

**Перспективная программа
развития астрономии в России
2022 – 2035 гг.**

2021

Составители:

Астрокосмический центр Физического института им. П.Н.Лебедева РАН
Главная астрономическая обсерватория РАН
Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ
Институт астрономии РАН
Институт космических исследований РАН
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени
Н. В. Пушкова РАН
Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера
Сибирского отделения РАН
Институт прикладной астрономии РАН
Институт прикладной физики РАН
Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН
Институт ядерных исследований РАН
Крымская астрономическая обсерватория РАН
Научный совет ОФН РАН по астрономии
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
Полярный геофизический институт РАН
Специальная астрофизическая обсерватория РАН
Уральский федеральный университет им. Б.Н.Ельцина
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Аннотация

Современная астрономия – одно из наиболее актуальных и быстроразвивающихся направлений научно-технического прогресса человечества. В текущем веке мировая астрономия находится на этапе существенных изменений сложившихся представлений о роли астрономии в жизни человечества. Такие события, как появление представлений о мультивселенных, открытие темной энергии, детектирование гравитационных волн, прямое наблюдательное подтверждение существования сверхмассивных черных дыр, значительный прогресс в астрохимии и астробиологии, открытие тысяч планет вокруг других звезд (экзопланет) – это лишь часть фактов поразительного прогресса в астрономии. Соответствующие достижения отмечены престижнейшими премиями, как международными (включая Нобелевскую), так и российскими (включая Государственную). Астрономия остается глубоко фундаментальной наукой, определяющей и углубляющей наши знания о мироустройстве и не только на больших масштабах. Астрономические методы и космические исследования позволяют исследовать состояния материи и процессы на всех пространственных масштабах во Вселенной, поведении вещества в экстремальных условиях, недостижимых в условиях земных физических и химических лабораторий. С другой стороны в последние годы существенно возросла роль астрономии в решении насущных практических задач. Список таких задач включает: астрономическую поддержку и развитие российского сегмента системы координатно-временного и навигационного обеспечения, астрономическое обеспечение решения задач контроля космического пространства, создание общероссийской и международной системы противодействия космическим угрозам и пр. Решение задач астрономии также тесно связано с наукоёмкими технологиями и стимулирует появление принципиально новых подходов в разработке новейших критических технологий.

В ближайшие десять-пятнадцать лет ожидается существенное ускорение развития наук по изучению космоса, включая астрономию, поскольку, как уже очевидно, они являются важнейшим фактором мирового прогресса и мировой конкуренции, и поэтому ведущие государства вкладывают в их развитие серьёзные средства. В этом контексте важно понимать и сформулировать ключевые направления долгосрочного развития астрономии в России, которые определяют её конкурентоспособность на мировом уровне в ближайшие десятилетия. Перспективная Программа развития астрономии до 2035 года основана на материалах, собранных и обобщённых Научным советом ОФН РВН по астрономии, а также опирается на результаты работы межведомственной рабочей группы экспертов по приоритетам развития наземных астрономических инфраструктурных проектов Российской Федерации на период 2016 } 2025 гг., и на собранных Отделением физических наук РАН планах развития Институтов РАН и ведущих вузов страны. Программа включает в себя анализ уровня текущего состояния астрономии в РФ, перспективы её развития, а также формулировки необходимых шагов по обеспечению международной конкурентоспособности отечественной астрономической науки на основе концентрации ресурсов, системного планирования и координации исследований организаций-участников и организаций-партнёров.

Содержание

1. Введение
2. Текущее состояние астрономии в России
3. Основные задачи и программа развития
 - 3.1. Теоретические фундаментальные исследования
 - 3.2. Космические исследования
 - 3.3. Наземная наблюдательная астрономия
4. Выводы

1. Введение

Культурный и научный успех человечества тесно связан с прогрессом астрономии. Крупнейшие открытия последних лет в астрономии свидетельствуют о её возрастающей роли в жизни нашей цивилизации, как глубоко фундаментальной науки, определяющей и углубляющей наши знания о мироустройстве. Астрономические методы позволяют исследовать состояния материи и процессы на всех пространственных масштабах во Вселенной, поведение вещества в экстремальных условиях, недостижимых в условиях земных лабораторий. По результатам ряда экспертиз, проведённых по поручениям РАН, Минобрнауки и Администрации Президента РФ, в области современной астрономии актуальными остаются и будут оставаться в ближайшее десятилетие следующие направления фундаментальных астрономических исследований:

- Выяснение природы тёмной материи и тёмной энергии; динамической, тепловой, ионизационной и химической эволюции вещества во Вселенной;
- Астрономические аспекты генерации (природы источников) гравитационных волн во Вселенной;
- Исследование физики компактных объектов, обнаружение чёрных дыр различных масс;
- Изучение процессов формирования и эволюции галактик и групп галактик;
- Исследование процессов рождения и эволюции звёзд, физических явлений на активных стадиях эволюции;
- Изучение физических процессов на Солнце и солнечно-земных связях;
- Исследование планет Солнечной системы и их спутников, включая космогонические аспекты;
- Поиск и изучение планет у других звёзд и проявлений жизни во Вселенной.

Астрономия с древних времён развивалась и как глубоко мировоззренческая дисциплина, и как область прикладных знаний, хотя последний аспект не всегда был очевиден для большинства людей. В новейшей истории мы стали свидетелями интенсивного роста в использовании накопленных фундаментальных астрономических знаний в решении насущных практических задач. Спектр применения технологий, появившихся под воздействием астрономии, лежит как в нашей повседневной жизни (навигация, беспроводной интернет), так и в высокотехнологических отраслях. Здесь можно отметить такие критические технологии как

создание высокочувствительных и малозумящих приёмников излучения в различных волновых диапазонах, применение и испытание новейших композитных материалов, разработка и построение космических приборов фундаментального и прикладного назначения, создание перспективных систем автономного навигационного обеспечения космических аппаратов, астрономическое обеспечение задач контроля космического пространства (что имеет особое значение для обеспечения безопасности страны), создание общероссийской и международной системы противодействия космическим угрозам, развитие российского сегмента единой системы координатно-временного и навигационного обеспечения, а также методы вычислительной (астро)физики и работы с большими данными.

Конкретный научный результат определяется синтезом текущих теоретических знаний, инструментальной оснащённости и человеческого ресурса. Поэтому важен комплексный подход к государственному стимулированию астрономических исследований. Здесь выделяются три ключевых направления современной астрономии в РФ – *фундаментальные теоретические исследования, исследования с использованием космических аппаратов и внеатмосферных обсерваторий и астрономические наблюдения с наземной инструментальной инфраструктурой.*

Целями Перспективной Программы развития астрономии до 2035 года являются: формулирование среднесрочных (15-летних) целей и задач астрономических учреждений РФ по разработке и реализации научно-исследовательской программы, развитию интеллектуальных ресурсов и научной инфраструктуры, а также по созданию механизмов программно-целевого планирования.

Основными задачами, поставленными при создании Перспективной Программы развития астрономии до 2035 года являются:

- Разработка скоординированной программы астрономических учреждений РФ по проведению фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований по основным направлениям. Последующие задачи должны решаться в рамках такого согласованного подхода.
- Разработка программ астрономических учреждений РФ по исследованиям космоса на указанную перспективу.
- Разработка программ астрономических учреждений РФ по поддержанию и развитию экспериментальной наблюдательной базы.
- Разработка программ астрономических учреждений РФ по поддержанию высокой квалификации научных сотрудников и развитию кадрового потенциала.

- Разработка программ астрономических учреждений РФ по международному сотрудничеству.

Основными ожидаемыми результатами Перспективной Программы развития астрономии до 2035 года предполагаются:

- получение российскими учёными новых научных знаний об объектах и процессах во Вселенной;
- поднятие международного авторитета российской астрономии, в частности, благодаря улучшению показателей публикационной активности отечественных учёных;
- углубление интеграции отечественной науки в мировой научный процесс, в том числе путем участия в реализации крупных международных проектов;
- существенное повышение кадрового потенциала астрономических учреждений, прежде всего за счёт привлечения талантливой молодёжи (например, привлечения студентов астрономических и физических специальностей ВУЗов РФ для проведения научных исследований);
- решение ряда стоящих перед страной практических задач путём внедрения уникальных разработок из области астрономии;
- создание условий и стимулов для развития высокотехнологического сектора промышленности путём размещения заказов на разработку современного оборудования. Реализация этих проектов, а также космических исследований, неизбежно приведёт к развитию высокотехнологического сектора экономики, высокопроизводительных вычислений и т.н. «BigData», то есть развитию критических технологий.

2. Текущее состояние астрономии в России

Как отмечалось выше, в современной астрономии можно выделить три больших направления – фундаментальные теоретические исследования, исследования с использованием космических аппаратов и внеатмосферных обсерваторий, и астрономические наблюдения с наземной инструментальной инфраструктурой. Несомненно, все эти направления взаимосвязаны, но их уровень развития (в РФ по отношению к мировому) различен, что обуславливает необходимость их отдельного рассмотрения.

2.1 Теоретические фундаментальные исследования

Уровень научных исследований по теоретическим НИР, или по НИР, где доля теоретических работ, включая вычисления на суперкомпьютерах и BigData, традиционно велика и, в прин-

ципе, соответствуют мировому уровню. Связанные с этими направлениями прикладные исследования соответствуют требованиям, предъявляемым заказчиками работ.

Данное направление традиционно было очень сильным в СССР, что и обусловило высокий задел, который, однако, понемногу иссякает. Перечень всех 33-х астрономических учреждений РФ приведён в Таблице «Кадровое и инструментальное обеспечение наземных астрономических и астрофизических исследований в России» (Приложение, в дальнейшем Таблица). Численность персонала, занятого в научных исследованиях, указана в Таблице для каждого крупного учреждения. Общая численность исследователей, согласно этим данным, более 1200 чел., из них с учёной степенью доктора наук более 250 чел., кандидата наук более 450 чел. Пробелы в Таблице относятся к малочисленным астрономическим коллективам, поэтому реальная численность несколько (не более чем на 10%) выше.

В мире работает около 14 тысяч профессиональных астрономов с достаточно высоким международным рейтингом (членов Международного астрономического союза – МАС), примерно четверть из них работает в США. В России членами МАС являются 482 человека (примерно 3 члена МАС на 1 млн. жителей). Доля членов МАС в России не превышает 40% от общего числа астрономов в стране. Для развитых стран характерная пропорция от 7 до 15 членов МАС на 1 млн. жителей, при этом более половины профессиональных астрономов являются членами МАС.

Отметим сравнительно неплохой показатель российских астрономов (членов МАС) по продуктивности научной работы, определяемый здесь как количество публикаций в рецензируемых изданиях на одного члена МАС в год: в России – 2.3, в США – 2.3, Германии – 3.9, Китае – 2.0, Японии – 1.6 (по данным Web of Science по разделу Space Science). По этому показателю Россия не уступает другим странам. Однако общий (по всему астрономическому сообществу страны) уровень публикационной продуктивности нельзя назвать высоким – немного менее одной рецензируемой статьи в год на астронома, в среднем, что и определяет относительно невысокое место (8-е в 2018 г.) РФ в списке количества публикаций (см., Рис.1).



