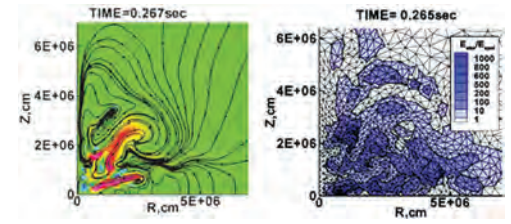
- MHD simulation of motion of neutron star with magnetic field in interstellar medium.

Results

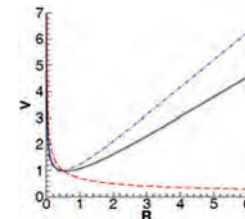
Simulation of magnetorotational (MR) explosion of core-collapsed supernovae. During a magnetorotational explosion it is considered how the energy of the magnetic field, which increases with the star collapse, transfers into the radial kinetic energy of the explosion. The models simulated by the laboratory consider neutrino transfer through the flux limited procedure. The analysis of MR explosion simulation results with various equations of state were compared and they indicated that this mechanism weakly depends on a selected equation of state (i.e. relation between pressure, temperature, and density of supernova matter) and details of neutrino transfer. The MR explosion energy grows with increase of an iron core mass, as well as with increase of initial rotational energy. A program is being developed for a 3D simulations, the magnetorotational astrophysical processes, which should present them in greater details than in 2D.

Dark energy antigravity as an accelerator to gas exiting galactic clusters. A problem was solved for a polytropic gas flow in spherically symmetric gravitational field with dark energy as a cosmological constant what creates antigravity. It is straightly connected with hot gas behaviour in galactic clusters. It indicates that the dark energy can accelerate the wind to velocities far greater than virial velocities of galaxies in a cluster. Collision of highly accelerated winds with the presence of the magnetic field can create cosmic rays of ultrahigh energy. In such a case peculiar (natural, not related to dark energy) velocities of two clusters has to be counterdirected.

Gravitational lensing of non-rotating black hole surrounded by plasma at high deviation angles. There were studied relativistic images of a source formed by photons making one or several circles around a black hole and asymptotic equations were obtained for deviation angles of photons. Analytically there were calculated angular positions and magnification coefficients of the relativistic images with homogenous plasma.

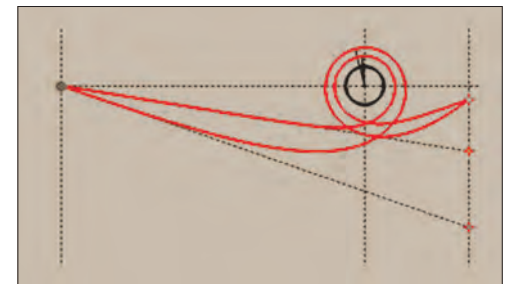


Развитие магнито-дифференциально-вращательной неустойчивости во внутренних областях звезды перед взрывом. По осям отложены цилиндрические координаты R, Z . Сплошные линии — линии полоидального магнитного поля, заливка — торoidalное магнитное поле (слева). Отношение торoidalной магнитной энергии к полоидальной магнитной энергии (справа, обозначено цветом)



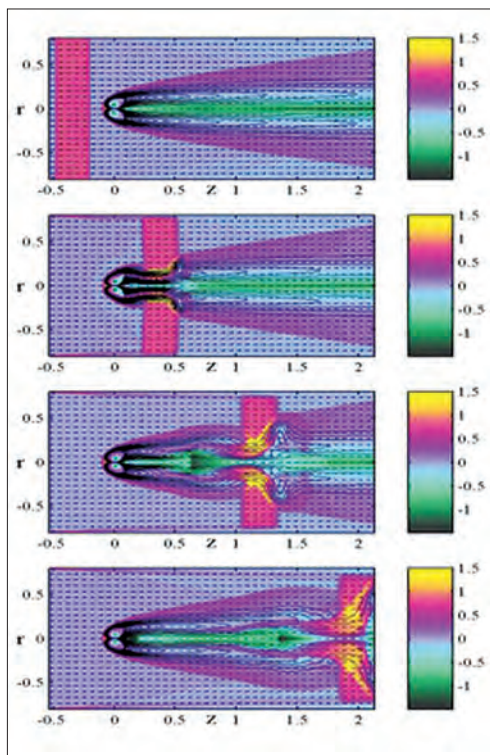
Ускорение ветра из скопления галактик Волосы Вероники. По оси абсцисс — расстояние от центра скопления, по оси ординат — скорость. Результаты численного моделирования

Acceleration of wind from the Coma Berenices galaxy cluster. X-direction is the distance to the center of the cluster, Y-direction — velocity. Results of numerical modeling



Формирование релятивистских изображений на разных частотах при линзировании в однородной плазме. Красным цветом показаны траектории фотонов от точечного источника при прохождении около чёрной дыры

Formation of relativistic images at different frequencies with lensing in homogenous plasma. In red are photon trajectories from a point source while passing near a black hole



Движение нейтронной звезды с магнитным полем через плотное холодное облако межзвёздной среды

Motion of a neutron star with magnetic field through a dense cold cloud of the interstellar medium

Показано, что при наличии плазмы угловые положения и коэффициенты усиления увеличиваются, по сравнению со случаем вакуума.

Задача о движении нейтронной звезды с дипольным магнитным полем через однородную и неоднородную межзвёздную среду, исследуемая при помощи численного МГД-моделирования. Получена картина течения вещества для разных параметров магнитного поля звезды, скорости движения звезды и плотности межзвёздной среды. Исследован режим георотатора для одиночных нейтронных звёзд. Показано, что силовые линии магнитного поля вытягиваются в направлении потока вещества вне магнитосферного радиуса и образуют длинный хвост магнитосферы, форма которого изменяется в зависимости от плотности межзвёздной среды. Кроме этого, в хвосте наблюдается пересоединение магнитных силовых линий.

Расчёт кинетических коэффициентов вырожденной плазмы. Кинетические коэффициенты определяются как потоки некоторых физических величин (например, теплоты или импульса) и зависят от вариаций температуры, концентрации и т.д. Была решена задача о вычислении кинетических коэффициентов в вырожденной плазме электронов в приповерхностном слое одиночной замагниченной нейтронной звезды. Решено уравнение Больцмана с учётом магнитного поля, методом последовательных приближений Чепмена-Энскога. Получено более точное приближение для коэффициентов теплопроводности и электропроводности вырожденных электронов, по сравнению с использованным в предшествующих работах по данной теме, и это важно для более точного моделирования тех процессов, что происходят на поверхности нейтронных звёзд.

Тематика лаборатории также включает:

- исследование аккреции на нейтронные звёзды и чёрные дыры: структура аккреционных дисков при большой светимости;
- моделирование жёсткого излучения горячих корон методом Монте-Карло, разработка механизма нагрева вещества направленных выбросов из аккреционных дисков (джетов).

It was indicated that in presence of plasma angular positions and magnification coefficients increase compared with vacuum.

The problem of motion of a neutron star with a dipole magnetic field through the homogeneous and inhomogeneous interstellar medium is investigated with numerical MHD simulation. The matter stream pattern was revealed for various parameters of the star magnetic field, star velocity, and the interstellar medium density. The georotator mode for single neutron stars was studied. It was shown that the extension of the magnetic field lines in the direction of the matter stream outside the magnetospheric radius creates a long tail of the magnetosphere. Its shape can change depending on the interstellar medium density, besides in the tail a reconnection of the magnetic field lines is evidenced.

Calculation of the kinetic coefficients for degenerate plasma. The kinetic coefficients are defined as certain physical quantities (i.e. radiation or impulse) and depend on variations of temperature, concentration, etc. A problem was solved to calculate the kinetic coefficients in the degenerate plasma of electrons in the surface layer of a single magnetized neutron star. The Boltzmann equation was solved with consideration of the magnetic field using the method Chapman-Enskog of successive approximations, which resulted in a more accurate approximation for coefficients of thermal and electric conductivity of degenerate electrons, compared to the one applied in the previous works on the topic. This is important for a more accurate modelling of the processes taking place on the neutron star surfaces.

The research topics of the laboratory also include:

- investigation of accretion for neutron stars and black holes: accretion discs structure with high luminosity;
- modeling of the hot corona hard rays using the Monte Carlo method, formulation of the heating mechanism for directed ejections of the accretion discs (jets).

Сектор быстропеременных космических источников (64.2) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Алексей Позаненко)

Тематика исследования космических гамма-всплесков (GRB, gamma-ray bursts) была унаследована из лаборатории гамма-спектроскопии космических источников, которой руководил д-р физ.-мат. наук И. Г. Митрофанов.

Интересно, что гамма-всплески, открытые случайно в 1967 г., как позже рассказывал участник эксперимента, Рей Клебесадел, поначалу не заинтересовали военное ведомство США, по чьему заказу были разработаны космические аппараты серии Vela (от *исп. velar* — смотреть) для контроля за наземными испытаниями ядерного оружия с помощью регистрации гамма-излучения. Данные о гамма-всплесках внеземного происхождения были просто положены «в стол», а первая публикация увидела свет лишь в 1973 г. С тех пор зарегистрировано более 10 тысяч гамма-всплесков, но до сих пор их природа до конца не выяснена. Излучение от источников гамма-всплесков регистрируется в настоящее время от 500 МГц и до ~100 ГэВ. Всесторонние исследования гамма-всплесков составляют основную тематику сектора. Наблюдения в оптическом диапазоне в настоящее время становятся наиболее информативным методом исследования гамма-всплесков и позволяют получить данные о космологическом красном смещении источника, параметрах области излучения и окружающей источник межзвёздной среды далёких галактик.

Гамма-всплески земного происхождения (TGF, terrestrial gamma-ray flashes) — ещё одна тематика сектора. Если гамма-всплески космического происхождения находятся в миллиардах световых лет от Земли, то TGF происходят в буквальном смысле над нашими головами — источник земных всплесков гамма-излучения находится в атмосфере нашей планеты и является результатом тормозного излучения релятивистских электронов, возникающих в результате лавинообразного пробоя на убегающих электронах. Считается, что источники TGF связаны с молниевой активностью в верхней атмосфере. Одной из важных задач является отождествление TGF с молниями в оптическом и радиодиапазонах и их локализация.

Современные требования к регистрации GRB состоят в необходимости первичной локализации источника всплеска в гамма-диапазоне и передаче координатной информации в режиме реального времени наземным телескопам для проведения всеволновых исследований. В секторе ведётся подготовка эксперимента по регистрации и локализации гамма-всплесков космического и земного происхождения группировкой микроспутников на околоземной орбите.

Rapid Variable Cosmic Sources Sector (64.2).
Head — Dr. Alexey Pozanenko

The research of gamma-ray bursts (GRBs) was taken over from the laboratory of cosmic sources gamma spectroscopy, headed by Dr. Igor Mitrofanov.

It is interesting to point out that gamma-ray bursts, discovered by accident in 1967, as later was elaborated by Ray Klebesadel, one of the participants of the experiment, didn't catch the interest of the US Department of Defense, which commissioned the development of the VELA series of spacecraft to record gamma emissions and monitor ground nuclear tests. The data on extra-terrestrial gamma rays were just put "on a shelf", and the first publication saw the light only in 1973. Since then over 10,000 gamma-ray bursts were detected, but its nature hasn't yet been fully explained. Radiation from the gamma-ray sources is presently recorded in the range of 500 MHz — ~100 GeV. Thorough investigation of gamma-ray bursts is the main research area of the sector, established in 2013. Optical range observations are currently the most meaningful method of gamma-ray research and enable to receive information on the cosmological redshift of a source, parameters of the emitting area and the matter surrounding the source.

Terrestrial gamma-ray flashes (TGFs) are another topic. While cosmic gamma-ray bursts are billions of light years away from the Earth, TGFs happen literally above our heads — the source of the terrestrial gamma-ray flashes is in the atmosphere of the planet and is caused by the acceleration radiation of relativistic electrons resulting from the avalanche breakdown of escaping electrons. It is considered that the TGF sources are related to the lightning activity in the upper atmosphere. One of the main problems is to match TGF with lightning in the optical and radio range and its localization.

The modern requirements to GRB recording involve primary localization of a burst source in the gamma range and transmission of the coordinates in real time mode to the ground-based telescopes for an all-wave investigation. The sector carries out preparations for an experiment to record and localize cosmic and terrestrial gamma rays with a group of microsatellites on the low earth orbit.



Алексей Позаненко
Alexey Pozanenko

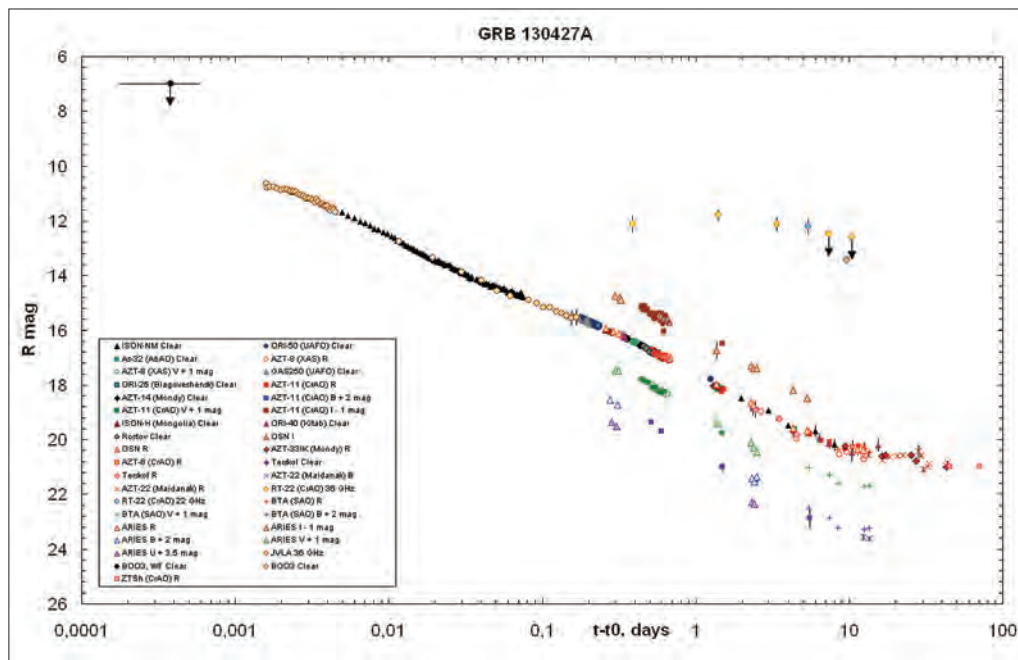


Сектор составляют молодые сотрудники — выпускники ГАИШ МГУ и МФТИ

The sector's staff — young graduates from MSU Sternberg Astronomical Institute and MIPT

Многоцветная кривая блеска оптического послесвечения гамма-всплеска GRB 130427A. Это одно из самых ярких событий как в гамма-, так и в оптическом диапазоне. Оптический источник был открыт в обсерватории ISON-NM (GCN 14450), участвующей в сети наблюдений за гамма-всплесками и включающей более чем 15 обсерваторий стран СНГ, Монголии и США. Кривая блеска построена на основе данных собственных наблюдений и наблюдений обсерватории BOOTES-3 (собственные данные)

Multicolor light curve of GRB 130427A optical afterglow. This is one of the brightest events in both gamma and optical ranges. The optical source was discovered in the ISON-NM (GCN 14450) observatory, which is a part of the gamma ray observational network that includes over 15 observatories from CIS, Mongolia and USA. The light curve was plotted based on the in-house observations and the observations of the BOOTES-3 observatory (original data)



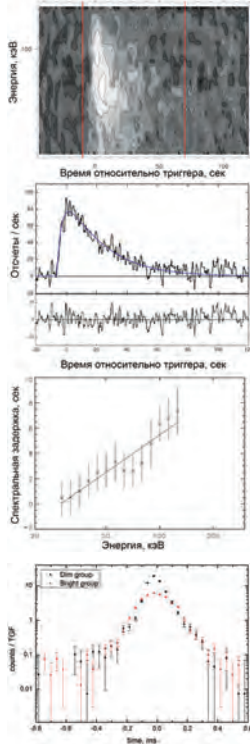
Основные направления исследований

- Наблюдения оптических проявлений гамма-всплесков, сверхновых и родительских галактик;
- моделирование кривых блеска и спектров GRB и TGF;

Research Areas

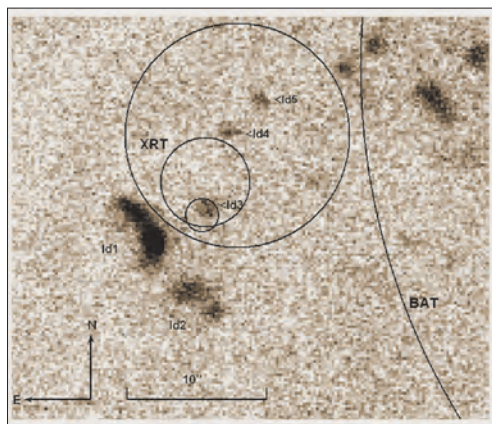
- Observations of optical afterglows of gamma rays, supernovae and host galaxies;
- modelling of light curves and GRB and TGF spectra;

Спектрально-временная диаграмма гамма-всплеска GRB 050504 (вверху), где оттенками серого показана интенсивность сигнала в зависимости от энергии и времени. Данные эксперимента IBIS/ISGR1 (INTEGRAL). Кривая блеска (средняя панель) в широком энергетическом диапазоне 20–200 кэВ. Хорошо видно, что гамма-всплеск состоит из одного импульса, аппроксимируемого экспоненциальными ростом и спадом с различными параметрами экспоненты. На нижней панели показана спектральная задержка (лаг) кривой блеска в мягком диапазоне от кривой блеска в более жестких диапазонах в зависимости от энергии диапазона. Для этого импульса задержка описывается законом «время задержки ~ логарифм энергии». На основе исследования многих импульсов высказана гипотеза, что такое поведение универсально для всех импульсов, из которых состоит кривая блеска всплесков в гамма-диапазоне, и может объясняться простой кинематической моделью (ПАЖ, 40, 271, 2014)



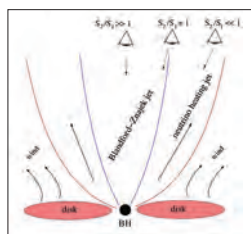
Усреднённая кривая блеска группы ярких (красным цветом) и тусклых (чёрным) TGF, зарегистрированных в эксперимент RHESSI. Кривые нормированы по крыльям распределения. Хорошо видно, что яркая группа имеет уплощённый максимум по сравнению с тусклой группой, что объясняется эффектами мёртвого времени детектора, т.е. просчётами фотонов при большой интенсивности потока в пике. Учёт мёртвого времени необходим для выяснения истинной мощности источников TGF (собственные исследования)

An averaged light curve for a group of bright (in red) and dim (in black) TGFs recorded during the RHESSI experiment. The curves are rated according to wing distribution. It is clearly seen that the bright group has a flattened maximum compared to the dim group, which is explained by dead times of the detector, i.e. miscount of photons due to peak-high stream intensity (original study)



Родительская галактика оптически тёмного гамма-всплеска GRB 051008. Хотя источник всплеска и не был найден ни в оптическом, ни в радиодиапазонах, удалось обнаружить его родительскую галактику на телескопе им. Г. А. Шайна (2,6 м) и затем определить её красное смещение (z = 2,82) фотометрическим способом, проведя наблюдения на телескопе им. В. М. Кека (10 м). Можно предположить, что родительская галактика входит в комплекс гравитационно-связанных галактик. Наблюдения GRB 051008 подтверждают вывод, что галактики с оптически тёмными гамма-всплесками содержат больше пыли, чем родительские галактики обычных всплесков (Volnova A. A. et al. GRB 051008: a long, spectrally hard dust-obscured GRB in a Lyman-break galaxy at z ≈ 2.8 // MNRAS. 2014. V. 442. No. 3. P. 2586–2599)

Host galaxy of the optically dark GRB 051008. Even though the burst source was not found either in optical or radio ranges, its host galaxy was detected with the Shajn telescope (2.6 m) with redshift (z = 2.82) photometrically detected via the Keck telescope (10 m) observations. It can be assumed that the host galaxy is part of a galaxy group. The GRB 051008 observations confirm the conclusion that galaxies with optically dark gamma-ray bursts contain more dust than host galaxies of common bursts (Volnova A. A. et al. GRB 051008: a long, spectrally hard dust-obscured GRB in a Lyman-break galaxy at z ≈ 2.8 // MNRAS. 2014. V. 442. P. 2586–2599)



Двухджетовая модель, объясняющая возможную причину продлённого излучения гамма-всплесков в гамма-диапазоне. Два джета, формирующиеся последовательно друг за другом, объясняют короткую активную фазу излучения коротких гамма-всплесков и последующую, более длительную (Barkov M. V., Pozanenko A. S. Model of the extended emission of short gamma-ray bursts // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS). 2011. V. 417. P. 2161–2165)

A two-jet model giving a potential reason for extended radiation of gamma ray bursts in the gamma ray range. Two jets forming in sequence can explain a short-duration active phase of short gamma-ray bursts and a subsequent longer one (Barkov M. V. et al. Model of the extended emission of short gamma-ray bursts // MNRAS. 2011. V. 417. P. 2161–2165)

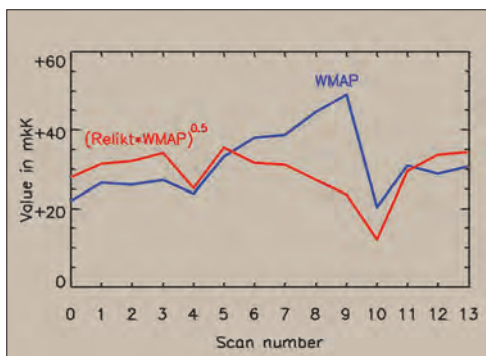
- исследование физических процессов и моделей гамма-всплесков космического и земного происхождения;
- создание широкоугольных оптических систем для наблюдения быстропеременных транзиентных явлений.

Лаборатория радиометрии (644)

(руководитель — канд. физ.-мат. наук
Дмитрий Скулачёв)

Основная тематика лаборатории связана с разработкой научной аппаратуры (СВЧ-радиометров) для дистанционных исследований высокочастотных и сверхвысокочастотных радиоизлучений естественных и искусственных объектов, на Земле и в космосе.

Самой яркой работой лаборатории стало участие в создании в 1970–1980-х гг. радиометрического комплекса «Реликт-1» для исследования космологического реликтового излучения с борта спутника Земли. Это излучение равномерно заполняет пространство и несёт информацию об очень ранних стадиях развития Вселенной — около 270 тыс. лет после Большого взрыва. Реликтовое излучение было предсказано теоретически, а затем в 1965 г. обнаружено А. Пензиасом и Р. Вилсоном (США). После этого интерес исследователей был связан с анизотропией реликтового излучения — очень небольшими отклонениями температуры от средней величины, обусловленными тем, как распределялась материя в молодой Вселенной. Для решения этой задачи был создан радиометр Р-08 (частота 37 ГГц, длина волны 8 мм), который в 1983 г. был запущен на борту спутника «Прогноз-9».



Корреляция данных эксперимента «Реликт-1» и WMAP

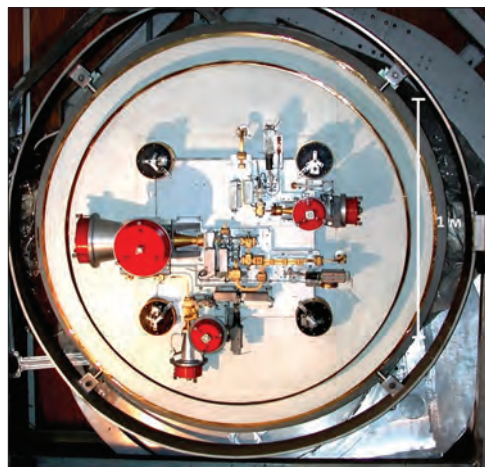
Relikt-1 and WMAP data correlation

- study of physical processes and models of cosmic and terrestrial gamma-ray bursts;
- creation of a wide-angle optical system for observations of quick-changing transient events.

Laboratory of Radiometry (644). Head — Dr. Dmitry Skulachev

The main area of the laboratory is development of scientific instruments (microwave radiometer) for remote investigation of high- and super-high-frequency radio emissions of natural and artificial objects on the Earth and in space.

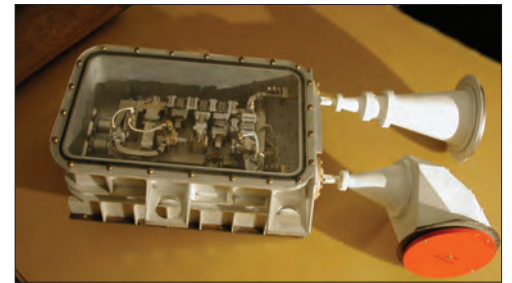
The most outstanding work of the laboratory was its participation in 1970–1980s in development of the *Relikt-1* radiometer suit, designed to study cosmological relict radiation (microwave background) from aboard a satellite. This radiation fills the space and contains information on the earliest stages of the Universe evolution, ca. 270,000 years after the Big Bang. The relict radiation was predicted in theory and then discovered in 1965 by Arno Penzias and Robert Wilson (USA). After that their interest was focused on the relict radiation anisotropy — smallest deviations in temperature from the average attributed to the matter distribution in young Universe. To solve this problem an R-08 radiometer was created (frequency 37 GHz, wave length 8 mm), which was launched onboard *Prognoz-9* spacecraft.



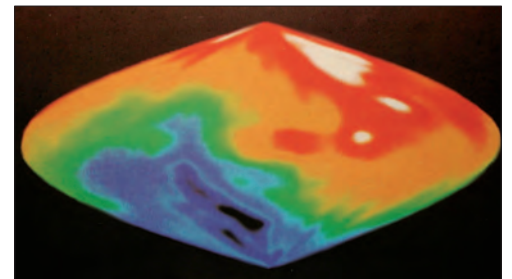
Радиометрический комплекс «Реликт-2»
Relikt-2 radiometer suit



Дмитрий Скулачёв
Dmitry Skulachev



Радиометрический комплекс «Реликт-1»
Relikt-1 radiometer suit



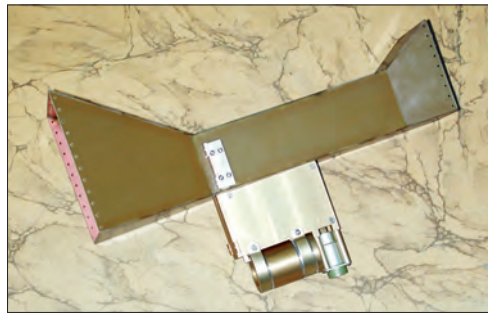
Радиокарта небесной сферы на частоте 37 ГГц. Получено впервые в результате эксперимента «Реликт-1». Впервые обнаружено, что космологическое реликтовое излучение неоднородно и обладает определённой анизотропией. В последующие годы были проведены несколько зарубежных космических экспериментов того же направления (COBE, WMAP, PLANCK), подтвердивших основные результаты эксперимента «Реликт-1». Анализ взаимной корреляции данных, полученных «Реликтом-1» в 1983–1984 гг., и WMAP (2001–2009 гг., NASA, США), показал высокую достоверность результатов «Реликта-1»

Coelosphere radio map on the 37GHz frequency, obtained for the first time as a result of the Relikt-1 experiment. It was revealed that the cosmological relict radiation is nonuniform and possesses a certain level of anisotropy. In the following years several space experiments in this area by other countries (COBE, WMAP, Planck) confirmed the Relikt-1 findings. Intercorrelation analysis of the data received from Relikt-1 in 1983–1984 and WMAP (2001–2009, NASA, USA) indicated the high validity of the Relikt-1 findings.



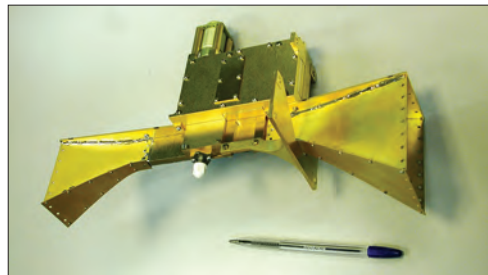
Радиометрический комплекс МИРК для изучения физических характеристик мёрзлых грунтов во время полевых испытаний. МИРК — комплекс из двух СВЧ-радиометров, работающих в диапазоне частот 2,7 и 6,9 ГГц с соответствующими антеннами. Использовался для измерений в КНЦ СО РАН

MIRK radiometric complex for investigation of frozen soil physical properties during field tests. MIRK is a complex of two microwave radiometers operating in the frequency range 2.7 and 6.9 GHz with relevant antennae. It was used for measurements in the Krasnoyarsk research center of the Siberian branch of the Academy of Sciences



Разработка методики эксперимента и создание радиотермометра РАТ для исследования лунного реголита с борта посадочного модуля для проекта «Луна-Ресурс». Прибор РАТ представляет собой компактный СВЧ-радиометр, работающий в трёх частотных полосах в диапазоне от 9 до 18 ГГц. Основная цель эксперимента — оценка тепловых вариаций температуры лунного реголита и степени его смерзания, обусловленного возможным наличием льда

Development of a test procedure and design of the radio thermometer RAT for an investigation of lunar regolith aboard the lander in the Luna-Resurs mission. The RAT instrument is a small microwave radiometer that operates in three frequency bands in the range of 9 to 18 GHz. The main objective of the experiment is to estimate temperature variations of the lunar regolith and degrees of its freezing determined by possible presence of ice



Макетный образец прибора РАТ-М для изучения марсианского грунта и атмосферы Марса с борта посадочной платформы в рамках проекта «ЭкзоМарс» (2018). В лаборатории ведётся разработка методики эксперимента и создание прибора — СВЧ-радиометра, работающего в диапазоне от 10 до 17 ГГц. Основная цель эксперимента — оценка тепловых вариаций температуры марсианского реголита и измерение плотности пыли в атмосфере Марса во время пылевых бурь

A prototype unit of RAT-M for investigation of the Martian soil and atmosphere aboard the lander platform in the ExoMars mission (2018). The laboratory prepares a procedure and designs the instrument, a microwave radiometer operating in the range of 10 to 17 GHz. The main objective is to estimate temperature variations of the Martian regolith and measure dust density in the Mars atmosphere during dust storms

Сотрудники лаборатории принимали участие в управлении космическим экспериментом, обработке и интерпретации полученных научных данных. В ходе эксперимента впервые и с рекордной на то время чувствительностью была получена радиокарта небесной сферы в этом диапазоне.

В 1980–1990-е гг. сотрудники лаборатории занимались разработкой космического комплекса «Реликт-2» — расширенным и значительно усовершенствованным вариантом комплекса «Реликт-1», который смог бы измерить анизотропию реликтового излучения со значительно большей чувствительностью. Однако решением руководящих органов в 1997 г. работы по проекту «Реликт-2» были прекращены.

В последующие годы в лаборатории были созданы многочисленные радиоприёмные устройства для самых разнообразных задач, от наблюдений снежных лавин (наземный радар RAD97, криогенная калибровочная СВЧ-нагрузка CryoLoad) до изучения грунтов других планет, в первую очередь, Луны и Марса по проектам «Луна-Ресурс» и «ЭкзоМарс».

The laboratory staff was involved in monitoring the space experiment, processing, and interpretation of the scientific data. During the experiment for the first time ever and with then record-setting sensitivity the coelosphere radio map was created in the range.

In the 1980–1990s the laboratory staff worked on the *Relikt-2* radiometric complex — a significantly advanced version of *Relikt-1*, that could measure the relict radiation anisotropy with much higher sensitivity. However in 1997 the *Relikt-2* mission was closed down.

