



Состояние и перспективы российской астрономии

Ю.Ю.Балега, Б.М.Шустов

Что такое астрономия?

Астрономия – наука, занимающаяся изучением природы (φύση) Вселенной, т.е. различных космических объектов и процессов, протекающих в космосе на различных пространственных и временных масштабах.

Наиболее крупные направления в астрономии, выделяемые в научных классификаторах (объекты исследования):

- Классическая астрономия (координаты и движение небесных тел)
- Физика Солнечной системы и гелиофизика (планеты, Солнце)
- Астрофизика (объекты и процессы за пределами Солн. сист.)
- Космология (происхождение и эволюцию Вселенной в целом)

По методам и инструментам и по организационным аспектам в России традиционно выделяют такие направления:

- Наземная астрономия (осн. финансирование – Минобрнауки)
- Внеатмосферная астрономия (осн. финансирование – Роскосмос)

1. Наземная астрономия в России

Астрономы России

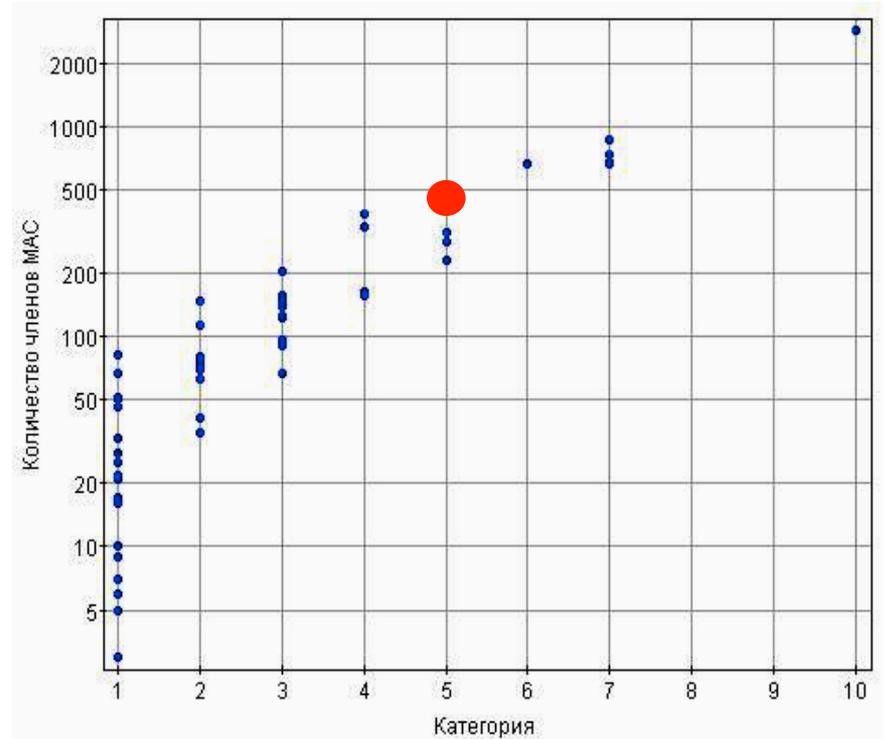
Общее число исследователей, профессионально занимающихся астрономией в российских институтах и ВУЗах – примерно 1400.

Ещё до 1000 (приближенная оценка!) ученых - физиков, математиков, а в последние годы и представителей биологии, геологии и других наук – занимаются исследованиями, смежными с астрономическими. Примеры – оба РФЯЦ, ИФЗ РАН, ИДГ РАН, ИПМех РАН, Ин-т катализа им. Борескова СО РАН и т.д.



Российские астрономы в МАС

В списке Международного астрономического союза (МАС) 11069 индивидуальных членов. Для развитых стран характерная пропорция от 7 до 15 членов МАС на 1 млн. жителей. Россия : 3 члена МАС на 1 млн. жителей. Сейчас в списке членов МАС 437 россиян. Россия находится в V категории.



Продуктивность научной работы (количество публикаций в WoS на одного члена МАС в 2016 г) российских членов МАС неплохая - 2.3. Для сравнения США – 2.3, Германия – 3.9, Китай – 2.0, Япония – 1.6 (по данным WoS по разделу Space Science). Общий (по всему астрономическому сообществу России) уровень продуктивности ~ 1.

Астрономические структуры в России

Шесть специализированных астрономических научных учреждений РАН (САО, ГАО, ИНАСАН, ИПА, КрАО, Уссурийская АО ДВО РАН)

Более десяти научных учреждений РАН, имеющих подразделения астрономического направления (ИКИ, ФИАН, ФТИ, ИПФ, ИЗМИРАН, ИЯИ, ИПМ, ИТЭФ, ИСЗФ СО РАН, ИКФИА СО РАН, ..)

Астрономические исследовательские структуры и специализированные кафедры в ВУЗах (ГАИШ МГУ, СПбГУ, УрФУ, КГУ, ЮФУ, ТГУ, ВолГУ, ИГУ, СтавГУ, МФТИ, МИФИ и др.)

При ОФН по астрономической тематике работают 3 научных совета («Астрономия», «Солнечно-земная физика», «Космические лучи») и один экспертный совет.