Рис.1. Рейтинг различных стран по количеству публикаций по теме астрономия и астрофизика (по данным SJR/Scopus).

Важный качественный показатель научных исследований – цитируемость научных работ российских астрономов. Согласно Web of Science, количество ссылок на работы российских астрономов, членов МАС, составляет в среднем 8 на одну публикацию за 10 лет. Средняя цитируемость научных работ всех российских астрономов гораздо ниже. Для сравнения – средний показатель для работ авторов из США, Германии, Англии – 21, Японии – 17, Китая – 8. У этого результата есть как объективные (уровень публикаций), так и субъективные (традиции цитирований, относительная слабость российских журналов) причины. Позиция РФ в списке общего количества цитирований астрономических публикаций (19-я в 2018 г.) выглядит удручающе, особенно на фоне понижающегося тренда (см. Рис.2).



Рис.2. Рейтинг различных стран по количеству цитирований публикаций по теме астрономия и астрофизика (по данным SJR/Scopus).

2.2 Космические астрофизические исследования

Современная группировка космических аппаратов, нацеленных на решение фундаментальных физических проблем, насчитывает несколько десятков спутников. Из них обсерваторий или телескопов, предназначенных для решения фундаментальных проблем астрофизики, – более десятка. Большая часть этих аппаратов является проектами американского космического агентства (NASA), несколько – проектами европейского космического агентства (ESA), по 1 } 2 проекта имеют Япония, Индия и Китай. Среди работающих в настоящее время астрофизических космических экспериментов только один - Спектр-РГ - является проектом Российского космического агентства. На некоторых зарубежных космических миссиях установлены российские научные приборы («АЦС» и «ФРЕНД» на КА EchoMars, «Конус» на КА WIND). Российские учёные участвуют также в ряде зарубежных космических миссий: «INTEGRAL» (25% времени), «MAVEN», «ВеруColombo».

Необходимо отметить, что основной прогресс в астрофизических космических экспериментах идёт по четырём направлениям:

а) увеличение размера приёмника излучения – даёт большее количество полезного сигнала;

б) уменьшение шумовой компоненты в приёмнике сигнала – приводит к увеличению отношения сигнал/шум;

в) улучшение углового разрешения инструмента – позволяет получать более детальные и более чувствительные изображения объектов;

г) улучшение спектрального и временного разрешения инструмента – позволяет различать эмиссионные особенности различных элементов, измерять их скорости и т.д.

По всем этим направлениям современные космические астрофизические эксперименты реализуют самые последние технологические достижения. Инструменты достигают размеров 3 } 10 м, с рабочей массой некоторых спутников до 4 } 5 тонн; охлаждаются до низких температур за счёт пассивных и активных систем вплоть до долей кельвинов, в том числе с использованием жидкого гелия и выводом на орбиты вдали от Земли; поверхности зеркал телескопов полируются вплоть до шероховатостей в несколько ангстрем; в качестве приёмников излучения используются инструменты, работающие на различных физических принципах. В РФ работы по этим направлениям также ведутся и их продолжение и интенсификация являются обязательным условием сохранения роли РФ в научном космосе.

Наряду с астрофизическими космическими экспериментами в РФ широкое развитие получило исследование планет, где наряду с задачами освоения широко присутствуют и

фундаментальные исследования. Отметим, что только в Солнечной системе применим мощный арсенал контактных исследований (in situ). В течение последних десятилетий мы стали свидетелями исследований самых отдалённых планет, от Меркурия до Плутона, и многих небесных тел между ними. Были доставлены на Землю образцы примитивного внеземного вещества. К прорывным открытиям последних десятилетий можно отнести исследование внешней Солнечной системы, потрясающей разнообразием планетных тел, среди которых ледяная Европа, геологически-активный Энцелад; Титан с богатой атмосферой и озёрами из жидкого метана, Плутон с азотными ледниками, и др. Оказалось, что многие из этих тел обладают океанами, большими объемами жидкой воды под ледяной корой. Заново открыт Меркурий, активная динамичная планета на внутреннем рубеже Солнечной системы. Как и Луна, Меркурий, вероятно, накопил существенный запасы летучих в постоянно-затенённых полярных зонах. Важнейшие обобщения получены в области палеоклимата планет земной группы, от связи между климатом и тектоникой, вулканизмом и выветриванием, до возможной обитаемости раннего Марса. Достигнут существенный прогресс в понимании механизмов диссипации атмосфер с небесных тел, не обладающих заметным магнитным полем. Открыты органические соединения в космосе и показана их широкая распространённость (в кометах, астероидах и даже в межпланетной пыли). Межпланетные аппараты достигли внешних границ Солнечной системы. К сожалению, большая часть прорывных результатов планетных исследований были получены без участия российских учёных. Разработки как отдельных приборов так и космических миссий, которые были включены в Федеральную космическую программу на период 2016 } 2025 гг (ФКП), казалось, должны были бы вестись в приоритетном порядке, однако те сокращения финансирования ФКП, которые произошли в последние годы, к сожалению, были особенно (непропорционально) велики именно в научном космосе.

Помимо крупных обсерваторий зарубежные страны активно используют Международную космическую станцию для проведения астрофизических исследований (эксперименты NICER, MAXI) и развивают группировки малых спутников (например, NuSTAR, IXPE), направленных как на решение научных задач, так и на отработку отдельных элементов или технологических решений будущих крупных проектов. Российские эксперименты астрофизического направления на борту МКС в последние десять лет практически не проводились, хотя в самое последнее время появилась надежда на реализацию проектов МВН и МВН-2 и ЛИРА-Б (см. раздел 3.3).

Необходимо также отметить все возрастающую роль международного сотрудничества в области астрофизических исследований. С одной стороны все возрастающая сложность и стоимость исследовательской аппаратуры требует для своей реализации объединения усилий

нескольких стран или агентств. С другой стороны открываются новые возможности и способы исследований уникальных явлений во Вселенной. Ярким примером последнего является открытие и последующее интенсивное исследование события слияния нейтронных звёзд, произошедшего в августе 2017 года. В этой работе принимали участие несколько тысяч человек из нескольких десятков обсерваторий (как наземных, так и космических), причём обмен информацией о полученных результатах происходил практически мгновенно, в режиме реального времени, тем самым положив начало новой эре в области астрофизических исследований – multi-messenger astronomy («многоканальной астрономии»).

Резюмируя, можно утверждать, что несмотря на отдельные достижения мирового уровня в области развития технологий космических экспериментов, в целом Российская Федерация значительно уступает в этом аспекте ведущим космическим державам и агентствам.

2.3 Наземные астрономические исследования

Из 33-х указанных в Таблице астрономических учреждений 28 имеют собственную инфраструктуру для проведения наземных астрономических наблюдений. Это телескопы, радиотелескопы, полигоны, специальные аппаратурные комплексы и др., что отмечено в упомянутой Таблице с указанием статуса соответствующего объекта инфраструктуры. Объектов со статусом УНУ (уникальная научная установка) насчитывается 14. Одиннадцать объектов инфраструктуры являются центрами коллективного пользования (ЦКП).

К сожалению, все перечисленные инструменты не являются уникальными. Даже крупнейший российский телескоп БТА САО РАН по своим параметрам уже вышел из 20-ки лучших инструментов мира, хотя в своё время занимал в этом списке 1-ю позицию. Наблюдательная астрономия РФ массово представлена инструментами, созданными в период СССР в соответствии с задачами и техническими возможностями того времени. На сегодняшний день существует несколько крупных обсерваторий, ведущих систематические наблюдения космических объектов по плановым научным программам. Большая часть телескопов } конструкции со сложными эксплуатационными характеристиками и инфраструктурой, эргономические затраты на содержание которых можно минимизировать путём модернизации. Перечень методов исследований, которые можно реализовать на таких инструментах довольно ограничен. Так, в РФ нет методов адаптивной оптики, нет наблюдений в инфракрасном и миллиметровом диапазоне, ограничено использование метода радиоинтерферометрии. А это значит, что РФ не может полноценно участвовать в крупных

международных проектах по ряду направлений исследований } от объектов Солнечной системы до сверхмассивных черных дыр.

В то же время, в мире созданы и успешно работают оптические телескопы с зеркалами диаметром 8–10 метров, большие обзорные телескопы, крупные радиотелескопы, в том числе интерферометры миллиметрового диапазона и т.д. Перспективные прорывные достижения в наземной астрономии планируются с использованием новых мега-установок. Среди них – проект 39-метрового европейского телескопа EELT (European Extremely Large Telescope), радиоинтерферометра ALMA (Atacama Large Millimeter Array), американского сверхширокоугольного 8-метрового телескопа LSST (Large Synoptic Survey Telescope), SKA (радиоинтерферометр собирающей поверхности «квадратный километр») и другие. В России нет собственных инфраструктурных астрономических проектов мегакласса. Россия также не участвует в международных астрономических проектах такого уровня. Стоимость инструментов, перечисленных выше, очень высока, как правило, более 1 млрд. долларов каждый, и даже страны с развитой экономикой не в состоянии реализовать их в одиночку. Поэтому магистральным путём развития мировой астрономии является международная кооперация. Страны, не участвующие в такой кооперации, обречены оставаться «во втором эшелоне», несмотря на наличие собственной развитой структуры астрономических исследований. Если ситуация не изменится, отставание астрономических исследований нашей страны от мирового уровня будет усугубляться.

3. Основные задачи и программа развития

3.1. Теоретические фундаментальные исследования

Теоретические фундаментальные исследования ведутся в тесной кооперации с экспериментальной (наземной и космической) астрономией. Наблюдательная астрономия является поставщиком данных для теоретических работ, и одновременно средством для проверки разработанных моделей и гипотез. Это традиционная схема, у которой есть и несомненные плюсы, но есть и минусы. Дело в том, что теоретические исследования традиционно были хорошо развитыми в СССР и РФ, причём по ряду направлений именно исследования российских астрономов задавали мировой уровень. Однако по мере отставания наблюдательной базы от мирового уровня проявился недостаточный уровень полноты и качества получаемых на отечественных средствах наблюдательных данных, и, как следствие, стало намечаться отставание и в теоретических исследованиях.