In the following years the laboratory created various radio-receiving equipment for a wide range of tasks, from snow avalanche observations (ground-based radar RAD97, cryogenic microwave load *CryoLoad*) to soil investigations of other planets, first of all Moon and Mars in the *Luna-Resurs* and *ExoMars* missions.

Александр Косов
Alexander Kosov



Лаборатория микроволновой техники (645)
(руководитель — канд. физ.-мат. наук Александр Косов)

Лаборатория микроволновой техники занимается созданием приборов для проведения радиофизических экспериментов в космосе и на Земле, планированием и выполнением этих экспериментов.

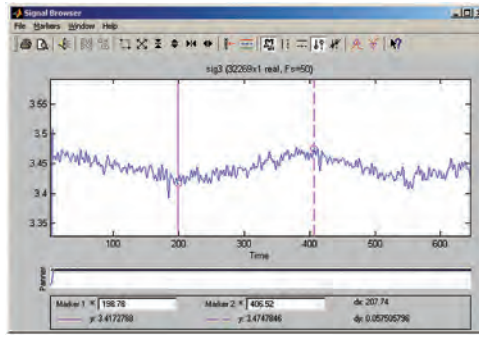
Laboratory for Microwave Instrumentation (645). Head — Dr. Alexander Kosov

The Laboratory for Microwave Instrumentation designs instruments for radiophysical experiments in space and on the Earth, as well as planning and realisation of such experiments.



Когерентный радар для дистанционного зондирования снежных лавин в Альпах, разработанный и изготовленный по контракту с Институтом коммуникаций и распространения волн Технологического университета Граца (Австрия) (Technische Universität Graz)

Coherent radar for remote sensing of snow avalanches in the Alps, designed and manufactured under a contract with the Institute for Communication and Wave Propagation (Technical University Graz, Austria)

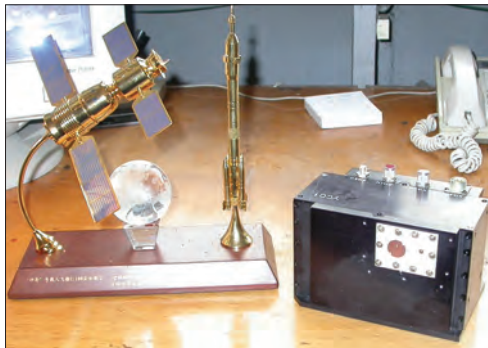


Радиофизические измерения в Голубой бухте (Геленджик) с помощью когерентного радара миллиметрового диапазона длин волн для дистанционного зондирования атмосферы и морской поверхности. Слева — результаты измерений, которые демонстрируют наличие волн с длительным периодом (порядка 10 мин)

Radiophysical measurements in the Golubaya Bay (Gelendzhik) with a coherent millimeter wavelength range radar for remote sensing of the atmosphere and sea surface. On the left side are the results of these measurements, displaying presence of long waves (ca. 10 min)

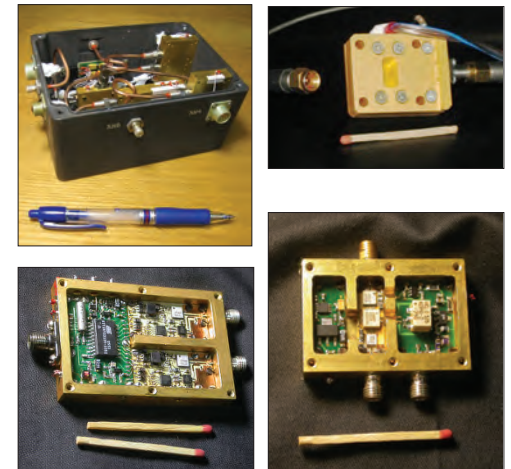
Аппаратура для проекта ФОБОС-ГРУНТ: прибор УСО и антенна эксперимента МРОЕ, установленная на КА «Фобос-Грунт»

Phobos Sample Return hardware: USO instrument and MROE antenna installed on the Phobos Sample Return probe



Первая задача лаборатории, созданной в 1993 г., была разработка аппаратуры для космического эксперимента «Реликт-2», в ходе которого планировалось измерять температуру и анизотропию реликтового излучения. Эти приборы были разработаны и изготовлены, но из-за проблем в российской космической отрасли проект «Реликт-2» был прекращён. Главными космическими темами в 1990–2000-е гг. стали проекты «РадиоАстрон» и «Фобос-Грунт». Кроме этого, сотрудники лаборатории разрабатывали приборы для исследований Земли: радары для дистанционного зондирования морской поверхности, снежных лавин, приёмопередающие устройства и локаторы.

The primary task of the laboratory, which was established in 1993, was to design hardware for the *Relikt-2* space experiment, aimed to measure temperature and anisotropy of the relict radiation. The instruments were designed and manufactured, but due to problems in the Russian space industry the *Relikt-2* mission was terminated. The major missions in the 1990–2000s were *RadioAstron* and *Phobos Sample Return*. Moreover the laboratory staff designed instruments for the Earth observations: radars for remote sensing of the sea surface, snow avalanches, as well as transceivers and locators.

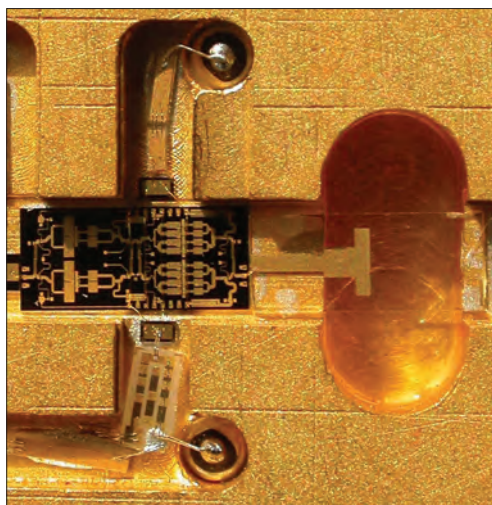


Аппаратура, созданная по проекту «РадиоАстрон»: приёмник в диапазоне 18–25 ГГц, малошумящий усилитель, двойной синтезатор, преобразователь частоты

Hardware designed for the RadioAstron mission: receiver in the range of 18...25 GHz, low-noise amplifier, double sequencer, frequency converter



Аппаратура для проекта «Луна-Ресурс»
Hardware for the Luna-Resurs mission



Приёмопередающий модуль и монолитный усилитель мощности, разработанные по государственному оборонному заказу с Государственным рязанским приборным заводом — дочерним предприятием Военно-промышленного комплекса МАПО (ГУП). Были освоены новые технологические решения — монолитные микросхемы миллиметрового диапазона длин волн

Transmit-receiver module and monolithic power amplifier developed by a government order in cooperation with the Ryazan State Instrument Plant, a subsidiary enterprise of the MAPO Military-Industrial Complex. New technological solutions were utilized — monolithic microcircuits of millimetre wavelength range

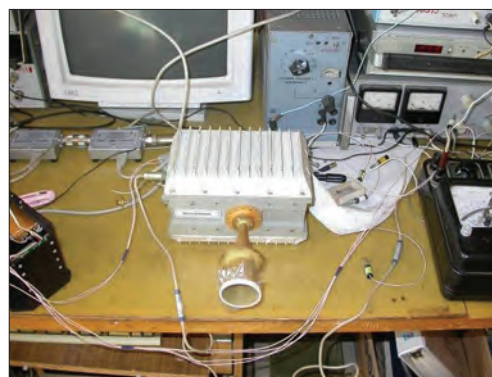
Приборы, проекты, результаты

В проекте «Фобос-Грунт» (запуск 2011 г.) лаборатория занималась подготовкой прибора УСО (ультрастабильный осциллятор) для двух радиофизических экспериментов: «Небесная механика» и MROE. В первом из них планировалось провести прецизионные измерения параметров орбиты спутника Марса Фобоса. После посадки на Фобос прибор УСО должен был излучать непрерывные сигналы на двух гармонически связанных частотах: 8,4 и 33,6 ГГц, — которые должны были приниматься на Земле. По этим данным предполагалось определить относительную скорость и угловые координаты прибора на Фобосе и таким образом вычислить его орбиту с высокой точностью. Эксперимент MROE по изучению ионосферы Марса путём радиопросвечивания между двумя КА планировалось проводить совместно с китайским микроспутником YH-1.

Для лунной программы (проекты «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс») лаборатория создаёт аппаратуру для радиофизических экспериментов: «Радиомаяк» для установки на посадочных лунных аппаратах и приёмник Ка-диапазона (ПКД) для орбитального аппарата и проведения эксперимента по изучению гравитационного поля Луны.

Для проекта «ЭкзоМарс» (запуск 2018 г.) планируется создать служебно-научный прибор ГАРС (генератор автономный радиосигналов) для проверки наземных станций приёма информации с орбитального аппарата по проекту «ЭкзоМарс» (запуск в 2016 г.).

Для будущего микроспутника «Чибис-АИ» создаётся прибор ПБК (передатчик быстрого канала), предназначенный для передачи научной информации на Землю и для проведения радиофизического эксперимента по исследованию ионосферы. Запуск микроспутника запланирован на 2016 г.



Instruments, Projects, Results

As part of the *Phobos Sample Return* mission (launched in 2011) the laboratory was responsible for the USO instrument (ultrastable oscillator) for two radiophysical experiments: “Celestial mechanics” and MROE. The former’s objective was to perform precision measurements of orbital parameters of Phobos. Following the landing the USO instrument was supposed to emit continuous signals on two harmonically related frequencies — 8.4 and 33.6 GHz — to be received on the Earth. Based on this data it was assumed to determine relative velocity and angular position of the instrument on Phobos and, as a result, to calculate its orbit with high precision. The MROE experiment on studying the Mars ionosphere via continuous electromagnetic transmission probing with two probes was expected to be conducted in cooperation with the Chinese microsatellite YH-1.

For the lunar program (missions *Luna-Glob* and *Luna-Resurs*) the laboratory designs instrumentation for radiophysical experiments: radio beacons to be installed on the lunar landers and a Ka-band receiver for the orbiter and the experiment of the gravity field of the Moon.

As part of the *ExoMars* mission (launch in 2018) it will design a scientific support instrument GARS (isolated signal generator) for verification of information reception by the earth-based stations from the orbiter (launch in 2016).

For the upcoming microsatellite *Chibis-AI* the laboratory designs an instrument PBK (short for “fast channel transmitter”) for transfer of scientific data to the Earth and conducting radiophysical ionosphere experiment.



Аппаратура, созданная по темам «Оперетка» и «Бронепоезд» (государственный оборонный заказ). Целью работы было создание прибора «Обнаружитель», который состоял из пассивного канала — приёмник (слева), и активного — радиолокатор (посередине). Справа — лабораторные испытания прибора на крыше ИКИ РАН



Instrumentation designed for the Operetka and Bronepoyezd (government defense order) projects. The goal was to create a detecting instrument, which consisted of a passive channel (receiver — left) and an active one (radio locator — right). On the right is the laboratory testing of the instrument on the roof of IKI

Сектор субмиллиметровой и инфракрасной астрономии (64.6) (руководитель — Игорь Маслов)

Сектор (первоначально — лаборатория) субмиллиметровой и инфракрасной астрономии образовалась в ИКИ РАН в начале 1970-х гг. в отделе **И. С. Шкловского**. После его смерти и образования АКЦ ФИАН она превратилась в лабораторию субмиллиметровой техники в составе отдела прикладной астрофизики. С самого начала лабораторией руководил д-р физ.-мат. наук **Геннадий Борисович Шоломицкий**. Им с сотрудниками ИКИ, ГАИШ и отраслевых институтов были разработаны охлаждаемые фотометры субмиллиметрового диапазона и проведены астрономические исследования межзвёздной пыли и характеристик земной атмосферы на волнах от 1,4 мм до 340 мкм на высокогорных и самолётных телескопах. Проводились работы по созданию охлаждаемых космических телескопов для обзоров неба в субмиллиметровом, инфракрасном и видимом диапазонах.

Сейчас основное направление работ сектора — исследование астрономическими методами свойств и распределение пыли в космосе и атмосфере Земли с помощью фотометрических и поляризационных наблюдений.

Основные направления

- Фотометрические наблюдения звёзд и комет в инфракрасном диапазоне спектра;
- широкоугольные поляризационные наблюдения в оптическом диапазоне;
- исследование мазерных источников.

Широкоугольные поляризационные измерения фона сумеречного неба начались в 2011 г. с помощью поляризационной камеры, разработанной сотрудниками отдела. Сегодня это единственный в мире инструмент, позволяющий одновременно получать данные о поляризации всех точек неба до зенитного расстояния в 70°. Этот инструмент позволяет проводить температурный мониторинг мезосферы Земли (от 70 до 85 км). Это крайне актуально в связи с быстрым похолоданием этих слоёв атмосферы, которое, возможно, связано с антропогенными причинами — радиационным охлаждением на парниковых газах, прежде всего, CO₂. Кроме этого, поляризационный анализ позволяет регистрировать появление частиц пыли в мезосфере. Максимум этого эффекта в летний период наблюдался в августе 2013 г., в эпоху активности метеорного потока Персеиды

The wide-angle polarization measurements of twilight background commenced in 2011 assisted by a polarization camera designed by the department staff. Today it is the world's only instrument that enables to simultaneously obtain polarization data from all points in the sky up to coaltitude of 7°. The instrument can monitor temperature of the Earth mesosphere (70 to 85km). This is highly relevant due to rapid cooling of these atmospheric layers, which is likely related to anthropogenic reasons — radiation cooling associated with greenhouse gases, most notably, CO₂. Moreover the polarization analysis enables to record appearance of dust particles in the mesosphere. The effect's maximum was observed in August 2013, during activity of the Perseids meteoric shower

Submillimeter and Infrared Astronomy Sector (64.6). Head — Igor Maslov

The sector (initially a laboratory) was established in IKI in the early 1970s in the department of **Iosif S. Shklovsky**. Following his death and foundation of the AstroSpace Center it became a laboratory of submillimeter equipment as part of the Department of Applied Astrophysics. In the beginning it was headed by Dr. **Genady B. Sholomitsky**. Together with the employees of IKI, SAI, and sectoral research institutes they designed the cooled submillimeter-wave photometer conducted studies of interstellar dust and the Earth's atmospheric properties on 1.4 mm to 340 μ m with high-altitude and airborne telescopes. It also worked to create cooled space telescopes to survey the sky in submillimeter, infrared and visible ranges.

Today the main line of work of the department is astronomical research of dust properties and distribution in space and the Earth atmosphere with photometric and polarization observations.

Research Areas

- Photometric observations of stars and comets in the infrared spectrum;
- wide-angle polarization observations in the optical spectrum;
- maser source studies.



Игорь Маслов
Igor Maslov

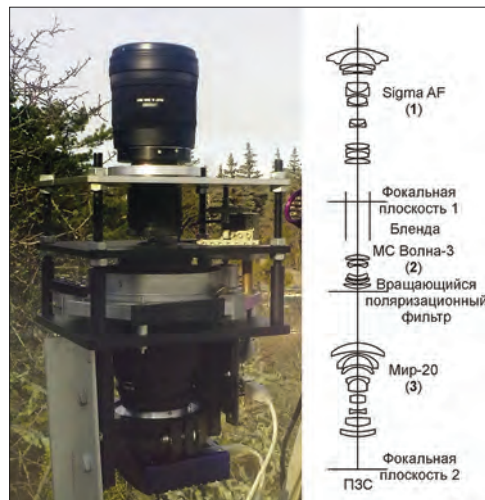


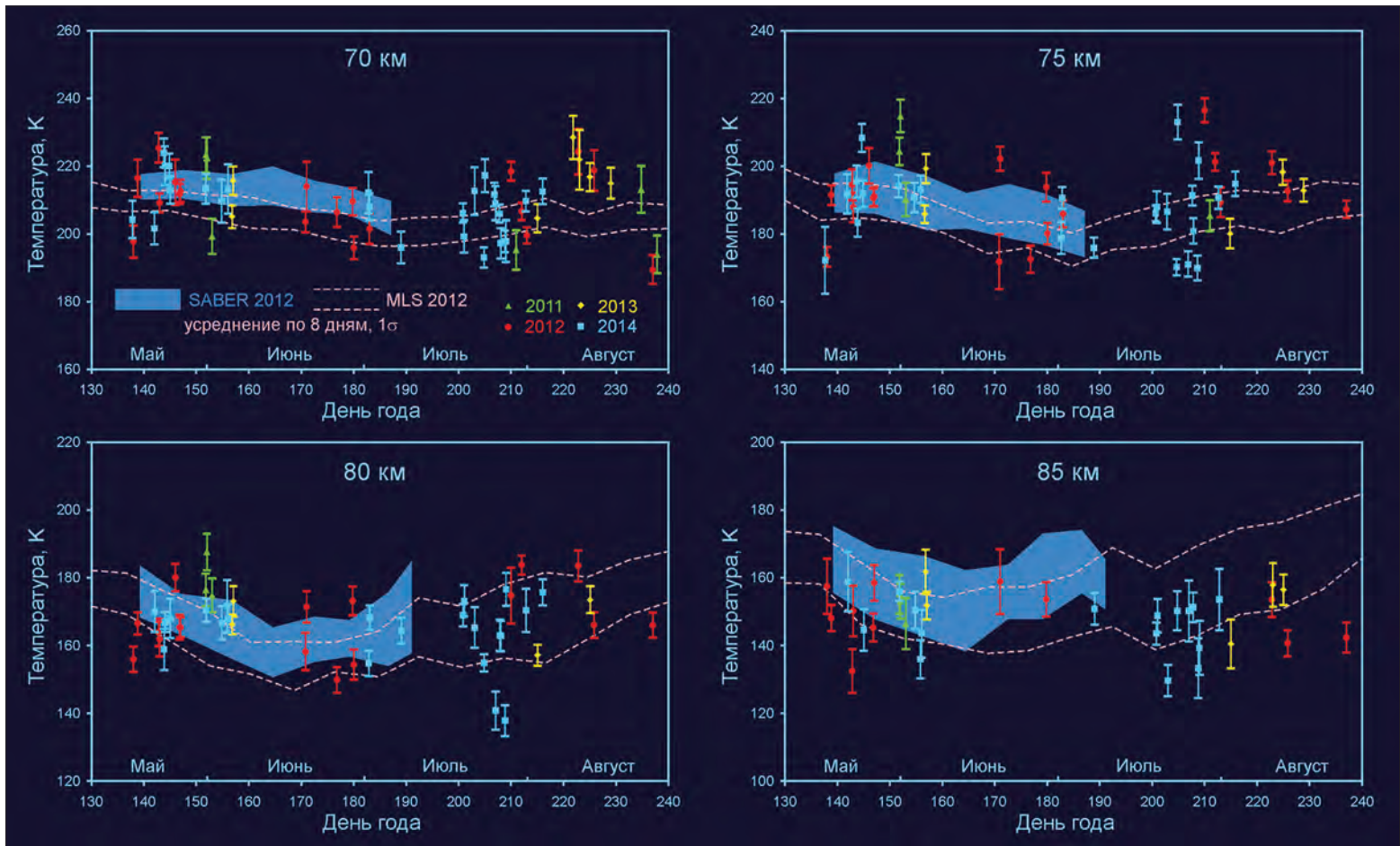
Г. Б. Шоломицкий
G. B. Sholomitsky



Баллоны с жидким гелием возле башни 70-сантиметрового телескопа, подготовленные для проведения астрономических наблюдений на высоте 4350 м. Экспедиция ГАО и ИКИ АН СССР. Восточный Памир (пос. Шорбулак, Таджикская ССР), февраль 1983 г.

Liquid helium tanks near a 70-cm telescope housing arranged for astronomical observations at a height of 4,350 m. Central Astronomical Observatory and IKI expedition. Eastern Pamir (settlement Shorbulak, Tadzhik Soviet Socialist Republic), February 1983





Результаты измерения температур в мезосфере по сравнению со спутниковыми данными (эксперимент SABER на спутнике TIMED и эксперимент MLS на спутнике EOS Aura, NASA)

Measurement results of the mesosphere temperatures compared to the satellite data (SABER experiment on the TIMED satellite and MLS experiment on the EOS Aura satellite, NASA)

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ INSTRUMENT ENGINEERING

Космический эксперимент немислим без научной и служебной аппаратуры. С самого начала ИКИ был задуман как институт с мощной приборостроительной базой. Но приборостроение как отдельное направление начало формироваться в ИКИ в последние 5–7 лет.

В 1970–1980-х гг. основной базой приборостроения Института было ОКБ ИКИ во Фрунзе (ныне — Бишкек, Кыргызстан). В дополнение к нему в 1986 г. было создано СКБ КП в Тарусе (Калужская область).

После распада СССР ОКБ ИКИ оказалось в другой стране и было закрыто, СКБ КП также переживало нелёгкие годы, и поэтому каждому коллективу прибористов приходилось для каждого космического проекта создавать инфраструктуру фактически «с нуля». Как результат, создаваемая аппаратура не была отработана должным образом, а накопленный опыт не использовался в следующих проектах.

Задача, которая сейчас решается в ИКИ РАН, — создание полноценной инфраструктуры приборостроения, которая впоследствии будет преобразована в Центр коллективного пользования по разработке, изготовлению и наземной экспериментальной отработке аппаратуры для космических исследований. Указанная структура позволит научным сотрудникам Института сконцентрироваться на научной составляющей космических экспериментов, тогда как их техническую реализацию и прохождение соответствующих испытаний возьмут на себя специалисты-приборостроители.

Уже сейчас многое для создания научных приборов сконцентрировано в ИКИ (за исключением изготовления печатных плат, некоторых типов химических покрытий, отдельных уникальных техпроцессов, создание которых в ИКИ нецелесообразно по финансовым, материальным и другим причинам).

Но главное — сотрудники. В 2009 г. руководителем направления стал Илья Чулков. В последние годы подразделения приборостроения были существенно обновлены, созданы новые подразделения и службы, на работу принято более ста новых сотрудников, в том числе молодые специалисты. Все отделы существенно «помолодели», средний возраст в большинстве из них — 45–48 лет. Сейчас направление приборостроения составляют 5 отделов.

No space experiment run without scientific and service equipment. From the very beginning IKI was conceived as an institute with extensive instrument-engineering capabilities. However instrument engineering as a separate direction began to take shape at IKI in the last 5–7 years.

In 1970–1980s the main instrument-engineering facility was the Special Design Bureau (OKB IKI) in Frunze (today Bishkek, Kyrgyzstan). In addition in 1986 the Special Design Bureau of Space Instrumentation Engineering (SKB SIE) was established in Tarusa (Kaluga region).

After the collapse of the USSR OKB IKI ended up in another country and was closed, SKB SIE also went through difficult times, and so every instrumentation group had to create infrastructure for each space project almost “from scratch”. As a result the designed hardware was not properly tested, and the obtained experience was not applied in the subsequent projects.

The current task solved at IKI is the establishment of the full-functional instrumentation infrastructure, which eventually will be reorganized into the Center for Collective Use for Space Instrumentation Design, Manufacture, and Ground Testing. The stated entity should enable research scientists of the Institute to focus on the science component of space experiments, while their technical implementation and relevant testing will be the responsibility of instrument specialists.

Even today many aspects of instrumentation engineering are concentrated at IKI (except for circuit-board work, some types of chemical coatings and certain unique processes, which are not feasible to be covered by IKI due to financial, economic and other reasons).

But the key point is the employees. In 2009 Ilya Chulkov became the Leader of direction. Over the last few years the instrumentation departments were significantly reformed, new departments and services were created, over a hundred new employees were hired, including young professionals. All departments become considerably “younger”, with an average age of 45–48 years. Today the instrumentation discipline includes 5 departments.



**Руководитель направления,
заместитель директора
по приборостроению — Илья Чулков**
*Leader of direction, Deputy Director
for Instrument Design and Development —
Ilya Chulkov*

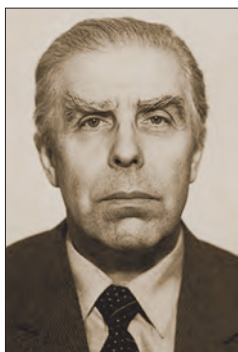
ОТДЕЛ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ БОРТОВОЙ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ АППАРАТУРЫ И КОМПЛЕКСОВ

(71)
DEPARTMENT
OF DESIGN AND TESTING
OF ONBOARD AND SPECIAL
EQUIPMENT AND SYSTEMS
(71)



Руководитель — Илья Чулков
Head — Ilya Chulkov

Е. М. Васильев
(1.09.1934–20.11.2002)
Evgeny M. Vasilyev
(September 1, 1934 – November 20, 2002)



В 1973 г. в ИКИ была образована лаборатория научно-технического обеспечения автономии КА (позже — отдел), в задачу которой входили техническая реализация, обеспечение и сопровождение научных проектов на борту космических аппаратов. И лабораторию, и отдел с момента образования и до ноября 2002 г. возглавлял кандидат тех. наук, лауреат Ленинской премии Евгений Михайлович Васильев.

Позднее отдел возглавляли В.Ф. Бабкин (в должности и.о.), д-р тех. наук О.П. Клишев. С 2014 г. отделом руководит И.В. Чулков.

Работа в отделе с самого начала велась по направлениям, связанным со следующими космическими аппаратами:

- космические аппараты серии «Прогноз» (разработка НПО им. С.А. Лавочкина), предназначенные для проведения астрофизических исследований, изучения солнечной активности и солнечно-земных связей. Серия состояла из 12 автоматических космических аппаратов (КА «Прогноз-1» — «Прогноз-12», запуски 1972–1996 гг.) Работы по этому направлению в отделе вело подразделение Л.В. Песоцкого;
- космические аппараты серии «Интеркосмос» (разработка КБ «Южное»), предназначенные для решения широкого круга задач в области космической физики и дистанционного зондирования Земли. Серия состояла из 10 КА «Интеркосмос» (запуски 1976–1994 гг.) на базе автоматической универсальной орбитальной станции (АУОС). Работы по этому направлению в отделе вело подразделение Г.И. Терехина, позднее подразделение возглавил Е.Г. Панков;
- космические ракеты серии «Вертикаль» (разработка ПО «Полёт»), предназначенные для исследования верхней атмосферы и ионосферы, влияния на них солнечно-земных связей, а также для запуска высотных астрофизических обсерваторий массой до 1300 кг. Серия состояла из 11 ракет «Вертикаль» (запуски 1970–1983 гг.). Работы по этому направлению в отделе проводились подразделением А.В. Семичастного, позднее его возглавил Ю.А. Плахов;
- автоматические межпланетные станции (разработка НПО им. С.А. Лавочкина), предназначенные для полёта к другим небесным телам с целью изучения межпланетного пространства, Луны, планет, Солнца, комет и т.д. Работы по этому направлению в отделе велись подразделением В.И. Субботина, позднее и.о. руководителя подразделения стал С.А. Ауст.

Также в отделе было создано подразделение разработки бортовых информационных цифровых систем, которое с момента создания возглавил И.Д. Скобкин.

In 1973 the Laboratory of R&D Support of Spacecraft Autonomy was established in IKI (later department), which was responsible for engineering implementation, service and support of scientific projects on-board spacecrafts. Both the laboratory and the department from its inception and until November 2002 were headed by Dr. Evgeny Vasilyev, a laureate of the Lenin Prize.

Later the department was headed by V. Babkin (acting in lieu of the Head), Dr. O. Klishchev. Since 2014 Ilya V. Chulkov is the Head of the department.

From day one the department has been doing work related to the following spacecrafts:

- *Prognoz* program spacecrafts (developed by the Lavochkin Association) were designed for astrophysical research, solar studies and solar-terrestrial relation studies. The program included 12 unmanned spacecrafts (*Prognoz-1* — *Prognoz-12*, launches in 1972–1996). The work in this area was carried out by the L. Pesotsky group;
- *Intercosmos* program spacecrafts (developed by the Yuzhnoye Design Bureau) were designed for an extensive range of tasks in space physics and Earth remote sensing. The program included 10 *Intercosmos* spacecrafts (launches in 1976–94) on the basis of the Automated Universal Orbital Station (AUOS). The work in this area was carried out by the G. Terekhin group, later the group was headed by E. Pankov;
- *Vertikal* rocket program (developed by Production Association “Polyot”) were designed for upper atmosphere and ionosphere research, its effect on solar-terrestrial relations, as well as launches of high-altitude astrophysical observatories weighing up to 1,300 kg. The program included 11 *Vertikal* rockets (launches in 1970–1983). The work in this area was carried out by the A. Semichastny group, later the group was headed by Yu. Plakhov;
- automatic interplanetary stations (developed by the Lavochkin Association) were designed for flights to other celestial bodies with a purpose of studying interplanetary space, Moon, planets, Sun, comets, etc. The work in this area was carried out by the V.I. Subbotin group, later S.A. Aust became the Acting Head of the group.

The department also set up the group for development of onboard digital data systems, which from its creation is headed by I. D. Skobkin.

Комплексы научной аппаратуры (КНА), устанавливаемые на различных КА, как правило, не только не повторялись от одного аппарата к другому, но и существенно различались. Кроме того, служебные системы КА — телеметрическая, программно-временная, радиоканал — не всегда полностью удовлетворяли требованиям эксперимента. Поэтому каждый раз приходилось создавать блоки управления КНА, стыковочные блоки, дополнительные бортовые системы сбора и регистрации, контрольно-испытательное оборудование для проверки научных приборов на всех стадиях испытаний в ИКИ, на заводе и космодроме. В отделе также разрабатывался полный комплект эксплуатационно-технической документации на КНА и контрольно-измерительную аппаратуру (КИА). Сотрудники отдела участвовали в приёмке научной аппаратуры, всех видах её наземных испытаний и в управлении работой КНА в полёте.

За время существования отдела его сотрудники выполнили полный цикл работ с комплексами научной аппаратуры, включая разработку технической документации, проведение испытаний в ИКИ, на заводе, космодроме, управление работой КНА в полёте по следующим проектам:

- 20 межпланетными станциями (серии «Марс», «Венера», «Фобос»);
- 9 высокоапогейным ИСЗ «Прогноз»;
- 12 автоматическим универсальным орбитальными станциями АУОС;
- 5 высотным атмосферным и астрофизическим зондам (ВЗА, ВЗАФ-С);
- 4 КА «Наука».

Заведующий отделом Е. М. Васильев удостоен звания Лауреата Ленинской премии в области науки и техники. Сотрудники отдела — В. И. Субботин, Л. В. Песоцкий, Г. И. Терехин, В. И. Мосалков и А. Д. Рябова — награждены Орденами.

В 2008 г. по инициативе директора Института Л. М. Зеленого и поддержке Учёного совета приборостроительное направление Института возглавил Илья Владимирович Чулков. Он усилил 71-й отдел своими молодыми, но уже к тому времени опытными разработчиками, ранее работающими под его руководством в лаборатории 526. Отдел стал называться отделом проектирования и экспериментальной отработки бортовой и специализированной аппаратуры и комплексов и сейчас состоит из 7 лабораторий.

Лаборатория проектирования аппаратуры и комплексов космических аппаратов (711)
(руководитель — Константин Ануфрейчик)

Scientific packages (Russian abbreviation KNA), mounted on various spacecraft, in general were substantially different from spacecraft to spacecraft. Moreover the service systems of the spacecraft — telemetry, timing, radio channel — did not always meet the requirements of an experiment. So every time it was necessary to design scientific payload control units, interface units, additional acquisition and recording onboard systems, equipment for instrumentation testing on all stages at IKI, assembly area and launch site. The department also developed a complete package of operating and maintenance documentation for KNA and control and testing equipment (Russian abbreviation KIA). The department staff participated in acceptance of scientific hardware, all types of ground testing and control of KNA inflight performance.