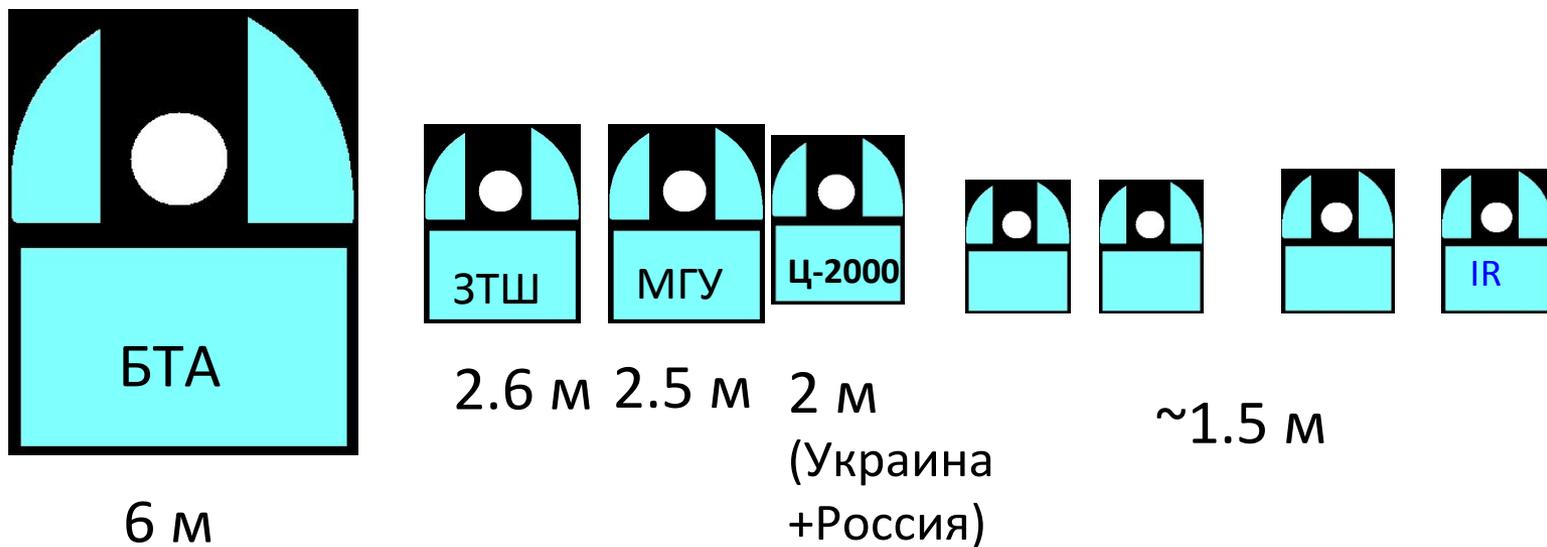
Ряд секций Совета РАН по космосу работает по тематике «Внеатмосферная астрономия» и смежным направлениям.

Финансирование наземной астрономии в России в последние годы

В 2016 г бюджетное финансирование наземных астрономических исследований в России оценивалось в ~ 1 млн. руб. в год на исследователя. Средств на развитие инструментальной база не оставалось. В 2017 - 2018 г. в зависимости от региона финансирование академических учреждений было увеличено, причём это увеличение практически полностью пошло на повышение зарплат.

На инфраструктурные проекты наземной астрономии средства базового финансирования практически не выделялись, но целевым финансированием начато несколько крупных инфраструктурных проектов (см.далее).

Крупнейшие оптические телескопы России



Общая площадь зеркал: 42 кв. м или $\sim 3\%$ от площади зеркал оптических телескопов в мире

Современные оптические телескопы

Great Paris Exhibition Telescope
(lens at the same scale)
Paris, France (1900)

Yerkes Observatory
(40" refractor lens at the same scale)
Williams Bay, Wisconsin (1893)

Hooker (100")
Mt Wilson, California (1917)

Hale (200")
Mt Palomar, California (1948)

Multi Mirror Telescope
Mount Hopkins, Arizona (1979-1998)

BTA-6 (Large Altazimuth Telescope)
Zelenchuksky, Russia (1975)

Large Zenith Telescope
British Columbia, Canada (2003)

Gala
Earth-Sun L2 point (2014)

Kepler
Earth-trailing solar orbit (2009)

James Webb Space Telescope
Earth-Sun L2 point (planned 2018)

Hubble Space Telescope
Low Earth Orbit (1990)

Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope
Hebei, China (2009)

Hobby-Eberly Telescope
Davis Mountains, Texas (1996)

Large Binocular Telescope
Mount Graham, Arizona (2005)

Very Large Telescope
Cerro Paranal, Chile (1998-2000)

Magellan Telescopes
Las Campanas, Chile (2000/2002)

Gran Telescopio Canarias
La Palma, Canary Islands, Spain (2007)

Southern African Large Telescope
Sutherland, South Africa (2005)

Gemini South
Cerro Pachón, Chile (2000)

Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)

Overwhelmingly Large Telescope
(cancelled)

Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory, Chile (planned 2020)

Keck Telescope
Mauna Kea, Hawaii (1993/1996)

Gemini North
Mauna Kea, Hawaii (1999)

Subaru Telescope
Mauna Kea, Hawaii (1999)