Ещё одно важное обстоятельство, которое следует принять во внимание при рассмотрении данного направления, это образование новой дисциплины – вычислительной

астрофизики. Во все времена эксперимент играл исключительную роль в исследовании окружающего мира, причём эксперимент служит одновременно и источником данных об изучаемом явлении и инструментом его изучения. По мере развития человеческого знания область научного исследования непрерывно расширяется. Человек уже пытается анализировать явления, экспериментальное повторение которых в земных условиях невозможно. В частности, абсолютное большинство астрофизических процессов принадлежит именно к такому классу явлений. Поэтому в астрономии у эксперимента сохраняется лишь одна функция – сбор информации об окружающем мире. Тем самым образуется разрыв между физическими теориями (которые дают основу мировоззрения, но лишь в исключительных случаях позволяют исследовать детали конкретного явления, поскольку лишь для ограниченного круга задач возможно строгое аналитическое решение) и все возрастающим объёмом наблюдательных данных об окружающем мире. Заполнить разрыв между теоретическими знаниями и экспериментальными данными может «вычислительный эксперимент», роль которого существенно выросла в последнее время в связи с бурным развитием вычислительной техники. Вычислительный эксперимент, опираясь на теоретическое описание физического процесса, может воспроизводить (и даже предсказывать) картину явления. В дальнейшем, сравнивая численный результат с экспериментальными данными, можно получить дополнительную информацию об исследуемых физических процессах, и, следовательно, уточнить исходную теорию. Тем самым вычислительный эксперимент выполняет большинство функций настоящего (традиционного) эксперимента – инструмента познания мира, и, соответственно, является необходимым элементом в развитии данного направления.

Таким образом, при анализе направления «Теоретические фундаментальные исследования» следует рассматривать не только ключевой фактор развития теоретических исследований – творческий человеческий потенциал, но и уровень развития вычислительного эксперимента и перспективы наблюдательной астрономии в РФ.

В части кадрового потенциала основными задачами по обеспечению высокого уровня астрономических исследований в ближайшей перспективе являются:

- сохранение и приумножение имеющихся научных школ;
- повышение качества послевузовского образования (аспирантура, докторантура), подготовка молодых специалистов на уровне, соответствующем мировому;
- инвентаризация оттока энергичных талантливых исследователей;
- повышение мобильности российских учёных, степени представления их работ на международных научных симпозиумах, конференциях и рабочих встречах;

- обеспечение свободного доступа к публикациям в основных международных астрономических журналах, создание механизма поддержки публикаций российских учёных в ведущих мировых изданиях с платным доступом;
- привлечение ведущих специалистов РФ и зарубежных для организации/поддержания прорывных направлений в астрономии;
- привлечение студентов астрономических специальностей ВУЗов РФ для проведения научных исследований, начиная с уровня магистратуры;
- создание профессиональных пресс-служб для популяризации работ российских астрономов.

Основным механизмом реализации этой части программы, несомненно, является ежедневная кропотливая работа с исследователями во всех астрономических учреждениях РФ. Однако, стоит отметить и огромную роль государства в организации этой работы. В первую очередь, это касается регламентации вышеперечисленных мероприятий, кроме того государство активно поддерживает отдельные направления исследований, так российские астрономы, участвующие в исследованиях экзопланет, с 2020 г. объединены в рамках Программы «Теоретические и экспериментальные исследования формирования и эволюции внесолнечных планетных систем и характеристик экзопланет» (соглашение с Минобрнауки № 075-15-2020-780, руководитель акад. Л.М. Зеленый), предпринимает шаги в рамках национального проекта «Наука» по обновлению приборной базы. Вместе с тем, отчетливо просматриваются и необходимые дальнейшие шаги со стороны государства по поддержке астрономических исследований в России. К таким шагам, в частности, относятся и меры по обеспечению ритмичного финансирования уже идущих проектов, и возможное решение о реализации одного из предложенных в данном документе (см. раздел 3) проекта мегакласса в астрономии. Кроме того, представляется целесообразным принятие решения о создании Центра прорывных исследований в астрономии. Подобный Центр необходим для создания и развития имеющихся научных школ, и может быть реализован в виде распределённой структуры, где в каждом институте или университете, участвующих в работе Центра, будет выделено прорывное направление, поддерживаемое и государством и всеми остальными участниками Центра. Такой подход позволит проводить развитие традиционных направлений опережающими темпами, а также создаст возможности для создания новых прорывных тематик мирового уровня, не нанося ущерба учреждениям – участникам Центра.

Нужно отметить, что вышеприведенные соображения о развитии кадрового потенциала относятся ко всем направлениям астрономии и должны учитываться при разработке планов развития всей астрономии в целом.

В части развития вычислительного эксперимента в астрофизике следует отметить, что кроме очевидной необходимости в доступе к высокопроизводительным компьютерам, необходимо дальнейшее развитие тесной кооперации между астрономическими и математическими институтами. Это позволит сделать следующий шаг в направлении развития вычислительной астрофизики, а также использовать высокий уровень развития прикладной математики в РФ. Следует отметить, что сотрудничество с математическими институтами существует, и именно оно определило высокие позиции РФ в области вычислительной астрофизики.

В части развития наблюдательной астрономии следует отметить довольно большое количество имеющихся проблем (см. разделы 2.2 и 2.3), которые объективно не позволяют выйти даже в теоретических исследованиях на передовые позиции. Намеченные пути развития инструментальной базы (см. следующие разделы), в случае их успешной реализации, позволят сгладить имеющийся разрыв и продвинуть развитие астрономии в РФ ближе к позициям ведущих стран.

3.2. Космические исследования

Программа космических исследований в РФ осуществляется в рамках Федеральной космической программы 2016 – 2025 гг. (ФКП). Более того и на последующие за этим годы приоритеты также, в основном, расставлены, так как основная часть космических миссий запланированных к пуску в до 2030 г. уже находится в стадии ОКР и финансируется из текущей ФКП.

3.2.1 Внеатмосферная астрономия

Приоритетами программы внеатмосферной астрономии рамках текущей ФКП-2025 в России является завершение программы «Спектр» – успешная реализация проекта «Спектр-РГ» создание и выведение на орбиту обсерваторий «Спектр-УФ» (2025 год) и «Спектр-М» (2030 год):

- Проект «Спектр-РГ» (Спектр- рентген-гамма) предназначен для проведения обзора всей небесной сферы в рентгеновском диапазоне энергий 0,3–11 кэВ с высокими чувствительностью, угловым и энергетическим разрешением. Обсерватория «Спектр-РГ» включает два уникальных рентгеновских зеркальных телескопа: ART-XC (Россия) и eROSITA (Германия), работающих по принципу рентгеновской оптики косого падения. «Спектр-РГ» запущен 13 июля 2019 г., успешно работает, его научная программа рассчитана до конца 2025 г., но научная общественность надеется на успешную работу и за пределами 2025 г.
- Проект «Спектр-УФ» (международное название «Всемирная космическая обсерватория – ультрафиолет») – российско-испанская многоцелевая обсерватория для проведения спектроскопических наблюдений небесных объектов с высоким (разрешающая сила 50000) и низким (разрешающая сила 1000) спектральным разрешением, а также для получения изображений небесных объектов с высоким пространственным разрешением (0.1 угл.сек.) в ультрафиолетовой области спектра 115–300 нм. По своим характеристикам проект превосходит Космический телескоп имени Хаббла (НАСА). В период 2025 – 2035 гг. «Спектр-УФ» будет единственным крупным орбитальным телескопом в мире, работающим в УФ области спектра. Основным инструментом обсерватории является телескоп с диаметром главного зеркала 1.7 м, собирающий свет от небесных объектов для блока спектрографов и блока камер поля. Базовая научная программа проекта включает в себя исследования диффузной барионной составляющей Вселенной, физика аккреции, исследование планет Солнечной системы и атмосфер экзопланет. Запуск обсерватории назначен на 2025 год.
- Космическая обсерватория «Миллиметрон» (проект «Спектр-М») с космическим телескопом с диаметром главного зеркала 10 м предназначена для исследования различных объектов Вселенной в миллиметровом, субмиллиметровом и дальнем инфракрасном диапазонах спектра, как с ультравысокой чувствительностью (режим одиночного телескопа), так и со сверхвысоким угловым разрешением (в режиме интерферометра) – до 30 наносекунд дуги. Ключевые научные задачи обсерватории «Миллиметрон» – получение уникальной информации о глобальной структуре Вселенной, о строении и эволюции галактик, их ядер, звёзд и планетных систем, а

также об органических соединениях в космосе, объектах со сверхсильными гравитационными и электромагнитными полями. Запуск обсерватории планируется в 2030 году.

Кроме того, в рамках текущей ФКП запланирована реализация трех астрофизических экспериментов на МКС: МВН, МВН М-2 и ЛИРА-Б:

- Комплекс научной аппаратуры (КНА) МВН «Монитор всего неба» предназначен для высокоточного измерения космического рентгеновского фона. С помощью КНА МВН будет также осуществляться исследование характеристик новых рентгеновских детекторов.
- В процессе подготовки и проведения эксперимента МВН М-2 должны быть решены актуальные фундаментальные задачи астрофизики, ядерной физики, теории гравитации и физики плазмы, а также прикладные задачи по отработке элементов автономной навигации космических аппаратов по сигналам рентгеновских пульсаров. Реализация научной аппаратуры позволит освоить технологию создания рентгеновских детекторов с рекордными характеристиками.
- Реализации космического эксперимента «Лири-Б» позволит получить данные многополосной высокоточной фотометрии звезд всего неба, основным результатом будет большой ряд однородных наблюдений более 400 миллионов звезд.

Среди будущих космических миссий, запуски которых запланированы до 2030 г. нужно отметить и «Гамма-400», хотя запланированный гамма-телескопа уже морально устарел и большинство его научных задач решены американской обсерваторией Fermi, работающей на орбите с 2008 года, и китайской обсерваторией DAMPE, выведенной на орбиту в 2015 году:

- Космическая обсерватория «Гамма-400» предназначена для исследования гамма-излучения в диапазоне высоких энергий (0.1-3000 ГэВ) для обеспечения решения следующих научных задач: регистрация космического высокоэнергичного гамма-излучения; поиск особенностей в энергетических спектрах высокоэнергичного гамма-излучения от дискретных и протяженных источников и электрон-позитронной компоненты, которые могут быть связаны с частицами «темной материи»; регистрация высокоэнергичного гамма-излучения от переменных дискретных источников с целью выяснения природы ускорительных процессов элементарных частиц в этих источниках. В состав КНА обсерватории «Гамма-400» планируется включить

рентгеновский телескоп, аналогичный по характеристикам телескопу «ART-XC» проекта «Спектр-РГ».

Среди проектов, которые находятся на стадии НИР и могут рассматриваться в качестве кандидатов для включения в следующую ФКП до 2035 г., следует отметить проект «АСТРОН-2» и участие в международных проектах, например в обсуждаемом в последнее время проекте гравитационно-волновой обсерватории «TianQin» (Китай):

- Научная аппаратура «Астрон-2» включает в себя широкоугольный телескоп с апертурой 2 м и полем зрения 2 градуса и кластер малых широкоугольных телескопов из 6 шт. апертурой 0.5 м и полем зрения 10 градусов у каждого для проведения всенебесного спектрального и фотометрического обзора в ультрафиолетовой области спектра 115}300 нм. По своим параметрам космическая обсерватория «Астрон-2» существенно превзойдет космический эксперимент GALEX.
- TianQin } проект нового космического детектора гравитационных волн в миллигерцовом диапазоне частот. Космический детектор должен быть реализован на трех идентичных космических аппаратах, размещенных на почти идентичных геоцентрических орбитах с большой полуосью порядка 100 тыс. км и формирующих почти равносторонний треугольник. Главная научная цель миссии — обнаружение гравитационного излучения от известного источника. Кроме того, предполагается исследование гравитационного поля Земли с высоким пространственным и временным разрешением. Участие в данном проекте России может быть рекомендовано только после подтверждения полноценного финансирования проекта TianQin в Китае, т.к. в Китае одновременно ведутся работы по аналогичному проекту Taiji; выбор одного из этих проектов для продолжения работ над ним будет сделан Китайской академией наук на более поздних этапах.