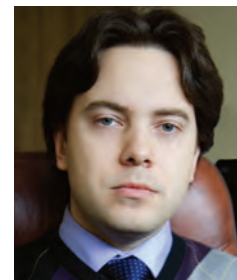
Throughout the existence of the department its employees completed various works with scientific packages, including design documentation, testing at IKI, plants, launch sites, KNA inflight control for the following projects:

- 20 interplanetary stations (*Mars, Venera, Phobos*);
- 9 high-apogee satellites *Prognoz*;
- 12 automated universal orbital stations АУОС;
- 5 high-altitude atmospheric and astrophysical probes (*VZA, VZAF-S*);
- 4 spacecrafts *Nauka*.

Head of the department E. Vasilyev was a laureate of the Lenin Prize in Science and Technology. The department staff — V. Subbotin, L. Pesotsky, G. Terekhin, V. Mosalkov, and A. Ryabova — was awarded medals.

In 2008 Director of the Institute Lev Zeleny initiated appointment of Ilya Chulkov as Leader of the Instrument Engineering direction, which was supported by the Scientific Council. Ilya Chulkov reinforced the department No. 71 with young but by that time experienced developers that previously worked under his leadership in the laboratory No. 526. The department was renamed to Department of Design and Testing of Onboard and Special Equipment and Systems, and currently consists of 7 laboratories.

Spacecraft Hardware and System Design Laboratory (711). Head —
Konstantin Anufreichik



Константин Ануфрейчик
Konstantin Anufreichik



Лаборатория 711. 2013 г.
Laboratory No. 711. 2013

Наталья Чумак
Natalya Chumak



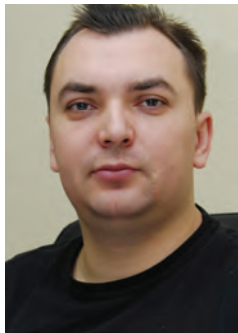
Лаборатория отработки аппаратуры и комплексов космических аппаратов (713) (руководитель — Наталья Чумак)

Spacecraft Hardware and System Testing Laboratory (713). *Head — Natalya Chumak*

Лаборатория технического конструирования и моделирования (715) (руководитель — Алексей Коновалов)

Design Engineering and Simulation Laboratory (715). *Head — Alexey Konovalov*

Алексей Коновалов
Alexey Konovalov



Три лаборатории были сформированы в 2013 г. из состава лаборатории 711, куда в 2009 г. перешла часть сотрудников лаборатории 526 «Электроники рентгеновских детекторов» (в составе отдела астрофизики высоких энергий), в их числе К. В. Ануфрийчик (возглавил лабораторию), А. А. Коновалов, А. В. Семёнов, Д. Г. Тимонин, Н. И. Чумак, А. В. Никифоров, ставшие в дальнейшем ядром команды.

Three laboratories were formed in 2013 from the Laboratory No. 711 employees, which in turn embraced some of the Laboratory 526 (X-ray detectors electronics, a part of the Department of High Energy Astrophysics) employees in 2009, including K. Anufreichik (head of the laboratory), A. A. Konovalov, A. V. Semenov, D. G. Timonin, N. I. Chumak, A. V. Nikiforov, who later became the team core.

В 2009–2013 гг. командой лаборатории были созданы приборы ССНИ для проекта «КОРОНАС-Фотон» (головная организация — ИЗМИРАН) и БПИ для проекта «Спектр-Р» (головная организация — АКЦ ФИАН), написано программное обеспечение для прибора СИОК проекта «Фобос-Грунт», велись работы по приборам и КИА проектов «Спектр-УФ», «Резонанс», «Ионосфера», «Луна-Глоб», «Луна-Ресурс».

In 2009–2013 the laboratory team designed the SSNI instrument for the *Koronas-Foton* project (head organization — IZMIRAN) and BPI for the *Spektr-R* project (head organization — AstroSpace Center), wrote the software for the SIOK instrument of the *Phobos Sample Return* project, contributed to instruments and KIA of the projects *World Space Observatory — Ultraviolet (WSO-UV)*, *Resonance*, *Ionosfera*, *Luna-Glob*, *Luna-Resurs*.

Кроме российских приборов лаборатория приняла участие в создании иностранного прибора: в кратчайшие сроки (4 мес!) был создан и полностью отработан блок электроники для прибора ФПМС для КА «Фобос-Грунт».

Besides the Russian instruments the laboratory participated in designing of a foreign instrument — within a very short time (4 months!) the FPMS instrument electronics unit for the *Phobos Sample Return* spacecraft was designed and fully tested.

Сейчас коллектив лабораторий принимает активное участие в российских и международных научных космических проектах «Луна-Глоб», «Луна-Ресурс-1», «ЭкзоМарс», «Интергелио-Зонд», «Спектр-УФ», «Резонанс», «Ионосфера», «Странник».

Основное направление деятельности лабораторий — разработка и изготовление

- Бортовой космической аппаратуры: систем сбора и регистрации, хранения и сброса научной информации;
- контрольно-испытательной аппаратуры для автономных и комплексных проверок научных приборов на всех стадиях испытаний в ИКИ, на заводе и космодроме;
- систем приёма телеметрии;
- программного обеспечения обработки и анализа данных.

Назначение систем сбора научной информации (ССНИ)

- Сбор научных данных от приборов;
- контроль работоспособности приборов;
- хранение, защита и сжатие данных;
- формирование выходных форматов и вывод данных в бортовой комплекс управления (БКУ);
- приём команд от БКУ по мультиплексному каналу обмена (МКО) КА;
- трансляция временных меток в приборы;
- передача команд в приборы.

Назначение комплексной контрольно-испытательной аппаратуры (ККИА)

- Обеспечение проведения всех видов испытаний комплекса научной аппаратуры;
- имитация функционирования служебных систем КА;
- контроль функционирования научных приборов;
- имитация работы комплекса научной аппаратуры (КНА) по высокоскоростным и низкоскоростным интерфейсам;
- подготовка и формирование циклограмм испытаний;
- отображение хода испытаний;
- первичная обработка, сохранение информации, возможность просмотра информации от системы сбора и приборов КНА и её раздача по локальной сети разработчикам приборов КНА.

Проекты, реализованные с участием сотрудников лабораторий 711, 713, 715

30 января 2009 г. с космодрома «Плесецк» был успешно запущен космический аппарат «КОРОНАС-Фотон» (головная организация — ИЗМИРАН) с комплексом научной аппаратуры «Фотон».

Today the laboratory is actively involved in the Russian and international space science projects *Luna-Glob*, *Luna-Resurs-Orbiter*, *Exo-Mars*, *Interhelioprobe*, *WSO-UV*, *Resonance*, *Ionosfera*, *Strannik*.

Main areas of activity of the laboratory are development and manufacturing of

- Onboard space equipment: systems of collection and recording, storage and dumping of scientific data;
- control and test equipment for self-checks and integrated checks of instrumentation on all test stages at IKI, plants, and launch site;
- telemetry acquisition systems;
- software for data processing and analysis.

Applications of the scientific data collection system (SSNI)

- Scientific data collection from instruments;
- instrumentation performance monitoring;
- data storage, protection, and compression;
- generation of output formats and data output to BCU;
- command reception from BCU via spacecraft MCO;
- relay of time tags to instrumentation;
- relay of commands to instrumentation.

Applications of the integrated ground support equipment (ККИА)

- Support of all types of scientific package testing;
- simulation of spacecraft service systems operation;
- monitoring of instruments operation;
- simulation of scientific payload operation through high- and low-speed interfaces;
- preparation and formation of testing sequences;
- indication of testing progress;
- preliminary processing, storage, view of information from the collection system and scientific payload instruments, and its distribution via local network to the KNA developers

Contribution to Projects

On 30 January 2009 the spacecraft *Koronas-Foton* (Integrated Low-Earth Orbit Observations of the Sun Activity, head organization — IZMIRAN) was successfully launched from the Plesetsk launch pad carrying the scientific package *Foton*.



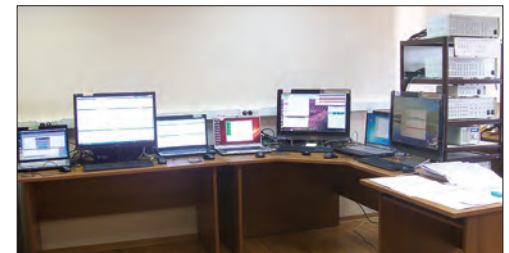
«Фобос-Грунт». Испытания БЭ ФПМС. Швеция, Кируна, 2011 г.

Phobos Sample Return. Testing of the FPMS electronics unit. Sweden, Kiruna, 2011



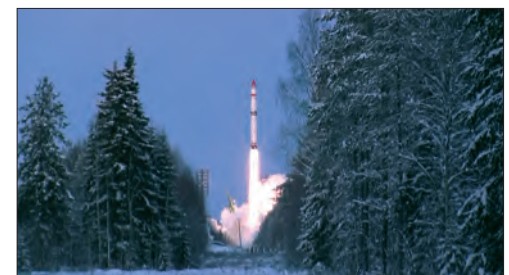
Примеры построения комплексных КИА

Examples of construction of integrated KIAs

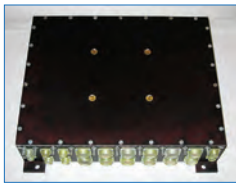


Запуск КА «КОРОНАС-Фотон»

Launch of the Koronas-Foton spacecraft



Прибор ССРНИ. Проект КОРОНАС-Фотон 2009 г.
SSRNI instrument. Project Koronas-Foton, 2009



«КОРОНАС-Фотон».
Испытания КНА. МИФИ, 2008 г.

Koronas-Foton. KNA testing.
MEPhI, 2008



«КОРОНАС-Фотон».
Испытания КА. Истра, 2008 г.

Koronas-Foton. Spacecraft testing. Istra, 2008

БПИ. Проект «Спектр-Р», 2011 г.

BPI. Spektr-R project, 2011



В состав КНА вошла система сбора и регистрации научной информации (ССРНИ), разработанная командой лаборатории. Основной поток научной информации передавался в виде цифровых массивов с научных приборов, по 960 бит в последовательном коде. Скорость передачи массива информации — 62,5 или 125 кбит/с.

Для повышения надёжности работы КНА система ССРНИ была построена по схеме с двумя полукомплектами, один из которых являлся рабочим, а второй находился в «холодном» резерве. Все сигналы интерфейса обмена данными были задублированы, причём на каждую дублированную линию работал свой передатчик и приёмник информации. С 18 февраля по 17 марта 2009 г. непрерывно функционировал первый полукомплект ССРНИ. Данные телеметрии показывали стабильное, безошибочное функционирование ССРНИ. С 18 марта по декабрь 2009 г. непрерывно функционировал второй полукомплект ССРНИ. Суммарно за весь период получено, сохранено и выдано в радиоканал 2 156 728 275 кадров, 7149 отчётов, 10 095 948 пакетов с телеметрической информацией.

КА работал до 1 декабря 2009 г., эксперимент был прекращён из-за выхода из строя системы энергообеспечения.

18 июля 2011 г. состоялся успешный запуск КА «Спектр-Р» (проект «РадиоАстрон», головная организация АКЦ ФИАН) с БПИ, созданным разработчиками лаборатории. БПИ — бортовой прибор, входящий в комплекс научной аппаратуры КА «Спектр-Р». Представляет собой моноблок и предназначен для преобразования информации, выдаваемой из бортового комплекса управления по МКО в управляющие кодовые слова (УКС) для комплекса научной аппаратуры. БПИ состоит из двух полукомплектов.

В июле 2014 г. был достигнут заданный срок эксплуатации БПИ в составе КА согласно техническому заданию — 3 года. За время работы на орбите БПИ передал более 160 000 цифровых команд. В 2015 г. БПИ продолжает работать в штатном режиме и транслировать цифровые команды в главный телескоп космического аппарата и в приборы эксперимента «Плазма-Ф».

В 2012–2015 гг. в лабораториях была создана и отработана система автоматической посадки глубоководного спасательного аппарата. Как оказалось, опыт построения специализированных систем для космических исследований можно применять при создании систем управления и в других областях, например, при управлении глубоководными спасательными аппаратами. Созданная при непосредственном участии сотрудников лабораторий система САП-271 управления успешно прошла в 2015 г. межведомственные испытания.

Scientific payload includes SSRNI system (Information Collection and Registration System), developed by the laboratory team. The main data stream from the instruments to the SSRNI system is relayed as digital files by 960 bits in sequential code. Data file transfer rate is 62.5 or 125 kbps.

To improve the scientific payload performance reliability the SSRNI system was built with two subsets, one being prime and another on “cold” reservation. All signals of the data exchange interface were duplicated, with every duplicated line possessing its data transmitter and receiver. From 18 February to 17 March 2009 the first SSRNI subset was in continuous operation. The telemetry data indicated stable and error-free performance. From 18 March to December 2009 the second SSRNI subset was in continuous operation. In total 2,156,728,275 frames, 7,149 reports, 10,095,948 telemetry packages were received, stored and forwarded to the radio channel.

The spacecraft was operational until 1 December 2009, as the experiment was terminated after power supply system failure.

On 18 July 2011 the spacecraft *Spektr-R* (RadioAstron project, head organization — AstroSpace Center) was successfully launched, carrying the interface converter (BPI) designed by the laboratory developers. BPI is an onboard instrument, which is integrated in the *Spektr-R* scientific package. It is a monoblock unit designed for conversion of data, which the onboard control system outputs through multiplex exchange channel (MKO) as control code words (UKS) for the scientific package. BPI consists of two subsets.

In July 2014 BPI reached its scheduled lifetime onboard the spacecraft as per the specification — 3 years. During its on-orbit operation BPI relayed over 160,000 digital commands. In 2015 BPI continues its nominal operation and relays digital commands to the spacecraft primary telescope and instruments of the *Plasma-F* experiment.

In 2012–2015 the laboratories designed and tested the auto-trim system of the deep submergence rescue vehicle. As it turned out the experience in developing space research systems can be applied to designing control systems in other areas, for instance, control of deep submergence rescue vehicles. The control system SAP-271 developed with direct involvement of the laboratory successfully passed interagency tests in 2015.



**Первый выход в море
глубоководного
аппарата с созданной
в Институте системой
управления**

*First departure to sea
of the deep submersible with
the control system developed
at the Institute*

**Проекты лабораторий 711, 713, 715 в стадии
разработки**

**In-Development Projects
of the Laboratories 711, 713, 715**



**ССНИ тепловых
эквивалентов (ТЭ) и блок
управления и соединений
(БУС) ТЭ для проекта
«Интергелиозонд»**

*SSNI and BUS heat equivalents
for the Interhelioprobe project*



**Служебные блоки:
управления тепловым ре-
жимом (БУТР), сопряжения
и управления (БУСК), БМ-4,
управления каналами
(БУК); каналы ввода-вы-
вода (КВВ), бортовой
блок управления (БУП) для
проекта «Спектр-УФ»
(головная организация —
ИНАСАН)**

*Service control units of BUTR,
BUSK, BM-4, BUK, KVV, BUP
for the WSO-UV project (head
organization — INASAN)*

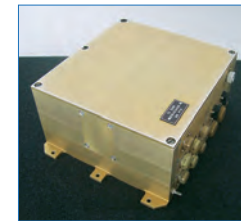


**Блок управления научной
информацией (БУНИ),
конструкторско-
доводочный образец,
проект «Луна-Глоб»
(«Луна-25»)**

*BUINI, development prototype,
Luna-Glob project*



ССРНИ-2. Натурно-габаритно-весовой макет (НГВМ) для проекта «Луна-Ресурс-Орбитальный»
SSRNI-2 for the project Luna-Resurs-Orbiter



БУНИ-ЛР для проекта «Луна-Ресурс-Орбитальный», технический образец
BUINI-LR for the project Luna-Resurs-Orbiter, technical model



Блок электроники комплекса АЦС для проекта «ЭкзоМарс» (2016)
Atmospheric Chemistry Suit (ACS) system electronics for the ExoMars project (2016)



Блок интерфейсов и памяти (БИП) для проекта «ЭкзоМарс» (2018)
Interface and storage unit (BIP) for the ExoMars project (2018)



Проект «Резонанс» (прибор СУСПИ) СУСПИ ТО
Resonance project (SUSPI instrument) SUSPI TO



Система управления, сбора и передачи информации (СУСПИ-С) для проекта «Странник»
SUSPI-S for the Strannik project



**Фрагмент испытаний
микроспутника
«Чибис-М». 2010 г.**

*During Chibis-M microsatellite
testing. 2010*

Игорь Козлов
Igor Kozlov



Лаборатория планирования и научно-технического обеспечения экспериментов на микроспутниках (712) (руководитель — Игорь Козлов)

В состав лаборатории после реформы структуры Института в 2013 г. вошли специалисты, участвовавшие во всех проектах 71 отдела начиная с его образования в 1973 г.

В последние годы сотрудники лаборатории сконцентрировали усилия на создании, наземной отработке и сопровождению микроспутников, создаваемых в ИКИ, что и отразилось в названии. Первым весьма успешным опытом стал микроспутник «Чибис-М», начавший свою работу после отстыковки от грузового корабля «Прогресс» 25 января 2011 г. Микроспутник успешно проработал на орбите почти 3 года (при заявленном сроке функционирования 1 год) и дал много важных результатов, также — опыт в управлении спутниками.

Лаборатория робототехнических систем для планетных исследований (714) (руководитель — Олег Козлов)

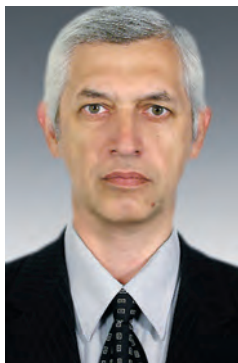
Лаборатория была сформирована в 2013 г. на основе лаборатории бортовых управляемых электромеханических систем и проектирования комплексов научной аппаратуры отдела 73 и выполняет работы, связанные с разработкой робототехнических комплексов и научных приборов.

Microsatellite Experiments Planning and Support Laboratory (712). Head — Igor Kozlov

Following the Institute reorganization in 2013 the laboratory was joined by the specialists of the department No. 71 that participated in all its projects since the establishment in 1973.

In the recent years the laboratory staff concentrates its efforts on designing, ground testing, and supporting of the microsatellites built at IKI, that was reflected in its name. The first and successful experience was the microsatellite *Chibis-M*, which became operational after undocking from a *Progress* cargo ship on 25 January 2011. The microsatellite efficiently operated in orbit for almost 3 years (with the stated operation life of 1 year) and provided a lot of important data, as well as experience in satellite control.

Олег Козлов
Oleg Kozlov



Robotic Systems for Planetary Explorations Laboratory of Robotic Systems for Planetary Exploration (714). Head — Oleg Kozlov

The laboratory was established in 2013 on the basis of the Laboratory of Controllable Electromechanical Systems and Design of Scientific Packages under the department No. 73 and conducts activities related to development of robotic systems and instrumentation.

Первой практической работой сотрудников лаборатории было проектирование и реализация манипуляторного комплекса проекта «Фобос-Грунт». Основной задачей проекта был забор грунта с поверхности Фобоса и доставка его на Землю.

Испытаниями была доказана возможность манипуляторным комплексом забирать грунт от сыпучего и связного до твёрдого и перегружать его в возвратную ракету.

Сейчас в лаборатории разрабатывается лунный манипуляторный комплекс (манипулятор) (ЛМК), основная задача которого — забор образцов грунта с глубины до 40 см, их загрузка в приборы и наведение установленных на манипуляторе приборов на выбранные участки поверхности. ЛМК должен устанавливаться как на КА «Луна-Глоб», так и на КА «Луна-Ресурс-Посадочный».

По проекту «Луна-Ресурс-Посадочный»:

- разрабатывается поворотная платформа для наведения приборов лунный инфракрасный спектрометр (ЛИС), телевизионной камеры рабочего поля манипулятора (ТВ-РПМ) и LINA XSAN;
- разрабатывается грунтозаборное устройство для криогенного бурения и доставки образцов приборам и курируется работа европейской части бурового устройства;
- курируется работа по созданию европейского прибора по анализу грунта.

Одновременно в лаборатории ведутся работы по созданию сканеров приборов МСА-СИ и ФЕБУС проекта «Бепи Коломбо», рентгеновского телескопа SPIN-X1 (проект «Монитор Всего Неба»), конструктива блоков телескопа ART-XC проекта «Спектр-РГ», приборов комплекса АЦС для космического аппарата TGO (проект «ЭкзоМарс», 2016), конструктива приборов ПмЛ по проекту «Луна-Глоб», прибора ТАЛ газового хроматографа по проекту «Луна-Ресурс-Посадочный».

На ближайшую перспективу разрабатывается вариант лунохода для совместной работы лунохода и посадочной станции КА «Луна-Ресурс».

Лаборатория создания и наземной отработки комплексов научной аппаратуры и обеспечения научных экспериментов на пилотируемых модулях (716)
(руководитель — Олег Андреев)

Совместно с коллегами из Института медико-биологических проблем (ИМБП РАН) были разработаны телемедицинские бортовые комплекты (ТБК-1, ТБК-1С), предназначенные для регистрации, обработки, хранения и передачи специальной медицинской информации, характеризующей состояние здоровья членов экипажа РС МКС: ТБК-1 — отоларингологический комплект, а ТБК-1С — стоматологический.

The first practical work for the laboratory was to design and implement the manipulator system for the *Phobos Sample Return* project. The project's main objective was soil sample collection from the Phobos surface and its delivery to the Earth.

Testing demonstrated the manipulator capabilities to sample different soil samples (from loose and cohesive to hard soil) and load them into a return craft.

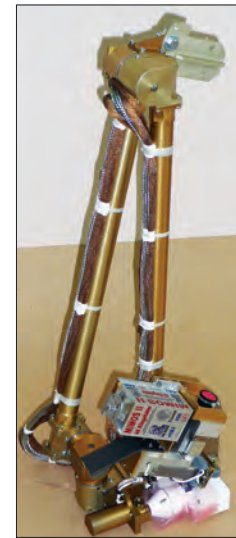
Today the laboratory develops the lunar manipulator system (LMK) with the main task of collecting soil samples from depths down to 40 cm, loading the samples into the instruments, and pointing the instruments to the selected surface areas. LMK will be mounted on the *Luna-Glob* spacecraft and the *Luna-Resurs* lander.

With respect to the *Luna-Resurs* lander:

- A rotating platform is developed to point the LIS, TV-RPM, and LINA-XSAN;
- a soil-sampling device is developed for cryogenic drilling and sample delivery to the instrumentation, and work is supervised on the European part of the drilling unit;
- the work on a European soil sample analyzer is supervised.

At the same time the laboratory designs scanners for the MSASI and PHEBUS instruments as part of the *BepiColombo* project, the SPIN-X1 X-ray telescope (*All-Sky Monitor* project), structural elements of the ART-XC telescope blocks (*Spektr-RG* mission), the ACS system instrumentation for the TGO spacecraft (*ExoMars* mission, 2016), structural elements of the PmL instrumentation (*Luna-Glob* mission), TAL instrument for the gas chromatograph (*Luna-Resurs-Lander* mission).

For the short term a moon rover is developed for the joint operation of the rover and the *Luna-Resurs-Lander*.



Манипуляторный комплекс проекта «Фобос-Грунт»

Manipulator system of the Phobos Sample Return project



Луноход
Moon rover

Scientific Payload Design and Testing and Support Laboratory of Manned Module Science (716). Head — Oleg Andreyev

In collaboration with associates from the Institute of Biomedical Problems there were developed telemedicine packages (ТБК-1, ТБК-1С) for recording, processing, storage and transfer of medical information describing health status of the RS ISS crew members. ТБК-1 is an otolaryngologic package, and ТБК-1С — a stomatological package.



Олег Андреев
Oleg Andreyev



Блок БУНД. Внешний вид и вид со снятой верхней крышкой

BUND unit. Exterior and with top cover off

Разработан аппаратно-программный комплекс МВФ, предназначенный для контроля и мониторинга в реальном времени наблюдающим врачом состояния здоровья космонавта на месте посадки спускаемого аппарата, а также во время транспортировки космонавтов от места приземления. МВФ позволяет осуществлять одновременно непрерывный визуальный контроль и регистрацию основных медицинских показателей (электрокардиограмму, артериальное давление, пульсоксиметрию). В перспективе предполагается использование штатных образцов МВФ на борту РС МКС и КК «Союз-ТМА».

Сотрудники лаборатории принимали участие в разработке научной аппаратуры для эксперимента РУСАЛКА для РС МКС. Основной задачей этого эксперимента являлась отработка методики космического мониторинга углекислого газа и метана в атмосфере.

Для эксперимента на МКС был разработан трёхосный высокоточный акселерометр ТВА-П, устанавливаемый на платформе АПП-Ф. ТВА предназначен:

- для измерения ускорений как результат воздействия на КА и узлы платформы АПП-Ф негравитационных сил;
- приёма и исполнения управляющих команд от блока управления платформы АПП-Ф;
- выдачи телеметрических параметров о состоянии ТВА.

Лаборатория курировала проект микроспутника «Чибис-М», предназначенного для исследования физических процессов в грозных разрядах в атмосфере Земли.

В рамках проектов «Луна-Ресурс» и «ЭкзоМарс» (2018) совместно с ИФЗ РАН разрабатываются приборы СЕЙСМО для мониторинга лунной сейсмологической обстановки и сейсмогравиметр (СЭМ) для изучения сейсмологической активности планеты Марс.

Для проекта «Спектр-УФ» (головная организация ИНАСАН) разрабатывается блок БУНД.

Сотрудники лаборатории принимают активное участие в проведении комплексных работ по проектам «ЭкзоМарс» (2016 и 2018 гг.). Перспективные проекты: «Чибис-АИ», «Лаплас-П».

Лаборатория проектирования специализированных бортовых систем для космических исследований (717) (руководитель — Андрей Бондаренко)

Отдельная лаборатория специализированных бортовых систем окончательно сформировалась в 2013 г. под руководством А. В. Бондаренко из разработчиков, успешно работавших в составе 71 отдела и имевших к тому времени положительный опыт

A hard-and-software system MVF was designed to allow a supervising doctor to control and monitor in real time health status of the cosmonauts at a reentry spacecraft landing site and during moving cosmonauts from the site. MVF simultaneously enables continuous visual checking and recording of essential medical indications (electrocardiogram, arterial pressure, pulse oximetry). In the future it is expected to use flight units of MVF onboard the RS ISS and Soyuz-TMA.

The laboratory staff participated in development of scientific hardware for the *Rusalka* experiment onboard the RS of ISS. The main objective of the experiment was to trial a method of carbon dioxide and methane satellite monitoring in the atmosphere.

For an experiment aboard the International Space Station a three-axis inertial accelerometer TVA-P mounted on the APP-F platform was developed. TVA is designed to:

- measure accelerations as a result of non-gravitational forces effects on a spacecraft and the APP-F platform assemblies;
- receive and execute control commands from the APP platform control unit;
- output telemetry parameters on the TVA status.

The laboratory supervised the *Chibis-M* project designed to study physical processes of lightning discharges in the Earth atmosphere.

As part of the *Luna-Resurs* and *ExoMars* (2018) projects in collaboration with the Institute of Physics of the Earth of RAS the specialists of laboratory develop the following instruments: SEISMO to monitor the lunar seismological environment and seismogravimeter (SEM) to observe seismological activity on Mars.

For the *WSO-UV* mission (leading organization — INASAN) a scientific data control unit (BUND) is developed.

The laboratory staff actively participates in the *ExoMars* projects (2016 and 2018). Planned projects: *Chibis-AI*, *Laplace-P*.

Laboratory for Dedicated Onboard Equipment for Space Experiments (717). Head — *Andrey Bondarenko*

A separate laboratory for dedicated onboard equipment completely formed in 2013 under the supervision of A. Bondarenko from the developers, which successfully worked in the department No.71 and had positive experience in designing onboard units and systems for the following projects: *Phobos Sample Return*

Андрей Бондаренко
Andrey Bondarenko





**Отладка цифровой
камеры БЭ СТЗ (проект
«Фобос-Грунт»)**

*Testing of a STZ digital camera
(Phobos Sample Return)*

создания бортовых блоков и систем для проектов «Фобос-Грунт» (БЭ СТЗ); микроспутник «Чибис-М» (цифровая камера ЦФК); САП-271 (оптический датчик координат ОДК2); «Бепи Коломбо» (магнитометр, ЕКА).

Специализация лаборатории

- Системы технического зрения,
- цифровые камеры, оптоэлектроника,
- цифровая обработка изображений и сигналов в реальном времени,
- системы и средства сбора и обработки экспериментальных данных,
- высокоскоростные цифровые интерфейсы,
- системы управления приводами,
- робототехника,
- контрольно-испытательная аппаратура (КИА),
- специализированное программное обеспечение.

Лаборатория участвует в создании перспективных приборов для проектов «Луна-25» и «Луна-27»: телевизионной камеры ТВ РПМ и блоков электроники для эксперимента ПмЛ и для лунного манипуляторного комплекса.

Также лаборатория принимает участие в изготовлении системы автоматической посадки САП-271 на аварийную подводную лодку — оптический датчик координат, интерфейсная плата и программное обеспечение.

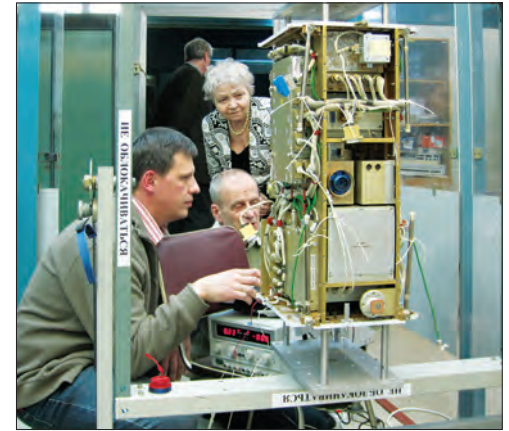
(Technical Vision System (STZ) Electronics), *Chibis-M* microsatellite (digital camera TsFK), SAP-271 (optical resolver ODK2), *BepiColombo* (magnetometer, ESA).

Areas of activity

- Technical vision systems,
- digital cameras, optoelectronics,
- real-time digital processing of images and signals,
- systems and devices of experiment data collection and processing,
- high-rate digital interfaces,
- drive control systems,
- robotics,
- control and testing equipment (KIA — C&I),
- dedicated software.

The laboratory participates in designing of potential instruments for projects *Luna-25* and *Luna-27*: TV camera TV-RPM and electronics for the PmL experiment and lunar manipulation system.

The laboratory is also involved in manufacturing of the automatic landing system SAP-271 for submersibles — optical sensor, interface board, and software.



**Программирование
цифровой фотокамеры
(ЦФК) микроспутника
«Чибис-М»**

*TsFK programming,
microsatellite Chibis-M*

**ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ
(32)
TECHNICAL DEPARTMENT
(32)**

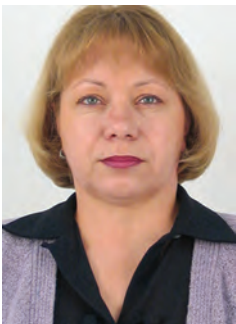


**Руководитель —
Ирина Аверьянова**
Head — Irina Averyanova

Максим Маркичев
Maxim Markichev



Ирина Журавлёва
Irina Zhuravleva



Группа нормоконтроля документации (32.1)

Группа информационного сопровождения проектирования и отработки аппаратуры (32.2)

Лаборатория организации технологических процессов создания научной аппаратуры (32.3) (руководитель — Максим Маркичев)

Группа хранения научно-технической документации (32.4) (руководитель — Ирина Журавлёва)

Отдел решает задачи прикладного характера, которые важны для проведения космических и наземных экспериментов, в том числе:

- контроль качества выполнения технической документации в ИКИ РАН, её учёт и хранение;
- разработку и внедрение в производство наиболее прогрессивных технологических процессов, видов оборудования и технологической оснастки, средств автоматизации и механизации;
- обеспечение процесса разработки аппаратуры необходимой нормативной и технической документацией.