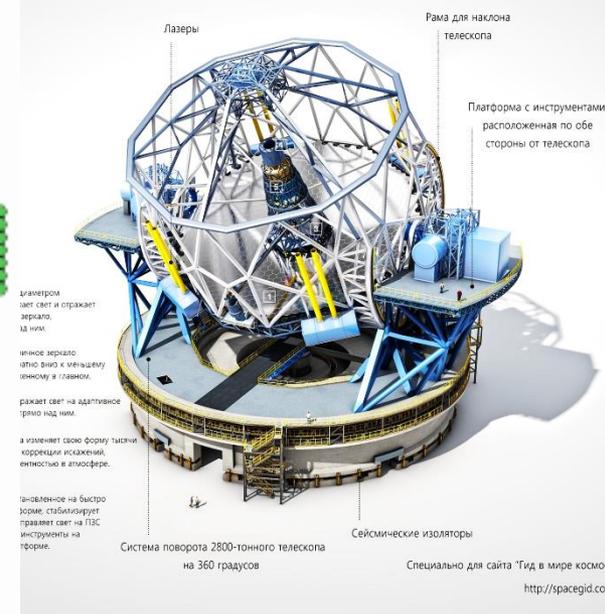
European Extremely Large Telescope
Cerro Armazones, Chile (planned 2022)

Thirty Meter Telescope
Mauna Kea, Hawaii (planned 2022)

Human at the same scale

0 10 20 30m

Строение телескопа E-ELT



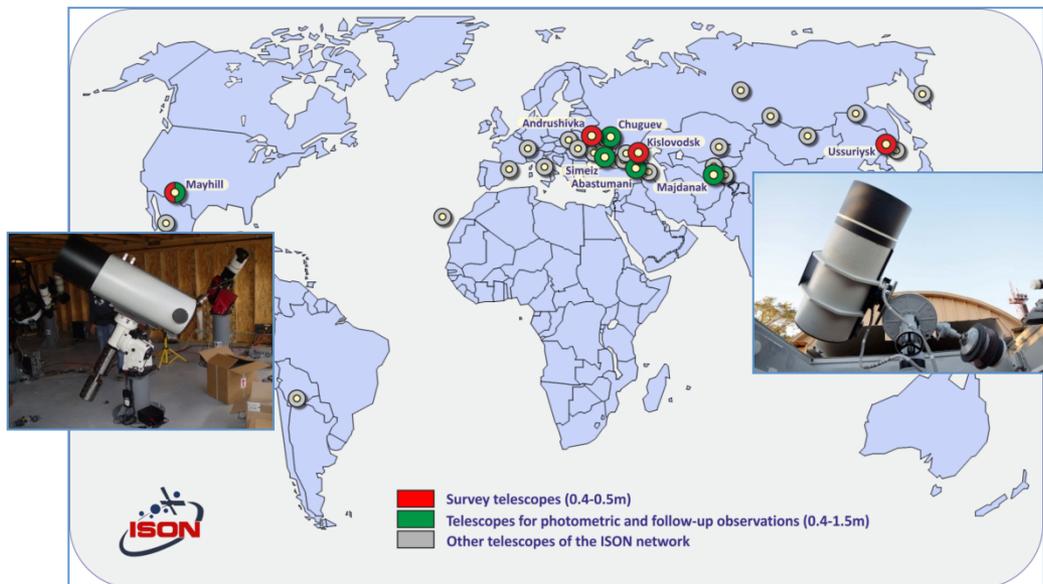


18-е место в мире (В 70-е годы XX-го века был лидером).
Главный центр коллективного пользования в российской астрономии!

Российские астрономические сети

Телескоп сети «Мастер» (ГАИШ МГУ им. М.В.Ломоносова).

Основная задача – наблюдения транзиентов (источников гамма-всплесков).



Сеть ISON (ИПМ РАН).
Основная задача – контроль ОКП в зоне ГСС.

РАТАН-600 (САО РАН) -
70-е годы прошлого
века:



КВАЗАР (ИПА РАН) -
используется в
основном для КВО.



ССРТ ИСЗФ СО РАН



РТ-22,
Радиотелескопы
метрового диапазона
БСА и **ДКР-1000** ПРАО
ФИАН



Крупные радио- астрономические инструменты России



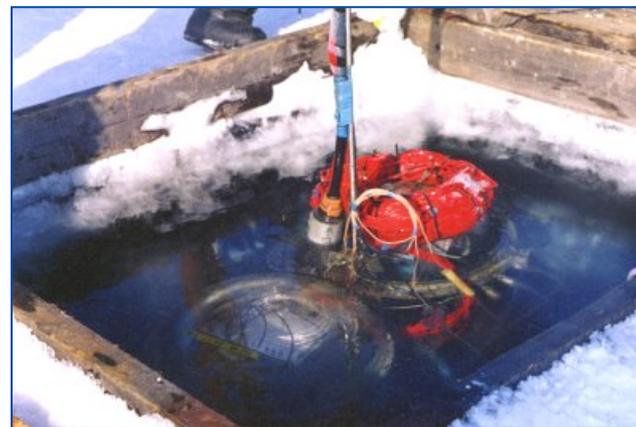
РТ-64 Калязинской
радиоастрономической
обсерватории АКЦ ФИАН

Нейтринные телескопы



Баксанская нейтринная обсерватория (ИЯИ РАН)

Рабочий момент на Байкальской нейтринной обсерватории (ИЯИ РАН)