3.2.2 Исследования планет и малых тел Солнечной системы

В исследованиях планет уже реализуются и/или планируются следующие миссии:

Основные космические проекты:

- ЭкзоМарс 2016, 2022 – комплексное исследование атмосферы, климата, обитаемости Марса;
- Луна 25, 26, 27 и т.д. – комплексное исследование Луны и её полярных областей; исследования межпланетной среды;
- Бумеранг (2028) – возврат вещества Фобоса;
- Венера-Д (2031) – комплексное исследование Венеры.

Есть также ряд перспективных проектов, которые пока прорабатываются на уровне НИР, например, проект СОДА (Система обнаружения дневных астероидов), Лунный радиотелескоп и т.д.

Участие в проектах:

- MAVEN (NASA с 2013) процессы диссипации атмосферы Марса;
- Бепи Колombo (ESA } JAXA 2016) комплексные исследования Меркурия;
- JUICE (ESA 2022) комплексные исследования Юпитера и его спутников.

Намечаются определенные перспективы международного сотрудничества по ряду проектов, таких как:

- Индийский спутник Венеры (2024);
- Международный проект Mars Sample Return (2026+);
- Международный проект Interstellar Probe.

Реализация запланированной программы планетных исследований имеет несомненный фундаментальный характер и, частности, позволит ответить на целый ряд актуальных для планетной астрономии вопросов.

3.2.3 Исследования Солнца и солнечно-земной физики

В исследованиях Солнца и солнечно-земных связей в рамках текущей ФКП отмечается определенный отход от ранее намеченных к исполнению проектов. Так проекты «Интергелиозод», «Арка», «Резонанс» сдвинуты по датам запуска за пределы ФКП.

В целом, практически все проекты ФКП в части фундаментальных космических исследований (ФКИ) характеризуются неприемлемо длинными сроками их реализации (десятки лет). За такой период часть проектов или инструментов может утратить свою научную значимость и должны быть закрыты или переформатированы под другие задачи.

В первую очередь существующие проблемы связаны с: 1) ограниченным, нестабильным и постоянно снижающимся финансированием; 2) отсутствием в России необходимых компетенций для создания передовых образцов сложной измерительной аппаратуры; 3) отсутствием глубокой проработки возможности технической реализации проекта на этапе НИР; 4) чрезвычайной бюрократизированностью всех работ, а также выполнением их в рамках Гособоронзаказа, что подразумевает контроль военной приемки; 5) отсутствием прозрачной системы конкурсного отбора проектов. Помимо вышеперечисленных сложностей, в последние годы заметное влияние на задержки с

изготовлением аппаратуры оказывают внешние санкции, в первую очередь в части приобретения необходимой элементной базы.

В качестве неотложных мер по улучшению ситуации с космическими исследованиями в области внеатмосферной и планетной астрономии представляется целесообразным предпринять следующие шаги:

- сконцентрировать усилия и средства на реализации проектов, пуск которых запланирован в рамках ФКП2025 (Спектр-УФ, ЭкзоМарс-2022, Луна);
- провести аудит программы ФКИ в части непусковых проектов как на текущий цикл, так и до 2035 года. Рассмотреть в рамках Совета по космосу РАН научные цели, финансы, техническую реализуемость и принять решение о продолжении работ/закрытии бесперспективных проектов;
- поднять вопрос о выделении с 2022 года значительных средств (порядка 1-2 млрд. рублей) на конкурсное финансирование НИОКР нескольких потенциально реализуемых предложений с целью отбора 1-2 крупных проекта, которые могли бы быть профинансированы и реализуемы до 2035 г.;
- поднять вопрос о передаче контролирующих функций от военной приёмки к службам качества организаций-изготовителей исследовательской аппаратуры;
- предпринять шаги по запуску программы финансирования и реализации малых аппаратов целью более оперативного решения научных задач и отработки технологических решений;
- предпринять шаги по созданию в России и поддержке архива всех космических данных астрофизических экспериментов (аналог HEASARC/NASA), разработки и создания инструментов распределённой работы со сверхбольшими данными в астрофизике;
- предпринять шаги по активизации и поддержке участия российских организаций в международных проектах и кооперациях в части разработки и изготовления инструментов и отдельных узлов для планируемых обсерваторий.

3.3. Наземная наблюдательная астрономия

В этой части программы не будут рассматриваться проекты, решения о финансировании которых были уже приняты органами исполнительной власти. В частности, это касается мегапроекта «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН» (головная организация – ФГБУН Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук), компонент которого имеет астрономическую направленность, а также

проекта 70-метрового радиотелескопа на плато Суффа (головная организация – ФГБУН Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН).

Согласно рекомендациям межведомственной рабочей группы экспертов по приоритетам развития наземных астрономических инфраструктурных проектов Российской Федерации на период 2016}2025 гг., подтверждённых планами развития институтов и университетов, ведущих астрономические исследования, необходимые шаги по совершенствованию наземной экспериментальной базы сгруппированы в 3 разделах: Международные мега-проекты, Российские мега-проекты, и Российские проекты среднего класса. В каждом из разделов проекты расставлены в соответствии с их приоритетом.

3.3.1 Международные мега-проекты

3.3.1.1. Участие в Европейской Южной Обсерватории

Общие сведения.

Европейская южная обсерватория (ЕЮО, ESO – European Southern Observatory) – самая современная и крупнейшая в мире международная организация для астрономических исследований, создана в 1962. Кроме фундаментальных исследований, в задачи обсерватории входит разработка и создание новых телескопов и обсерваторий для европейских астрономов. В настоящее время в ЕЮО входят 15 стран Европы. Каждая страна-участник платит вступительный и ежегодный взносы, размеры которых определяются совокупным валовым продуктом государства. Наблюдательное время на телескопах обсерватории распределяется научными комитетами с учётом доли в фонде ЕЮО. Программный комитет ежегодно рассматривает более 2000 научных заявок на все инструменты ЕЮО. Головной офис ЕЮО находится в г. Гархинг под Мюнхеном, Германия, а наблюдения на телескопах ведутся по мировой сети прямо из европейских институтов и университетов.

ЕЮО располагает тремя наблюдательными обсерваториями в высокогорных районах Анд, Чили, с лучшим в мире астрономическим климатом. Основные ресурсы ЕЮО базируются на г. Паранал (2600 м) в северной части Чили. Этот уникальный район является самым сухим на земном шаре. На пике установлен самый необычный астрономический инструмент современности – группа из четырёх телескопов VLT (Very Large Telescope) с тонкими зеркалами диаметром 8.2 м, построенными на основе самых современных технологий. Телескопы VLT способны работать как отдельно, так и как единый интерферометрический комплекс. Достигаемое с их помощью угловое разрешение соответствует телескопу с зеркалом более 100 м, что в десятки раз выше разрешения Космического телескопа Хаббла.

Крупнейшим проектом ЕЮО текущего десятилетия является решетка телескопов миллиметрового диапазона Atacama Large Millimeter Array (ALMA), состоящая из 66 антенн диаметром 12 м и 7 м, расположенных на базе в 16 км. Отдельные телескопы объединены в сеть, которая представляет собой по сути один гигантский телескоп, изучающий небо в атмосферном окне прозрачности от 0.3 мм до 10 мм. Сооружение ALMA начато в 2003 году на высокогорном (5000 м) чилийском плато в пустыне Атакама и завершено в 2013 году. Партнерами проекта являются Европа, Япония и Северная Америка. Стоимость проекта – более 1 млрд. евро. Этот телескоп позволит изучать холодную Вселенную – реликтовое излучение Большого Взрыва, молекулярный газ и пыль, которые являются кирпичиками при формировании галактик, звёзд и планетных систем.

Третьим мега-проектом ЕЮО является строительство экстремально большого оптического телескопа будущего поколения E-ELT (European Extremely Large Telescope) с составным зеркалом диаметром 39 м. Зеркало общей площадью 1100 м² будет состоять из 800 отдельных сегментов, а его адаптивная оптика позволит исправлять искажения светового фронта в земной атмосфере. Строительство телескопа началось в 2012 г., а первый свет он должен увидеть в 2022 году. Стоимость E-ELT оценивается сейчас в 1.1 млрд. евро с последующим годовым обслуживанием в 50 млн. евро. Телескоп создаётся для решения фундаментальных проблем естествознания: как образовались первые звезды и галактики, и одиноки ли мы во Вселенной?

Членство в Европейской южной обсерватории.

В соответствии с принятой в ЕЮО практикой, вступительный и ежегодный взносы стран-участников консорциума определяются из размера внутреннего валового продукта за предыдущие 3 года. С учётом опубликованных данных о валовом продукте за последние годы, в случае принятия решения о вступлении России в ЕЮО, наша доля в общем бюджете организации составит примерно 9.8%. В денежном выражении вступительный взнос России составит 120 млн. евро, а ежегодный взнос – 13.6 млн. евро.

Такое расходование средств представляется наиболее оптимальным с точки зрения эффективности их использования: сразу после осуществления первого взноса российские учёные получают доступ к уже работающим инструментам ЕЮО (квота времени – около 10%), а после ввода в строй телескопа E-ELT он также станет инструментом общего пользования.

Что даёт России вступление в Европейскую южную обсерваторию?

С момента вступления в ЕЮО Россия получит доступ ко всем уже функционирующим астрономическим инструментам. Представители России войдут в Совет ЕЮО и будут

участвовать в формировании научной и финансовой стратегии организации. Основные преимущества от вступления России в ЕЮО состоят в следующем:

1. Получение отечественными астрономами наблюдательного времени на всех инструментах ЕЮО в Южном полушарии. Квота времени составит около 10%, пропорционально вложению средств.

2. Возможность для российских учёных участвовать в решении самых актуальных задач современной науки. Участие в Совете ЕЮО позволит на десятилетия вперёд формировать научную стратегию в области мировых астрофизических исследований.

3. Доступ к самым передовым технологиям в следующих областях:

- оптическое приборостроение,
- прецизионные механизмы и системы, работающие с нм- точностями,
- формирование изображений при наблюдениях сквозь турбулентную среду,
- новые волоконные лазеры высокой мощности,
- детекторы излучения с предельной чувствительностью в видимом, инфракрасном и мм- диапазонах излучения,
- спецпроцессоры и суперкомпьютеры для обработки изображений,
- системы хранения времени и архивирования больших объёмов данных.