Отдел многие годы возглавлял **Владимир Ребенко**. После его ухода на пенсию в 2013 г. руководителем отдела стала молодая, но уже опытная сотрудница **Ирина Аверьянова**. Учитывая всё возрастающий объём технической документации по создаваемой в ИКИ аппаратуре, отдел претерпел значительные изменения, появились новые специалисты (11 новых, из 15 — в отделе), воссоздана технологическая служба Института. В 2013 г. в состав отдела включён архив Института.

Document Examination Group (32.1)

Group for Design and Testing Information Support (32.2)

Laboratory for Organization of Hardware Engineering (32.3). Head — Maxim Markichev

Group for Scientific and Technical Documentation Storage (32.4). Head — Irina Zhuravleva

The department deals with application tasks, which are important for space and ground experiments, including:

- quality control of engineering documentation at IKI, its recordkeeping, and storage;
- development and manufacturing of the most advanced fabrication processes, types of equipment, and accessories, automation and mechanical equipment;
- ensuring the process of development of equipment necessary normative and technical documentation.

For many years the department was headed by **Vladimir Rebenko**. Following his retirement in 2013 the position was given to young but already experienced specialist **Irina Averyanova**. Considering the ever-increasing volume of the technical documentation for the equipment developed at IKI the department underwent significant changes, new specialists joined (11 new people out of 15 in the department), the engineering service of the Institute was recreated. In 2013 the Institute archive was integrated in the department.

Необходимость создания службы была продиктована выходом в свет международных ГОСТов серии ИСО 9000 и нормативным документом Роскосмоса — «Типовым положением о службе качества в организации ракетно-космической промышленности». На Учёном совете Института 11 марта 2011 г. был рассмотрен вопрос об изменении структуры ИКИ РАН с выделением подразделений ОТК, качества, надёжности и метрологии в отдельный, вновь образуемый отдел, который был создан на основе высококвалифицированных специалистов 5507 Военного представительства МО РФ.

На службу качества была возложена основная задача по реализации политики Института в области качества и координации работ отделов в части вопросов качества и надёжности создаваемой ими научной аппаратуры. Прекратившие своё существование в 1990-е гг., вновь были созданы подразделения по надёжности, рекламационной работе и метрологическому обеспечению.

Созданы и укомплектованы измерительным оборудованием три участка входного контроля:

- контроля деталей и узлов на опытном производстве ИКИ РАН;
- контроля плат, кабелей, узлов и блоков, поступающих с монтажного участка и от сторонних организаций;
- проведения входного контроля готовых изделий макетов и приборов перед отправкой их на завод или для допуска к стыковочным и комплексным испытаниям в ИКИ РАН.

Современные требования в области качества и необходимость проведения аудитов СМК как внутри Института, так и в организациях-соисполнителях потребовали создать и такое направление как менеджмент качества.

The establishment of the service was necessitated by the publication of the international ISO 9000 standards and the Roscosmos document “Model provisions on quality control in the missile and space industry”. On 11 March 2011 the Institute Academic Council addressed a question of IKI restructuring and integration of QA, QC, reliability, and metrology departments into a separate division, formed on the basis of highly qualified specialists of the 5507 Quality Control Office of the Russian Ministry of Defense.

Quality Control was imposed with the task of implementation of the Institute policy on quality and coordination with regard to scientific hardware quality and reliability. Disbanded in the 1990s, the departments of reliability, reclamation, and metrological support were restored.

The three inspection sections were created and equipped with measuring instrumentation:

- for control of parts and assemblies at the IKI trial production;
- for control of plates, cables, assemblies and units from the assembly section, and external companies;
- for inspection of finished engineering units and instruments prior to shipping to the plant or admission for docking and integrated tests at IKI.

Current requirements to quality and quality audits within the Institute and participating companies necessitated such discipline as quality management.

СЛУЖБА КАЧЕСТВА (34) QUALITY CONTROL MANAGEMENT (34)



**Руководитель —
Николай Куприянов**
Head — Nikolay Kupriyanov



**Группа технического
контроля (34.1)**
(руководитель —
Владимир Кошкин)
**Quality Control
Group (34.1). Head —
Vladimir Koshkin**



**Группа надёжности,
рекламационной ра-
боты и менеджмента
качества (34.2)**
(руководитель —
Юрий Семёнов)
**Reliability, Reclama-
tion, and Quality Man-
agement Group (34.2).**
Head — Yury Semenov



**Группа входного кон-
троля и сертификации
научной аппаратуры
(34.3)** (руководи-
тель — Людмила
Белякова)
**Hardware Inspection
and Certification
Group (34.3). Head —
Lyudmila Belyakova**



**Лаборатория изме-
рительных приборов
и метрологической
экспертизы (344)** (ру-
ководитель — Сергей
Бабишин)
**Instrumentation and
Metrological Examina-
tion Laboratory (344).**
Head — Sergey Babishin



**Проведение работ
на участке входного
контроля**
Inspection group at work

ОПЫТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО (41) PILOT PRODUCTION (41)



**Руководитель —
Николай Харченко**
Head — Nikolay Kharchenko



Заместитель — Сергей Гусев
Deputy — Sergey Gusev

Опытное производство Института (отдел 41) возглавляли Кротов (до 1971 г.), Ю.А. Романов (1971–1975), Ю.Г. Брянкин (1975–2002). С 2002 г. руководитель — **Николай Харченко**, пришедший в ИКИ в феврале 1971 г. в качестве фрезеровщика, затем в 1976 г. ставший заместителем начальника отдела.

В начале 1970-х гг. производство работало в две смены, а численность списочного состава превышала 120 сотрудников. В 1986 г. группа сотрудников отдела была награждена государственными наградами по итогам проекта ВЕГА.

После тяжёлого периода 1990–2000-х гг. с 2010 г. идёт глубокая модернизация опытного производства. Её идеолог и «двигатель» — нынешний руководитель подразделения Сергей Гусев, работавший в ИКИ в 1980–1990-х гг. и вернувшийся на работу в ИКИ в 2010 г. Приказом директора Института выделены помещения для создания дополнительных участков опытного производства и для размещения нового оборудования, и проведена подготовка первого помещения (цеха). Был образован новый механический участок, в 2012 г. закуплены современный пятикоординатный фрезерный обрабатывающий центр, новейшие токарные станки, малые фрезерно-гравировальные станки и многое другое, возрождается полноценный монтажный участок.

В 2010 г. в ИКИ пришла **Инна Колмакова**. Её силами была воссоздана химлаборатория ИКИ (участок химпокрытий), заменено практически всё оборудование лаборатории взамен морально устаревшего и пришедшего в негодность.

The Institute pilot production (department No. 41) was headed by Krotov (until 1971), Yu. Romanov (1971–1975), Yu. Bryankin (1975–2002). From 2002 it is headed by **Nikolay Kharchenko**, who joined IKI in February 1971 as a milling machine operator, then in 1976 took position of the deputy head.

In the early 1970s the production worked in two shifts, and the number of staff exceeded 120 people. In 1986 some of the employees got state awards for the results of the *Vega* program.

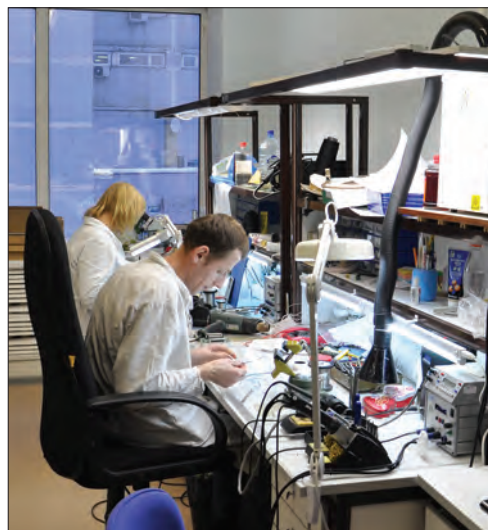
After the difficult period of the 1990–2000s a major overhaul of the pilot production began from 2010. Its ideologist and “champion of this activity” is the current head **Sergey Gusev**, who was employed in the 1980–1990s and then returned to IKI in 2010. By order of the director of the Institute additional premises were given for new sections and new equipment, and the primary premises (floor) were prepared. A new machining section was created, with a modern five-axis machining center, new lathes, small milling and engraving machines, etc. were purchased in 2012; an adequate assembly section is revived.

In 2010 IKI joined **Inna Kolmakova**. By her efforts the IKI chemical laboratory (chemical coating section) was renewed, and practically all obsolete and failed equipment was replaced.



**Новый фрезерный
обрабатывающий центр
UCP 800 DURO в работе**

*New milling machine center
UCP 800 DURO in work*



**Слева: фрагмент мон-
тажного участка**
*Left: Part of the assembly
section*

**Вверху: новые сушильные
шкафы химлаборатории**
*Top: New drying ovens
in the chemical laboratory*

Контрольно-испытательная станция, или КИС, предназначена для проведения испытаний научных приборов, предназначенных для установки на борт космического аппарата, исследования их работоспособности в составе бортового комплекса и в условиях космического пространства.

Техническое задание на строительство КИС, её структуру и состав испытательного оборудования было разработано в 1971 г. под руководством заместителя директора ИКИ В.М. Ратнера. Строительство корпуса КИС завершилось в 1976 г. Все работы по созданию проводились под руководством А.Л. Родина, который и возглавил КИС в 1976 г. В 1989 г. начальником КИС назначается В.Е. Марков, а в 2002 г. ему на смену приходит В.Н. Худобин.

После реорганизации структуры Института в 2014 г. на должность заместителя начальника КИС назначается Алёна Михайловна Пазич. С 2015 г. КИС возглавляет Сергей Владимирович Бабишин.

В 2015 г. в состав КИС входит 6 групп:

Группа вакуумных испытаний (42.1)
(руководитель — Александр Григорьев)

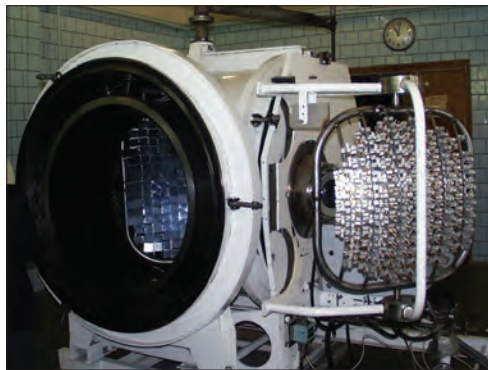
Группа климатических испытаний (42.2)
(руководитель — Владимир Гавриленко)

Группа электрических испытаний (42.3)
(руководитель — Анатолий Бородкин)

Группа механических испытаний (42.4)
(руководитель — Олег Хвостик)

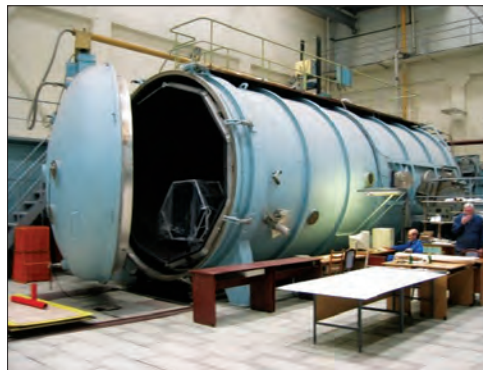
Группа технической поддержки испытаний (42.5)
(руководитель — Наталья Бунтова)

Группа испытаний аппаратуры на электромагнитную совместимость (42.6)
(руководитель — Кирилл Титов)



Общий вид имитатора солнечного излучения ИСИ-0,8 в вакуумной приставке

Solar simulator ISI-0.8 in the vacuum attachment



Термовакuumная камера ТВУ-100Г

Thermal vacuum chamber TVU-100G

The testing and control station, or KIS, is designed for testing of instrumentation intended to be mounted on a spacecraft, and analyzing its performance capabilities as a component of the onboard system and in space.

The KIS building program, its structure, and test equipment makeup were developed in 1971 under the supervision of IKI Deputy Director V. Ratner. Construction of the KIS building was completed in 1976. All developments were supervised by A. L. Rodin, who became the head of KIS in 1976. In 1989 V. E. Markov was appointed the head of KIS, and in 2002 he was replaced by V. N. Khudobin.

After the Institute restructuring in 2014 Alena Pazich was appointed as the deputy head. From 2015 KIS is headed by Sergey Babishin.

In 2015 KIS includes 6 groups:

Vacuum Testing Group (42.1).
Head — Alexander Grigoryev

Climatic Testing Group (42.2).
Head — Vladimir Gavrilenko

Electrical Testing Group (42.3).
Head — Anatoly Borodkin

Mechanical Testing Group (42.4).
Head — Oleg Khvostik

Testing Support Group (42.5).
Head — Natalya Buntova

Electromagnetic Compatibility Testing Group (42.6). *Head — Kirill Titov*

КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ (42) TESTING AND CONTROL STATION (42)



Руководитель — Сергей Бабишин
Head — Sergey Babishin



Заместитель — Алёна Пазич
Deputy — Alena Pazich



Александр Григорьев
Alexander Grigoryev



Владимир Гавриленко
Vladimir Gavrilenko

Анатолий Бородкин
Anatoly Borodkin



КИС имеет аттестат аккредитации испытательного центра на проведение испытаний. Среди испытательного оборудования имеются уникальные стенды. В их числе — термовакуумная установка ТВУ-2,5Г/1,5-0,6 с имитатором солнечного излучения.

В основе имитатора солнечного излучения ИСИ-0,8 лежит уникальная оптическая система, разработанная в ИКИ РАН под руководством Николая Семены. Реализованный в системе способ преобразования излучения защищён патентом России № 1725760. Применение этого способа позволило создать короткофокусную оптическую систему, которая в 5 раз короче по сравнению с зарубежными и отечественными аналогами.

Установка была введена в строй в 1993 г. За 18 лет её эксплуатации были испытаны многие приборы, среди которых — звёздные датчики серии БОКЗ, приборы проекта «Спектр-РГ», микроспутник «Колibri-2000», термодинамическая система ориентации, элементы новых солнечных батарей различного типа.

За время эксплуатации имитатор продемонстрировал высокую надёжность (максимальное время непрерывного облучения составило 10 сут) и высокие параметры имитации.

В КИС также установлена уникальная термовакуумная камера ТВУ-100Г рабочим объёмом 100 м³. Внушительный габаритный размер её внутренней рабочей зоны — 2,8×11 м. Температура экранов может достигать минус 190 °С. Дополнительно камера оснащается инфракрасными нагревателями удельной мощностью до 1735 Вт/м².

Учитывая всё нарастающий объём наземной отработки бортовой аппаратуры по проектам, в Институте начиная с 2010 г. проводится модернизация оборудования испытательных участков, а также реорганизация подразделений.

КИС is the certified testing facility. There are special testbeds among the testing equipment, including thermal vacuum unit TVU-2.5G/1.5-0.6 with solar simulator.

The solar simulator ISI-0.8 is based on a unique optical system, which was developed in IKI under the supervision of Nikolay Semena. The radiation conversion technique, implemented in the system, is protected by the Russian patent No. 1725760. Such technique enabled the design of short-focus optics, which is 5 times shorter compared to international and domestic analogues.

The unit was commissioned in 1993. Over 18 years it tested various instruments, including BOKZ star trackers, *Spektr-RG* project instruments, microsatellite *Kolibri-2000*, thermodynamic attitude control system, different solar cells.

During its operation the simulator exhibited high reliability (maximum time of continuous irradiation is 10 days) and high simulation parameters.

КИС is also equipped with the special thermal vacuum chamber TVU-100G of 100 m³ capacity. The dimensions of its internal operating area are impressive — 2.8×11 m. The shield temperature can be down to 190 °C. In addition the chamber is equipped with infrared heaters of specific capacity up to 1,735 W/m².

Considering the ever-increasing extent of the onboard equipment ground testing, starting from 2010 the Institute modernizes the equipment in the testing sections and restructures its departments.

Олег Хвостик
Oleg Khvostik



Наталья Бунтова
Natalya Buntova



Кирилл Титов
Kirill Titov



Новый вибростенд участка механических испытаний
New vibrobench in the mechanical testing section



Новые камеры участка климатических испытаний
New chambers in the climatic testing section



РАБОТА С ИНФОРМАЦИЕЙ DATA ACQUISITION AND PROCESSING

Запуск аппаратов и разработка новых приборов имеют, в конечном счёте, одну цель — узнать что-то новое об окружающем мире и сделать это знание общим достоянием. Поэтому, когда речь идёт о работе с информацией, имеют в виду не только непосредственно приём данных с космических аппаратов, но и соответствующую инфраструктуру, с помощью которой исследователь может получать доступ к данным, работать с ними и обмениваться результатами с коллегами. В их число входят и те, кто непосредственно участвует в проекте, и те, кто работает в данной области, и даже более широкая аудитория — все, кому интересны космические исследования.

История создания отдела относится к концу 1960-х гг., когда в Институте появились первые вычислительные машины: БЭСМ-4, БЭСМ-6, линейка машин класса ЕС. Тогда же были заложены и основы всех служб, обеспечивающих работоспособность вычислительных машин: инженерная служба технической поддержки, служба системных программистов и сильная операторская служба.

Становление и развитие вычислительного центра ИКИ РАН неразрывно связаны с именами Забиякина Г. И., Минаева В. П., Покраса В. М., Чесалина Л. С., Скопцова А. П., Перелыгина С. П., Шевченко В. И. На протяжении последних 25 лет отдел возглавлял Александр Борисович Александров.

Вехой в истории Института и отдела стал март 1986 г., когда в рамках международного проекта по изучению Венеры и кометы Галлея осуществлялись приём, обработка, хранение и отображение в реальном времени научной информации, полученной с приборов межпланетных станций «Vega-1» и «Vega-2». Для этого на базе вычислительных мощностей отдела был разработан комплекс нестандартных аппаратных и программных средств, включая устройство сопряжения главной ЭВМ с оптоволоконной линией связи и устройства сопряжения с видеотерминалами СВИТ. В результате учёные и другие пользователи телеметрической информации получили оперативный доступ к данным с оборудованных рабочих мест и во время сеанса связи, и позже для более детального изучения полученных материалов.

Every scientific space project has one ultimate purpose, which is to find out something new about the world surrounding us, and then share this knowledge. So when we talk about working with scientific data, we mean not only receiving data from satellites, but also the whole infrastructure, which enables research teams to access the data, manage it, and exchange the findings with colleagues, and not only those immediately involved in a project, but to everybody interested in space research worldwide.

Establishment of the Department dates back to the late 1960s, when the Institute acquired first mainframe computers: BESM-4, BESM-6, ES series. This also laid the basis for all services that maintained operation of the computers: Engineering Technical Support Services, Software Engineering Services, and ever-reliable Operator Services.

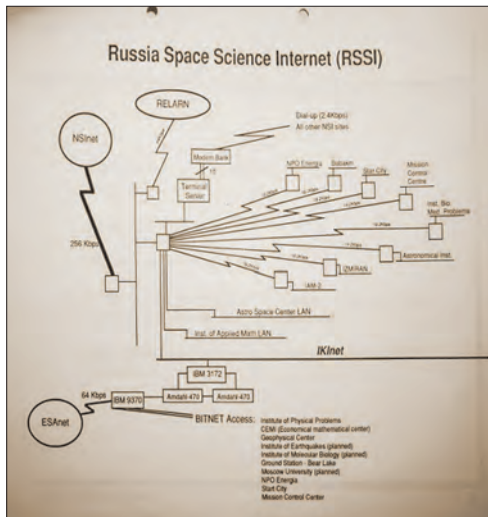
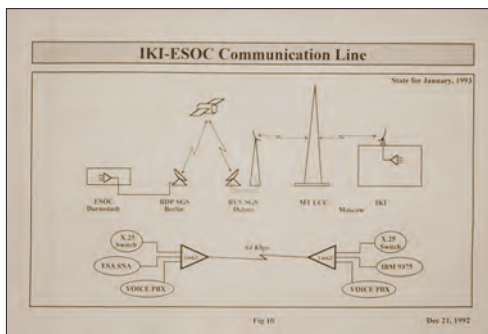
Creation and development of the IKI RAN Computer Center is inextricably connected with the names of Zabyakin G. I., Minayev V. P., Pokras V. M., Chesalin L. S., Skoptsov A. P., Perelygin S. P., Shevchenko V. I. Over the last 25 years the Department was headed by **Alexander B. Alexandrov**.

A milestone in the history of the Institute and Department occurred in March 1986, when, as part of the international mission investigating Venus and Comet Halley, the instruments data from space probes *Vega-1* and *Vega-2* was received, processed, stored, and displayed in real time. To achieve that, non-default hardware and software capabilities were developed, including an interface unit for the central computer and a fiber-optic communication line, and interface units for SVIT video terminals. As a result scientists and other telemetry users gained on-line access to the data from equipped workstations and during communication sessions, as well as later for a more detailed study.

ОТДЕЛ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ И ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ (81) TELECOMMUNICATION NETWORKS AND HIGH-CAPACITY COMPUTER CLUSTERS DEPARTMENT (81)



**Руководитель —
Александр Александров**
Head — Alexander Alexandrov



Рабочее место оператора
Operator workstation



Уникальный в то время опыт по доступу к данным, принимаемым с космического аппарата, и их отображению в режиме реального времени не только в алфавитно-цифровом, но и графическом режиме был высоко оценён советскими и зарубежными специалистами, принимавшими участие в эксперименте.

Сотрудники отдела принимали самое непосредственное участие в создании систем высокой производительности с использованием параллельных матричных процессоров, связанных с центральным процессором. Примером такой высокопроизводительной системы может служить комплекс, разработанный совместными усилиями учёных ИКИ РАН СССР и объединения ИЗОТ (Болгария). Применение самой современной элементной базы, новых конструкторских и технологических решений позволило создать надёжный в эксплуатации малогабаритный вычислительный комплекс с высокими техническими характеристиками.

На протяжении многих лет в ИКИ РАН эксплуатировался высокопроизводительный комплекс из десяти матричных процессоров ЕС-2706, подключённых к ЕС-1037 с пиковой производительностью 120 миллионов операций с плавающей запятой в секунду или свыше 300 миллионов обычных операций в секунду.

Качественное изменение в деятельности отдела произошло в начале 1990-х гг., когда руководителем компьютерного отделения ИКИ РАН стал Р. Р. Назиров. Началась Эра Сетей.

В 1991–1993 гг. было произведено подключение к сети электронных коммуникаций BITNET по каналу, работающему через Франкфурт, и ИКИ РАН получил штатный международный сервис электронной почты.

В декабре 1992 г. стартовали переговоры по подключению ИКИ РАН к сети NASA Science Internet (NSI). Первые наброски организации подключения рождались экспромтом в частных беседах. Не исключено, что когда-нибудь мы в мемуарах нашего руководства прочитаем подробности этих историй о том, что для принятия сложных решений порой достаточно простых вещей — доверительной рабочей атмосферы и листка бумаги, оказавшегося под рукой.

В результате в ИКИ РАН в феврале-мае 1994 г. был построен один из первых российских узлов Интернета. Это было подключение по спутниковому каналу, с максимальной для России на тот момент пропускной способностью 256 кбит/с. Созданию этого подключения предшествовали длительные переговоры, соглашения и требования со стороны NASA к структуре подразделения и квалификации сотрудников, обслуживающих сеть.

The then-unique experience of accessing the data from a spacecraft and displaying it in real time not only in alphanumeric but also graphic modes was highly appreciated by the Soviet and foreign specialists participating in the experiment.

The Department staff was directly involved in development of high-capacity systems employing parallel matrix processors connected to the central processor. An example of such high-capacity system can be an array developed through the joint efforts of scientists of IKI RAN USSR and the *Izot* Association (Bulgaria). Utilization of the most up-to-date hardware components, as well as new engineering and technology solutions allowed for creation of an operationally reliable and small-size computer system with high performance capabilities.

Over many years IKI RAN utilized a high-capacity system with 10 ES-2706 matrix processors connected to ES-1037 and capable of peak performance of 120 million floating-point operations per second or over 300 million normal operations per second.

A step change in the Department activities took place in the early 1990s, when Ravil Nazirov became the head of the Computing and Data Processing Direction. And so the Age of Networks began.

In 1991–1993 there was a connection made to the BITNET network via a channel through Frankfurt, and as a result IKI RAN obtained in-service international e-mail service.

In December 1992 negotiations started to connect IKI RAN to the NASA Science Internet network. First outlines of such connection were created on the spur in private discussions. Probably, some day we would learn more details of these stories from the memoirs of those who managed the direction, on how complex decisions sometimes require only trustworthy working environment and a piece of paper handy.

As a result in February-May 1994 one of the first Russian Internet nodes was set up. The connection was made through a satellite channel with a then-maximum for Russia bandwidth of 256 kbps. This connection was preceded by lengthy negotiations, agreements, and requirements from NASA to the structure and qualifications of the employees maintaining the network.

В 1993 г. пять специалистов отдела прошли обучение в NASA NSI, и по подобию структуры NSI были заложены основы служб технической поддержки, сетевой безопасности и круглосуточной операторской службы.

За это время в отделе выросло несколько поколений сетевых специалистов. По праву можно утверждать, что отдел стал поставщиком IT-специалистов для российского сегмента сети Интернет. Мы помним всех и рады общению, и не только по сети.

Кроме эксплуатации и развития сетевой инфраструктуры отдел участвует в перспективных исследовательских проектах по информационному сопровождению научных экспериментов. В частности, в 2007 г. был проведён уникальный эксперимент по передаче несжатого видео высокой чёткости по межконтинентальным линиям связи и отображению результатов на многоэкранной видеостене. В кратчайшие сроки был организован выделенный канал пропускной способностью 1 Гбит между ИКИ РАН и лабораторией NCDM Университета штата Иллинойс в Чикаго (США) (University of Illinois at Chicago) и продемонстрировано отображение результатов суперкомпьютерного моделирования по столкновению галактик. Во время эксперимента была также зарегистрирована самая высокая на тот момент скорость передачи данных (711 Мбит/с) между Россией и США, полученная в рамках одного соединения. В 2013–2014 гг. в отделе было спроектировано и построено масштабируемое, отказоустойчивое, высокопроизводительное хранилище с возможностью расширения до нескольких петабайт и аппаратной надёжностью хранения более 99 % в течение 10 лет.

Сегодня сеть «Космос» — это разветвлённая локальная сеть Института, включающая порядка 700 рабочих мест и 15 подключённых через узел научных организаций.

Сетевая вычислительная инфраструктура включает машинный зал с контролируемыми климатическими условиями, резервную автономную линию электропитания на базе дизель-генератора, систему видеонаблюдения и автоматическую систему пожаротушения.

Сейчас в отделе работают и «старожилы», которые осваивали ещё первые машины Института: Ленгник Т. Н., Теодоронский В. В., Ананьев А. В., и среднее поколение специалистов, и молодые сотрудники, и на все времена — позитивная операторская служба.

In 1993 five employees of the Department underwent training at NASA NSI, and on the NSI model services for technical support, network security and full-time operators were created.

In the meantime a few generations of network specialists cut their teeth in the Department. It can rightfully be claimed that the Department became a supplier of IT specialists for the Russian Internet segment. We remember all of them and always ready to socialize, not only through the web.

Besides utilizing and developing the network infrastructure, the Department participates in the advanced research projects on information support of science experiments. More specifically in 2007 a unique experiment was conducted on transferring uncompressed HD video over intercontinental communication lines and displaying the results on a multiscreen video wall. In next to no time a dedicated channel with capacity of 1 GB was arranged between IKI RAN and the NCDM laboratory of the Illinois State University in Chicago (USA) and the supercomputer simulation results on galactic collision were presented. During the experiment the then-highest data transmission rate (711 Mbps) was also recorded between Russia and USA within one connection. In 2013–2014 the Department designed and fabricated a scalable, fault-tolerant and high-capacity storage, open-ended to a few petabytes and with storage reliability over 99 % for 10 years.

Today the Cosmos network is a branched local network of the Institute that includes ca. 700 workstations and 15 scientific organizations connected via the node.

The network computing infrastructure includes the computer room with controlled climatic conditions, backup standalone power line on the basis of a diesel generator, video surveillance system and automatic firefighting system.

Today in the Department there are “old timers”, who worked with the first computers in the Institute: T. N. Lengnik, V. V. Teodoronsky, A. V. Ananyev, middle generation of specialists and young employees, and for all the time — positive operator service.



**Стойки с серверами.
Машинный зал**
Racks with servers. Computer room

Праздник в отделе
Celebration in the Department



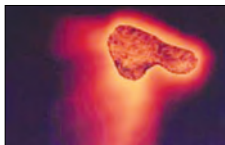
ОТДЕЛ НАЗЕМНЫХ НАУЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ (82)

GROUND CONTROL AND OPERATION COMPLEXES DEPARTMENT (82)



Руководитель — Владимир Назаров
Head — Vladimir Nazarov

Наземный комплекс в Уссурийске
Ground complex in Ussuriysk



Лаборатория 821 под руководством Л. С. Чесалина занимается разработкой микропроцессорных систем. С конца 70-х годов сотрудники лаборатории участвовали в экспериментах «Луна», «Венера», «Марс», «Метеор», «Прогноз», «Интеркосмос». Обработка данных аппарата «Венера-13» позволила получить первое цветное панорамное изображение ландшафта Венеры. Для проекта ВЕГА была разработана аппаратура проведения наземных испытаний КИА АСП-Г автоматической следящей платформы с комплексом наведения на комету Галлея и научной видеоспектральной аппаратурой. В результате обработки изображений, полученных при пролёте кометы Галлея, были определены форма и размеры ядра кометы, уточнены структурные и фотометрические характеристики поверхности ядра и джетов, выполнена томографическая реконструкция комы

Laboratory 821 headed by L. S. Chesalin specializes in development of microprocessor-based systems. From the late 1970s the Laboratory staff participated in the projects Luna, Venera, Mars, Meteor, Prognoz, Interkosmos. By processing of the Venera 13 lander data the first color panoramic image of the Venus landscape were obtained. For the Vega project the KIA ground test instrumentation was developed for the ASP-G automatic stabilized platform equipped with the guidance system for pointing at Comet Halley and videospectral instruments. Processing images collected during the Comet Halley flyby allowed for defining the shape and dimensions of the comet nucleus, confirming the structure and photometric characteristics of its surface and the jets, carrying out tomographic reconstruction of the coma

Слово «космос» у человека, незнакомого со спецификой космических исследований, вызывает интуитивную реакцию посмотреть наверх. Но для специалистов совершенно очевидно, что основная часть работ по проведению космического эксперимента проходит на Земле. И это относится не только к подготовке космического аппарата, научной аппаратуры и всех сопутствующих инженерных систем, но и непосредственно к проведению самого научного космического проекта

The word "space" elicits from a person unfamiliar with the specifics of space research an intuitive reaction to look up. But for specialists it is abundantly clear that the main share of work related to space experiments is carried out on Earth. And it covers not only preparations of spacecraft, scientific hardware and all relevant services, but immediate conduct of science space experiments.



Современные научные наземные комплексы (ННК) — это, фактически, квинтэссенция наиболее эффективных подходов из области информационных технологий и специфических решений, учитывающих своеобразие проведения космических исследований.