Четыре хорошие новости последних лет

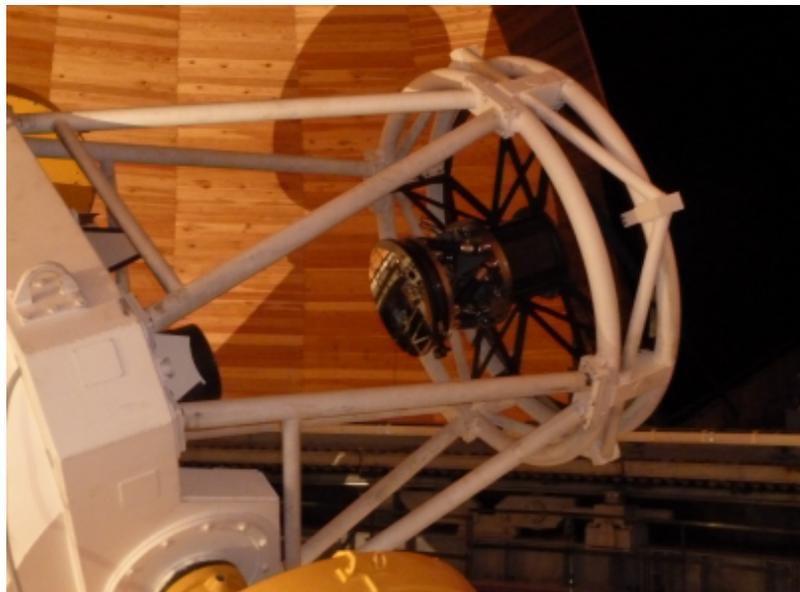
1) 12.10.14 пущен в строй 2,5-м оптический телескоп в Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ им. М.В.Ломоносова.



2) Начато создание Сибирского гелиогеофизического комплекса. В частности, проектируется 3 м солнечный телескоп для обсерватории в Мондах.



3) В ИСЗФ СО РАН появился первый крупный (1.6 м) российский обзорный оптический телескоп. Этот широкоугольный (2.8°) телескоп АЗТ-33ВМ ведён в опытную эксплуатацию в декабре 2015 г. Работает с эффективностью $\sim 5\%$. Проблема – нет денег на большую сборку детекторов.

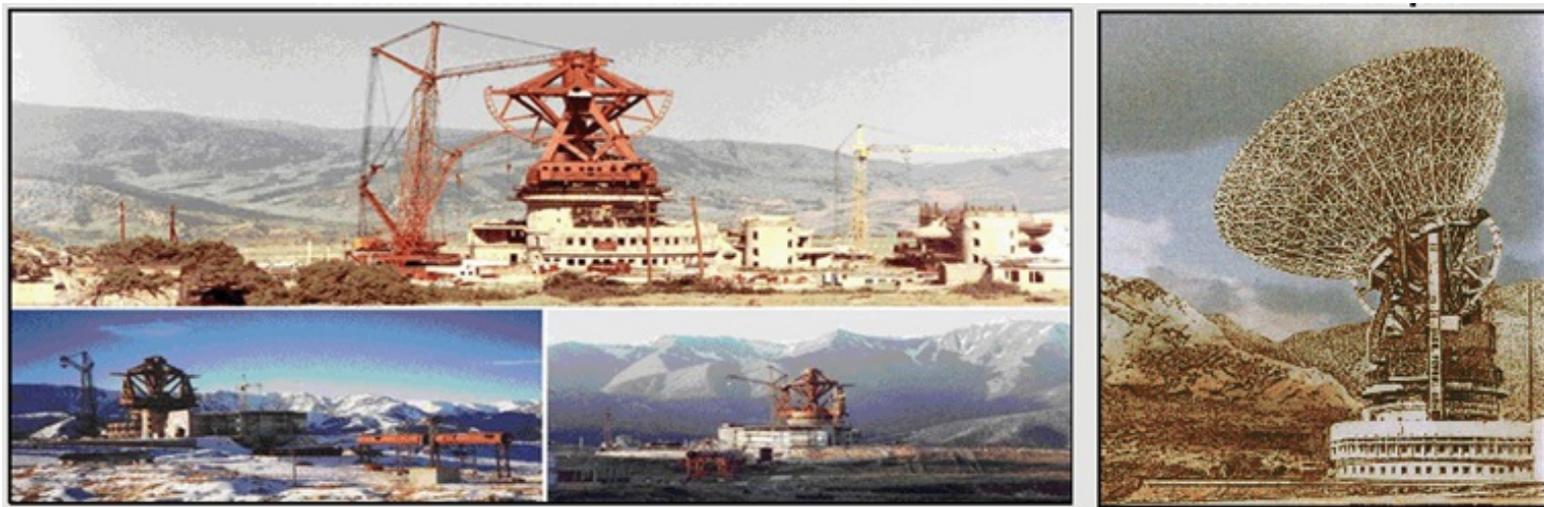


M33

0.5 градуса



4) Обсерватория в Суффе. В стране нет ни одного современного радиотелескопа миллиметрового диапазона, тем более интерферометра, а эти инструменты относятся к основным средствам наблюдательной астрономии в мире. (Пример – ALMA).



В октябре 2018 г подписано межправительственное соглашение о сотрудничестве между Россией и Узбекистаном. В списке совместных проектов – создание (завершение строительства) обсерватории миллиметрового диапазона в Суффе. Диаметр антенны основного телескопа 70 м.