4. Включение нашей оптико-механической промышленности в работы по созданию крупнейших в мире инструментов.

5. Позиции в ЕЮО для молодых ученых и аспирантов – формирование научных кадров на десятилетия вперед.

6. Возможность для наших специалистов занять до 10% научных и технических позиций в обсерваториях и технических центрах ЕЮО.

В ряде технических задач Россия может быть равноправным партнером и соисполнителем, в других – ценным будет заимствование и перенос современных высоких технологий в нашу промышленность. Весь опыт развития наблюдательной астрономической базы свидетельствует, что именно задачи, формулируемые астрономами, во многом задавали направления развития многих существующих технологий, широко применяемых и в технике, и в быту. Приём России в ЕЮО не только существенно расширит доступ нашим учёным к самой мощной астрономической наблюдательной инфраструктуре, но и будет способствовать более углублённым совместным исследованиям с ведущими институтами Европы, также пользующимися ресурсами ЕЮО. Предлагаемое решение будет носить и общекультурную значимость – участие российских учёных в самых передовых научных проектах, решаемых на лучших астрономических инструментах, повысит интерес общества к науке в целом и к задачам, ищущим ответы на глубинные вопросы мироздания. Более интенсивный научный

обмен также усилит взаимно обогащающее проникновение культур России и стран Запада. Вступление нашей страны в ЕЮО будет способствовать улучшению образа России в глазах мировой общественности, как страны, на равных участвующей в мировом научно-техническом прогрессе, заинтересованной в развитии фундаментальной науки. Пока примеров такого тесного научно-технического взаимодействия у нас не так много, но магистральный путь развития мировой науки может быть успешным только при условии тесных интеграционных отношений.

3.3.1.2. Участие в проекте телескопа размером квадратный километр

Вступление в SKA в качестве полного члена рекомендуется только при условии и после положительного решения вопроса приоритета 1 – вступление в Европейскую южную обсерваторию. SKA является очевидным будущим экспериментальной наземной радиоастрономии, с потенциалом не только на прорывные научные исследования, но и на уникальные технические разработки, в которых Россия сможет участвовать. Вторым приоритет определяется 1) современным статусом проекта: завершение строительства ожидается через 10-15 лет и 2) тем фактом, что «займёт работой» меньший процент экспериментаторов в стране (только радиоастрономия), чем инструменты ESO.

Общие сведения.

Проект Square Kilometer Array (SKA) – это международный проект по созданию гигантского радиотелескопа с общей собирающей площадью около одного квадратного километра. Предполагается, что по чувствительности этот радиотелескоп будет превосходить существующие сегодня инструменты в десятки (или даже в сотню) раз. Ещё более значительный скачок должен быть достигнут в плане информативности радиотелескопа за счет использования самых современных компьютерных технологий.

SKA будет состоять из тысяч небольших элементов – радиодетекторов, сигналы которых будут совместно обрабатываться гигантским суперкомпьютером. Эти телескопы будут расположены друг от друга на расстояниях от десятков метров до более чем 3 тысяч километров.

Стоимость такого радиотелескопа оценивается в 3-5 млрд. евро.

Место расположения SKA: Австралия и Новая Зеландия, ЮАР и другие страны Африки.

Строительство телескопа будет разбито на две фазы. Первая фаза (SKA1 – введение в строй примерно 10% собирающей поверхности), которая будет завершена к 2023 г., обеспечит получение первых научных результатов на уникальном радиотелескопе нового

поколения. Вторая фаза создания радиотелескопа (SKA2 – 100% готовность телескопа) будет завершена к 2030 г.

Организация института SKA и международного консорциума SKA.

В апреле 2011 г. в Риме представители национальных правительств и исследовательских институтов девяти стран подписали Декларацию о намерениях. Список стран: Австралия, Китай, Франция, Германия, Италия, Нидерланды, Новая Зеландия, Южная Африка, Великобритания. В декларации утверждается о совместном намерении построить SKA, а также договорённость о работе по привлечению финансирования, необходимого для осуществления следующей фазы проекта. Организована «SKA Organization», которая занимается координацией работ по разработке и созданию телескопа (см. подробности по адресу <http://www.skatelescope.org/>).

О целесообразности участия России в проекте SKA.

Целесообразность участия России в SKA неоднократно обсуждалась российским научным сообществом, в частности, на последней Всероссийской астрономической конференции и на заседаниях Совета по астрономии РАН. Совет выразил полную поддержку и подтвердил высокую важность вхождения России в SKA. Участие России в проекте SKA будет способствовать её интеграции с наиболее развитыми странами мира в плане развития передовых технологий и научных исследований. Оно представляется важным и по политическим соображениям. Действительно, такое участие обеспечит:

- Вложение средств в собственные высоко-технологические компании для разработки новых технологий и массового производства компонентов телескопа (от производства антенн до разработки программных средств обработки громадных потоков данных). Возможность получения контрактов на поставку изделий и комплектующих для российских производственных компаний в случае членства России в SKA.
- Подготовку российских научных и инженерных кадров путём их участия в создании и работе SKA.
- Повышение международного статуса страны, ведущей передовые инновационные научно-исследовательские разработки. Достижение целей по сближению со странами – партнёрами России в политических блоках (например, БРИКС).
- Гарантию ведущих позиций отечественной радиоастрономии в 2020-е гг. Отметим, например, тот факт, что SKA выбран Европейским сообществом в качестве одного из двух наиболее приоритетных астрономических проектов Европейского сообщества. Это также проект наивысшего приоритета в астрономии Австралии и ЮАР.

О возможности участия России в SKA.

Россия неоднократно получала приглашения к участию в SKA как со стороны своих коллег в ЮАР и Австралии, так и со стороны самой SKA Organization. В случае участия России в SKA, ее финансовый вклад – это часть будущих договорённостей. Основываясь на примере планов других стран – членов учредительного совета SKA, от России ожидают участие на уровне 1-5 млн. евро в год в течение ближайших нескольких лет при полной сумме на уровне 100 млн. евро.

3.3.2. Российские мега проекты

3.3.2.1. Проект 4-м широкопольного оптического телескопа

Проект предполагает создание широкопольного оптического телескопа с 4-м главным зеркалом для работы в оптическом и инфракрасном диапазонах.

В мировой астрономии, наряду со строительством телескопов нового поколения (39-м телескоп ESO, 24.5-м GMT и т.д), большое внимание уделяется и инструментам 2-4-м класса с большим полем зрения. Аналогом предлагаемого проекта во многом является 4.1-м телескоп VISTA Европейской Южной Обсерватории, предназначенный для оптических и инфракрасных обзоров неба, работающий с 2009 г. Но он не является прямым конкурентом данного проекта, так как работает в южной полусфере. Важно отметить, что шлифовка главного 4.1-м зеркала VISTA, а также полировка вторичного зеркала выполнялась на Лыткаринском заводе оптического стекла (ЛЗОС), т. е. у российской промышленности имеются соответствующие технологии.

Список научных задач, которые можно будет решать при помощи такого обзора, является очень широким. Одной из основных задач 4-м телескопа должен стать обзор значительной части неба в среднеполосных фильтрах глубиной до 24 звездной величины (сигнал/шум = 5). Одной из основных задач 4-м телескопа должен стать обзор значительной части неба в среднеполосных фильтрах глубиной до 24 зв. величины (сигнал/шум = 5). Такой обзор не предполагается делать на существующих и строящихся широкоугольных телескопах, таких как SDSS, Pan-STARRS, VST, VISTA, Subaru-HSC. Единственным обзором с сопоставимыми характеристиками является обзор J-PAS, который готовится в настоящее время на 2.5-м телескопе (Обсерватория Javalambre, Испания). Однако, он имеет меньшую глубину (до 22.5 зв. величины), покрывает ограниченный диапазон длин волн (400 – 850 нм), не предполагает наблюдений в ИК-диапазоне и не имеет спектральной поддержки.

Список научных задач, которые можно будет решать при помощи такого обзора, является очень широким. Предполагается, что результаты этого обзора будут востребованы практически всеми научными группами в образовательных и академических учреждениях Российской Федерации, чья деятельность связана с астрономией и наблюдательной астрофизикой. Данные, полученные в таком обзоре, будут сохранять свою научную ценность длительное время. Поэтому предполагается, что впоследствии будет организован открытый доступ к данным этого обзора для научных групп во всем мире, что улучшит качество использования этих данных.

У расположенного в России 4-м широкоугольного телескопа нет конкурентов из-за географического положения (большинство средних и крупных телескопов сейчас в южном полушарии) и комплекта наблюдательного оборудования. Это критически важно, в том числе, и для задач наземной поддержки российских космических миссий. Слоановский 2.5-м телескоп (Обсерватория Апачи Пойнт, США), на котором выполнена целая серия широкополосных фотометрических (до 21.5-22.0 зв. величины) и спектральных (до 17.5 -19.0 зв. величины) обзоров (SDSS, BOSS), не является конкурентом 4-м телескопу, а будет дополнять его данные со стороны ярких объектов.

Общая стоимость проекта оценена на уровне 4 млрд. руб., эксплуатации: 100 млн. руб. в год. В целом, этот проект нашел максимальную поддержку среди организаций – составителей Программы в части российских мега-проектов.

3.3.2.2. Проект 8-метрового телескопа

Среди астрономов наблюдателей широкую поддержку получила идея о замене 6-метрового толстого зеркала БТА на 8-метровое тонкое с системой адаптации. Комбинация современного 8-метрового телескопа с 4-метровым широкопольным телескопом позволит реализовать целый ряд актуальных астрономических задач. В качестве возможного варианта рассматривается двойной (спаренный) 8-метровый телескоп, что при незначительном увеличении проекта позволит заметно увеличить эффективность телескопов.

3.3.2.3. Эльбрусская гамма-обсерватория

В последние годы гамма-астрономия стала самым динамично развивающимся направлением астрофизики элементарных частиц и физики высоких энергий. Настоящий прорыв в исследовании высокоэнергичного гамма-излучения был достигнут в последние 10 - 20 лет с помощью черенковских гамма - телескопов третьего поколения: H.E.S.S., MAGIC, VERITAS, включающих в себя 2 – 5 т.н. Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope (IACT), распределен-

ных на площади порядка 0,01 км². Эти установки ориентированы на исследование потоков гамма-квантов в энергетическом диапазоне 50 ГэВ – 50 ТэВ.

Проект предполагает создание отечественной гамма-обсерватории нового поколения, определяющей мировой уровень исследований в этой области. Такой проект может быть реализован в Приэльбрусье, с использованием инфраструктуры и кадрового потенциала Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ и Терскольского филиала ИНАСАН (проект «ЭГО»: Эльбрусская гамма-обсерватория, включающий черенковский гамма-телескоп «ALEGRO»). Проектная чувствительность этой установки, сочетающей низкопороговый наземный черенковский детектор (5 ГэВ – 1 ТэВ) и сцинтилляционный детектор большой площади (0.1 – 100 ТэВ), в области 5 – 50 ГэВ будет лучшей в мире даже после запуска проекта СТА, а при более высоких энергиях – сравнима с самыми амбициозными мировыми проектами, СТА и LHAASO. Эта обсерватория будет служить центром коллективного пользования для всего сообщества российских астрофизиков, работающих в области гамма-астрономии высоких энергий. Проект «ALEGRO» также может быть реализован совместно с Аргентинским институтом радиоастрономии на высокогорной площадке в пустыне Атакама. Такое расположение является идеальным как с точки зрения условий наблюдения (высота и состояние атмосферы), так и точки зрения набора доступных космических объектов (расположение в Южном полушарии позволяет наблюдать значительно количество галактических источников гамма-излучения).