Средства наземного научного комплекса используются для всех процедур, необходимых для осуществления эксперимента, включая организацию управления, приём и обработку научной информации и тому подобные. Начиная с самых первых фаз космического эксперимента, ННК становится одним из основных инструментов, обеспечивающих его проведение. При этом, как правило, эффективность космических исследований в достаточно большой степени определяется функциональными характеристиками ННК, а иногда сами параметры ННК определяют возможность эксперимента.

Отдел наземных научных комплексов — «молодой побег» на корнях, уходящих глубоко в историю Института. В нынешнем виде отдел ННК был создан в 2014 г. на базе лаборатории приёма и обмена телеметрической информацией (руководитель — Лаврусевич В. В.), лаборатории разработки и эксплуатации систем программно-математического обеспечения и передачи научной телеметрической информации (руководитель — Назаров В. Н.) и отдела разработки и обслуживания микропроцессорной техники и математического обеспечения (руководитель — Чесалин Л. С.).

Обработка телеметрической информации как самостоятельное направление существует в Институте с 1966 г. В ходе своего развития оно неоднократно претерпевало различные преобразования: объединялись подразделения, создавались новые структуры. Если использовать современную терминологию, то можно сказать, что на первых этапах были заложены основные принципы построения наземной инфраструктуры, которые используются и по настоящий день:

That is why current ground control complexes (Russian abbreviation NNK) are practically the quintessence of the most effective approaches in information technologies and special solutions that account for the specifics of space research.

The equipment of a ground control and operation complexes is employed for all the procedures required for experiments, including mechanisms of control, acquisition, and processing of scientific data, etc. From the very first phases of a space experiment NNK acts as one of the major tools contributing to the project realization. And normally the efficiency of space research to a rather great extent depends on functional characteristics of a NNK, and sometimes the NNK parameters define the experiment capabilities.

The Department of Ground Control and Operation Complexes is a fresh shoot on the roots that go deep into the history of the Institute. As it is today the Department was created in 2014 on the basis of the Laboratory of Telemetry Receipt and Exchange (head — V. V. Lavrusевич), Laboratory of Development and Operation of Software and Mathematical Support Systems and Transfer of Science Telemetry (head — V. N. Nazarov) and the Department of Development and Maintenance of Microtechnology and Software (head — L. S. Chesalin).

Telemetry processing as a separate discipline exists in the Institute since 1966. Through its development it underwent various transformations: departments were combined, new structures created. If we are to apply the modern terminology, it can be said that on the first stages basic principles of ground infrastructure were laid down, which are still used to this day: geographically spaced subsystems were created integrating (with account for technologies of that time) into a unified information environment, and unique computer systems were developed.

создавались географически разнесённые узлы системы, объединённые (с учётом уровня технологий тех лет) в единую информационную среду, а также разрабатывались уникальные вычислительные комплексы.

Наиболее значимые события той эпохи

- 1977 г. — организация Терминальной станции ИКИ в Центре дальней космической связи (ЦДКС) в Евпатории;
- 1978 г. — развёртывание наземных средств на Кубе и в Болгарии;
- 1981 г. — развёртывание наземных средств в Апатитах и Норильске;
- 1981 г. — создание наземного пункта ИКИ в Тарусе.

При этом разрабатывались революционные (для тех лет) устройства работы с данными, на базе средств микроэлектроники. Наиболее яркий пример — легендарный СВИТ (Самостоятельный видеоинформационный интерактивный терминал), первая отечественная рабочая модель устройства обработки изображений, разработанный в 1983 г. в лаборатории Л. С. Чесалина в кооперации с Кировским политехническим институтом (КирПИ, ныне Вятский государственный технический университет, ВятГТУ). Для этой системы был подготовлен комплекс программного обеспечения. Система обработки изображений СВИТ серийно выпускалась Фрунзенским ОКБ ИКИ совместно с Таллиннским СКБ «Дезинтегратор», а затем — в Болгарии предприятием «Изот». В этом устройстве впервые в мире была осуществлена схема прямого видеопотока из оперативной видеопамяти к цветному дисплею через специальный процессор обработки видеоданных, позволявший выполнять на лету вычисления для отображения информации. С появлением и распространением персональных компьютеров к 1987 г. была разработана следующая модификация устройства — МикроСВИТ, представлявшая собой одну из первых в мире плат внутреннего графического акселератора для IBM-совместимых персональных компьютеров.

Система СВИТ использовалась в международном проекте «Вега» по исследованию Венеры и кометы Галлея и стала первым относительно массовым инструментом цифровой обработки изображений, полученных из космоса. С её помощью обрабатывались данные экспериментов «Реликт», «Гамма-1», «Интершок», «Фрагмент» и др. Совместно с венгерскими специалистами был разработан и изготовлен бортовой вариант системы для применения в составе рентгеновской обсерватории модуля «Квант» на космической станции «Мир». СВИТ и МикроСВИТ успешно использовались в службах контроля и охраны окружающей среды методами аэрокосмического мониторинга.

The most significant events of that period

- 1977 — setup of the IKI Terminal station at the Deep Space Communication Centre (TsDKS) in Eupatoria;
- 1978 — deployment of ground systems abroad, in Cuba and Bulgaria;
- 1981 — deployment of ground systems in Apatity and Norilsk;
- 1981 — setup of the IKI ground station in Tarusa.

Also groundbreaking (for the time) data handling devices were developed based on microelectronic techniques. The prime example is the legendary SVIT (Self-contained Video information Interactive Terminal), the first domestic working model of an imaging device, designed in 1983 in the Laboratory of L. S. Chesalin together with the Kirov Institute of Technology. A software package was developed for the system. The SVIT image processing system was commercially produced by the OKB IKI (Frunze) in partnership with the Tallinn Design Bureau *Desintegrator*, and later in Bulgaria by the *Izot* company. The system was the first in the world to send a direct video stream to the color display from video random access memory via a designated video data processor, which could carry out computations for displaying information on the fly. With the introduction and distribution of personal computers in 1987 the next version was designed — MicroSVIT, which represented one of the first integrated graphics accelerator cards in world for IBM-compatible personal computers.

The SVIT system was utilized in the international *Vega* project for investigations of Venus and Comet Halley and was the first relatively mainstream instrument for digital processing of images acquired from space. It was used to process the data of the *Relikt*, *Gamma 1*, *Intershock*, *Fragment*, and other experiments. In collaboration with the Hungarian specialists an onboard system configuration as part of the *Kvant* module X-ray observatory aboard the *Mir* space station was designed and manufactured. SVIT and MicroSVIT were successfully utilized in aerospace environmental monitoring services.



Система обработки изображений СВИТ

The SVIT image processing system



Центр дальней космической связи в Евпатории

Deep Space Communication Centre in Eupatoria



Наземный комплекс на Кубе

Ground control centre in Cuba



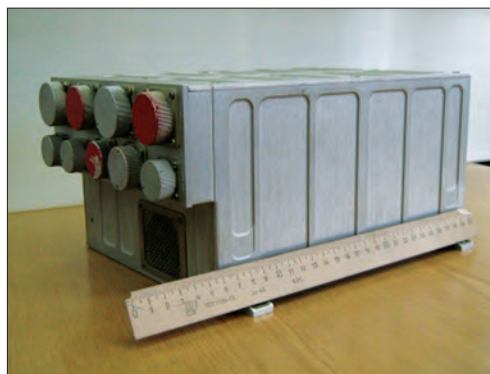
Наземный комплекс ИКИ в Тарусе

IKI ground station in Tarusa



Подготовка к работе наземного пункта совместно с болгарскими специалистами

Setting-up of a ground station together with the Bulgarian specialists



Для астрофизической обсерватории ГРАНАТ в 1989 г. была разработана система сбора информации — прибор «Старт». В ней впервые в мире был использован бортовой накопитель данных на жёстком диске. Система показала высокую надёжность и проработала на борту целое десятилетие

For Granat astrophysical observatory a data collection system — Start instrument — was designed in 1989. It was the first in the world to utilize an onboard data acquisition system on a hard drive. The system proved highly reliable and operated for over 10 years

Аппаратура нашла применение и в биологии (обеспечение российского участия в проекте расшифровки генома человека), и в медицине (методические разработки для ультразвуковых исследований и офтальмологии), и в оптической астрономии, и в микроскопических исследованиях в материаловедении и в промышленном конструировании, и в управлении технологическими процессами.

Позже на основе сформированной парадигмы построения наземных комплексов как распределённых информационных систем был реализован целый ряд проектов.

Для проекта обсерватории «Рентген» на модуле «Квант» орбитальной станции «Мир» была разработана система ввода и обработки телеметрической информации нижнего уровня. Комплекс базировался на мини-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 терминальной станции Института в ЦДКС и в течение нескольких лет обеспечивала работы по различным научным космическим проектам («Фобос», «Активный» («Интеркосмос-24»), АПЕКС («Интеркосмос-25»), «КОРОНАС» и «Гранат»), пока не была заменена на более совершенную.

Для испытаний комплексов научной аппаратуры проекта ФОБОС (1988) разработана система РОМАНС (распределённая обрабатывающая мобильная архитектура наземных средств). В её основу были положены методы распределённой обработки — вычислительный комплекс построен на базе нескольких микроЭВМ, объединённых между собой. Помимо низкой стоимости, высокой производительности и надёжности (за счёт «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 система экспресс-обработки проекта «Активный» — «РОМАНС-Активный» позволяла принимать научную телеметрическую информацию, записывать её на магнитные носители, обрабатывать и визуализировать результаты в графическом виде в реальном масштабе времени. Телеметрическая информация принималась на пункте ИЗМИРАН, Троицк, а визуализировалась в ИКИ РАН. Обработка проводилась параллельно на вычислительных комплексах в ИЗМИРАН и ИКИ РАН. Чтобы уменьшить сроки и стоимость разработки и эксплуатации, а также упростить их, в системе использовались международные информа-

The hardware was also employed in biology (backing the Russian contributions to the Human Genome Project), in medicine (methodological developments for ultrasonic investigations and ophthalmology), in optical astronomy, in microscopic analysis in materials science and engineering, and in process operations.

Later, following the shaped paradigm of setting up ground stations as distributed information systems, multiple projects were realized.

For the *Rentgen* observatory project fitted on the *Kvant* module of the *Mir* space station a lower-tier telemetry input and processing system was developed. It was based on a minicomputer (similar to *Elektronika 60*) and, given the low costs of the system itself and its operation, it possessed the best performance among the similar system based on the ES-EVM and M-6000 series. The system was also implemented at the IKI Terminal Station in Deep Space Communication Centre and supported for several years the activities for various space research projects (*Phobos*, *Aktivny*, *APEKS*, *Koronas*, and *Granat*), until it was replaced with a more advanced one.

To test the *Phobos* project (1988) hardware a ROMANCE system was developed, which is short for Distributed Processing Mobile Ground Site Architecture (in Russian). It was based on distributed processing methods — computer complex consisting of several minicomputers combined. Besides its low cost, high capacity, and reliability (due to hot standby of the computers) this solution provided the system mobility and allowed for operations at IKI, Baikonur Cosmodrome, and the Terminal Station.

The created on-site processing system for the *Aktivny* project — ROMANCE-Aktivny, enabled to receive telemetry, record it using magnetic carriers, process, and display the results in real time. Telemetry was received at IZMIRAN (Troitsk) and displayed at IKI. Processing was done in parallel with the IZMIRAN and IKI computer systems. To reduce timeframes and costs of development and operation, as well as to make it simpler to use, the system employed international information standards and formats. In order to attain higher efficiency, computers of various architectures were applied. To receive data, control radio-frequency complex, and process lower tier the LSI-11 series computers were utilized; to process top tier, control the overall system, and compute the PDP-11 series computers and special matrix processors were utilized; to display the results the IBM PC-compatible computers were used. For the data exchange between IZMIRAN and IKI a dedicated information channel was arranged; the computing facilities located in these subsystems were combined via the DECNet network, and the displaying computers were integrated in a local NetWare network. It was the first time when the Russian space industry employed the global network technologies for the on-site processing systems. The system attracted a lot of attention

ционные 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 компьютере типа PDP-11 и специализированных матричных процессорах; визуализация результатов осуществлялась на IBM ПК-совместимых компьютерах. Для обмена информацией между ИЗМИРАН 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 г. была установлена на пункте приёма научной телеметрической информации Кубинской академии наук.

Проблемы с финансированием космической отрасли в целом не могли не сказаться 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 учёных и специалистов. В 1993–1994 гг. в отдел пришла плеяда выпускников МГУ, МИФИ и других естественнонаучных и технических вузов, которые сегодня составляют основной костяк разработчиков.

Реализация поставленных перед отделом задач в тяжёлых финансовых условиях потребовала поиска новых не только эффективных, но и недорогих решений. Особенно ярко это проявилось при создании оперативного информационного контура проекта ИНТЕРБОЛ (1995–2000). Его особенности — большие объёмы данных с четырёх космических аппаратов, разнородная научная аппаратура, а также значительное число отечественных и зарубежных участников проекта. Всё это привело к созданию действительно уникальной по своим характеристикам системы, в которой использовались накопленный опыт предыдущих разработок и современные информационные технологии. Создаваемые в рамках этого проекта комплексы не имели аналогов в отечественной космической отрасли.

from the specialists of the Russian and international space organizations and was discussed on various international conferences, and in 1990 it was implemented at a science telemetry point of the Cuban Academy of Sciences.

The financing problems in the space industry in general had their effect on the Department too. Many specialists left the Institute, the rate of technical upgrading reduced. Only the enthusiasts of space research stayed in the Department, however the atmosphere of research, informal approach to development, and spirit of genuine creativity continued to attract young scientists and specialists. In 1993–94 a galaxy of graduates from MSU, MEPHI, and other scientific and technical institutions joined the Department, who today constitute the backbone of the developers.

Realization of the tasks set before the Department in difficult financial conditions required the search of new effective, but inexpensive solutions. It was especially apparent during creation of the real-time data loop for the *Interball* project (1995–2000). Its specifics were large volumes of data from four spacecraft, diverse hardware, and a significant number of Russian and international participants. It led to the creation of a system truly unique in its characteristics, and which drew on the accumulated experience of the previous developments and employed modern information technologies.



Микропроцессорный аппаратно-программный комплекс сбора научной информации (МАКП-СНИ), разработанный в лаборатории под руководством Л. С. Чесалина в 1993 г. для автоматизированного пункта комплексных наблюдений в составе Комплексной геофизической обсерватории в Камчатском сейсмоактивном районе (наземные исследования сейсмических и сейсмoeлектромагнитных явлений). Комплекс предназначен для сбора геофизических данных от восьми приборов, каждый из которых обслуживается тремя АЦП и включает средства калибровки прибора. Данные от каждого прибора передаются по кабелю на расстояние порядка километра и собираются центральной управляющей системой. Сбор данных происходит круглосуточно в соответствии с заданными режимами работы. Система предназначена для работы в полевых условиях с неквалифицированным персоналом или без обслуживания

Multiprocessor hardware and software complex for science data collection (MAKP-SNI), developed at the Laboratory under the supervision of L. S. Chesalin in 1993, for an automated station of integrated observations, which is a part of the Geophysical observatory in the Kamchatka seismically active region (ground survey of seismic and seismo-electromagnetic phenomena). The complex is designed to collect geophysical data from 8 instruments, with each serviced by three ADCs and including calibration facilities. The data of each instrument is transferred via a cable over a distance of approximately one kilometer and acquired by the central control system. The data collection is done around the clock in accordance with the predetermined operating modes. The system is designed to operate in the field and with unqualified personnel or without maintenance

В 1995 г. в лаборатории завершена разработка бортовой системы сбора научной информации ССНИ-ИКИ, предназначенной для сбора информации от научной аппаратуры на «Хвостовом и Авроральном зондах» проекта ИНТЕРБОЛ (справа), формирования информационного потока, который при наличии радиосвязи передавался на Землю непосредственно, а при отсутствии — запоминался для последующей передачи по радиоканалу. Наиболее существенной для космического эксперимента оказалась обычно недоступная для систем общего пользования гибкость программного обеспечения системы, которая позволяла вносить изменения в режимы её функционирования во время полёта. Благодаря этому стало возможным изменить логику обслуживания ряда научных приборов и получить данные, которые в противном случае были бы просто утеряны из-за нештатной работы этих приборов, а также скорректировать программное обеспечение и минимизировать ущерб от одиночных случайных сбоев, вызванных действием высокоэнергетических заряженных частиц на ОЗУ

В 2011 г. разработана новая версия бортовой системы сбора научной информации ССНИ-2 в составе комплекса ПЛАЗМА-Ф (КА «Спектр-Р») для исследования солнечного ветра (слева). Система предназначена для обслуживания лаборатории исследования плазмы солнечного ветра в околоземном космическом пространстве и обеспечивает сбор, бортовую обработку и сохранение на борту данных от монитора солнечного ветра БМСВ и анализатора энергетических частиц МЭП2 с уникальным временным разрешением, позволяя получить обзорную информацию и выбрать интервалы для получения подробных данных. Весь объём исследовательской информации, получаемой от комплекса «Плазма-Ф», сохраняется в массиве бортовой памяти ССНИ-2. Данные на борту архивируются для произвольного выборочного доступа и передачи научных данных в телеметрическую систему спутника «Радио-Астрон». При разработке ССНИ-2 была заложена способность системы к самовосстановлению после сбоев. Предусмотрены средства внесения изменений в бортовое программное обеспечение позволяют оперативно изменять функционирование системы во время работы объекта. Гибкость и надёжность системы обеспечивает эффективное обслуживание научных приборов исходя из текущей обстановки

In 1995 the Laboratory completed development of the SSNI-IKI onboard science data collection system designed to collect information of the scientific hardware on the Tail and Auroral probes of the Interball project (right) and organize data flow to downlink directly to Earth if radio link is available or record it for subsequent downlink if communication is unavailable. The most significant advantage of the system with regard to the space experiment turned out to be its software flexibility, which allowed for changes of operating modes during the flight and was typically unavailable for global systems. As a result the service logic for some instruments was modified, leading to collection of the data, which would have been lost due to off-nominal operation of the instruments. Also the software was corrected minimizing the damage from single random failures induced by the effect of highly charged particles on RAM

In 2011 a new version of the system was developed, SSNI-2, as part of the Plasma-F system (Spektr-R spacecraft) for solar wind investigations (left). The system is designed to support the laboratory in its investigation of solar wind plasma in the near-Earth environment, and collect, process and store the data from the BMSV solar wind monitor and MEP 2 energetic particles analyzer with unique timing resolution, which allows for acquiring background information and selecting intervals for detailed data collection. The complete science data volume of the Plasma-F system is stored in the SSNI-2 onboard memory array. It is archived for random access and transfer to the telemetry system of the RadioAstron satellite. During development a self-healing capability was designed in the SSNI-2 in case of failures. The incorporated modification facilities provide for on-the-fly modifications to the system while in operation. The system flexibility and reliability enable to efficiently service the instruments depending on the current situation



Бортовая система сбора научной информации ССНИ-ИКИ

SSNI-IKI onboard science data collection system



Бортовая система сбора научной информации ССНИ-2

SSNI-2 onboard science data collection system

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 по психологическим причинам. Например, для предотвращения экспериментальной информации, полученной в ходе испытаний в НПО им. С. А. Лавочкина, требовался лишь один оператор и один персональный компьютер (в обычной схеме требовалось большое количество аппаратуры и людей, а для доставки магнитных лент отправлялись грузовик).

Система «РОМАНС-Интербол» стала наиболее совершенной системой тех лет и во многом определила принципы построения систем для последующих проектов («Марс-96», «Фобос-Грунт», «Радио-Астрон»). А её элементы были введены в эксплуатацию и с успехом использовались в космических организациях Франции, Чехии, Австрии и других стран.

Новейшая история отдела, пожалуй, открывается наземным сегментом проекта «Чибис-М».

Основным мотивом разработки концептуального облика наземного сегмента проекта «Чибис-М» стало снижение затрат на создание и эксплуатацию бортовых и наземных средств проекта на фоне развитых функциональных возможностей и при надлежащем уровне надёжности.

Эти цели были достигнуты благодаря применению унифицированных средств, а также современных подходов, получивших широкое распространение в различных областях промышленной деятельности и исследовательских работах.

Of special note is the method of software processing of incoming telemetry signals developed by A. E. Tretyakov, which was used as a basis for a number of telemetry input and recording systems with unique functional and economic characteristics. The solutions provided by the Department were so uncommon that were often rejected for psychological reasons. For instance, supplying experimental information, obtained during testing at the Lavochkin Association, required only one operator and one personal computer, whereas a typical setup employed a large amount of hardware and people, with a truck used to deliver magnetic tapes.

The ROMANCE-Interball system was at the time the most advanced system and in many ways defined design criteria for subsequent projects (*Mars-96*, *Phobos Sample Return*, *Radio-Astron*), and its elements were commissioned and successfully implemented in space organizations of France, Czech Republic, Austria, and other countries.

The recent history of the Department probably begins with the ground segment of the *Chibis-M* project.

The underlying motive for development of the *Chibis-M* ground segment concept was reduction of costs for designing and operating the project onboard and ground facilities, but with advanced operating capabilities and adequate reliability.

These objectives were completed through application of standard facilities and modern approach that became a frequent practice in various areas of production and research.

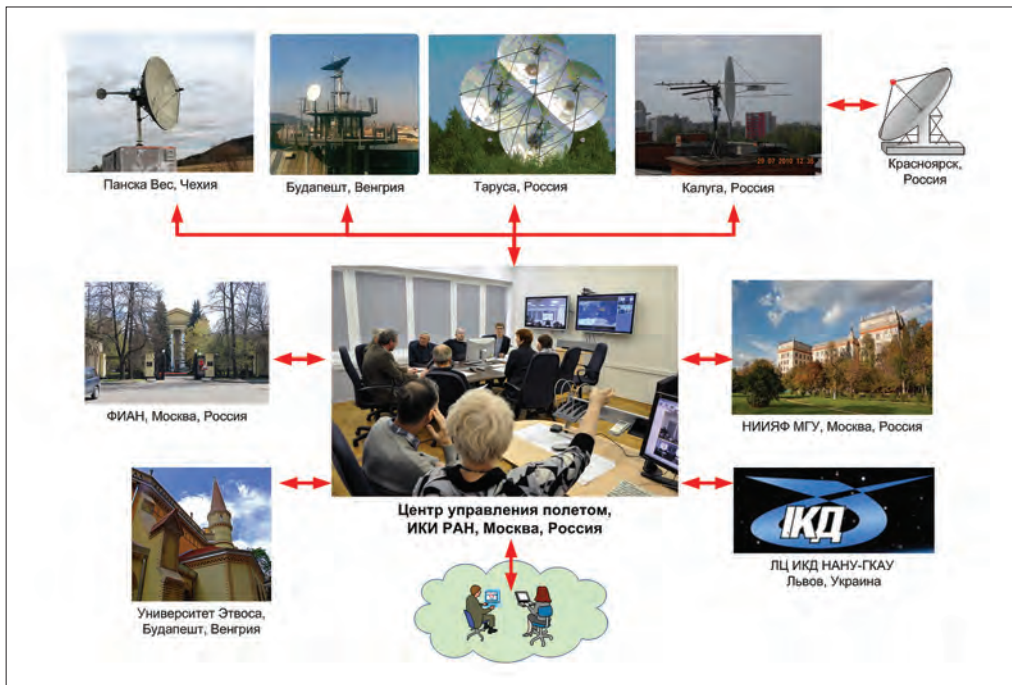
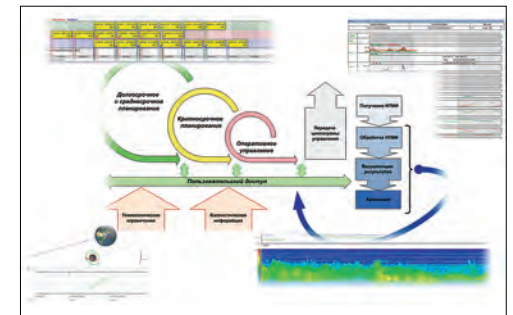


Схема информационного взаимодействия в проекте «Чибис-М»

Data exchange pattern of the Chibis-M project



Разнообразие форм отображения информации при реализации основных рабочих циклов ННК

Diversity in displaying information for the NNK primary operating cycles

При этом наземный сегмент проекта обеспечивает не только информационную поддержку операций по управлению комплексом бортовой аппаратуры и космическим аппаратом в целом, но и формирует единую информационную инфраструктуру проекта, позволяя упростить процедуры информационного обмена на всех этапах жизненного цикла миссии.

Задачи интеграции вычислительных компонент сегмента решаются на основе сервис-ориентированной архитектуры (COA-SOA), современных подходов, например, таких как ESB (Enterprise Service Bus). Организация коллективной работы участников проекта обеспечивается использованием таких технологий как Web 2.0 и Social Networks. Специфические для космических исследований вопросы информационного взаимодействия решаются с применением международных форматов CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems).

Успешный опыт реализации проекта «Чибис-М» стал основой научных наземных комплексов (ННК) проектов «Спектр-РГ» и «ЭкзоМарс», подготовка которых завершается в настоящее время, и для целого ряда перспективных научных космических проектов, в том числе микроспутника «Чибис-АИ».

And the project ground segment not only supports control operations of the onboard equipment and spacecraft in general, but also forms a unified information infrastructure, simplifying data exchange procedures on all stages of the mission lifecycle.

Integration of the segment computation components is carried out based on the service-oriented architecture (SOA) and modern approach, such as Enterprise Service Bus (ESB). The project collaboration is arranged through such technologies as Web 2.0 and social networks. The problems of information interaction, specific to space research, are resolved with application of the international Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) formats.

Experience in the successful implementation of the *Chibis-M* project was used for NNKs of the *Spektr-RG* and *ExoMars* projects, which are nearing completion, and will be used for perspective space research projects, including the *Chibis-AI* microsatellite.



Наземный пункт ИКИ РАН в Тарусе IKI RAN ground station in Tarusa



Подготовка средств обработки и отображения информации для перспективных научных космических проектов

Preparation of data processing and displaying equipment for perspective space projects

Наземные научные комплексы проектов «Спектр-РГ» и «ЭкзоМарс» отличается одна особенность — это совместные ННК с зарубежными партнёрами. Хотя большинство других научных космических проектов также были международными, но в них подразумевалось участие зарубежных научных групп в отечественном проекте. А в данных случаях речь идёт о полноценном равноправном участии в объединённом ННК (некоторый прообраз объединённого ННК был реализован в проекте «Интербол» совместно с Национальным центром космических исследований Франции, Centre National d'Etudes Spatiales — CNES).

С одной стороны, это даёт ряд преимуществ: разделение производственных и финансовых нагрузок, взаимодополняющее использование технологий, обмен новыми идеями и подходами. С другой стороны, появляются проблемы организационного характера, совместимости технических решений и др. Тем не менее, с помощью современных технологий и методов интеграции они успешно решаются, что создаёт в Институте бесценный научно-технический задел для будущих совместных научных космических миссий.

The ground science complexes for the *Spectr-RG* and *ExoMars* projects have one distinction — they are created in collaboration with the international partners. Though the majority of other space projects were also international, they actually involved international science teams in a Russian project. However in this case it is about full and equal participation in joint NNKs (a prototype of a joint NNK was realized during the *Interball* project in collaboration with the National Center for Space Studies (CNES) in France).

On the one hand it offers many advantages: sharing of production and financial loads, mutually supportive utilization of technologies, exchange of new ideas and approaches. On the other hand it involves organizational issues, compatibility of engineering solutions, etc. Nevertheless with the help of modern technologies and integration methods they are successfully resolved, laying the invaluable technological groundwork in the Institute for future joint space research missions.

**СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
КОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
(СКБ КП ИКИ РАН),
Таруса, Калужская область
SPECIAL DESIGN BUREAU
OF SPACE INSTRUMENT ENGINEERING
(SDB SIE OF IKI RAS), Tarusa, Kaluga region**



Свою историю СКБ КП ИКИ ведёт с 30 июня 1978 г., даты принятия Президиумом АН СССР решения о создании в городе Тарусе Калужской области опытного производства приборов для космических исследований.

Строительство опытного производства ИКИ началось в 1980 г. и было включено в перечень 100 важнейших строящихся объектов Военно-промышленного комплекса СССР.

В 1986 г. принимается новое решение о создании на базе Тарусского производственного подразделения Специального конструкторского бюро космического приборостроения ИКИ как самостоятельного комплексного приборостроительного отделения Института, которое будет включать в себя проектно-конструкторские подразделения разработчиков, опытное производство и испытательную базу, необходимую для сертификации выпускаемых приборов. Вместе с производственными корпусами строились жилые дома для сотрудников СКБ КП, развивалась инфраструктура.

Основное направление деятельности предприятия — научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области космического приборостроения. В СКБ КП ИКИ разрабатывают, изготавливают и испытывают опытные и лётные бортовые приборы и контрольно-измерительную аппаратуру, разрабатывают и внедряют в производство новейшие методы проектирования и технологии изготовления бортовой научной аппаратуры.

The history of SDB SIE of IKI began on 30 June 1978, which is the date of a decision made by the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR to establish a pilot production of instruments required for space research in Tarusa (town in Kaluga region to the south of Moscow).

Construction of the IKI pilot production started in 1980 and was listed as one of the 100 high-priority assets of the USSR military industrial complex.

In 1986 a new decision was made to set up the Special Design Bureau of Space Instrument Engineering of the Space Research Institute (SDB SIE IKI) on the base of Tarusa Production Department. SDB SIE IKI was deemed to be an independent complex instrument engineering section of the Institute, which would include design and development departments, pilot production and testing facility required to certify the produced instruments. Along with manufacturing buildings apartment buildings were erected for employees, and the infrastructure developed.

The main focus of the enterprise is research and development in the field of space instrument engineering. At SDB SIE IKI prototypes and in-flight onboard instruments and control equipment are designed, fabricated, and tested, new design and fabrication methods for onboard scientific hardware developed and introduced into production.



Первой была введена в эксплуатацию приёмная антенна ЕТМС (единая телеметрическая система социалистических стран). С 1978 г. антенна принимала информацию со спутников серии «Интеркосмос»

An ETMS (Integrated Telemetry System of Socialist Countries) receiving antenna was the first to be commissioned. Since 1978 the antenna received the data from the Interkosmos satellites



Михаил Добриян — руководитель подразделения и директор СКБ (1985–ноябрь 2013 г.)

Dr. Mikhail Dobriyan — Head of the Section and Director of SDB (1985 — November 2013)

Алексей Наумов
Alexey Naumov



Вадим Ангаров
Vadim Angarov



Виктор Давыдов
Viktor Davydov



Сотрудники СКБ разрабатывали, создавали и проводили полный цикл наземной отработки многих блоков и приборов научной и служебной аппаратуры для проектов ФОБОС, ВЕГА, ГРАНАТ, ИНТЕРБОЛ, орбитального комплекса «Мир», АМС «Марс-96» и многих других.

Руководители опытного производства и СКБ КП ИКИ РАН

В. В. Щербakov — канд. технич. наук, руководитель подразделения (1979–1985), заместитель директора СКБ по основной деятельности (1985–1992), награждён медалью «За доблестный труд»

М. Б. Добриян — канд. технич. наук, руководитель подразделения и директор СКБ (1985 — ноябрь 2013 г.), заслуженный создатель космической техники Федерации космонавтики РФ, кавалер Ордена Трудового Красного Знамени, награждён медалью ордена «За заслуги перед Отечеством»

В. И. Фукс — главный инженер (1987–1990), кавалер Ордена Трудового Красного Знамени и ордена «Знак почёта»

А. Н. Наумов — главный инженер (с 1990 г.), директор СКБ (с декабря 2013 г. по июнь 2015 г.), с июня 2015 г. по настоящее время главный инженер СКБ КП, награждён медалью им. С. П. Королёва Федерации космонавтики РФ;

В. Н. Ангаров — начальник отдела (1990–1992), заместитель директора СКБ по основной деятельности — руководитель проектно-конструкторской службы с апреля 1992 г., главный конструктор микроспутников с 1995 г. по настоящее время; кавалер ордена «Знак Почёта», заслуженный создатель космической техники Федерации космонавтики РФ, награждён медалями «За заслуги», им. С. П. Королёва, им. Г. С. Титова Федерации космонавтики РФ.