О приоритетах развития наземных астрономических инфраструктурных проектов

По инициативе и при участии РАН, НКС ФАНО, Минобрнауки и Управления Президента по научно-образовательной политике в июне 2015 г. была сформирована межведомственная рабочая группа (МРГ) экспертов по астрономии. Группе было поручено провести полный аудит существующих наземных астрономических средств в РФ и в широком контакте с астрономическим сообществом провести проработку планов развития наземной астрономической инфраструктуры в России.

МРГ работала в период июнь 2015 г. - апрель 2016 г. провела широкое оповещение о сборе предложений. Собрано 18 предложений инфраструктурных проектов.

Задачи, поставленные перед МРГ выполнены. Основные результаты представлены в двух широкодоступных документах:

- ***Справка «Состояние развития наземной астрономии в Российской Федерации» - 15 стр.***
- ***«Рекомендации межведомственной рабочей группы экспертов по приоритетам развития наземных астрономических инфраструктурных проектов Российской Федерации на период 2016-2025 гг.» с обоснованием принятых решений - 34 стр.***

В 2018 г. экспертный совет (ЭС) при ОФН РАН по направлению «Астрономия, астрофизика, космические исследования» провёл экспертизу проектов класса «мегасайенс». Результаты экспертизы в основном подтвердили выводы МРГ.

Приоритеты: рекомендации МРГ и ЭС

АСТРОНОМИЯ

Международный приоритет 1: Участие России в Европейской Южной Обсерватории (ЕЮО / ESO). Запрашиваемый бюджет: ~120 млн. евро (вступительный взнос), ежегодно 13.6 млн. Евро.

Проект 4-м оптического телескопа с широким полем зрения ЭС

для постановки в Северном полушарии. Стоимость ~ 3,1 млрд. руб.

Завершение строительства 70-м радиотелескопа на плато Суффа. Стоимость ~ 4,7 млрд. руб.

Создание глобальной сети 1-м телескопов для мониторинга ЭС космического пространства. Стоимость ~ 4 млрд. руб.)

ФИЗИКА + АСТРОНОМИЯ

Многоцелевая нейтринная обсерватория. Стоимость ~ 19,8 млрд руб. ЭС

Наземная гамма-обсерватория TAIGA. Стоимость ~ 2.6 млрд руб.

Инфраструктурные проекты с прикладной составляющей («службы»)

Три проекта «служб» рекомендуются для софинансирования при условии существенного финансирования со стороны заинтересованных министерств и ведомств:

- **Создание Российской Службы Солнца.**
- **Создание астрономической инфраструктуры для наземного сегмента «Российской системы предупреждения и противодействия космическим угрозам».**
- **Фундаментальное и прикладное координатно-временное обеспечение России.**

2. Внеатмосферная астрономия в России

Нерешенные астрономические проблемы (неполная выборка тем «по вкусу»)

- Темное вещество (dark matter)
- Происхождение галактик
- Происхождение космических лучей сверхвысоких энергий
- Необычные объекты (e.g. природа миллисекундных радиовспышек в галактиках, происхождение хондр и т.д.)
- Экзопланеты и экзокометы
- Механизм солнечных циклов и сбоев «космической погоды»
- Механизм нагрева Солнечной короны
- Происхождение и эволюция Солнечной системы
- Астрономические аспекты проблема происхождения и сохранения жизни

Решение всех этих и многих других проблем возможно только при мультиволновом (мультиканальном) подходе к получению наблюдательных данных.

Мультиканальный подход

Примеры каналов, обеспеченных космическими средствами:

XMM	– X-ray
HST	– УФ, оптика
Spitzer	– ИК
Спектр-Р	– радио

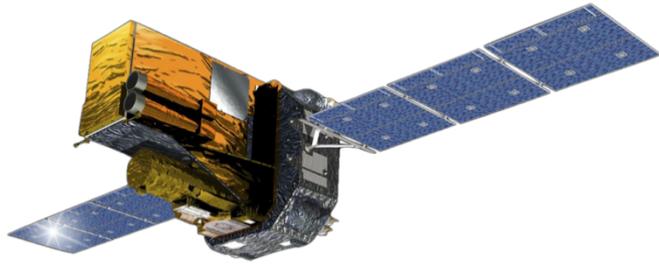


Суть подхода - получение данных наблюдений во всех доступных каналах и согласованный анализ этих данных. Мультиканальный подход неизбежно означает привлечение наблюдательных средств космического базирования.

О бюджете ФКП-25



На космической вахте

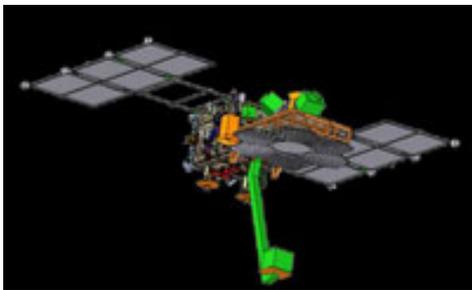


«ИНТЕГРАЛ» запущен 17.10.02 для изучения галактических и внегалактических объектов в жёстком рентгеновском и гамма-диапазоне (3 кэВ - 10 МэВ).

«Памела» - запуск
15.06.2006 г.
Ежедневно
передается около
15 Гб данных.