Оценочная стоимость проекта «ALEGRO» – 4-5 млрд. руб. (в зависимости от конкретной конфигурации).

3.3.2.4. Гамма-обсерватория TAIGA

Целью данного проекта является создание гамма-обсерватории TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma-ray Astronomy) с уникальной гибридной системой детекторов. Его ключевая идея состоит в объединении в составе одного комплекса двух в корне различных технологий регистрации черенковского излучения ШАЛ (imaging and non-imaging (timing)), а именно: IACT – телескопов, регистрирующих черенковское изображение широких атмосферных ливней (ШАЛ) и широкоугольных черенковских детекторов, а также детекторов мюонов.

Гамма-обсерватория TAIGA предназначена для исследования гамма-излучения и заряженных космических лучей в диапазоне энергий 1 ТэВ } 1000 ПэВ. Ожидаемая чувствительность гамма-обсерватории TAIGA площадью 10 км² будет недостижимой для всех действующих и проектируемых установок для исследования гамма-излучения с энергией выше 50 ТэВ, как минимум, в ближайшие 5-8 лет. Так, при наблюдении за локальным

источником для поиска в течение 300 часов гамма-квантов с энергией 100 ТэВ она составит $5 \cdot 10^{-14}$ ТэВ см²сек⁻¹. Обсерватория будет включать в себя сеть широкоугольных черенковских станций, размещенных на площади 10 км² установки TAIGA-HiSCORE (High Sensitivity Cosmic ORigin Explorer) и 16 IACT установки TAIGA-IACT, которые будут расположены на этой же площади. Эти установки будут дополнены детекторами заряженных частиц установки TAIGA-Muon и детекторами радио излучения широких атмосферных ливней (ШАЛ). Общая площадь мюонных детекторов составит 5000 м², они будут распределены в центре обсерватории на площади 1 км².

Главным преимуществом работы IACT совместно с сетью широкоугольных черенковских станций является возможность выделения событий от гамма-квантов на фоне ШАЛ от заряженных космических лучей по данным только одного IACT (работа в монорежиме).

К проекту проявляют интерес зарубежные участники. Оценочная стоимость проекта – 2.7 млрд. рублей. Не менее 30% затрат на создание гамма - обсерватории TAIGA будет обеспечено (в основном, путем поставок высокотехнологического оборудования и комплектующих) участниками международной коллаборации TAIGA.

3.3.2.5. Многоцелевая распределенная нейтринная обсерватория

Нейтринная астрономия высоких энергий приобрела особую актуальность в связи с открытием два года назад обсерваториями IceCube South Pole Observatory , ANTARES и др. астрофизических ПэВ нейтрино, источники которых пока не идентифицированы. Стоят задачи увеличения статистики нейтринных событий и улучшения их углового разрешения.

Многоцелевая распределенная нейтринная обсерватория включает в себя комплекс уникальных установок, действующих по единой программе междисциплинарных исследований и позволяющих исследовать природные и искусственные потоки нейтрино в широком энергетическом диапазоне (10^5 - 10^{17}) электрон-вольт. Предлагаемая обсерватория будет включать следующие основные инструменты: 1) Байкальский глубоководный нейтринный телескоп (БГНТ, Baikal-GVD - Gigaton Volume Detector) – на первом этапе один из трёх крупнейших в мире инструментов для нейтринной астрофизики высоких (свыше 1 ТэВ) энергий и комплексных исследований в смежных областях, а на втором этапе (эффективный объем более 1 куб. км) – мировой лидер этого направления; 2) Новый баксанский нейтринный телескоп (НБНТ, NBNT, New Baksan Neutrino Telescope) – подземный сцинтилляционный детектор большого объема (10 килотонн – кт - сверхчистого жидкого сцинтиллятора), крупнейший в мире инструмент для регистрации нейтрино средних энергий и решения задач на стыке физики частиц, астрофизики и геофизики. Среди

российских институтов – потенциальных участников проекта – ИЯИ РАН, НИЦ КИ, МГУ, ИГУ, МИФИ, МФТИ, КБГУ. Ключевой международный участник проекта – ОИЯИ. При наличии существенного финансового вклада России в проект неизбежно войдут зарубежные участники, будет создана международная коллаборация.

Оценочная стоимость проекта – 20 млрд. руб., в том числе Baikal-GVD – 5.1 млрд. руб., НБНТ – 15 млрд. руб. Из них в создание инфраструктуры уже вложено 2.1 млрд. руб. Источники финансирования: бюджет РФ (80%); вклады международных и зарубежных организаций-партнёров, участвующих в консорциумах Baikal-GVD и НБНТ (20%).

3.3.3. Российские проекты среднего класса

3.3.3.1. Специализированная сеть наземных широкоугольных телескопов

Цель проекта состоит в создании ядра сети телескопов, которое основано на использовании наиболее перспективных решений в части оптической схемы телескопа (широкоугольность 3 и более градусов при апертуре 1.5 } 2 метра) и наилучших согласованных с оптической схемой детекторов. Это должно обеспечить оптимальное решение задачи "скорость обзора } чувствительность } цена" для телескопов с апертурой 1.5 – 2 метра. Уникальность сети обусловлена как уникальностью каждого высокотехнологического узла (телескопа) сети, так и свойствами разрабатываемого программного обеспечения, учитывающего Big Data особенности задачи.

Создаваемая сеть из пяти узлов (на начальном этапе) по своему характеру будет специализированной, преимущественно используемой для оптических наблюдений источников гравитационных волн, гамма всплесков, а также для задач по проблеме астероидно-кометной опасности.

Предполагается, что каждый телескоп сети может работать в двух обзорных режимах: быстрый и высокой чувствительности. В быстром обзорном режиме площадь обзора за ночь составит 20000 кв.гр. при экспозиции 7 с, проникающая величина 21^m } 22^m . Данный режим позволит проводить быстрый обзор достаточно больших площадок и обнаружение новых объектов в тех случаях, когда координаты события известны с плохой точностью. В режиме высокой чувствительности площадь обзора составит 3500 кв.гр. при экспозиции 60 с, проникающая величина 22^m } 23^m . Данный режим позволит обнаруживать слабые объекты. Для работы с широкоугольным телескопом 2-метрового класса предполагается использовать мозаичное фотоприемное устройство размером около 20 см, обладающее высокой чувствительностью, низкими собственными шумами, быстрым считыванием.

Общая стоимость проекта оценена в 1.5 млрд. руб., эксплуатации: 100 млн. руб. в год.

3.3.3.2. Широкоугольный радиотелескоп метрового диапазона длин волн

В проекте предлагается создание радиотелескопа диапазона частот 38 – 100 МГц с полем зрения 2 стерадиана (около 6500 квадратных градусов). Этот многолучевой радиотелескоп будет осуществлять прием сигналов более чем с 1000 направлений, плотно заполняющих указанный телесный угол. Частота съема информации, поступающей в каждом луче, будет около 100 Гц. Основная научная задача этого инструмента – исследование быстрых спорадических всплесков радиоизлучения, открытых сравнительно недавно и природа которых пока неясна. Имеющиеся данные указывают на то, что они возникают в очень удаленных областях Вселенной. Считается, что радиовсплески несут важную информацию для космологии, исследований межгалактической среды, темной материи и экстремальных состояний вещества во Вселенной.

По планируемым техническим характеристикам радиотелескоп встает в ряд мировых лидеров для задачи поиска быстрых радиовсплесков в данном диапазоне. С другой стороны, развернутый в Северном полушарии телескоп LOFAR обладает аналогичными или даже превосходящими характеристиками. В будущем, их совместная работа может привести как к увеличению углового разрешения в этом диапазоне длин волн, так и возможности работы по транзиентам в паре. Проект базируется на большом опыте создания подобных антенн в Пушинской радиоастрономической обсерватории. Никаких технических проблем не ожидается. В то же время разработка программного обеспечения, как показывает мировой опыт, может потребовать значительных усилий. Достоинством проекта является также возможность его достаточно легкого и дешевого масштабирования. Например, для создания в 2 раза более чувствительного телескопа, необходимо увеличение финансирования только на 20%. Разработка новых цифровых методов защиты или фильтрации помех может также иметь серьезное прикладное значение.

Общая стоимость проекта оценена в 450 млн. руб.

3.3.3.3. Субмиллиметровый 15м телескоп

Проект предполагает установку на станции «Кара-Даг» в Крыму современного 15-метрового радиотелескопа миллиметрового диапазона длин волн производства ЕС. Реализация проекта позволит России получить первый в стране среднеразмерный радиотелескоп в мм диапазоне частот, что даст возможность проводить исследования на мировом уровне (Здесь, как указывалось выше, не рассматривается более крупный проект Суффа). Криогенные приемники мм и субмм диапазона длин волн для новых поколений радиотелескопов могут быть изготовлены совместными усилиями ФИЦ ИПФ РАН и центра криогенной наноэлектроники НГТУ им. Р.Е.Алексеева. С помощью этого инструмента можно

будет исследовать физико-химическое состояние межзвездной среды, структуру и кинематику областей звездообразования, субмиллиметровое излучение галактик и скоплений галактик, Солнце, планеты и пр. Радиотелескоп может быть использован в составе международных интерферометрических сетей, что важно не только для астрофизических, но и для астрометрических задач.

Общая стоимость проекта оценена в 400 млн. руб.

3.3.3.4. Новые типы инструментов для наземной солнечной астрономии

Для наземных наблюдений Солнца необходимо создание новых типов инструментов и оснащение ими сети обсерваторий. Базовые обсерватории сети должны иметь следующие инструменты:

1) Телескоп для регистрации фоновых магнитных полей на диске Солнца для расчетов рекуррентных явлений в межпланетной среде, прогноза возмущений, связанных с корональными дырами и солнечными вспышками, а также для среднесрочного прогноза флуктуаций солнечной активности (стоимость телескопа ~50 млн. руб.)

2) Телескоп с фильтровым вектор-магнитографом для измерения вектора магнитного поля активных областей. Этот вид наблюдений и получаемая информация могут служить входными данными для прогноза развития активной области к вспышечно-активной фазе, прогноза вспышек, оценок структуры магнитного поля на фронте ударной волны в межпланетном пространстве от солнечных вспышек (стоимость телескопа ~150 млн. руб.).