В. А. Давыдов — в СКБ КП с 02.02.1983 г. Начальник отдела информационно-измерительных систем с 01.04.2005 г. С июня 2015 г. по настоящее время директор СКБ КП ИКИ РАН. Награждён Почётной грамотой Президиума РАН, Почётной грамотой Министерства труда, занятости и кадровой политики Калужской области, Почётной грамотой Губернатора Калужской области.

Структура СКБ КП ИКИ РАН

1. Проектно-конструкторская служба, включающая подразделения разработчиков.
2. Опытное производство с испытательной и ремонтной базой.
3. Административно-управленческие подразделения.
4. Вспомогательные подразделения.

The SDB SIE staff developed, designed and ground-tested many units and instruments of the scientific and service hardware for *Phobos*, *Vega*, *Granat*, *Interball*, *Mir* orbital complex, *Mars 96*, and many other missions.

Heads of the Pilot Production and SDB SIE IKI RAS

Dr. Vyacheslav V. Scherbakov — Head of the Section (1979–1985), Deputy Director of SDB for Principal Activities (1985–1992), awarded a Medal for Valiant Labour.

Dr. Mikhail B. Dobriyan — Head of the Section and Director of SDB (1985 — November 2013), Honoured Space Engineer, awarded a Medal of the Russian Space Exploration Federation, Recipient of the Order of the Red Banner of Labour, awarded the Order for Merit to the Fatherland

Vladimir I. Fuks — Chief Engineer (1987–1990), Recipient of the Order of the Red Banner of Labour and the Order of the Badge of Honour.

Alexey N. Naumov — Chief Engineer (from 1990), Director of SDB (from December 2013–2015) awarded Sergey Korolev medal of the Russian Space Exploration Federation, Diploma of the Russian Academy of Sciences and Presidium of RAS, Chief Engineer (from June 2015).

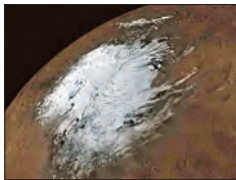
Vadim N. Angarov — Head of the Department (1990–1992), Deputy Director of SDB for Principal Activities, Head of the Engineering Service from April 1992, Chief Designer of Microsatellites since 1995 to the present day, Recipient of the Order of the Badge of Honour, Honoured Space Engineer of the Russian Space Exploration Federation, awarded a Medal for Merit, Sergey Korolev medal, German Titov medal of the Russian Space Exploration Federation.

Victor A. Davydov — works in SDB from 1983. Head of the Department of Information and Measuring Systems from April 2005. Director of SDB from June 2015 to the present day, awarded a Diploma of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, a Diploma of the Ministry of Labour, Employment and Personnel Politics of Kaluga Region, a Diploma of the Governor of Kaluga Region.

Structure of SDB SIE IKI RAS

1. Engineering Service, including developing departments.
2. Pilot Production and Testing and Repair Facility.
3. Administration and Management departments.
4. Auxiliary departments.

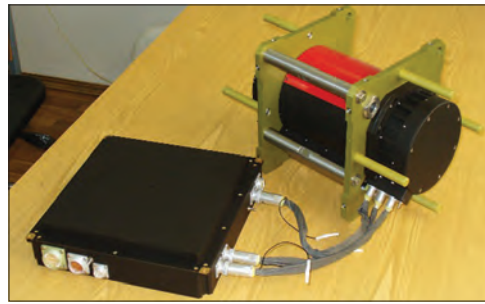
Сегодня в СКБ работает 240 высококвалифицированных специалистов: физиков, электронщиков, конструкторов, механиков.



Сканирующее устройство (СУ) ОМЕГА для орбитального картирующего спектрометра ОМЕГА (Observatoire pur la Mineralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activite) проекта Mars Express (ЕКА). Прибор ОМЕГА — аналог одноимённого прибора на АМС «Марс-96», потерпевшего неудачу при запуске. Новая разработка и изготовление СУ ОМЕГА и КИА СУ проводились в СКБ КП ИКИ. За основу была принята концепция построения СУ ОМЕГА «Марс-96». К концу 2015 г. прибор ОМЕГА отработал более 10 лет на орбите Марса. Участники проекта ОМЕГА: Франция, Россия и Италия. Заказчик — Институт астрофизики Франции, ЕКА. Соисполнитель — Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ЛИТМО)

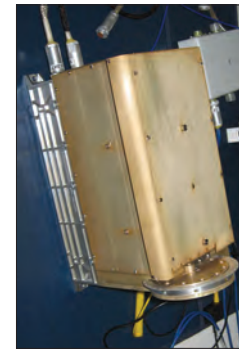
SU OMEGA scanning unit for the OMEGA orbital mapping instrument (Observatoire pur la Mineralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activite) of the Mars Express project (ESA). The OMEGA instrument is an analogue of the eponymous instrument of the Mars 96 mission, which failed during the launch. New development and fabrication of SU OMEGA and KIA SU were done at SDB SIE. The concept of Mars 96 SU OMEGA served as a basis. By the end of 2015 the OMEGA instrument had operated for more than 10 years on the Mars orbit. The OMEGA project participants are France, Russia, and Italy. The customer is the Institute of Astrophysics in France, ESA the co-developer is the Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (LITMO)

Today 240 highly qualified specialists — physicists, electronic engineers, design engineers, and mechanical engineers — are employed at SDB.



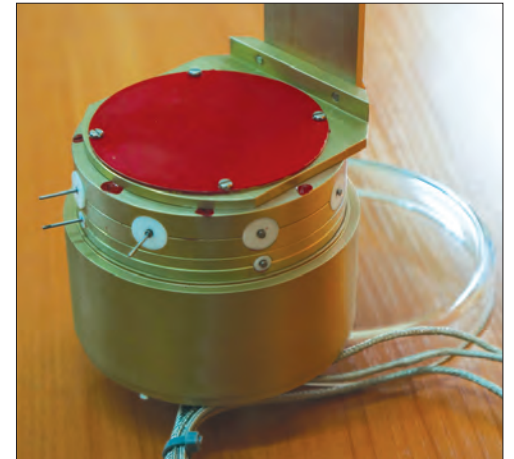
Высокоточное однокоординатное сканирующее устройство ПКР-Т и двухкоординатное сканирующее устройство БСКР-Т для многоспектральной сканирующей системы МСУ-ГС для КА «Электро-Л» № 1 и № 2 (геостационарный гидрометеорологической космический комплекс). Кроме изготовления, проведена полная наземная отработка приборов. Малошумящие источники питания видео- и ИК-каналов для многоспектральной сканирующей системы МСУ-ГС для КА «Электро-Л» № 1. Заказчик ОАО «Российские космические системы». КА «Электро-Л» № 1 был запущен 20.01.2011 г. на геостационарную орбиту, аппаратура успешно работает до настоящего времени. КА «Электро-Л» № 2 планируется к запуску в 2015 г. В 2015 г. завершаются работы по «Электро-Л» № 3 и «Арктика-М» № 1. Сегодня коллектив работает над новыми проектами приводов высокого класса. Соисполнители: ООО «НПП Астрон Электроника», ООО «Микропроект»

The PKR-T high-precision one-coordinate scanning device and BSKR-T two-coordinate scanning device for the MSU-GS multispectral scanning system of the Elektro-L No. 1 and 2 satellites (geostationary operational meteorological satellites). Besides manufacturing the instruments underwent complete ground testing. Low-noise power supplies of video- and IR-channels for the MSU-GS multispectral scanning system of the Elektro-L No. 1 satellite. The customer is JSC Russian Space Systems. The Elektro-L No. 1 satellite was launched on 20 January 2011 on a geostationary orbit, the hardware successfully operates to this day. The Elektro-L No. 2 is scheduled for the launch in 2015. In 2015 Elektro-L No. 3 and Arktika-M No. 1 are nearing completion. Today the staff works on new high-class drive projects. Co-contractors: Astron Electronics Ltd, Microproject Co. Ltd.



Лазерный времяпролётный масс-анализатор ЛАЗМА-Ф, ЛАЗМА-ЛР (проекты «Фобос-Грунт», «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс»). Задачи: количественное определение элементного и изотопного состава реголита Фобоса (Луны) с разрешением 30...50 мкм по поверхности загружаемого образца; трансляция полученных массовых спектров в бортовую систему сбора научной информации

Laser time-of-flight mass analyzer LASMA-F, LASMA-LR (Phobos-Sample-Return, Luna-Glob and Luna-Resurs projects). Tasks are: quantitative measurement of elementary and isotopic compositions of the Phobos (Moon) regolith with 30...50 μm resolution for a loaded sample surface, translation of acquired mass spectra into the onboard science data collection system



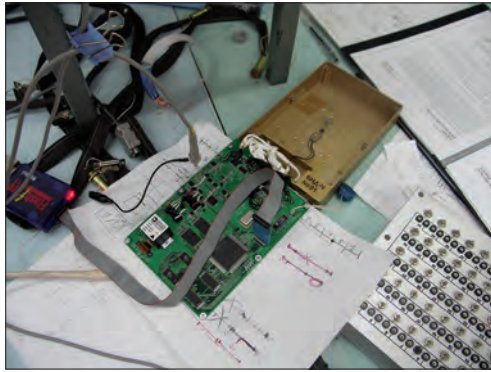
ДКП — датчик контроля плазмы для калибровки прибора АРИЕС-Л (проекты «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс»). Предназначен для контроля работы ионного источника при калибровках плазменных приборов в вакуумной камере

DKP — plasma monitoring sensor for calibration of the ARIES-L instrument (Luna-Glob and Luna-Resurs projects). Designed to monitor operation of the ionic source during calibrations of the plasma instruments in a vacuum chamber.



ДП-10-34 — датчик потока плазмы (проекты «Луна-Глоб», «Интергелиозонд», «Странник»). Датчики такого типа входят составной частью в прибор БМСВ, предназначенный для быстрого измерения полного потока ионов солнечного ветра и мониторингования основных параметров солнечного ветра — плотности, переносной скорости (как вектора) и температуры

DP-10-34 — plasma flow sensor (Luna-Glob, Interhelioprobe, Strannik projects). Such sensors are integral for the BMSV instrument designed to: rapidly measure total ion flux of the solar wind, monitor main parameters of the solar wind — density, transfer velocity (as vector), and temperature



Отладка БНД-Ч для микро-спутника «Чибис-М»

Testing of BND-Ch for Chibis-M microsatellite

Разработка систем сбора телеметрической информации для комплексов аппаратуры, в том числе — блоки накопления данных (БНД-Э) для комплексов на КА «Электро-Л» №1 и №2, БНД-М для комплексов на КА «Метеор-М» №1 (запущен в 2009 г.) и КА «Метеор-М» №2 (запущен в 2014 г.). Сегодня ведутся работы по проектированию систем сбора для КА «Арктика-М», «Электро-Л» №3, «Метеор-МП» и микро-спутника «Чибис-АИ»

There also were developed telemetry acquisition systems for equipment complexes, including data storage units (BND-E) for the hardware of the spacecraft Elektro-L No. 1 and 2, BND-Ms for the Meteor-M No. 1 (launched in 2009) and Meteor-M No. 2 (launched in 2014) satellites. Today in development are collection systems for Arktika-M, Elektro-L No. 3, Meteor-MP and microsatellite Chibis AI

Микро-спутник «Колибри-2000»

Kolibri-2000 microsatellite



Разработчики систем сбора информации

Developers of data collection systems

Основные направления работы

- Создание автоматизированных систем управления, сбора и обработки информации, включая телеметрию на основе многопроцессорных бортовых ЭВМ;
- спектрометрических приборов ионизирующих излучений;
- спектро-фотометрических приборов и сканирующих устройств для них;
- звёздных и солнечных систем ориентации и т.д.;
- микро-спутников для фундаментальных научных исследований и образовательных задач;
- автоматизированных электроприводов, систем электропитания;
- контрольно-измерительных систем для наземных испытаний лётных приборов и т.д.

Приборы СКБ КП

Микро-спутниковая тематика

Работы по созданию микро-спутников научно-исследовательского и образовательного назначения начались в СКБ с 1995 г. Были разработаны эскизные проекты микро-спутников «Компас»; «Предвестник»; «Компас-1РК», но, к сожалению, работы по этим проектам были остановлены из-за прекращения финансирования.

The main areas of activities

- Engineering of automated systems for control, data acquisition and processing, including telemetry, based on multiprocessor on-board computers;
- engineering of spectrometric ionizing radiation instruments;
- engineering of spectrophotometric instruments and scanning devices for such instruments;
- engineering of star and solar positioning systems, etc.;
- engineering of microsatellites for fundamental scientific research and educational tasks;
- engineering of automatic electric drives, power supply systems;
- engineering of instrumentation for ground testing of in-flight devices, etc.

SDB SIE Instruments

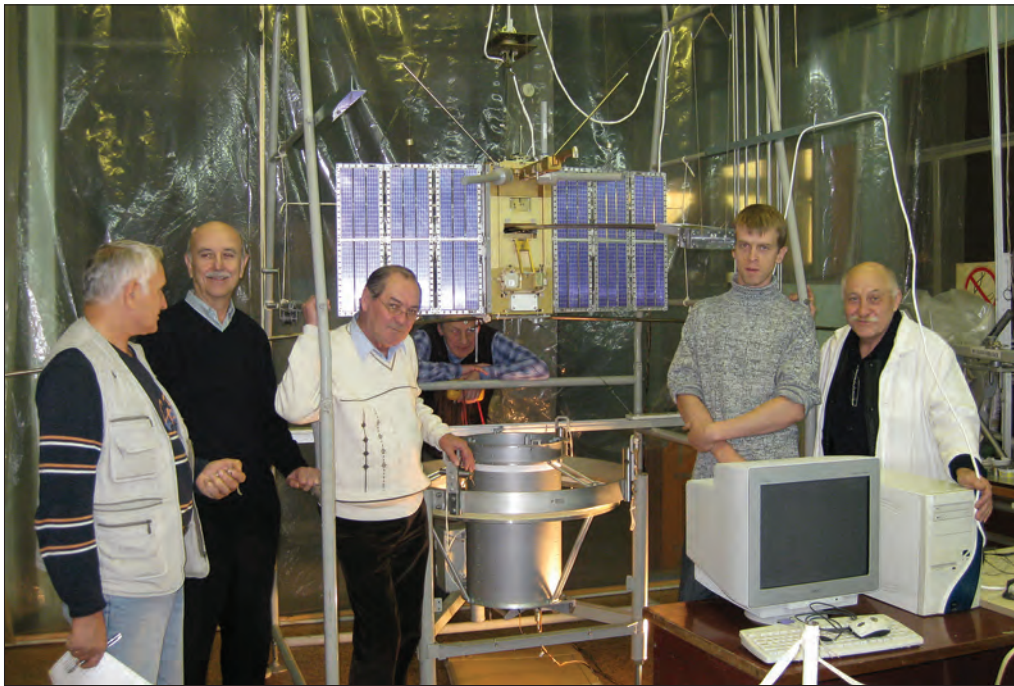
Microsatellites

Developments of microsatellites for scientific and educational applications began at SDB in 1995. Conceptual designs of the *Kompas*, *Predvestnik*, *Kompas-1RK* microsatellites were created, however all project activities were stopped due to lack of financing.



Микро-спутник «Чибис-М»

Chibis-M microsatellite



Микроспутник «Чибис-М». *Chibis-M microsatellite.*
Комплексные испытания *Integrated tests*



Микроспутник «Чибис-М». *Chibis-M microsatellite.*
Приёмсдаточные испытания *Acceptance tests*

Российско-австралийский научно-образовательный микроспутник «Колибри-2000» (масса 20,5 кг) — первый микроспутниковый аппарат, который успешно отработал в космосе (начало разработки — 1999 г., полёт — 2001–2002 гг.), запуск с борта грузового корабля «Прогресс» из специального транспортно-пускового контейнера. Информацию со спутника принимали и анализировали в ИКИ РАН, НИИЯФ МГУ, и том числе в нескольких школах России и Австралии.

«Чибис-М» — микроспутник для фундаментальных исследований физики грозовых разрядов в атмосфере Земли, первый малый аппарат (масса 40 кг) на универсальной микроспутниковой платформе «Чибис», созданной в СКБ КП.

Микроспутник «Чибис-М» был создан по заданию Российской академии наук. Аппарат был разработан, изготовлен и прошёл все наземные испытания в 2005–2010 гг., полёт состоялся в 2011–2014 гг. (запуск с использованием инфраструктуры МКС). Программа полёта выполнена полностью, а ресурс безотказной работы на орбите превышен более чем в 2,5 раза.

Кроме этого, был создан унифицированный транспортно-пусковой контейнер (ТПК) для доставки микроспутников к МКС на грузовых кораблях «Прогресс» с последующим запуском в автоматическом режиме. Впервые была реализована оригинальная схема запуска с помощью «Прогресса».

The Russian-Australian scientific and educational microsatellite *Kolibri-2000* (weight — 20.5 kg) was the first to operate successfully in space (development started in 1999, flight in 2001–2002). It was launched aboard the *Progress* cargo ship and released from a separate transportation/launch container. The satellite data was received and analyzed at IKI, SINP MSU, and also by students of several Russian and Australian schools.

Chibis-M is a microsatellite for fundamental studies of lightning electromagnetism in the Earth atmosphere. It is the first small vehicle (weight 40 kg) on the universal *Chibis* platform developed at SDB SIE.

The *Chibis-M* microsatellite was created by the order of the Russian Academy of Sciences. It was designed, built, and ground-tested in 2005–2010, with its mission in 2011–2014 (launched using the ISS infrastructure). Its flight program was completely realized, and failure-free service life on orbit was exceeded by over 2.5 times.

Moreover a universal transport/launch container (TPK) was created to deliver microsatellites to the ISS aboard *Progress* cargo ship with subsequent automatic launch. For the first time an unconventional launch was employed using *Progress*.



Вверху: российский сегмент МКС.
Внизу: космонавты Олег Кононенко и Антон Шкаплеров проводят подготовительные работы с ТПК с «Чибис-М»

Top. Russian segment of the ISS.
Bottom. Cosmonauts Oleg Kononenko and Anton Shkaplerov conduct preparations of the transport/launch container with Chibis-M



Мобильный модуль (MM-SNK-135) для размещения аппаратуры системы наземного контроля радиолокационной станции военного самолёта. Обеспечивает защиту аппаратуры и оператора от воздействия внешних факторов окружающей среды (ветер, осадки)

A mobile module (MM-SNK-135) for deploying the ground control equipment of radar station aboard a military airplane. It protects the hardware and operators from environmental effects (wind, precipitation).



Бортовые комплексы СУСПД различных модификаций используются в составе аппаратуры привязных аэростатов различной высоты и назначения. Выполняют функции сбора и передачи данных о состоянии привязного аэростата, управления его агрегатами и полезной нагрузкой в автоматическом режиме и по командам с земли

Different versions of the SUSPD onboard equipment sets are utilized as part of observation balloon hardware for various altitudes and applications. They collect and transfer data on balloon health, control its assemblies and payload both automatically and by commands from the ground



Устройство считывания информации с бортовых регистраторов (УСИ-Т), предназначено для перезаписи информации с бортовых регистраторов («чёрных ящиков») на бесконтактный съёмный носитель информации для последующей обработки полётной информации

Aircraft recorder data reading unit (USI-T) is designed to overwrite information from onboard recorders (black boxes) on a noncontact removable medium for subsequent flight data processing

После отстыковки от станции грузовой корабль поднимается на орбиту высотой до 500 км, используя остатки топлива, где микроспутник выходит из ТПК в автономный полёт.

Программы полётов аппаратов «Кolibри-2000» и «Чибис-М» успешно реализованы благодаря помощи и поддержке Ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С. П. Королёва в рамках работ по научным экспериментам на российском сегменте МКС.

Сейчас начались работы по созданию следующего микроспутника — «Чибис-АИ» для фундаментальных исследований в атмосфере и ионосфере Земли, который также планируется осуществить с участием российских космонавтов и инфраструктуры Российского сегмента МКС.

В ходе этих работ в СКБ была разработана и реализована новая концепция-методика компоновки научно-исследовательских малых и микрокосмических аппаратов, благодаря которой удалось создавать как бы автономный научный прибор, обладающий всеми необходимыми средствами «жизнеобеспечения» в самостоятельном орбитальном полёте.

Авиационная тематика

В 1996 г. коллектив СКБ КП получил заказ ОАО «ОКБ Сухого» на разработку специальной аппаратуры для стенда моделирования новейшего самолёта Су-30. Договор предусматривал, в том числе, разработку ключевого узла, через который компьютер, моделирующий полёт самолёта, стыкуется с бортовой авионикой. Заказ был успешно выполнен и стал началом более широкого сотрудничества с ОАО «ОКБ Сухого» и другими авиационными фирмами.

К настоящему времени СКБ КП ИКИ РАН успешно выполнило работы в рамках нескольких десятков договоров со многими организациями: «ОКБ Сухого», РСК «МиГ», Раменское приборостроительное конструкторское бюро (РПКБ), НИИП им. В. В. Тихомирова, Ковровский электромеханический завод (КЭМЗ), Авиационные объединения в Иркутске, Комсомольск-на-Амуре, Новосибирске, и др. СКБ КП является поставщиком приборов для авиации по государственным оборонным заказам, были изготовлены приборы для испытаний гражданских самолётов Superjet-100 и MS21.

Following undocking from the station the cargo vehicle ascended to orbit altitude of 500 km employing residual fuel and the microsatellite exited the TPK beginning its free flight.

The flight programs of *Kolibri-2000* and *Chibis-M* were successfully realized with the help and support of *Energia* Corporation for purposes of science experiments in the Russian segment of the ISS.

At the present time development of the next microsatellite under the name *Chibis-AI* began for fundamental studies in the Earth atmosphere and ionosphere, which is also planned to be realized with the participation of the Russian cosmonauts and infrastructure of the Russian segment of the ISS.

During the development SDB SIE designed and implemented a new concept technique for layout of small and microcosmic research craft, which allowed for a quasi-autonomous scientific instrument that employs all the required “life support” facilities on a autonomous orbital flight.

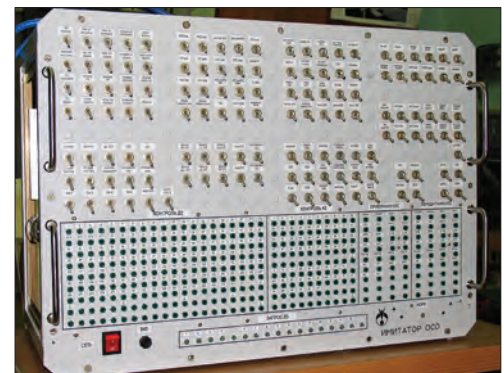
Aviation

In 1996 SDB SIE secured a contract with the Sukhoi Design Bureau to develop dedicated equipment for a table simulator of the newest Su-30 aircraft. The contract also stipulated the design of a crucial node to interface the computer modeling of the aircraft flight and onboard avionics. The contract was successfully fulfilled and served as a beginning of a more extensive cooperation with the Sukhoi Design Bureau and other aviation companies.

To date SDB SIE successfully fulfilled several dozens of contracts with many companies: Sukhoi Design Bureau, RSK MiG, Ramenskoye Design Company, NIIP, KEMP, Aircraft Production Association in Irkutsk, Komsomolsk-on-Amur, Novosibirsk, etc. SDB SIE is the aviation instrumentation supplier under the government defense orders, and engineered equipment for testing of civil aircrafts Superjet-100 and MS21.

Имитатор ОСО для имитации общесамолётного оборудования в составе стендов отработки бортовых приборов самолёта Су-30

OSO emulator for simulating general aircraft equipment as part of stand testing of Su-30 aircraft instruments.



ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО ИКИ РАН В ЕВПАТОРИИ REPRESENTATIVE OFFICE OF IKI RAN IN EURATORIA

В середине 1970-х гг. в составе ИКИ РАН была создана Терминальная станция при Центре дальней космической связи (Евпатория, Крым). Её задачами были приём, передача и обработка научной информации, получаемой с космических аппаратов при помощи уникального командно-измерительного комплекса на базе радиотелескопа РТ-70 (П-2500) с диаметром зеркала антенны 70 м и трёх антенн АДУ-1000.

Первым зданием комплекса стал построенный в 1979 г. в трёх километрах от РТ-70 служебный корпус Г-17-1 (село Витино, около 20 км от Евпатории), за которым последовали второй служебный корпус и объекты инфраструктуры. Здесь жили и работали сотрудники, управлявшие комплексами научной аппаратуры государственных и международных космических проектов, проводились международные встречи, семинары, школы и симпозиумы. С 1970-х гг. комплекс интенсивно использовался совместно с Центром дальней космической связи Украины. Отсюда шло оперативное управление аппаратами серий «Марс», «Венера», «Вега», «Гранат», «Интербол» и многих других, в том числе совместно с представителями зарубежных космических агентств. Сегодня ведутся работы по получению и обработке научной информации с космического аппарата «РадиоАстрон» (проект «Спектр-Р»).

В 1991 г. ИКИ совместно с ЦДКС было начато строительство служебного корпуса гостиничного типа Г-17-2. В настоящее время завершаются работы по вводу в строй служебного корпуса Г-17-2.

Радиотехнические наземные средства Евпаторийского центра дальней космической связи (сегодня — Главный центр испытаний и управления космическими средствами Космического командования) планируется активно использовать для сопровождения перспективных российских и международных космических проектов. В их числе:

- высокоапогейная астрофизическая обсерватория «Спектр-РГ» с выводом в точку либрации L2;
- «ЭкзоМарс»;
- «Резонанс»; «Луна-Ресурс»;
- «Интергелиозонд»;
- астрофизическая обсерватория «Рентгеновский микрофон»;
- «Лаплас»; «Венера-Д»;
- «Бумеранг»; «Апофис» и др.

In the mid-1970s IKI established the Terminal Station affiliated with the Deep Space Communication Center in the town of Eupatoria in Crimea. The purpose of the Station was to receive, transmit, and process science information downlinked from spacecraft on a unique command and measurement complex, which consisted of RT-70 (CA-2500) radio telescope (reflector diameter 70 m) and three ADU-1000 antennas.

The first building of the Complex was built in 1979 three km away from RT-70. It was G-17-1 administration building in Vitino village about 20 km away from Eupatoria. Then second administration building and infrastructure facilities were built. There lived and worked engineers and researchers, who worked with science equipment for national and international space projects. It was also the venue of international meetings, seminars, training events, and symposia. Starting from the seventies, the Complex was largely and frequently operated along with Ukrainian Deep Space Communication Center. The Complex was used to exercise operational control during *Mars*, *Venera*, *Vega*, *Granat*, *Interball*, and many other spacecraft missions including operational control in cooperation with the representatives of foreign space agencies. Today science information from *RadioAstron* spacecraft (*Spektr-R* project) is received and processed.

In 1991 IKI together with Deep Space Communication Centre started to construct a service building G-17-2 (hotel type). Today it is almost ready for recommission.

Ground radio communication equipment of the Deep Space Communication Center in Eupatoria (currently a part of Main Trial Centre for Testing and Control of Space Means named after G.S. Titov) is to be widely used as support for advanced Russian and international space projects. These are:

- *Spektr-RG* (Roscosmos/DLR);
- *ExoMars* (Roscosmos/ESA);
- *Resonance*;
- *Luna-Resurs*;
- *Interhelioprobe*;
- *X-ray Microphone*;
- *Laplace-P*;
- *Venera-D*;
- *Boomerang*;
- *Apophis*, etc.



Директор Представительства ИКИ РАН в Евпатории, — заместитель директора ИКИ РАН, Андрей Щербина
The director of the Representative Office in the Eupatoria, deputy director — Andrei Scherbina



70-м антенна П-2500 (РТ-70)
CA-2500 (RT-70) 70 m antenna



АДУ-1000
ADU-1000

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ. РАБОТА С ПАТЕНТАМИ INTELLECTUAL PROPERTY. PATENT MANAGEMENT



Руководитель направления — заместитель директора по изобретениям и инновационной деятельности Валерий Костенко

Head — Discipline Lead, Deputy Director for Invention and Innovation Valery Kostenko

ОТДЕЛ ПАТЕНТОВАНИЯ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (76)

PATENTING AND INNOVATION MANAGEMENT DEPARTMENT (76)



Руководитель — Галина Устинова

Head — Galina Ustinova

Задача отдела № 76 — выявление результатов интеллектуальной деятельности (РИД) и принятие решения о возможности их дальнейшего использования:

- подготовка, оформление и подача заявок на выдачу патентов на изобретения, полезные модели, промышленные образцы, топологии интегральных микросхем, программы для ЭВМ, базы данных и их государственной регистрации;
- выявление РИД, охраняемых в режиме коммерческой тайны, включая потенциально патентоспособные технические решения и секреты производства (ноу-хау);
- сбор информации о созданных в Институте инновационных технологиях и возможностях их коммерциализации.

The objective of the department No. 76 is to ascertain results of intellectual activity (Intellectual property — IP) and decide on its further applicability:

- elaboration, execution, and submission of applications for the grant of patents on inventions, utility models, design inventions, topography of internal circuits, software, databases and their state registration;
- ascertainment of IP protected as commercial secrets, including potentially patentable technical solutions, and production secrets (know-how);
- collection of data on the innovative technologies developed in the Institute and their possible commercialization.



На разработанный товарный знак «ИКИ» получено свидетельство о государственной регистрации № 483991

The designed IKI trademark was patented under the State Registration Certificate No. 483991



В 2013 г. Федеральная служба по интеллектуальной собственности за разработку «Способ двухэнергетической делительной маммографии» (патент РФ № 2495623) ИКИ РАН и ФГБУ «РНЦРР» были награждены дипломом в номинации «100 лучших изобретений России-2013». В 2014 г. этот патент был зарегистрирован в Германии, Японии, США

In 2013 the Federal Service for Intellectual Property awarded IKI and the Russian Scientific Center of Radiology and Nuclear Medicine with a certificate for the developed "Method of dual-energy dividing mammography" as one of "100 Best Inventions in Russia-2013". In 2014 the patent was registered in Germany, Japan, the USA

В Институте разработано «Положение о выявлении и закреплении прав на результаты интеллектуальной деятельности, полученные в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте космических исследований Российской академии наук». В соответствии с ним в 2010–2014 гг. в ИКИ было оформлено более 19 объектов интеллектуальной собственности.

На разработанный товарный знак «ИКИ» получено свидетельство о государственной регистрации № 483991.

В 2013 г. Федеральная служба по интеллектуальной собственности за разработку «Способ двухэнергетической делительной-разностной маммографии» (патент РФ № 2495623) ИКИ РАН и РНЦРР были награждены дипломом в номинации «100 лучших изобретений России-2013». В 2014 г. этот патент был зарегистрирован в Германии, Японии, США.

Разработан новый способ запуска микроспутников с использованием клеевых соединений (патент № 2442728). На использование данного изобретения был заключён лицензионный договор № РД0149904 от 17.06.2014.

Разработан и использован транспортно-пусковой контейнер, который осуществляет доставку микроспутников на более высокие орбиты за счёт дополнительного включения двигателя КА «Прогресс-ТМ» после выполнения его основных функций с МКС (заявка № 2014124704 от 18.06.2014 г., положительное решение о выдаче патента на изобретение от 28.04.2015 г.).