«Нуклон»
запуск
26.12.2014



«Ломоносов» (запуск 28.04.2016 г.) научно-образовательный проект. Наблюдение космических лучей сверхвысоких энергий, изучение переходных явлений в верхних слоях атмосферы Земли, одновременное изучение гамма-всплесков с помощью оптических камер и гамма-детекторов.

Спектр-Р (Радиоастрон)



Интерферометр «Радиоастрон» запущен 18.06.2011 г. Космический радиотелескоп: диаметр 10 метров. База Земля – космос до 350 000 км. Рабочие частоты: 0.3, 1,6, 5, 22 (18-25) ГГц. В кооперации работают 29 наземных радиотелескопов.

За 7 лет работы получено 3833 наблюдений различных объектов. Выявлены необычные свойства распространения радиоволн в МЗС.

Получена информация о структуре с уникальным угловым разрешением (на 1.3 см до $\sim 7 \mu\text{as}$!) для:

- 161 ядра активных галактик (СМЧД),
- 20 пульсаров (нейтронные звёзды),
- 12 космических мазеров OH ($\lambda \sim 18 \text{ см}$) и H₂O ($\lambda \sim 1,35 \text{ см}$) в областях образования звёзд в нашей Галактике,
- 2 мегамазеров около СМЧД в ядрах галактик NGC3079 и NGC4258.

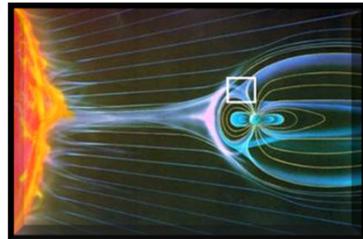
Основные направления ФКИ в ФКП-25



Луна, планеты, малые тела Солнечной системы
(доля финансирования 47% бюджета ФКИ)



Внеатмосферная астрономия (25%)



Космическая плазма и гелиофизика (13%)



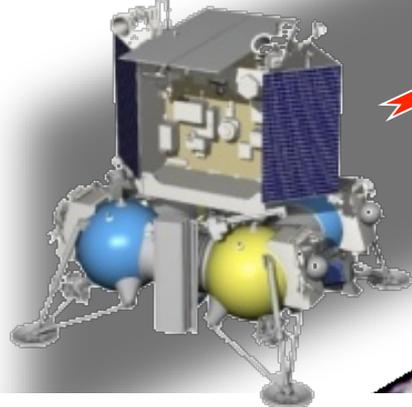
Фундаментальные проблемы космической биологии
и медицины (12%)

Технологические (создание научных приборов) – 2%

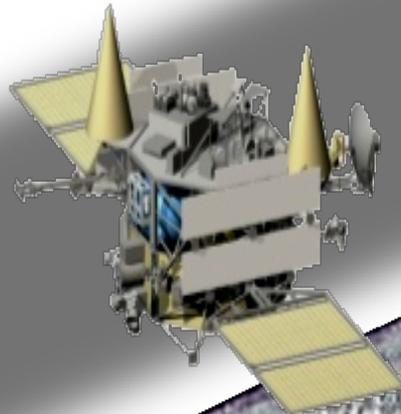
Лунная программа



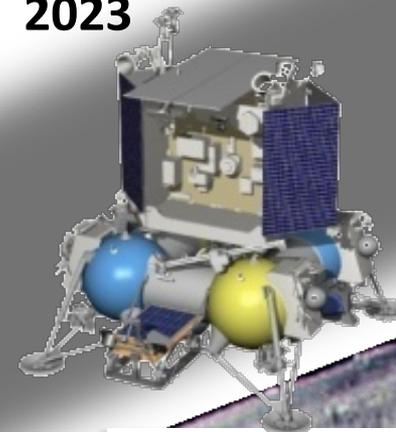
Луна-Глоб
2021



Луна-Ресурс-1-ОА
2022

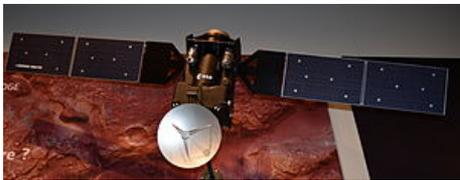


Луна-Ресурс-1-ПА
2023



LUNA-26
(LUNA-RESOURS-ORBITER)
GLOBAL ORBITAL STUDIES
OF THE MOON

LUNA-27
(LUNA-RESOURS_LANDER)
STUDIES OF SOUTH POLE
REGOLITH AND EXOSPHERE
(2200/810 KG)

