

# Космическая наука: сегодня и завтра

Александр Лутовинов

08.07.2025

## Значение космоса для науки и технологий

Космос является уникальной лабораторией для фундаментальных открытий и технологических инноваций, объединяя в себе астрономию, астрофизику, материаловедение, биологию и сельское хозяйство. Например, на Международной космической станции (МКС) ведутся эксперименты по выращиванию культур, а спутниковые данные используются для мониторинга земных процессов, таких как планирование урожая и наблюдение за пожарами. Космические исследования помогают понять происхождение и эволюцию Вселенной, а также создают новые материалы и технологии, которые находят применение на Земле.

## История и достижения советской космической программы

Советская космическая программа заложила фундамент для современных исследований космоса, включая пилотируемые полеты (первый полет Юрия Гагарина) и автоматические межпланетные станции.

Лунная программа завершилась в 1976 году с миссией "Луна-24" которая доставила на Землю образцы лунного грунта с помощью уникального механизма забора и возврата проб. В 1986 году миссия "Вега-2" успешно исследовала Венеру и сделала уникальные фотографии кометы Галлея с близкого расстояния.

В 1987 году на орбитальной станции "Мир" была запущена рентгеновская обсерватория "Квант" а в 1989 году — обсерватория "Гранат" созданные в международном сотрудничестве с Германией, Нидерландами, Францией и Данией.

Венера считается "русской планетой" из-за успешных советских посадок в экстремальных условиях (температура  $\sim 450^{\circ}\text{C}$ , давление 70 атмосфер, кислота в атмосфере). Единственная цветная фотография поверхности Венеры была сделана в 1982 году.

## Исследования Солнечной системы: Венера, Марс, Луна

**Венера.** Несмотря на экстремальные условия, советские миссии успешно проводили посадки и исследования поверхности. Современный проект "Венера-Д" планирует изучать признаки жизни в облаках планеты, используя орбитальный аппарат, посадочный модуль и аэростатные платформы.

**Марс.** Российские приборы, например, нейтронный детектор ДАН на марсоходе Curiosity (работает с 2011 года), измеряют содержание воды под поверхностным слоем. Миссия "Экзомарс-2016" с российскими приборами на борту исследует атмосферу Марса, в частности, вопрос наличия метана, который не был обнаружен российским прибором, в отличие от американских данных.

**Луна.** После завершения советской программы в 1976 году интерес к Луне снизился. В 2009 году американский орбитальный аппарат LRO с российским прибором обнаружил значительные запасы водяного льда на Южном полюсе Луны (Рис. 1). Российская миссия "Луна-25" (запуск в 2023 году) должна была провести посадку и взять пробы грунта, но завершилась неудачей из-за ошибки при орбитальном маневре. В планах — миссии "Луна-26" (орбитальный аппарат) и посадочные модули "Луна-27А" и "Луна-27Б" для исследования Южного полюса Луны.

## Роль космических телескопов и обсерваторий

Земные телескопы, даже самые большие (6-8 метров, например, Магеллановский телескоп в Чили), ограничены атмосферными и климатическими условиями, которые снижают качество наблюдений (например, атмосферная турбулентность).

Активная оптика и лазерные системы корректируют искажения атмосферы, улучшая качество изображений.

Космические телескопы, такие как "Хаббл" (с 2,4 м зеркало), работают вне атмосферы, обеспечивая в десятки раз лучшее угловое разрешение и чувствительность.

Крупнейший в мире радиотелескоп "Аресибо" (Пуэрто-Рико, 300 м) был разрушен в 2020 году после землетрясения и аварии. Китайский радиотелескоп "FAST" (500 м) успешно функционирует и ведет наблюдения.

Космические радиоинтерферометры, например, российская обсерватория "Радиоастрон" (2011–2019 гг.), продемонстрировали технологии раскрытия больших антенн в космосе и интерферометрии с земными радиотелескопами.

## Рентгеновская астрофизика и открытия

Рентгеновская астрономия началась с запуска первой обсерватории "Uhuru" в 1970 году (Рикардо Джакони — Нобелевский лауреат 2002 г.).

Первая карта рентгеновского неба содержала 339 источников, что показало, что звезды не являются основными рентгеновскими излучателями.

Советские ученые под руководством академика Я. Б. Зельдовича предложили аккреционный механизм — падение вещества на компактные объекты (черные дыры, нейтронные звезды) — как источник мощного рентгеновского излучения.

Аккреция обеспечивает энерговыделение в сотни раз превышающее термоядерные реакции (например: 400 кг вещества, падающего на компактный объект, может обеспечить энергию, равную энергопотреблению всей страны).

Российская обсерватория "Спектр-РГ" (запуск 13 июля 2019 г.) оснащена двумя телескопами: немецким "Эррозит" (мягкий рентген) и российским "Артекс-С" (жесткий рентген). Обсерватория работает в точке Лагранжа L2 (~1,5 млн км от Земли), вращаясь вокруг своей оси с периодом 4 часа, покрывая за полгода всё небо.