3) Комплекс фотосферно-хромосферных телескопов для получения видеоизображений в нескольких спектральных линиях: H, KCa II, HeI (10830 Å) в белом свете. Этот вид наблюдений обеспечивает контроль и прогноз появления групп солнечных пятен, патруль хромосферных флоккулов, патруль солнечных вспышек, патруль хромосферных выбросов, активизации волокон и корональных дыр (стоимость телескопа ~100 млн. руб.).

4) Радиотелескоп для регистрации потока радиоизлучения Солнца на волне 10.8 см, тесно связанного с потоком ультрафиолетового солнечного излучения и используемого для прогноза состояния верхней атмосферы Земли (стоимость радиотелескопа ~150 млн. руб.).

5) Радиоспектрограф широкого диапазона (30 – 1000 МГц) для контроля корональных транзиентов, ударных волн и прогноза прихода возмущений на орбиту Земли (стоимость радиоспектрографа вместе с широкополосной антенной ~150 млн. руб.).

Ориентировочная стоимость разработки, изготовления приборов и организации наблюдательной сети (6 наземных пунктов на территории России и 2-х в западном полушарии), а также обеспечение высококвалифицированными специалистами (из расчета 5 ставок на каждой обсерватории) может составлять ~ 5 млрд. руб.

3.3.3.5. Инструменты по изучению космических лучей и солнечно-земной физики

Для успешного проведения работ по происхождению наблюдаемых в экспериментах космических лучей в области еще более высоких энергий необходимы дальнейшее развитие и модернизация уникальной научной установки «Якутская комплексная установка ШАЛ» (ЯкуШАЛ). Для чего нужно значительно увеличить площадь мюонного детектора с 120 м² как минимум в 4 раза.

Для проведения комплексных исследований термодинамического состояния средней и верхней атмосферы, а также вариаций параметров верхней и нижней атмосферы все станции цепочки геофизических станций ИКФИА СО РАН должны быть дополнены современными цифровыми приборами для оптического мониторинга неба, фотометрами, спектрометрами, интерферометрами Фабри-Перо, высотные лидарами, дигизондами, станциями приема естественных радиозумов и сигналов радиостанций СНЧ-НЧ диапазона, измерителями приземного электрического поля.

Значимый вклад в результаты фундаментальных и прикладных исследований проявлений космической погоды на Земле могут внести работы, выполняемые методом прямых ракетных измерений верхней атмосферы и околоземного космического пространства на единственной в России уникальной и современной станции ракетного зондирования атмосферы (СРЗА), принадлежащей НПО «Тайфун» и расположенной в Полярной геокосмофизической обсерватории Тикси } обособленного структурного подразделения ИКФИА СО РАН. Для отработки методики и технологии подобных экспериментов по искусственному воздействию на токовую систему необходимо проведении серии пусков геофизических ракет и со специализированной головной частью.

Общая стоимость проекта оценена в 620 млн. руб.

3.3.3.6. Создание первой системы апертурного синтеза для фундаментальных радиоастрономических исследований (РИФ-32)

Инструмент предположительно состоит из 32-х антенн, размеры первичного зеркала 15x18 м, диапазон рабочих частот 0.35 } 15 ГГц (возможно до 24 ГГц). Актуальность: отсутствие на территории РФ интерферометров с компактным заполнением (u,v) плоскости, работающих для решения фундаментальных астрофизических задач, и, как следствие, невозможность участия страны в любых международных проектах, связанных с радиоинтерферометрическими наблюдательными задачами. Предлагаемый инструмент универсален для работы по широкому кругу задач, от космологии до исследования Галактики.

3.3.3.7. Создание системы службы космической погоды России

Цель проекта – создание службы Космической погоды (КП), включающей создание системы патрульных наземных станций, разработку методов прогнозирования параметров космической погоды на основе данных о солнечной активности ведущих национальных наземных обсерваторий, а также создание системы прогнозирования КП на основе непрерывного анализа и обработки данных наблюдений различных обсерваторий в оптическом и радиодиапазонах. Космическая погода (КП) – общий термин, используемый для описания ряда процессов, способных оказать негативное влияние на живые организмы и технологические системы, расположенные на Земле, в ближнем и дальнем космосе, источником которых является Солнце. В настоящий момент практически все центры прогноза КП и гелиофизической обстановки в РФ используют данные наблюдений и прогнозы зарубежных космических обсерваторий и центров, что создает определенные риски независимого обеспечения информацией национальных программ.

Для реализации первого этапа проекта предлагается перекрыть всю долготную территорию страны автоматизированными наземными станциями. В состав станций-модулей могут входить радиотелескопы диаметром 3 м для покрытия микроволнового диапазона и патрульные роботизированные телескопы-спектрогелиографы для наблюдения в континууме и хромосферных линиях H- α и K CaII. Служба КП на первом этапе может опираться на непрерывные наблюдения солнечной активности, а также включать в себя оперативный процесс первичного анализа данных и формирования индексов активности. На следующем этапе данные наблюдений могут задаваться в качестве граничных условий в моделях распространения солнечного ветра и корональных выбросов массы (КВМ) через межпланетную среду. Параллельно с этим в прогноз КП могут включаться методики прогноза геоэффективности солнечных вспышек и КВМ.

Помимо упомянутых выше российских проектов среднего класса, в планах развития институтов и университетов РФ есть целый ряд проектов, которые важны для каждого учреждения и для развития астрономии в целом. Это: строительство 4м телескопа с активной оптикой на базе Кавказской горной обсерватории ГАИШ ; расширение отечественной сети РСДБ-станций (в РФ и за рубежом) для задач координатно-временного обеспечения и ГЛОНАСС; оснащение полноповоротных параболических антенн большого диаметра, 70 м в Уссурийске или в Евпатории, мощным (0.5–1 Мегаватт) импульсным передающим устройством сантиметрового диапазона с целью радиолокационных наблюдений астероидов

и комет, сближающихся с Землей; модернизация действующих оптических телескопов для повышения эффективности наблюдений, модернизация сети нейтронных мониторов и детекторов КЛ, придание вузовским обсерваториям особого статуса для выделения целевых средств поддержания их работоспособности.

4. Выводы

В представленной Перспективной программе развития астрономии в России, имеющей характер среднесрочной стратегии, сформулированы основные направления долгосрочного развития астрономии в России. Программа развития астрономии до 2035 года основана на материалах, собранных и обобщённых Научным советом ОФН РАН и межведомственной рабочей группой экспертов по приоритетам развития наземных астрономических инфраструктурных проектов Российской Федерации на период 2016 } 2025 гг., с учетом собранных Отделением физических наук РАН планах развития институтов РАН и ведущих вузов страны.

Представленный в Программе анализ уровня текущего состояния астрономии в РФ показывает, что несмотря на отдельные достижения мирового уровня, в целом, заметно серьезное отставание от общемирового уровня, и к сожалению, ситуация продолжает ухудшаться.

В Программе даны формулировки необходимых шагов по обеспечению международной конкурентоспособности отечественной астрономической науки на основе концентрации ресурсов, системного планирования и координации исследований организаций-участников и организаций-партнёров. По каждому из трех больших направлений астрономии – фундаментальные теоретические исследования, исследования с использованием космических аппаратов и внеатмосферных обсерваторий, и астрономические наблюдения с наземной инструментальной инфраструктурой, подготовлены и представлены в Программе перечень конкретных мероприятий, реализация которых позволит преодолеть отставание и приблизится к странам, занимающим верхние строчки в мировом рейтинге, тем самым выполнив поставленную в Указе Президента РФ задачу о вхождении в пятерку стран-лидеров.

Перечислим основные намеченные мероприятия по каждому из направлений, предварительно отобранные по результатам целого ряда выполненных в последние годы обсуждений различных аспектов стратегии развития астрономии в РФ:

- Фундаментальные теоретические исследования. Как и других отраслях науки ключевым является вопрос кадрового потенциала. Помимо стандартных и широко обсуждаемых шагов, представляется разумным создать Центр прорывных исследований в астрономии. Центр может быть реализован в виде распределённой структуры, где в каждом институте или университете, участвующих в работе Центра, будет выделено прорывное направление, поддерживаемое и государством и всеми остальными участниками Центра. Такой подход позволит не просто усилить традиционные научные школы, но и обеспечит возможность создания новых прорывных тематик мирового уровня, не нанося ущерба учреждениям – участникам Центра.
- Исследования с использованием космических аппаратов это то немногое, что позволяет российской астрономии занимать относительно высокие места в рейтинге научных направлений. В предложенном списке мероприятий по поддержке этого направления на первом месте стоит концентрация усилий и средств на реализации проектов, пуск которых запланирован в рамках ФКП-2025, что крайне затруднено непропорциональным урезанием финансирования научных программ и неритмичностью финансирования.
- Наземные астрономические наблюдения. Это направление (как и происходит во всем мире) должно служить основным драйвером роста, но, к сожалению, имеющиеся инструменты находятся в столь плачевном состоянии, что фактически служат причиной все большего отставания от мировых лидеров. В качестве основного шага, позволяющего практически мгновенно и существенно сократить имеющееся отставание, консолидировано рассматривается вступление РФ в Европейскую южную обсерваторию. Одновременно, учитывая географическое расположение РФ в северном полушарии, представляется целесообразным реализация российского астрономического мега-проекта – строительство крупного телескопа (4-метрового широкоугольного, возможно, в паре с 8-метровым), что обеспечит не только получение уникальных данных, но и паритет при формировании международных коопераций.

Финансовые средства, необходимые для выполнения первоочередных шагов по реализации Перспективной Программы развития астрономии до 2035 года относительно невелики и в сумме сравнимы со стоимостью одного мега-проекта из числа уже реализуемых в других отраслях знаний. Более того, астрономическое сообщество признает необходимость сокращения парка устаревших российских астрономических инструментов, что должно сократить общую стоимость намеченных шагов, однако считает целесообразным вывод их из эксплуатации только после реализации Программы. В заключение отметим, что относительно высокие позиции российской астрономии в мировом рейтинге дают реальную возможность входа в пятерку стран-лидеров при относительно невысокой стоимости мероприятий, заложенных в представленную Программу.