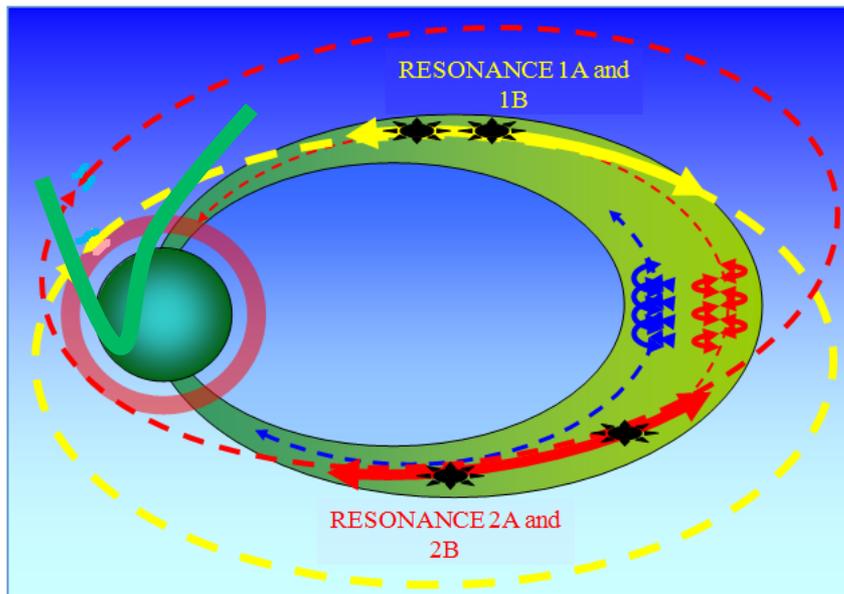


Научные задачи

- Поиск признаков прошлой и настоящей жизни на Марсе.
- Изучение марсианских газовых примесей в атмосфере и их источников.
- Изучение марсианского климата с орбиты и с поверхности.
- Исследование воды и геохимической среды в зависимости от глубины в подповерхностных слоях.

Ответственная сторона	Первый запуск в 2016 г.	Второй запуск в 2020 г. ^[28]
 РОСКОСМОС	Ракета-носитель: Протон-М	Ракета-носитель: Протон-М
	Два научных прибора для орбитального аппарата TGO	Спускаемый аппарат с поверхностной платформой
 esa	Орбитальный аппарат TGO	Марсоход «Экзомарс»
	Демонстрационный десантный модуль «Скиапарелли»	

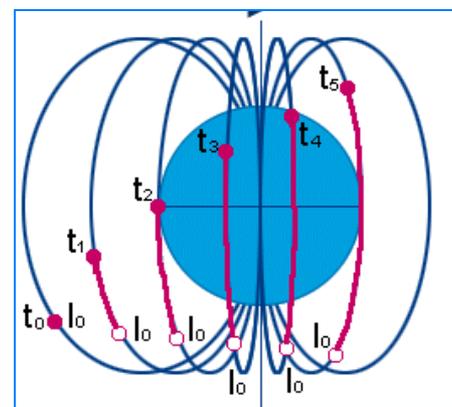
Резонанс (запуск 1-го КА 2023)

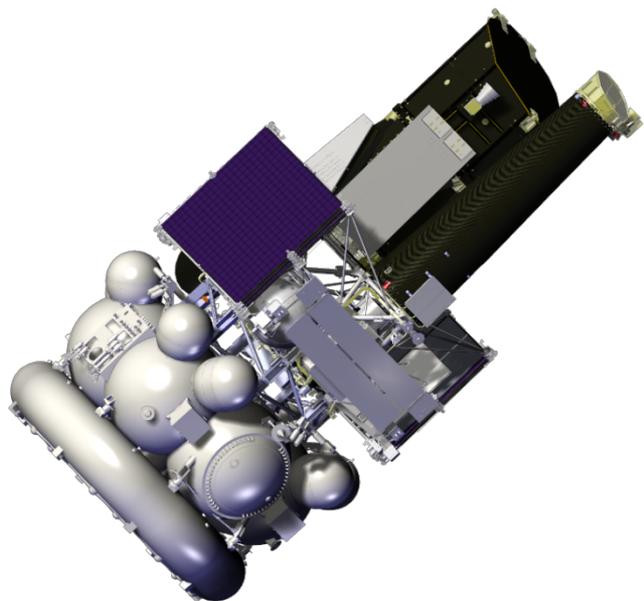


- Период обращения 8 ч
- Апогейное расстояние 27000 км
- Наклонение 63.4°
- Коротация с магнитным полем
- Расстояние в парах: 1-10 км до 100-1000 км
- Масса КА 413 кг

Научные задачи

- Исследования параметров процессов распространения низкочастотных волн в магнитоактивной плазме магнитосферы Земли,
- Изучение механизмов резонансного взаимодействия волн и частиц в ОКП, изучаемых с помощью наземного нагревного коротко-волнового стенда и ИСЗ.





- КНА - рентгеновские телескопы eRosita (0.2 – 12 кэВ) и АРТ-ХС (6-30 кэВ).
- Масса КНА - 1800 кг.
- Рабочая орбита - окрестность точки L2.
- Срок активного существования не менее 7.5 лет.

Научные задачи

- Изучение крупномасштабной структуры Вселенной на основе «инвентаризации» 100 000 скоплений галактик
- Изучение роста и космологической эволюции сверхмассивных черных дыр во Вселенной на основе «инвентаризации» более 3 млн активных галактических ядер.





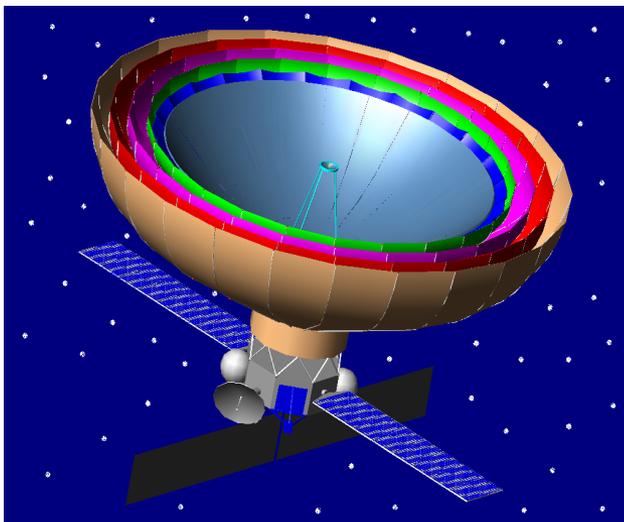
- Обсерватория в УФ-области спектра ($\lambda\lambda$ 115 - 320 нм).
- Главные инструменты - 170 см телескоп (Т-170М) с 3-мя УФ-спектрографами ($R = 1000 - 55000$) и Блок камер поля (разрешение 0,1"). Также в КНА входит гамма-прибор «Конус-УФ».
- Масса КНА – до 1625 кг.
- Орбита – геосинхронная, $i = 40^\circ$.