Первый обзор "Спектр-РГ" выявил более миллиона рентгеновских источников, включая далекие квазары с черными дырами массой до миллиарда масс Солнца, излучение которых было испущено, когда возраст Вселенной составлял всего 800 млн лет. В центре нашей галактики обнаружены огромные "пузыри" горячего газа, вероятно, связанные с активностью сверхмассивной черной дыры.

## Физика нейтронных звезд и черных дыр

Масса звезды определяет её эволюцию и конечный объект: • Звезды с массой до ~ 8 масс Солнца заканчивают жизнь белыми карликами. • Звезды с массой 8–20 масс Солнца образуют нейтронные звезды. • Звезды с массой более 20 масс Солнца формируют черные дыры.

Нейтронная звезда — компактный объект диаметром 10–15 км с массой около 1,5 масс Солнца, плотность которого превышает ядерную. Внутреннее строение неизвестно, возможно присутствие кварковой материи.

Нейтронные звезды могут вращаться с периодами до 1,5 миллисекунд (600 оборотов в секунду), обладая мощным магнитным полем и испуская пульсирующее излучение (пульсары).

В 1974 году была обнаружена двойная система нейтронных звезд, орбитальный период которой уменьшается из-за излучения гравитационных волн, что подтвердило теорию Эйнштейна (Нобелевская премия 1993 г.).

В 2015 году впервые зарегистрированы гравитационные волны от слияния черных дыр, а в 2017 году — от слияния нейтронных звезд, сопровождавшееся гамма-всплеском и оптическим излучением.

Слияния нейтронных звезд — "фабрика"тяжелых элементов (золото, уран), при этом выбрасывается до 100–200 масс Земли золота.

Остатки сверхновых, например, Грбовидная туманность (взорвалась в 1054 г.), содержат нейтронные звезды и позволяют изучать процессы синтеза тяжелых элементов через гамма-излучение радиоактивного распада (никель → кобальт → железо).

## Гравитационные волны и их наблюдения

Гравитационные волны — колебания пространства-времени, предсказанные общей теорией относительности.

Наблюдения двойных нейтронных звезд подтвердили существование гравитационных волн.

В 2015 году детекторы LIGO впервые зарегистрировали гравитационные волны от слияния черных дыр.

В 2017 году зарегистрировано слияние нейтронных звезд с одновременным гамма-всплеском и оптическим сигналом, что позволило изучить происхождение тяжелых элементов.

Гравитационные волны можно "услышать"как сигнал с меняющейся частотой и амплитудой.

## Современные космические проекты России

Национальный проект "Космос"(2026–2036 гг.) включает федеральный проект "Космическая наука направленный на развитие отечественной космической науки и технологий.

Продолжается развитие рентгеновской астрофизики с обсерваторией "Спектр-РГ"и планами на новые миссии с увеличенной чувствительностью в 50 раз.

Проект "Периметр"— космический радиотелескоп с 10-метровым криогенным зеркалом (охлаждение до 10 K) для снижения шумов, планируется к запуску в 2035 году.

Лунная программа включает миссии "Луна-26"(орбитальный аппарат, 2028 г.) и посадочные модули "Луна-27А"и "Луна-27Б"для исследования полюсов Луны.

Проект "Венера-Д"— комплексная миссия с орбитальным аппаратом, посадочным модулем и аэростатами для изучения атмосферы и поверхности Венеры, включая поиск признаков жизни.

## Научные инструменты и технологии космических обсерваторий

Рентгеновские телескопы требуют особой оптики: отражение рентгеновских лучей происходит под малым углом (около 1–2°), что требует изготовления

параболических и гиперболических зеркал с атомарной гладкостью поверхности.

В России технологии полировки и изготовления таких зеркал были разработаны в городе Саров под руководством Михаила Николаевича Павлинского.

Детекторы рентгеновского излучения космического исполнения создаются в сотрудничестве с Российским федеральным ядерным центром.

Обсерватория "Спектр-РГ" состоит из 7 модулей с 28 вложенными зеркальными оболочками для увеличения эффективной площади сбора фотонов.

Российские приборы успешно интегрируются в международные миссии (например, прибор ДАН на марсоходе Curiosity, приборы на европейских аппаратах "Венера-экспресс" и "Экзомарс-2016"). Разрабатываются специализированные микросхемы для быстрого считывания данных с детекторов, а также чистые помещения для сборки и тестирования приборов.

## **Перспективы развития космической науки и национальные проекты**

Россия планирует оставаться в тройке ведущих космических держав, развивая национальный проект "Космос" с акцентом на рентгеновскую и гамма-астрономию. В ближайшие 15 лет запланированы новые обсерватории с повышенной чувствительностью и расширенным диапазоном наблюдений.

Продолжается развитие технологий космического приборостроения, включая создание новых зеркал, детекторов и микросхем.

Лунная программа и миссии к Венере станут ключевыми направлениями для изучения ближайших планет и спутников. Международное сотрудничество и интеграция российских приборов в зарубежные миссии остаются важным аспектом развития космической науки.