Получено 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ в области дистанционного зондирования Земли, в том числе землепользования, состояния лесов (пожары), сельскохозяйственных угодий, морского рыболовства.

Патентные разработки успешно участвуют в различных выставках:

- на Московском международном салоне изобретений и инноваций «Архимед-2013» за разработку «Адаптер для соединения малого космического аппарата со средством выведения его на орбиту функционирования» (патент № 2442728) ИКИ РАН и МГТУ им. Н.Э. Баумана были награждены серебряной медалью;
- Московском международном салоне изобретений и инноваций «Архимед-2014» за разработку товарного знака «ИКИ» (свидетельство № 483991) ИКИ РАН был награждён серебряной, а за разработку «Грунтозаборное устройство» (патент № 2501952) — бронзовой медалью;
- Московском международном салоне изобретений и инноваций «Архимед-2015» за разработку «Устройство для получения изображения микрообъектов» (патент № 2531760) ИКИ РАН награждён серебряной медалью.

In the Institute there was developed the “Regulations on ascertainment and copyright of IP produced in the Federal Government Budgetary Science Institution Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences”. In accordance with it in 2010–2014 over 19 intellectual property items were patented in IKI.

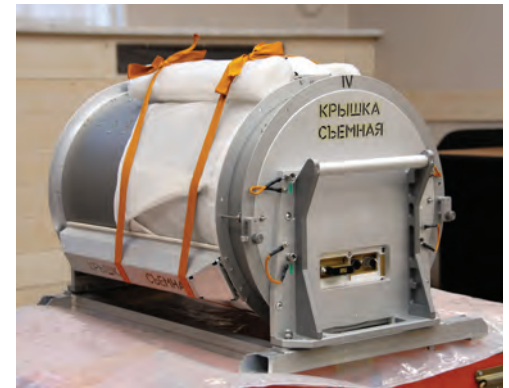
A new method of microsatellite launches employing adhesive-bonded joints (patent No. 2442728) was developed. To utilize the invention the license agreement No. RD0149904 dated 17.06.2014 was executed.

A transport and launch container was developed and employed to deliver microsatellites to higher orbits through additional *Progress-TM* thruster firing following execution of its main functions with the ISS (application No. 2014124704 dated 18.06.2014, favorable decision on granting a patent of invention dated 28.04.2015).

8 state registration certificates for Earth remote sensing software were obtained, including land utilization, health of forests (fires), agricultural lands, marine fishing.

Patented developments successfully participate in various exhibitions:

- at the Moscow International Salon of Inventions and Innovation Technologies *Archimedes-2013* the development of “Adapter for connection of small spacecraft and its final orbital injection device” (patent No. 2442728) by IKI and the Bauman Moscow State University was awarded a silver medal;
- at the Moscow International Salon of Inventions and Innovation Technologies *Archimedes-2014* the development of the IKI trademark (certificate No. 483991) by IKI was awarded a silver medal, and development of “Drag head” (patent No. 2501952) a bronze medal;
- at the Moscow International Salon of Inventions and Innovation Technologies *Archimedes-2015* the development of “Device for obtaining images of microscopic objects” (patent No. 2531760) by IKI was awarded a silver medal.





НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР EDUCATIONAL OUTREACH CENTER

Научно-образовательный центр (НОЦ) ИКИ РАН организует взаимодействие фундаментальной науки и образования, чтобы сохранять преемственность научных школ, преумножать интеллектуальный потенциал ИКИ РАН, привлекать в космическую физику талантливую молодёжь из профильных вузов и зажигать интерес к космическим исследованиям у школьников.

Ответственность НОЦ:

- Одна из базовых кафедр Московского физико-технического института (государственный университет) — кафедра космической физики факультета проблем физики и энергетики.
- сотрудничество с различными вузами;
- работа со школьниками;
- работа с молодыми учёными;
- участие в выставках и фестивалях науки.

Кафедра космической физики МФТИ в ИКИ

Заведующий кафедрой — профессор **Л. М. Зеленый**, директор ИКИ РАН, вице-президент РАН.

Тематика

- Астрофизика;
- физика планет Солнечной системы;
- физика космической плазмы;
- солнечно-земные связи;
- исследование Земли из космоса.

Основные образовательные функции ИКИ РАН

- Проведение лекционных, семинарских и практических занятий со студентами в соответствии с учебным планом МФТИ;
- выполнение научно-исследовательских работ в соответствии с утверждёнными в МФТИ программами и учебными планами студентами 4-го курса (бакалавры), 5-6-го курсов (магистры) и аспирантами кафедр;
- привлечение ведущих учёных и специалистов ИКИ РАН к научному руководству НИР, которые выполняют студенты 4–6-го курсов и аспиранты кафедр.

Курсы, которые читаются на кафедре космической физики, постоянно дополняются и обновляются в соответствии с актуальным состоянием космических исследований. Каждый из студентов может сделать доклад о своей научной работе в рамках семинара по специальности, который проводится в ИКИ РАН.

The IKI RAN Educational Outreach Center (EOC) provides a venue where basic space science meets educational system in order to keep the continuity of scientific schools, increase IKI intellectual capacity, motivate gifted students from relevant fields to be engaged in space physics, and bring school students closer to space exploration.

EOC responsibilities:

- IKI RAS hosts Space Physics Subdepartment (part of Department of Problems of Physics and Energetics) of the Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT);
- to cooperate with higher education institutes;
- to arrange and conduct training for school students;
- to hold meetings with young scientists;
- to participate in exhibitions and science festivals.

MIPT Space Physics Subdepartment at IKI

The head of Subdepartment is Prof. Dr. **L. M. Zelenyi**, vice president of the Russian Academy of Sciences.

Research Areas

- Astrophysics;
- planetary exploration;
- space plasma physics;
- solar-terrestrial relations;
- Earth remote sensing

IKI primary educational functions

- lectures, seminars and hands-on training for the students as required by the MIPT;
- research per MIPT curricula and education plans by the 4th year students (bachelors of science), 5th or 6th year students (masters of science) and graduate researchers of the subdepartments;
- support research activities conducted by the 4–6th year students and subdepartment graduate researchers with participation of IKI lead scientists and specialists.

Courses at the Space Physics Subdepartment are continuously updated in order to correspond to the current status of space exploration. Every student can make a report on his or her/his research activity at the seminars conducted in the Space Research Institute.



**Руководитель — канд. физ.-мат. наук
Андрей Садовский**

Head — Dr. Andrei Sadovsky



Дополнительно к этому на базе ИКИ РАН выполняют научно-исследовательскую работу студенты базовых кафедр «Устройства и методы геокосмической физики» факультета аэрофизики и космических исследований и «Телекоммуникационные сети и системы» факультета радиотехники и кибернетики МФТИ.

Взаимодействие с вузами

Чтобы привлечь талантливую молодёжь к научным исследованиям, НОЦ ИКИ РАН сотрудничает с различными вузами: Московским инженерно-физическим институтом (МИФИ), МИИГАиК, механико-математическим и физическим факультетами Московского государственного университета (МГУ) имени М.В. Ломоносова, Московским авиационным институтом (МАИ), МИЭМ НИУ ВШЭ, МАТИ РГТУ им. К.Э. Циолковского, БГУ, РФТУ. Студенты занимаются научно-исследовательской работой по индивидуальному плану, проходят практику, готовят дипломные проекты, участвуют в научно-исследовательских проектах.

Основные формы сотрудничества ИКИ РАН с высшими учебными заведениями

- Руководство научно-исследовательской работой студентов;
- обмен научно-педагогическими кадрами для чтения лекций, проведения семинаров, участие в Государственных аттестационных и экзаменационных комиссиях;
- проведение практик со студентами, магистрантами, аспирантами;
- консультирование и руководство подготовкой курсовых работ, дипломных работ и проектов.

Работа со школьниками

- Для школьников НОЦ ИКИ РАН организует несколько мероприятий:
- Дни открытых дверей ИКИ РАН, во время которых школьники могут познакомиться с Институтом и его работами, узнать о сотрудничестве с вузами. Дни открытых дверей проводятся два раза в год: в апреле (приурочены ко Дню космонавтики) и в начале октября в рамках Дней космической науки.
 - Экскурсии по выставочному залу ИКИ РАН, где рассказывается о направлениях деятельности Института, демонстрируются информационные плакаты, научные приборы и макеты прошлых и будущих космических аппаратов.
 - Цикл научно-популярных лекций, освещающих основные задачи космической физики, который уже шесть лет проходит в ИКИ РАН и различных школах Москвы. Лекции посещают более 80 человек.

In addition, students of the following MIPT subdepartments can run their research using IKI: Geospace Physics Subdepartment (Department of Aerophysics and Space Research) and Telecommunication Networks and Systems Subdepartment (Department of Radio Engineering and Cybernetic).

Interaction with higher education institutes

To bring talented young people to space research, EOC cooperates with various higher education institutes: MEPhI, MIIGAik, Mechanical and Mathematics and Physics Departments of Lomonosov MSU, Moscow Aviation institute, Moscow Electronics and Mathematics Institute, Tsiolkovsky Russian State University of Technology, Belarusian State University, Mendeleev Chemical Engineering University. Students have their individual plans to do research. They do practical training, put together graduation papers and participate in research projects.

The main forms of cooperation with higher education institutes are the following

- Supervising research activities of the students;
- exchanging teachers to do lecturing, conduct seminars, be members of state certification and qualifying examination committees;
- conducting practical training for students, masters of engineering and graduate researchers;
- acting as consultants and advisers (course papers, diplomas, projects).

Engagement of school pupils

- EOC arranges events for school students.
- IKI Doors Open day. On this day pupils and students are invited to get familiar with the Institute and its achievements, find out more about cooperation with higher institutions. These days are organized twice a year: in April in commemoration of the Cosmonautics day and in the beginning of October as a part of the Days of Space Science.
 - Visits to the IKI exhibition, where posters, science instruments, and mockups of the past and future spacecraft are displayed.
 - Courses of popular science lectures on primary objectives of space physics. The courses has been lectured for six years in IKI and in various Moscow high schools.



**ФАКУЛЬТЕТ ПРОБЛЕМ ФИЗИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ МОФИ (ГУ)
КАФЕДРА КОСМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (ИКИ РАН)**

НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИКИ РАН:

- теоретическая и экспериментальная астрофизика, радиоастрономия;
- физика космической плазмы, энергетических частиц, Солнца и солнечно-земных связей, теория, моделирование и эксперимент;
- исследование планет и малых тел Солнечной системы с помощью дистанционных и коспактных средств, численное моделирование, модельные эксперименты;
- изучение и мониторинг лесных, степно-саванновых, водных ресурсов планеты Земля с помощью информации дистанционного зондирования;
- исследование физических механизмов и разработка моделей;
- создание информационных систем для работы со спутниковыми данными;
- механика, системы управления и информатика; баллистико-навигационная поддержка космических проектов, разработка сценариев выведения и траекторий космических аппаратов, соответствующего математического аппарата;
- развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной, испытательной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики; создание космических приборов и служебных систем, испытаний их работоспособности, в том числе в составе комплексов научной аппаратуры.

Заведующий кафедрой:
профессор Л.М. Зелёный, директор ИКИ РАН, вице-президент РАН

Заместитель заведующего кафедрой:
И.С. Делоговский,
Russia.on.mars@gmail.com

www.cosmos.ru



ИКИ
ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

НОЦ
ДЕНЬ ОТКРЫТЫХ ДВЕРЕЙ
ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ СТАРШИХ КЛАССОВ

11 апреля 2015
Начало в 11:00

ПРОГРАММА
с 11:00 до 16:00

1 презентация книги
КОСМИЧЕСКАЯ АЗБУКА
автор – Лена Де Винне
художник – Денис Трусович

2 вступительное слово

3 лекции:
Сергей Николаевич САМБУРОВ
президент Фонда К.Э. Циолковского,
президент, генерал-полковник,
чл. корр. РАН, Заслуженный
летчик-космонавт
герой России

Александр Юрьевич КАЛЕРИ
руководитель
летно-космического центра
РФЯнИИ, Заслуженный
летчик-космонавт
герой России

**К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ
И СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫ
КОСМОНАВТИКИ**

**КОСМОНАВТЫ
НА ОРБИТЕ И НА ЗЕМЛЕ
ХРОНИКА 2014 ГОДА**

4 посещение выставочного зала ИКИ РАН

Космический зал ИКИ РАН
Адрес: Москва, ул. Циолковского, д. 1
Телефон: +7 (495) 330-0000
E-mail: info@iki.ras.ru





- Консультации, рецензирование и руководство научными работами школьников, которые ведут сотрудники ИКИ РАН. Работы, выполненные под руководством сотрудников Института, получали призовые места на районных и городских конкурсах.

Работа с молодыми учёными

Ежегодно НОЦ организует конференции и школы молодых учёных, посвящённые исследованию и использованию космического пространства, а также участие молодых учёных ИКИ РАН в работе профильных школ и конференций, в том числе международных.

- Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования», посвящённая Дню космонавтики, где участвуют молодые учёные и аспиранты не только ИКИ РАН и вузов Москвы, но и других городов и стран СНГ. Издаются Труды конференции.
- Ежегодная студенческая научная конференция МФТИ.

Участие в выставках

НОЦ ИКИ РАН участвует во множестве выставок, в том числе международных. Среди них — международная выставка «Научный пикник» (Варшава, Польша) и Всероссийский Фестиваль науки, организованный Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова и Правительством Москвы. Представители НОЦ ИКИ РАН входят в оргкомитет Фестиваля.

- Consultations, reviews, and supervising for research projects by IKI employees. Research papers completed under the supervision of IKI employees were awarded medals at the district and city competitions.

Events for young scientists

Every year EOC organizes conferences and training sessions for young scientists. The Center supports participation of IKI young scientists in the activities conducted by profession-oriented schools and conferences, including international forums.

- International conference “Fundamental and Applied Space Exploration” in memoriam of the Cosmonautics Day is attended by young scientists and graduate researchers not only from Moscow institutes but from other cities and CIS and other countries. The Conference proceedings are published.
- Annual MIPT Scientific Conference.

Participation in exhibitions

EOC participates in many exhibitions, including international expositions. For instance, “Science Picnic” (Warsaw, Poland), All-Russian Science Festival organized by Lomonosov Moscow State University and Moscow Government, where EOC representatives are members of the Festival organizing committee.



НОЦ ИКИ РАН ежегодно участвует в российских научно-технических выставках, представляя научные разработки сотрудников Института. В их числе — московские и Санкт-Петербургские выставки «SIMEXPO — Научное приборостроение», международный салон изобретений и инновационных технологий «Архимед», «Оптические приборы и технологии OPTICS-EXPO», международная выставка инноваций в рамках Международного форума по интеллектуальной собственности Exporpriority, «Высокие технологии XXI века». В сентябре 2012 г. ИКИ РАН представлял свои разработки и экспонаты на выставке «История российских инноваций» к саммиту АТЭС на острове Русский во Владивостоке.

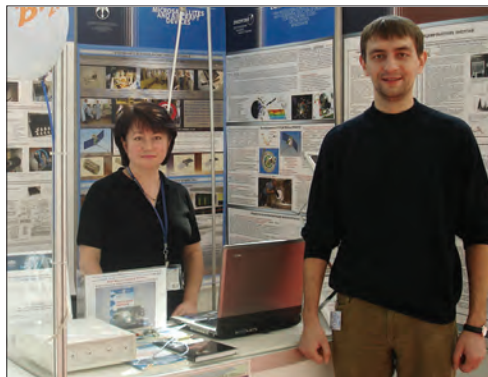
НОЦ ИКИ РАН также участвует в ежегодных Российских национальных выставках и научно-технических выставках, которые организуются при поддержке Правительства Москвы за рубежом (в частности, в Пекине, Харбине, Мадриде, Париже, Мюнхене, Брно), и представляет достижения российских учёных и участие ИКИ РАН в научных космических проектах.

Ещё одно важное направление — участие в тематических экспозициях в государственных музеях Москвы: «Вперёд, на Марс!» (Мемориальный музей космонавтики, Москва, 2013 г.), «Неизвестный Танкпром» (Государственный музей современной истории России, Москва, 2014), выставка, посвящённая 50-летию монумента покорителям космоса (Мемориальный музей космонавтики, Москва, 2014–2015 гг.).

Every year EOC takes part in Russian research and technology exhibitions where advanced products by the Institute employees are presented. These Moscow and St. Petersburg exhibitions include: SIMEXPO — Science Instrumentation Engineering, Archimedes International Salon of Inventions and Innovations, OPTICS-EXPO Optical Instruments and Technology, International Exhibition of Innovations as a part of EXPOPRIORITY International Intellectual Property Forum, High Technology of the 21st Century. In September, 2012 IKI displayed its exhibits at the History of Russian Innovations Exhibition for the Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) Summit in Russky Island in Vladivostok.

Also EOC participates in annual Russian national science and technology exhibitions abroad sponsored by Moscow Government (among those are: exhibitions in Beijing, Harbin, Madrid, Paris, Munich, Brno). The Center presents achievements of Russian scientists in space science projects.

Another important area is participation in thematic exhibitions in the state museums of Moscow: “Let’s Go to Mars” (Memorial Museum of Cosmonautics, Moscow, 2013), “Unknown Tankprom” (State Museum of Modern History of Russia, Moscow, 2014), exhibition in honor of the 50th anniversary of the Monument to the Conquerors of Space (Memorial Museum of Cosmonautics, Moscow, 2014–2015).



ВЫСТАВКА «КОСМИЧЕСКАЯ НАУКА: ВЗГЛЯД В ПРОШЛОЕ, ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ» EXHIBITION "SPACE SCIENCE: PAST AND FUTURE"

**Хранитель
музея-выставки —
Елена Антоненко**
Exhibition curator —
Elena Antonenko



В 2007 г. к пятидесятилетию запуска Первого спутника Институт космических исследований РАН создал музей — выставочный центр и постоянно действующую экспозицию «Космическая наука: взгляд в прошлое, взгляд в будущее». Она посвящена новым и наиболее важным результатам научных исследований в космосе, приборам, с помощью которых получены эти результаты, работающим и перспективным проектам российских научных миссий.

На выставке представлены образцы космических приборов, созданные российскими специалистами, макеты космических аппаратов и кораблей, которые работали в космосе, информационные плакаты, описывающие космические миссии, их научные цели и результаты. «Изюминки» выставки — макет «Лунохода-2», копирующий реальный аппарат, отправившийся на Луну в 1973 г., прототип самоходного аппарата для исследований Марса, который готовился для проекта «Марс-94/96», и, безусловно, лёгкий образец аэростата, дрейфовавшего в атмосфере Венеры в ходе реализации международного проекта ВЕГА (1986).

В небольшом кинозале демонстрируются научно-популярные фильмы и программы по истории исследований космоса, проходят семинары, лекции, пресс-конференции. В будущем планируется расположить макет марсохода и манипулятора на специальном полигоне с имитацией условий на Марсе.

Основные тематические блоки выставочного зала

- Астрофизика и внеатмосферная астрономия;
- физика Солнца и плазменного окружения Земли и планет;
- исследования планет, их спутников, малых тел Солнечной системы, экзобиология, сравнительная планетология;
- дистанционные исследования Земли из космоса;
- приборостроение.

Экспозицию создавали специалисты институтов РАН, организаций Федерального космического агентства и высших учебных заведений, связанных с космическими исследованиями: ИКИ РАН, НПО им. С. А. Лавочкина, РКК «Энергия», ЦНИИмаш,

In 2007 in commemoration of the 50th anniversary of the first man-made satellite launch IKI opened a museum and exhibition center with a stationary exhibition “**Space Science: Past and Future**”. It covers the latest and the most important findings in space research, shows instruments which are used in space exploration, and presents past, current, and future Russian science missions.

Prototypes of space instruments developed by Russian specialists and mockups of spacecraft and spaceships flown to space are displayed, together with information posters, describing space missions, their purposes and results. The most impressive exhibits are *Lunokhod-2* moon rover mockup (copy of the real one delivered to the Moon in 1973), self-propelled rover prototype for Mars exploration manufactured for *Mars-94/96* project, and, certainly, flight version of the balloon that drifted in the atmosphere of Venus during *Vega* International Project (1986).

Visitors can also watch popular science movies and programs about space exploration history. The movie hall is also a venue for seminars, lectures, and press conferences. In the future we plan to install a Mars self-propelled rover mockup and a robotic arm at the special facility with simulated Martian environment.

Main areas of the exhibition hall

- Astrophysics and extra-terrestrial astronomy;
- Solar physics and plasma environment of Earth and planets;
- Exploration of planets, their satellites, small bodies of the solar system, exobiology, comparative planetology;
- Earth remote sensing;
- Instrumentation.

The exhibition hall was arranged by the specialists of the institutes of the Russian Academy of Sciences, Federal Space Agency organizations and higher education institutes involved in space exploration: IKI RAN, Lavochkin Association, *Energia*, Central Research Institute for Machine Building, MEPHI, Geokhi, RAS Applied Astronomy Institute, RAS Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics,





МИФИ, Институт геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ) им. В.Е. Вернадского РАН, Институт прикладной астрономии (ИПА) РАН, Институт радиотехники и электроники (ИРЭ) РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова (в том числе Научно-исследовательский институт ядерной физики (НИИЯФ) им. Д.В. Скобельцына и Государственный астрономический институт (ГАИШ) им. П.К. Штернберга), АКЦ ФИАН, ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова РАН, Институт астрономии (ИНАСАН), ИМБП РАН, Институт прикладной математики (ИПМ) им. М.В. Келдыша РАН, МАИ, ВНИИЭМ им. А.Г. Иосифьяна.

Кроме постоянно действующей экспозиции проводятся временные выставки, посвященные научным результатам конкретных приборных комплексов и отдельным научным миссиям, а также постерным сессиям конференций, которые проводятся в ИКИ РАН.

Выставка рассчитана в первую очередь на специалистов в области космических исследований, студентов профильных вузов и представителей прессы, но и широкая общественность может познакомиться с работой и главными результатами Института. Два раза в год в выставочном центре проводятся **Дни открытых дверей** для всех интересующихся космосом. Они приурочены ко Дню космонавтики 12 апреля и годовщине запуска Первого искусственного спутника Земли 4 октября. После осмотра выставки гости приглашаются в конференц-зал на научно-популярную лекцию, которую читают сотрудники ИКИ или приглашенные ученые.

Кроме этого, на выставке по предварительным заявкам проводятся экскурсии. Особенно интересны они для школьников.

Музей ИКИ РАН активно сотрудничает с другими музеями Москвы, в первую очередь, с Московским мемориальным музеем космонавтики на ВДНХ и Политехническим музеем.

MSU (including SINP and SAI), AstroSpace Center, Lebedev Physical Institute, IZMIRAN, INASAN, IBMP, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow Aviation Institute, Iosifian Research and Production Corporation 'Space Monitoring Systems, Information & Control and Electromechanical Complexes'.

In addition to the permanent exhibition temporary displays are arranged where visitors can learn about scientific results received with specific hardware and equipment as well as during science missions. During conferences, it hosts poster sessions.

The target audience are space exploration specialists in the first place, as well as students of relevant institutes, and media. However, general public is also invited to the Institute. Twice a year the exhibition center hosts the **Doors Open days** for everyone interested in space research. These coincide with the Cosmonautics Day on April 12 and the anniversary of the first man-made satellite launch on October 4. Following the tour of the exhibition visitors are welcome to listen to the science and popular lecture in the conference hall. The lectures are given by IKI employees and visiting scientists.

Besides, tours of the exhibition can be booked in advance.

The IKI museum cooperates with other Moscow museums, and in the first place with the Moscow Memorial Museum of Cosmonautics and the Polytechnic Museum.



ДИРЕКЦИЯ
Руководитель —
Равиль Назиров
DIRECTION
Head —
Ravil Nazirov



АДМИНИСТРАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ПОДДЕРЖКА ADMINISTRATION, MANAGEMENT, SUPPORT

Успех космических миссий определяют не только научная и служебная аппаратура, но и такие «земные» вещи, как юридические и финансовые документы и правильная организация труда. ИКИ РАН, как и любой другой институт, — организация со множеством внутренних связей, а также субъект хозяйственных и правовых отношений. Сама научная деятельность института во многом связана с тем, чтобы координировать и руководить обширными коллаборациями с другими институтами и организациями, в том числе зарубежными. Большую часть этой работы ведут административно-управленческие и технические подразделения — именно они создают те условия, в которых рождаются научные результаты.

It's not only scientific and service payload that determines space mission's success. To a large extent it is to be credited to such "down-to-Earth" things, as legal and financial documentation and optimal work organization. Like any other institute, IKI is a complex organization with many internal bonds and a subject of economic and legal relations. Moreover, its scientific activities include coordinating of the works within vast collaborations with other institutions, both national and foreign. A large part of this work is taken by administrative and technical divisions, which create the most favourable environment for scientific results to bloom.

**ОТДЕЛ
МЕЖДУНАРОДНОГО
СОТРУДНИЧЕСТВА**
Руководитель —
Владимир Медведев
DEPARTMENT OF
INTERNATIONAL
COLLABORATION
Head —
Vladimir Medvedev



АДМИНИСТРАТИВНАЯ СЛУЖБА
Руководитель —
Алексей Устинов
ADMINISTRATIVE
SERVICE
Head —
Alexey Ustinov



ПЛАНОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ
Руководитель —
Татьяна Гордеева
ECONOMIC PLANNING
DEPARTMENT
Head —
Tatiana Gordeeva



ОТДЕЛ КАДРОВ
Руководитель —
Александра Махова
PERSONNEL
DEPARTMENT
Head —
Alexandra Makhova



МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
Руководитель —
Алексей Гревцев
MATERIAL AND
TECHNICAL SUPPORT
Head —
Alexey Grevtsev



БУХГАЛТЕРИЯ
Руководитель —
Лидия Демидова
ACCOUNTING
DEPARTMENT
Head —
Lidiya Demidova



ЮРИДИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ
Руководитель —
Светлана Губина
LEGAL DEPARTMENT
Head —
Svetlana Gubina



ОХРАНА ТРУДА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЯ
Руководитель —
Александр Сальников
LABOUR PROTECTION,
SAFETY ENGINEERING,
AND ENVIRONMENTAL
PROTECTION
Head —
Alexander Salnikov



СЛУЖБА БЕЗОПАСНОСТИ
Руководитель —
Александр Супье
SECURITY SERVICE
Head —
Alexander Supye



НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ГРУППА
Руководитель —
Ольга Образцова
GROUP FOR SCIENTIFIC
ORGANIZATION
Head —
Olga Obraztsova



ОТДЕЛ ГЛАВНОГО ЭНЕРГЕТИКА
Руководитель —
Андрей Хохлов
CHIEF POWER
ENGINEER
DEPARTMENT
Head —
Andrey Khokhlov



КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ CONFERENCES CALENDAR

Каждый год в Институте космических исследований РАН проходит несколько конференций, которые представляют почти все направления космических исследований: от теоретической астрофизики до приборостроения и прикладных космических исследований.

В ходе научных встреч проходят пресс-конференции, посвящённые самым свежим результатам и событиям в космической науке, где на вопросы отвечают непосредственные участники проектов и экспериментов.

Календарь

Многие научные встречи в ИКИ РАН уже успели стать традиционными. Кроме тех, что названы ниже, Институт ежегодно проводит конференции и симпозиумы, посвящённые конкретной дате или событию.

Январь

Семинар «**Магнитоплазменные процессы в релятивистской астрофизике**»

Тема: Актуальные вопросы современной астрофизики, в том числе аккреция, рентгеновские источники, сверхновые, чёрные дыры, нейтронные звёзды, джеты, гамма-всплески, тёмная материя.

Конференция проводится с 2012 г.

Февраль

«**Физика плазмы в Солнечной системе**»

Тема: Физические процессы в плазме Солнца, солнечного ветра, магнитосфер и ионосфер Земли и планет, смежные проблемы, включая работы по теории космической плазмы, численному моделированию, экспериментальные результаты, в том числе по лабораторному моделированию.

Конференция проводится с 2006 г.

Март

Международная Школа-семинар «**Спутниковые методы и системы исследования Земли**» (Таруса)

Тема: Научные проблемы, связанные с созданием и развитием методов и систем дистанционного исследования природных и антропогенных объектов.

Встреча в формате семинара-школы проводится с 2010 г.

Научно-техническая конференция «**Техническое зрение в системах управления**»

Every year IKI hosts several conferences, which cover almost all areas of space exploration from theoretical astrophysics to instrument engineering and applied space projects.

Press conferences are frequently made in course of such scientific meetings, so that journalists can address their questions to space projects' immediate managers and participants.

Calendar

Many scientific meetings in IKI have already become traditional. In addition to those given below the Institute annually conducts several conferences and symposia dedicated to certain specific events.

January

Magnetic Plasma Processes in Relativistic Astrophysics Workshop

Topic: Astrophysical problems, including accretion, X-ray sources, supernovae, black holes, neutron stars, jets, gamma-ray bursts, dark matter.

Since 2012.

February

Space Plasma in Solar System Conference

Topic: Physical processes in solar plasma, solar wind, magnetospheres and ionospheres of the Earth and planets, related issues including those on space plasma theory, numerical simulation, experimental results including laboratory simulation.

Since 2006.

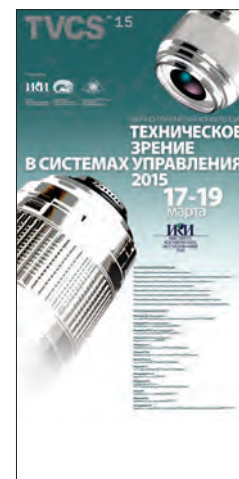
March

Satellite Methods and Systems of the Earth Remote Sensing International school and workshop (Tarus)

Topic: Science issues related to development of methods and systems for remote sensing of natural resources and artificial objects.

Since 2010 as school and workshop.

Technical Vision in Control Systems Science and Technological Conference





Тема: Различные аспекты разработки и построения систем технического зрения в системах управления. Особое внимание уделяется бортовым системам технического зрения, входящим в состав мобильных объектов и предназначенным для решения задач автономного и автоматизированного управления в сложной, неопределённой и быстро изменяющейся внешней обстановке.

Конференция проводится с 2010 г.

Апрель

Конференция молодых учёных «**Фундаментальные и прикладные космические исследования**»

Тема: Конференция посвящена Дню космонавтики. Её главные цели — дать возможность молодым учёным самостоятельно представить результаты своей работы, получить опыт выступления перед аудиторией и публично обсудить полученные научные результаты.

К конференции также приурочен **День открытых дверей** Института для школьников старших классов, студентов и всех желающих.

Конференция проводится с 2004 г.

Июль

Международная школа-семинар «**Фотометрия в астрофизике: теория и практика**» (Таруса)

Тема: Обучение участников современным методам планирования и проведения оптических наблюдений, практической фотометрии, а также ознакомление с моделями астрофизических источников, для которых необходимы фотометрические наблюдения.

В 2015 г. школа-семинар проводится впервые.

Сентябрь

Всероссийская научно-техническая конференция «**Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов**» (Таруса)

Тема: Разработка приборов ориентации и навигации, телевизионных съёмочных систем космических аппаратов.

Конференция проводится раз в два года с 2008 г.

Октябрь

День космической науки

Тема: 4 октября 1957 г. — запуск Первого искусственного спутника Земли и начало космической эры. В честь этого события в начале октября Институт космических исследований РАН ежегодно с 2004 г. проводит День космической науки, посвящённый новейшим достижениям российских учёных в области космоса. К нему приурочен День

Topic: Various aspects of development and integration of technical vision equipment into control systems. Special focus is on onboard technical vision systems incorporated into mobile units. Their purpose is to provide automated and autonomous control in difficult, uncertain, and fast-changing environment.