Научные задачи

- Эволюция Вселенной (история реионизации, поиск скрытых барионов).
- Физика аккреции на компактные объекты (ЧД, НЗ, БК и .т.д.).
- Образование и ранняя эволюция звезд и протопланетных дисков.
- Атмосферы (экзо) планет.

Лунная программа: **Луна-Грунт, Луна Ресурс-2**
Экспедиция-М
Арка
Резонанс (2-й КА)
Миллиметрон
ГАММА-400
ОЛВЭ

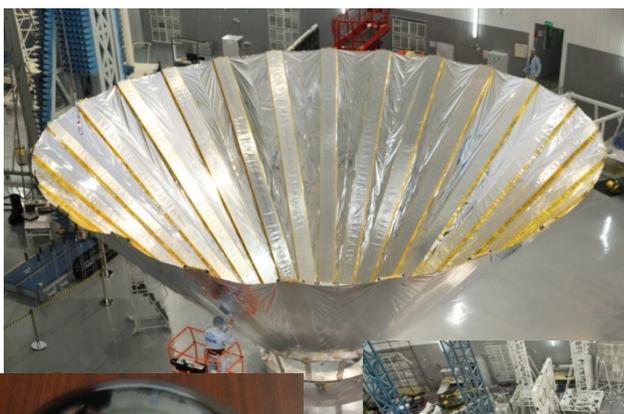
Проект «Миллиметрон»



Режим одиночного телескопа
в полосе 0.02 – 1.4 мм

Режим интерферометра Земля-Космос
в полосе 0.3 – 17 мм.

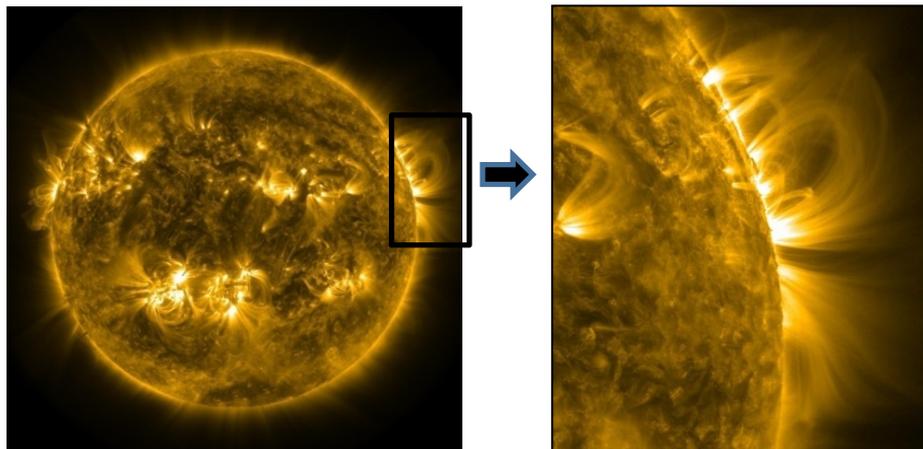
Планируется использовать
РТ-70, плато Суффа,
Узбекистан (см. ранее в
презентации) и
международную сеть.



Наземные радиотелескопы



Арка



- КНА «Арка»: три инструмента: для наблюдения солнечной короны и переходного слоя Солнца в линиях Fe IX 171 Å (телескоп Т1) и He II 304 Å (телескоп Т2), а также телескоп ТХ, строящий изображения полного солнечного диска.
- Масса НА – 130 кг.
- Орбита – высокая

Научные задачи

АРКА - малый КА, предназначенный для получения изображения солнечной короны и переходного слоя Солнца с самым высоким пространственным разрешением, когда-либо полученным в ходе космических солнечных экспериментов - 75 км на пиксель.

Выводы

1. Астрономия в России есть.
2. Мы переживаем общие для отечественной науки и страны в целом проблемы.
3. В ряде направлений астрономических технологий сохраняется существенное отставание от мирового уровня. Этот фактор во многом определяет общий уровень развития российской астрономии.
4. В последнее время делаются некоторые шаги к улучшению. Но нужен системный подход.
5. Обозначилась проблема внеатмосферной астрономии – сокращение финансирования научных проектов в ФКП на ближайшие годы.
6. Что делать?
«Лишь тот достоин счастья и свободы, кто каждый день идет за них на бой» И.В.Гёте

A composite image of space. In the foreground, the curved horizon of Earth is visible with blue oceans and white clouds. In the background, the large, cratered surface of the Moon is prominent. A satellite with solar panels is positioned in the lower right. A bright comet streaks across the dark sky. The text "Спасибо за внимание!" is overlaid in the center.

Спасибо за внимание!