Приложение

Астрономические организации РФ и их основные объекты инфраструктуры

№ п/п	Научные учреждения, участвующие в астрономических и/или астрофизических исследованиях	Научный персонал. Число научных сотрудников (н.с.), в т.ч. докторов наук (д.н.) и кандидатов (к.н.)	Объекты инфраструктуры наземных астрономических исследований, их статусы (УНУ и/или ЦКП)
Специализированные астрономические научные учреждения РАН			
1	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН) Ст.Зеленчукская, Карачаево-Черкесская республика	н.с. 103 в т.ч.: д.н. 22, к.н. 62	ЦКП «Специальная астрофизическая обсерватория РАН», УНУ в составе оборудования ЦКП: Радиотелескоп РАТАН-600, Большой телескоп альт-азимутальный
2	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук (ГАО РАН), г. Санкт-Петербург	н.с. 134 в т.ч.: д.н.42; к.н. 69	УНУ 26-дюймовый рефрактор Пулковской обсерватории Горная солнечная обсерватория (р-н г. Кисловодска) Солнечный телескоп оперативных прогнозов нового поколения
3	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук (ИНАСАН), г.Москва	н.с. 85 в т.ч.: д.н. 23, к.н. 36	ЦКП «Терскольская обсерватория», УНУ в составе оборудования ЦКП: Телескоп Цейсс-2000 Звенигородская обсерватория (60 см телескоп ЦЕЙСС-600, камера ВАУ) Обсерватория Терскол (солнечный телескоп АСТ-26)
4	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной астрономии Российской академии наук (ИПА РАН), г. Санкт-Петербург в составе с Уссурийской астрофизической	н.с. 124: в т.ч.:д.н. 20, к.н. 48 (в т.ч. 11 н.с. и 4 к.н. в составе УФО ДВО РАН)	ЦКП Радиоинтерферометрический комплекс «Квазар-КВО» ЦКП Суперкомпьютерный центр «Высокопроизводительные вычисления в радиоастрометрии и космической геодезии» УНУ «Радиоинтерферометрический комплекс КВАЗАР» (КВАЗАР) Уссурийская астрофизическая обсерватория Солнечный телескоп оперативных прогнозов нового поколения

	обсерваторией Дальневосточного отделения Российской академии наук (УАФО ДВО РАН), г. Уссурийск		
5	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук: Астрокосмический центр (АКЦ ФИАН) и Пуцинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра (ПРАО АКЦ ФИАН), г. Москва, г. Пущино	н.с.84; в т.ч.: д.н.29, к.н. 43,	УНУ Радиотелескоп ДКР-1000 ФИАН УНУ Радиотелескоп БСА ФИАН УНУ Радиотелескоп РТ-22 ФИАН МРАО «Суффа» (Респ. Узбекистан)- строящийся объект
6	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт солнечно- земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН), г. Иркутск	н.с.119: в т.ч.: д.н. 23 и к.н.31	ЦКП Солнечно-земная физика и контроль околоземного космического пространства (ЦКП «Ангара») УНУ Большой солнечный вакуумный телескоп УНУ Иркутский Радар Некогерентного Рассеяния УНУ Сибирский солнечный радиотелескоп В пос. Монды создается «Национальный гелиогеофизический .комплекс РАН», для которого проектируются: Солнечный коронаграф (D= 3м) и радиогелиограф (f=2-4,4-8 и 8-24 ГГц) + строящийся тел. АЗТ-33ВМ
7	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН» (ФГБУН «КраО РАН»), п. Научный, Крым	н.с.75; в т.ч.: д.н.15, к.н. 29	ЦКП на базе 2,6 м зеркального телескопа имени академика Г. А. Шайна 15 звездных телескопов 4 солнечных телескопа Гамма-телескоп второго поколения. Комплекс вакуумных камер
Учреждения РАН , имеющие астрономические подразделения			
8	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии	н.с.122; в т.ч.: 17 д.н.; 23 к.н	ЦКП системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений Института космических исследований Российской академии наук для решения задач изучения и мониторинга

	наук (ИКИ РАН), г.Москва		окружающей среды Обсерватория Витино (Крым) Обсерватория Таруса (Калужская обл.)
9	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), г.Троицк, Московская обл.	н.с. 90 чел; в т.ч.:д.н. 22, к.н 33	ЦКП Российская национальная наземная сеть станций космических лучей Солнечный башенный телескоп с вектор-магнитографом. Солнечный радиоспектрограф (300 — 25 МГц) Обсерватория Ладушкин (Калининградская Обл.)
10	Отдельные группы в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), г.Москва	* н.с. 12, в т.ч.: д.н. 4 к.н. 4	ДНС (для набл. космических лучей) в г. Долгопрудный Памирская экспедиция (Киргизстан) Тянь-Шанская высокогорная научная станция (ТШВНС)
11	Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), г.Н-Новгород	н.с. 24 в т.ч.: д.н. 12, к.н. 7	Инфраструктуры для наземных астрономических наблюдений нет
12	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе (ФТИ им. А.Ф. Иоффе), г. Санкт-Петербург	н.с. 84; в т.ч.: 14 д.н., 34 к.н.	Инфраструктуры для наземных астрономических наблюдений нет
13	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН) г.Москва	н.с. 16, в т.ч.: д.н.3, к.н.7	Сеть телескопов (до 80 см) ISON для наблюдений астероидов и космического мусора

14	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН), г.Москва	*н.с. 8 в т.ч.: д.н. 4, к.н. 4	Инфраструктуры для наземных астрономических наблюдений нет
15	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), г.Троицк, Московская обл.	*н.с. 40 чел, в т.ч.: д.н. -25, к.н.- 10	ЦКП Байкальская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН, УНУ в составе оборудования ЦКП: УСУ «Байкальский глубоководный нейтринный телескоп» ЦКП Баксанская нейтринная обсерватория, УНУ в составе оборудования ЦКП: Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп и Галлий-германиевый нейтринный телескоп
16	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)	н.с. 23 чел, в т.ч.: д.н. 4 и к.н.14	Программно-алгоритмический комплекс аппаратуры для обработки данных планетного радиолокатора на базе РТ70 в Евпатории.
Учреждения Минобрнауки РФ, имеющие астрономические подразделения			
17	Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (ГАИШ МГУ), г.Москва	н.с 183 чел., в т.ч.: д.н. 48 и к.н. 126	Кавказская Горная Обсерватория ГАИШ МГУ (Республика Карачаево-Черкесия). 2,5м телескоп (введен в действ. 2015г). Крымская астрономическая станция МГУ с 5-ю небольшими телескопами и устаревшими ПЗС-приёмниками. Система робот-телескопов МАСТЕР (5 станций в России, 1 в ЮАР, 1 на Канарских островах и 1 в Аргентине) Установка для детекторов гравитационных волн ОРГАН (Баксан, пос. Нейтрино, Республика Кабардино-Балкария)
18	Санкт-Петербургский государственный университет, отделение астрономии, г.Санкт-Петербург	н.с. 82, в т.ч.: д.н. 20, к.н. 31	Инфраструктуры для наземных астрономических наблюдений нет.
19	Казанский (Приволжский)	н.с. 29 чел, в т.ч.	- Городская астрономическая обсерватория, учебная.

	федеральный университет, Кафедра астрономии и космической геодезии, кафедра теории относительности и гравитации, и отдельные подразделения г.Казань	д.н.- 9, к.н.- 15	- Астрономическая обсерватория им. Энгельгардта (25 км от г. Казань), учебная - Сев. Кавказ, астрономическая станция КФУ с комплексом телескопов МЕГАТОРТОРА. - Российско-Турецкий телескоп D 1,5м (РТТ-150) в обсерватории ТЮБИТАК (Анталья, Турция).
20	Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина Кафедра астрономии и геодезии и Коуровская обсерватория, (г. Екатеринбург)	н.с. 29 чел, из них: д.н. - 2 и к.н. - 21.	УНУ Коуровская астрономическая обсерватория Уральского федерального университета Телескоп D1,2м (2008г), D 0,7м и телескоп СБГ Цейса Телескоп АЗТ-3 (1965г) Солнечный телескоп 0.44м АЦУ-5
21	Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (НИИЯФ МГУ), Г.Москва	*н.с. 100, в т.ч. д.н. 15 к.н. 50 ключевое направление – космофизические исследования, меньшая часть сотрудников занимаются астрофизическими исследованиями	УНУ Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ для исследования космических лучей сверхвысоких энергий (установки Тунка, система телескопов Мастер, установка ШАЛ-МГУ)
22	Южный федеральный университет (ЮФУ) кафедра теоретической физики, Институт физики г.Ростов-на-Дону	н.с. 6, в т.ч. д.н. 4, к.н. 2	Учебная обсерватория ЮФУ (20-см телескоп-рефрактор, дополненный астрографами 12 и 15 см и ПЗС-камерой)
23	Томский государственный университет (ТГУ), г.Томск	н.с. 10, в т.ч. д.н. 3, к.н. 5	УНУ Радиофизический комплекс: Высотный поляризационный лидар для зондирования атмосферы и Томская ионосферная станция «ЛИДАР-ИОНОЗОНД»
24	Иркутский государственный университет (ИГУ), г.Иркутск	н.с. 15, в т.ч. д.н. 4, к.н. 8	ЦКП Тункинский астрофизический центр коллективного пользования (ТАЦКП) и астрономическая обсерватория. На базе ТАЦКП создается крупнейшая в мире гамма-обсерватории TAIGA для исследования потоков гамма-квантов с энергиями выше 50 ТэВ.
25	Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Научно-исследовательский радиофизический институт" (ФГБНУ НИРФИ),	н.с. 22, в т.ч. д.н. 6 и к.н. 7	Радиоастрономический полигон «Старая пустынь» с радиотелескопом РТ-14. Радиоастрономический полигон «Васильсурск» с радиотелескопом РТ-8. Полигон «Зимёнки» с радиотелескопом РТ-15 .

	г.Н.Новгород		Имеются комплекс выносного РСДБ пункта для работы с РТ-64 (в Калязине), РТ-70(в Евпатории) или РТ-32 (в Вентспилсе)
26	Самарский национальный аэрокосмический университет имени С.П.Королева (СГАУ). г.Самара	н.с. 10, в т.ч. д. н. 4, к.н. 6	Собств. инфраструктуры для наземных астрономических наблюдений нет.
27	Новосибирский государственный университет (НГУ), г.Новосибирск	н.с. 11, в т.ч. д. н. 5, к.н. 5	<i>Астрономическая обсерватория</i> (учебный автоматизированный астрофизический комплекс)
28	Кубанский государственный университет (КубГУ) г.Ставрополь	н.с. 11, в т.ч. д.н. 2, к.н. 2	Астрофизическая оптическая обсерватория 508-мм, светосилой 1:8, роботизированный телескоп Несколько небольших учебных телескопов
29	Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена (РГПУ им. А.И. Герцена), г.Санкт-Петербург	н.с. 3, из них д.н. - 3	Астрономическая обсерватория. Несколько небольших учебных телескопов
30	Национальный исследовательский университет МФТИ (Московский физико-технический институт) г.Москва	н.с. 35, в т.ч. д. н. 3, к.н. 16	Учебный пункт наблюдения сети оптических телескопов-роботов для мониторинга околоземных космических объектов.
31	Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И.Канта) г.Калининград	н.с. – 5, в т.ч. д. н. – 1, к.н. – 3	Лаборатория астрономии и астрофизики Несколько небольших учебных телескопов
32	Сибирский федеральный университет (СФУ) г.Красноярск	н.с. 2, в т.ч. д. н. 1	Астрономическая обсерватория.: Несколько небольших учебных телескопов
33	Ульяновский государственный университет (УлГУ). г.Ульяновск	н.с. 4, в т.ч. д. н. 3, к.н. 1	Лаборатория космических исследований. Несколько небольших учебных телескопов
* Данные оценочные, т.к. учреждения сами четко не выделили астрономическую составляющую.			