Since 2010.

April

Fundamental and Applied Space Exploration Young scientist conference

Topic: the event is dedicated to Cosmonautics Day. The major objectives of the conference are to give young scientists a chance to gain public speaking experience and discuss research findings in public.

The conference coincides with the Institute **Doors Open day** for high school students and general public.

Since 2004.

July

Photometry in Astrophysics: Theory and Practice International school and workshop (Tarusa)

Topic: the target of the school is to teach the participants, how modern optical observations are planned and implemented. Another topic are methods of practical photometry and models of astrophysical sources, which require photometrical observations.

Since 2015.

September

Modern Issues in Orientation and Navigation of Spacecraft All-Russian science and technology conference (Tarusa)

Topic: Development of navigation and orientation equipment and television systems for spacecraft.

Every second year since 2008.

October

Space Science Day

Topic: the 4th of October, 1957, is the date when the first man-made Earth satellite was launched — the Sputnik — and space era began. To celebrate the event at the beginning of October IKI holds the annual Space Science Day. The tradition started in 2004 with the purpose to review the latest achievements of Russian scientists in the field of space exploration. As a part



открытых дверей Института для школьников старших классов, студентов и всех желающих.

День космической науки проводится с 2004 г. и вместе с Днём открытых дверей входит в программу событий Всероссийского Фестиваля науки в Москве.

Международный московский симпозиум по исследованиям Солнечной системы — Moscow Solar System Symposium (MS³)

Тема: Симпозиум посвящён практически всему спектру вопросов, связанных с исследованиями Солнечной системы: от нерешённых проблем изучения планет и межпланетного пространства до технических подробностей подготовки новых миссий и экспериментов.

Симпозиум продолжает традицию научных встреч, посвящённых изучению планет, которые много лет организовывали университет Брауна (США) и Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН в нашей стране и за рубежом. В ИКИ РАН он проводится с 2010 г.

Ноябрь

Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»

Тема: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли, связанные со спутниковым мониторингом состояния поверхности суши, растительности, океана и атмосферы. В рамках конференции проводится **Всероссийская школа-конференция молодых учёных по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса**, где ведущие российские и зарубежные учёные представляют обзорные лекции по актуальным проблемам развития методов и систем дистанционного зондирования и использования технологий спутникового мониторинга Земли для решения фундаментальных и прикладных задач.

Конференция проводится с 2003 г.

Школа-конференция молодых учёных проводится с 2005 г.

Декабрь

Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра»

Тема: Современные проблемы астрофизики высоких энергий, рентгеновской и гамма-астрономии, наблюдательной космологии, теоретические и экспериментальные исследования, работающие и будущие астрофизические миссии.

Конференция проводится с 2001 г.

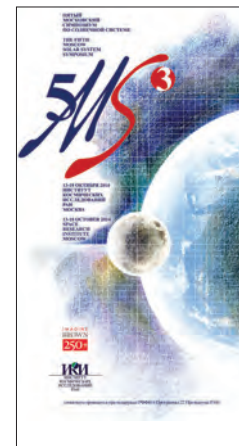
of the Program **Doors Open day** for high-school students and everyone is scheduled.

Space Science Day has been held since 2004 and along with Doors Open day constitutes a part of All-Russia Science Festival in Moscow.

Moscow Solar System Symposium (MS³)

Topic: the symposium covers practically all aspects related to the Solar system exploration: from unresolved issues of planets and interplanetary space exploration to technical details of new missions and experiment preparation.

The symposium continues traditions of planet exploration scientific meetings. Many years those have been organized by Brown University (USA) and Geokhi in Russia and abroad. In IKI it has been held since 2010.



November

Modern Methods of Earth Remote Sensing (Physical Basis, Methods, and Technology of Environmental Monitoring, Potentially Hazardous Phenomena, and Objects) All-Russian open conference

Topic: Current issues of Earth remote sensing related to satellite-based monitoring of the land surface, vegetation, ocean and atmosphere.

As a part of the conference **All-Russian Conference for Young Scientists on Fundamental Issues of Earth Remote Sensing** is held. At the conference leading Russian and foreign scientists deliver summarizing lectures on current issues related to development of methods and systems of remote sensing and use of Earth satellite-based monitoring to resolve the fundamental and applied issues.

Since 2003.



December

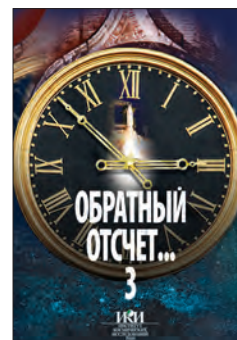
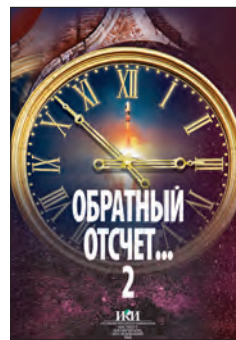
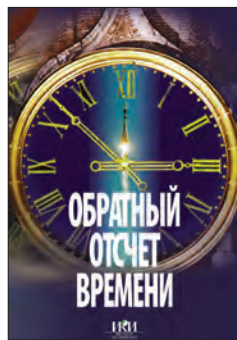
High-energy Astrophysics: Today and Tomorrow (HEA) All-Russian conference

Topic: Current issues of high-energy astrophysics, X-ray and gamma astronomy, observational cosmology, theoretical and experimental studies, current and future astrophysical missions.

Since 2001.



ОТДЕЛ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (31)
SCIENCE AND TECHNOLOGY INFORMATION DEPARTMENT (31)



Руководитель — Юрий Зайцев
 Head — Yuri Zaitsev

Журнал «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» публикует оригинальные научные и обзорные статьи по актуальным вопросам развития методов и систем дистанционного зондирования Земли и использования технологий спутникового мониторинга для решения фундаментальных и прикладных задач. Первый выпуск вышел в 2004 г., все его номера размещены в открытом доступе. Журнал включён в перечни ВАК, РИНЦ. Авторы журнала и члены его редколлегии — ведущие учёные России и СНГ. Главный редактор — академик РАН Николай Лавёров.



The journal "Current problems in remote sensing of the Earth from space" (CPRSSES) publishes original research and state-of-the-art review articles devoted to the development of methods and systems of remote sensing of the Earth and use of satellite monitoring techniques in fundamental studies and applications. It was first published in 2004, every issue is freely available. The journal is indicated by RISC and listed in the All-Russian Attestation Commission. Academician N. Laverov is the editor-in-chief

Издательскую деятельность Института ведёт отдел научно-технической информации. Ежегодно в свет выходит несколько монографий, труды конференций и симпозиумов, тематические сборники, посвящённые разным направлениям космических исследований. Отдел занимается художественным оформлением печатных материалов института, научных конференций, постерных сессий, дней открытых дверей и сайта Института в едином стиле.

Издания, фотографии и другие материалы, подготовленные отделом, свободно доступны на сайте ИКИ.

Publishing activities are entrusted to the Department of Scientific and Technical Information (31). Every year several monographs, conference and symposia papers, thematic collections of scholarly works in various areas of space exploration are edited and printed. The Department also suggests and forms artistic design of printed materials, conferences, posters, Doors Open Days, and IKI's web page.

Editions, photographs, and other materials, issued by the department, are freely available on IKI's web page.



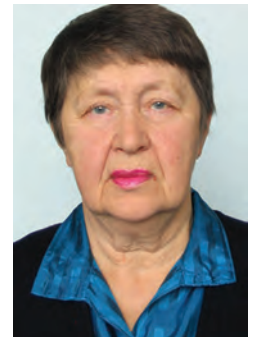
Марина Шевченко — разработка и поддержка сайта ИКИ (сотрудница отдела космической динамики и математической обработки информации)
 Marina Shevchenko — IKI's site design and maintenance (Space Dynamics and Mathematical Information Processing Department)



Михаил Боярский — разработка и поддержка сайта ИКИ (сотрудник отдела космической динамики и математической обработки информации)
 Mikhail Boyarskiy — IKI's site design and maintenance (Space Dynamics and Mathematical Information Processing Department)



Сергей Штейн — заместитель руководителя отдела по производству
Sergey N. Stein — deputy head for production



Валентина Корниленко — главный редактор
Valentina Kornilenko — chief editor



Светлана Виноградова — редактор
Svetlana Vinogradova — editor



Ольга Закутняя — главный специалист пресс-службы, канд. филол. н.
Dr. Olga Zakutnyaya — senior press service expert

Пресс-служба — специальная группа в составе отдела. Она появилась в феврале 1968 г. под названием «Группа печати и пропаганды», которую возглавил Юрий Зайцев (с 1980 г. — руководитель отдела). В задачи группы вошли популяризация достижений ИКИ и взаимодействие со СМИ, в том числе — подготовка новостей и публикаций, организация пресс-конференций и встреч с журналистами. Сегодня её сотрудники ещё ведут и обновление информации на сайте ИКИ.

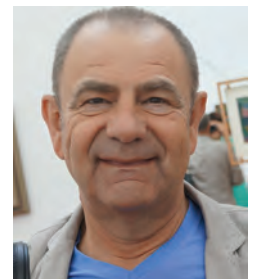
Press service group within the department was organized in 1968 under the name “Print and Publication Group” and since then has been engaged with media relations and public outreach activities. Yuri Zaitsev was appointed the head of the group (since 1980 he also became the head of the Department). Its staff prepares and spreads news and media releases, organizes press conferences and meetings with media. Today this group also contribute to news section of IKI’s site.

Пресс-конференция 9 апреля 2015 г. Фотография: ИМБП РАН/Олег Волошин

April 9, 2015, press conference.
Photo by IBMP/Oleg Voloshin



Вячеслав Давыдов — художник
Vyacheslav Davydov — designers



Александр Захаров — дизайнер
Alexander Zakharov — designer



Наталья Комарова — создание электронных оригинал-макетов (главный специалист отдела исследования Земли из космоса)
Natalia Komarova — electronic layouts and text processing (Earth Exploration from Space Department)



Екатерина Корablёва — компьютерная обработка изображений (сотрудница Научно-образовательного центра ИКИ)
Ekaterina Korablёva — photo processing (Educational Outreach Centre)

ПРАЗДНИКИ
IKI HOLIDAYS

4 октября 2007 г. исполнилось 50 лет со дня запуска Первого искусственного спутника Земли, который стал началом космической эры человечества.

1–5 октября 2007 г. состоялся Международный форум «Космос: наука и проблемы XXI века». Организаторы — Российская академия наук и Федеральное космическое агентство. Ответственный за проведение — ИКИ РАН. Пленарная сессия и торжественное заседание Форума происходило в Президиуме РАН, тематические сессии состоялись в академических институтах и вузах, связанных с исследованиями космоса.

В сборнике «Первая космическая...», выпущенном ИКИ РАН к юбилею Спутника, опубликованы эссе пятидесяти выдающихся учёных, космонавтов, общественных деятелей и писателей. Среди них — пионер ракетной отрасли, конструктор Борис Евсеевич Черток, astronaut Базз Олдрин, участник экипажа «Аполлона-11», впервые высадившегося на Луну, всемирно известные писатели-фантасты Рэй Брэдбери и Артур Кларк. Авторы рассуждают о том, чем был для человечества запуск Спутника и какие рубежи в космосе нам предстоит преодолеть в ближайшем будущем.

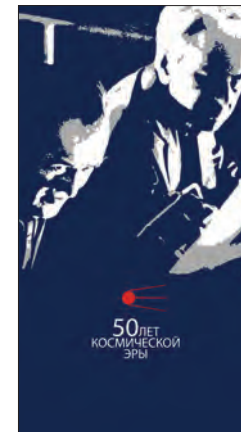
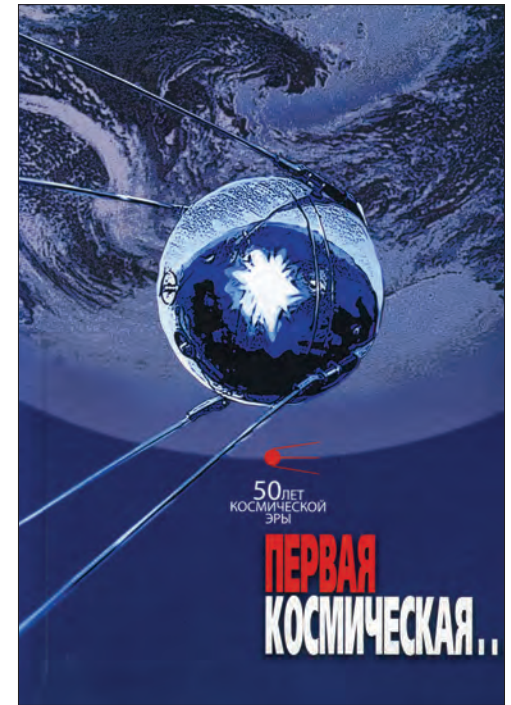
On October 4, 2007 we celebrated the 50th anniversary of the Sputnik launch, the first man-made object in space ever, which was the beginning of Space Era.

On October 1–5, 2007 International Forum “Space: Science and Challenges of the XXI Century” was organized by the Russian Academy of Sciences and the Federal Space Agency. Responsible organization: IKI. The plenary session and ceremonial meeting were held in the Presidium of the Russian Academy of Sciences, and thematic sessions were conducted in the academic and higher education institutes related to space exploration.

Book “Space: the First Step”, published by IKI to celebrate the anniversary of the Sputnik launch, includes essays of fifty distinguished scientists, cosmonauts, public persons, and writers. Among them are Boris E. Chertok, pioneer of the space industry and designer, astronaut Buzz Aldrin, *Apollo-11* crewmember, world famous science fiction writers Ray Bradbury and Arthur Clarke. The authors consider what Sputnik launch meant to the mankind and what milestones we will pass in the near future.

**I. ВАЖНЕЙШИЕ
СОВМЕСТНЫЕ
НАУЧНЫЕ ТОРЖЕСТВА**
**I. THE MOST IMPORTANT
SCIENTIFIC MEETINGS**

*Исследования космоса —
это наша работа и наша жизнь*
*Space exploration
is our job and our life*



COSPAR MOSCOW 2014
COSMOS
 40th SCIENTIFIC ASSEMBLY
 Russia, Moscow, 2-10 August 2014



Нейл Армстронг даёт автографы во время 13-й Научной ассамблеи КОСПАР в Ленинграде (фотография из архива профессора О. Вайсберга)

Neil Armstrong's signing session during COSPAR 13th Scientific Assembly, Leningrad, the USSR (from Prof. O. Vaisberg private archive)



Группа участников 13-й Научной ассамблеи КОСПАР из ИКИ. Слева направо: Александр Зерцалов, Нина Баштанова, Владимир Денисенко, Валерий Смирнов, Анатолий Богданов, Светлана Тримова, Станислав Романов, Станислав Климов (фотография из архива проф. О. Вайсберга)

Participants of COSPAR 13th Scientific Assembly from IKI: Alexandr Zertsalov, Nina Bashtanova, Vladimir Denisenko, Valery Smirnov, Anatoly Bogdanov, Stanislav Romanov, Stanislav Klimov (from Prof. O. Vaisberg private archive)



3 августа 2014 г. 40-я Научная ассамблея КОСПАР. Регистрация (фото Андрея Кузьмина)

August 3, 2014, the 40th COSPAR Scientific Assembly. Registration venue (photo Andrei Kuzmin)



40-я Научная ассамблея КОСПАР. 4 августа 2014 г. Площадь Гагарина, Москва (фото Андрея Кузьмина)

August 4, 2014, Gagarin Square, Moscow (photo Andrei Kuzmin)

Комитет по исследованию космического пространства (КОСПАР — COSPAR, Committee on Space Research) — одна из наиболее авторитетных международных неправительственных космических организаций. Академия наук СССР — член КОСПАР со времени его основания в 1958 г. Первым представителем СССР в КОСПАР стал академик Анатолий Аркадьевич Благонравов, с 1959 по 1971 г. — вице-президент КОСПАР. Вице-президентами КОСПАР избирались директор ИКИ академик Рояльд Зиннурович Сагдеев (1975—1981) и сотрудник ИКИ академик Рашид Алиевич Сюняев (1988—1994). Директор ИКИ РАН академик Лев Матвеевич Зеленый был представителем России в 2006—2014 гг.

Научная ассамблея КОСПАР — одна из наиболее представительных научных конференций в космических исследованиях. Дважды Ассамблея проходила в России, и оба раза ИКИ был одним из её главных организаторов.

В 1970 г. 13-я Научная ассамблея КОСПАР состоялась в Ленинграде, куда с докладом приехал американский астронавт Нейл Армстронг, первый человек, ступивший на поверхность Луны.

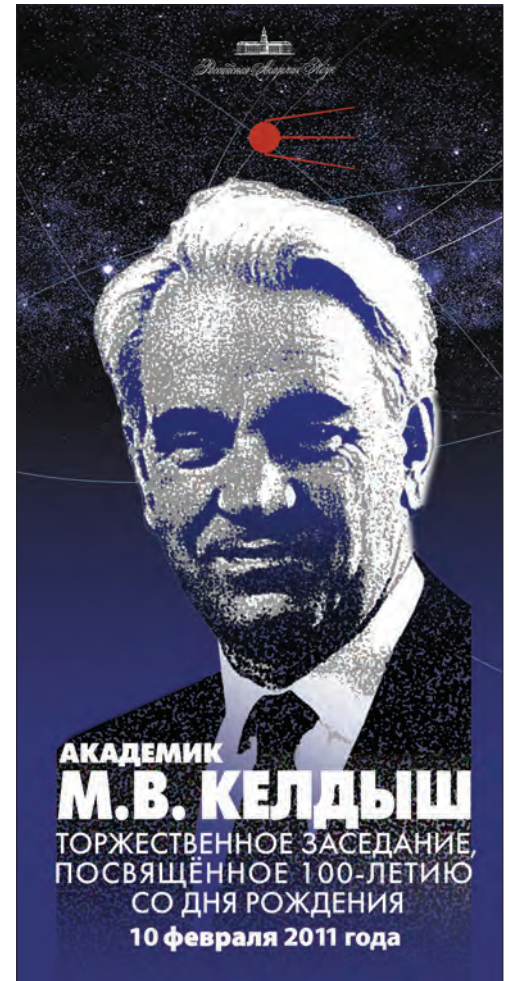
В 2014 г. 40-я Научная ассамблея КОСПАР состоялась в Москве, в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова.

Committee on Space Research, or COSPAR, is one of the most competent international non-governmental space organizations. The Academy of Sciences of the USSR was a member of COSPAR since 1958, the year it was founded. Academician Anatoly A. Blagonravov was the USSR first representative to COSPAR. He served as COSPAR vice-president from 1959 to 1971. IKI Director Roald Sagdeev (1975—1981) and academician Rashid A. Sunyaev (1988—1994) were elected COSPAR vice-presidents. IKI Director Lev M. Zelenyi was the Russian representative in 2006—2014.

COSPAR Scientific Assembly is one of the largest science conferences in the field of space exploration. Twice the Assembly was held in Russia, and both times IKI was one of the major organizers.

In 1970 the 13th COSPAR Scientific Assembly was held in Leningrad. US astronaut Neil Armstrong who was the first to step onto the lunar surface made a report to the participants.

In 2014 the 40th COSPAR Scientific Assembly was held in Moscow at Lomonosov Moscow State University.



2011 г. — торжественные мероприятия, посвящённые 100-летию со дня рождения **Мстислава Всеволодовича Келдыша**, выдающегося учёного, организатора науки, главного теоретика отечественной космонавтики и инициатора создания Института космических исследований. Организатор — Российская академия наук, ответственные за проведение — Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша и ИКИ РАН.

Два «профессиональных праздника» для всех сотрудников ИКИ — День космонавтики 12 апреля и юбилей запуска Первого искусственного спутника Земли 4 октября. Ежегодно в это время в выставочном зале ИКИ РАН проходят Дни открытых дверей для школьников, студентов и всех интересующихся космосом.

2011: special events in honour of the 100th anniversary of **Mstislav V. Keldysh** who was an outstanding scientist, theoretician of the national cosmonautics, initiator of the Space Research Institute establishment. The events were organized by the Russian Academy of Sciences and conducted by the Keldysh Institute of Applied Mathematics and IKI.

Two professional holidays, celebrated by all IKI employees: Cosmonautics Day on April 12 and the anniversary of the Sputnik launch on October 4. Annually **Doors Open days** for high school and higher education students as well as for all people who are interested in space are conducted in IKI exhibition hall.



II. НАУКА И ЖИЗНЬ II. SCIENCE AND LIFE

«Бродячий театр».
 Маленький театральный коллектив, появившийся в отделе оптико-физических исследований десять лет назад, основал настоящую традицию новогоднего спектакля. Театр даёт всего одно представление в год, в конце декабря, — но оно проходит при переполненном зале. Зрители — дети и внуки сотрудников Института — с нетерпением ждут новогодней сказки. «Основатель» и первый режиссёр театра — старший инженер Елена Зарецкая

"Travelling Theater": A small theater group which was formed in the Optico-Physical Department ten years ago established a New Year show tradition. The group performs once a year at the end of December, and the hall is always full. Every year the audience — children and grandchildren of IKI employees — look forward for a novel New Year fairytale. The founder and the first director of the theater — Elena Zaretskaya, senior engineer



Сказка «Снежная королева» Г. Х. Андерсена (декабрь 2014 г.) и другие спектакли

The Snow Queen" by the tale by H.C. Andersen (December 2014) and other performances





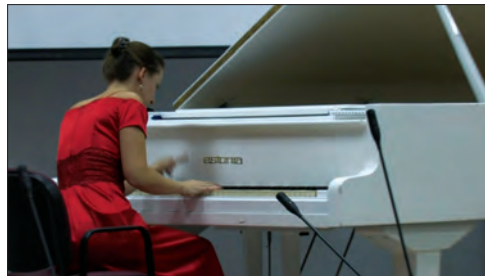
Спортивная жизнь ИКИ РАН: стрелковый клуб; настольный теннис; Новус — латвийский бильярд



Sports events I K I RAN: Shooting club, Ping pong, Novuss (Latvian billiards)



Сессии научных конференций часто завершаются концертами классической музыки, которые проводит благотворительный Фонд Святослава Рихтера. Фонд был создан в Тарусе по инициативе самого музыканта, который передал в собственность фонда свою дачу и участок леса на берегу Оки

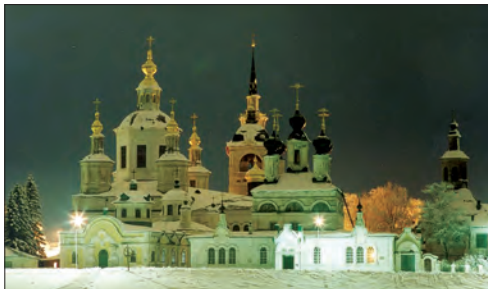


Scientific conference sessions are often followed by classical music concerts. The concerts are organized by Svyatoslav Richter Charity Foundation. The Foundation was set up in the town of Tarusa on the initiative of the great musician who transferred his country house and the forest land on the bank of the Oka River into the Foundation ownership.



22 апреля 2013 г. — встреча с литературным критиком, специалистом по современной фантастике Романом Арбитманом

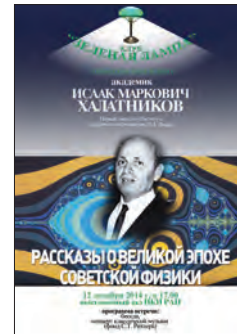
April 22, 2013. Meet-the-author-event: Roman Arbitman, book critic, modern science fiction specialist



Набережная реки Сухоны в Великом Устюге *The Sukhona river embankment in Velikiy Ustyug*



Выборг. Часовая башня *Vyborg. Clock tower*



12 декабря 2014 г. — первое заседание клуба «Зелёная лампа». Творческий вечер-встреча с академиком Исааком Марковичем Халатниковым, первым директором Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау

December 12, 2014. "Green Lamp" Club first meeting. Meet-the-scientist-event: academician Isaak M.Khalatnikov, first director of L. D. Landau Institute for Theoretical Physics



Сретенско-Михайловская церковь в Красной Ляге *Sretensko-Mikhailovskaya church in Krasnaya Lyaga*



Гороховец. Каменные палаты — жилой дом Сапожникова-Ершова *Gorokhovets. Stone Chambers — Sapozhnikov-Ershov's residential house*

Экскурсии по городам и сёлам России, которые организует профсоюзный комитет Института, стали настоящей традицией. От Средней Азии до Таллина и от СССР до России — экскурсии проходили в разных широтах и в разных исторических эпохах. Если вспомнить маршруты путешествий в послеперестроечные годы, то новейшая история страны становится отчётливой и зримой: участники экскурсий наблюдали российский глубинку в её упадке и в медленном возрождении, видели разрушенные памятники истории, их реконструкцию и реставрацию, любовались сохранившимися чудесами архитектуры и быта.

Sightseeing tours of the cities and villages arranged by the Institute Trade Union have really become a good tradition. The tours went through various latitudes and historical periods: from Central Asia to Tallinn and from the USSR to Russia. Recalling the itineraries during post-perestroika years the recent history of the country gets more clear and well-defined: travelers could see remote regions of Russia during periods of decline and gradual revival, they saw destroyed historical landmarks and their restoration and renovation, admired remaining miracles of architecture and household items.

На правах
некоммерческого
издания в книге
использованы
материалы, авторские
права на которые
принадлежат
следующим
организациям, частным
лицам и авторам:

Российская академия
наук, Архив РАН,
Китайская
академия наук,
РОСКОСМОС, НПО
им. С. А. Лавочкина,
РКК «Энергия»
им. С. П. Королёва,
ГКНПЦ
им. М. В. Хруничева,
COSPAR, DLR, NASA,
ESA, CNES, JPL, JAXA,
Общество им. Макса
Планка, Планетное
общество США,
ТАСС,
О. Л. Вайсберг,
О. Волошин,
Е. П. Германюк,
А. Н. Захаров,
А. Кузьмин,
Дональд Митчелл,
Б. С. Новиков

ИКИ РАН выражает
всем искреннюю
благодарность

ISBN 978-5-9903101-5-5

Институт космических исследований
Российской академии наук
117997, Москва, Профсоюзная, 84/32
Подписано к печати 28.08.2015 г.
Заказ 3351
Формат - 240 x 280
Тираж - 1200 экз.
37 усл.-печ. л.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), 2015

Отпечатано в ОАО «Подольская фабрика офсетной печати».
г. Подольск, Ревпроспект, 80/42.

The book is a non-
commercial edition
and contains images
and other materials
credited to the following
organizations, individuals,
and authors:

Russian Academy
of Sciences, Archive of
RAS, Chinese Academy
of Sciences, Roscosmos,
Lavochkin Association,
Energia Space
Corporation,
Khrunichev
State Research
and Production Space
Center, COSPAR, DLR,
NASA, ESA, CNES, JPL,
JAXA,
Max Planck Society,
the Planetary Society,
TASS,
O. Vaisberg,
O. Voloshin,
E. Germanyuk,
A. Kuzmin,
D. Mitchell,
B. Novikov,
A. Zakharov

IKI RAS acknowledges
their contributions with
sincere gratitude

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК 50 ЛЕТ

МОСКВА 2015

ЮБИЛЕЙНОЕ
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

Под общей редакцией
академика Л. М. Зеленого

Руководитель издания: **Ю. И. Зайцев**

Авторы:

Александров А. Б., Ангаров В. Н.,
Антоненко Е. А., Артеха С. Н., Арумов Г. П.,
Барталёв С. А., Бессонов Р. В.,
Бисноватый-Коган Г. С., Бунтов М. В.,
Вайсберг О. Л., Васильев А. А., Веригин М. И.,
Герасимов М. В., Ермолаев Ю. И.,
Ерохин Н. С., Зайцев Ю. И., Закутняя О. В.,
Засова Л. В., Застенкер Г. Н., Захаров А. Н.,
Измоденов В. В., Климов С. И.,
Кораблёв О. И., Косов А. С., Костенко В. И.,
Кузьмин А. В., Лаврова О. Ю., Левин В. В.,
Литвак М. Л., Лупян Е. А., Лутовинов А. А.,
Мазуров А. А., Манагадзе Г. Г., Маслов И. А.,
Митрофанов И. Г., Могилевский М. М.,
Моисеенко С. Г., Мокроусов М. И.,
Назаров В. Н., Назиров Р. Р., Новиков Б. С.,
Павлинский М. Н., Петросян А. С.,
Петрукович А. А., Плотников Д. Е.,
Позаненко А. С., Попель С. И., Прошин А. А.,
Пырков В. Н., Раев М. Д., Ревнивцев М. Г.,
Родионов Д. С., Садовский А. М.,
Сазонов С. Ю., Семена Н. П., Скворцов Е. И.,
Скулачёв Д. П., Сяняев Р. А., Тавров А. В.,
Устинова Г. С., Фёдорова А. А.,
Чесалин Л. С., Чулков И. В., Шарков Е. А.,
Шкляр Д. Р., Щербина А. Д., Эйсмонт Н. А.

Редактор-составитель: **О. В. Закутняя**
при участии **Ю. И. Зайцева**

Редактор: **В. С. Корниленко**

Редактор английского текста: **О. В. Закутняя**

Художественный и технический редактор:
А. Н. Захаров

Вёрстка: **Н. Ю. Комарова**

Логотип юбилея ИКИ: **В. М. Давыдов**

SPACE RESEARCH INSTITUTE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES 50 YEARS

MOSCOW 2015

ANNIVERSARY EDITION
NON-COMMERCIAL

Editor-in-Chief
academician **Lev M. Zelenyi**

Editor-in-Charge: **Yuri I. Zaitsev**

Authors:

Alexandrov A. A., Angarov V. N.,
Antonenko E. A., Artekha S. N., Arumov G. P.,
Bartalev S. A., Bessonov R. V.,
Bisnovaty-Kogan G. S., Buntov M. V.,
Chesalin L. S., Chulkov I. V., Fedorova A. A.,
Gerasimov M. V., Eismont N. A., Erokhin N. S.,
Izmodenov V. V., Klimov S. I., Korablev O. I.,
Kosov A. S., Kostenko V. I., Kuzmin A. V.,
Lavrova O. Yu., Levin V. V., Litvak M. L.,
Lupian E. A., Lutovinov A. A., Managadze G. G.,
Maslov I. A., Mazurov A. A., Mitrofanov I. G.,
Mogilevsky M. M., Moiseenko S. G.,
Mokrousov M. I., Nazarov V. N., Nazirov R. R.,
Novikov B. S., Pavlinsky M. N., Petrosyan A. S.,
Petrukovich A. A., Plotnikov D. E., Popel S. I.,
Pozanenko A. S., Proshin A. A., Pyrkov V. N.,
Raev M. D., Revnivitsev M. G., Rodionov D. S.,
Sadovsky A. M., Sazonov S. Yu., Semena N. P.,
Skulachev D. P., Skvortsov E. I., Sunyaev R. A.,
Tavrov A. V., Ustinova G. S., Scherbina A. D.,
Sharkov E. A., Shklyar D. R., Vaisberg O. L.,
Vasilyev A. A., Verigin M. I., Yermolaev Yu. I.,
Zaitsev Yu. I., Zakharov A. N., Zakutnyaya O. V.,
Zasova L. V., Zastenker G. N.

Collected and edited: **O. V. Zakutnyaya**
with **Yu. I. Zaitsev**

Editor: **V. S. Kornilenko**

English editor: **O. V. Zakutnyaya**

Design: **A. N. Zakharov**

Layout: **A. N. Zakharov**

IKI anniversary logo: **V. M. Davydov**