



## МЕГАПРОЕКТ — ЭТО ПРОРЫВ К ЗНАНИЯМ МИРОВОГО УРОВНЯ

**Гелио-геофизический комплекс, или, как его именуют учёные, мегапроект, предложенный Институтом солнечно—земной физики СО РАН, имеет большое общегосударственное значение. Фактически это крупная национальная программа, ориентированная на решение самых актуальных фундаментальных и прикладных задач в области освоения околоземного космического пространства.**

Г. Киселева, «НВС»

Проект рожден не на пустом месте. Институт солнечно-земной физики единственный в России обладает уникальными обсерваториями, которые он сумел сохранить и даже развить в годы перестройки. Они продолжают активно работать и могут стать серьёзной основой для создания нового комплекса. В Иркутске сохранился и коллектив специалистов, способных решать самые сложные задачи. Это они создавали знаменитый радиотелескоп в Бадарах, отмеченный Государственной премией в 1996 году, «научили» решать научные задачи уникальный радар некогерентного рассеяния и совсем недавно соорудили в своей Саянской обсерватории, где уже собран целый комплекс самых различных телескопов, еще один — инфракрасный. И за него тоже получили правительственные награды.



В последние годы в России ни в одной из научных отраслей не запускались проекты такого масштаба. Вот что рассказал о сути и значении этого мегапроекта его руководитель, инициатор и вдохновитель **академик Гелий Александрович Жеребцов.**

### Космическую погоду изучают на Земле и в космосе

Околоземное космическое пространство — это уже не экзотика, оно сейчас непосредственно включено в сферу деятельности человека. Прошла эпоха географических открытий — в своё время были открыты радиационные пояса Земли, зона полярной шапки, зона полярных сияний и многое другое. Сегодня в этой среде работает огромное количество космических аппаратов, спутников, от которых зависит многое в нашей жизнедеятельности — телевидение, интернет, сотовая и радиосвязь, постоянно работает Международная космическая станция и т.д. Здесь активно

используются фундаментальные знания для решения многих прикладных задач в интересах экономики, безопасности страны, проводятся самые разнообразные исследовательские работы.

С появлением ракет зондирования верхней атмосферы, космических аппаратов возникло концептуальное заблуждение, что нам не так уж нужны наземные измерения. Но физики всех стран знают, что исследования околоземного космического пространства невозможно вести только с помощью спутников. Спутники дают сведения о состоянии среды в определенном месте в определённое время, а физиков интересуют процессы, которые там происходят. А чтобы судить о процессах, нужны длительные измерения в различные сезоны, при различных циклах солнечной активности и т. д. Целесообразно использовать полученные данные и со спутников, и с наземных инструментов, чтобы получить полную картину процессов, происходящих в околоземном космическом пространстве. А понимать их нужно, чтобы уметь прогнозировать космическую погоду. Этот прогноз крайне важен. Магнитные бури, заряженные частицы оказывают негативное влияние на космическую технику, напичканную электроникой, как снежные бури и смерчи на земные сооружения. Поэтому знание космической погоды сейчас так же важно, как для каждого из нас знание погоды метеорологической. Точно так же, как были важны метеоусловия при освоении океана и атмосферы, при развитии морского и воздушного флотов.

Параметры орбит космических аппаратов выбираются с учётом плотности атмосферы. Чем ниже проходит орбита, тем выше плотность, тем сильнее аэродинамическое торможение. Во время солнечных вспышек или других солнечных явлений плотность нейтральных частиц резко возрастает, что неизбежно приводит к значительному торможению спутника. Пренебрежение этими факторами привело к преждевременному прекращению работы американской орбитальной станции «Скайлэб» в 1977 году — не была учтена возрастающая плотность ионосферы в максимуме солнечной активности. Во время сильных магнитных бурь в высоких широтах, во время полярных сияний происходит так называемый джоулев нагрев ионосферы. Этот процесс носит локальный характер, при этом в ионосфере появляются сильные неоднородности. В этом случае могут возникнуть проблемы с управлением космическим аппаратом. Если аппарат «наталкивается» на такую неоднородность с плотностью в несколько раз выше, чем окружающая среда, то может не только резко изменить орбиту, но и развернуться, что приведет к нарушению его ориентации и потере управления. Известны случаи, когда было потеряно управление одновременно тысячу навигационных спутников. Совершенно очевидно, как важно иметь оперативный прогноз космической погоды.

### **Мегапроект нацелен на возрождение сети уникальных наземных инструментов России**

В своё время в нашей стране была неплохая сеть наземных инструментов, и с их помощью были получены результаты мирового уровня. Советскими исследователями был внесён достойный вклад в исследование космического пространства. Однако с начала 80-х годов у нас сложилось критическое положение, в том числе из-за того, что после распада СССР часть наземных инструментов отошла вместе со странами СНГ, часть просто устарела из-за отсутствия средств на модернизацию. А каждый понимает — невозможно получать знания хорошего уровня, не вкладывая денег в развитие инструментария науки.

Оценив ситуацию в стране, мы пришли к решению, что должны сосредоточить усилия на развертывании комплекса наземных инструментов для исследования Солнца, околоземного пространства. Причём изначально ставилась задача отслеживать процессы по всей цепочке — от Солнца до нижней атмосферы. Для этих целей были разработаны единственные в мире инструменты, которые хорошо выглядели и на мировом уровне. Даже когда интенсивность исследований с помощью спутников уменьшилась, мы продолжали работать и получать хорошие результаты.

Но по сравнению с нашими коллегами за рубежом мы, конечно же, волей-неволей стали отставать, и темпы этого отставания нарастают. За последние 20 лет за рубежом для исследования Солнца, магнитосферы, верхней атмосферы Земли создано большое количество крупных экспериментальных установок и обсерваторий нового поколения. Так, на Аляске введен в строй новейший нагревной стенд и радар для зондирования ионосферы мощным коротковолновым радиоизлучением. Завершён и создан радар некогерентного рассеяния на севере США. На Шпицбергене установлен некогерентный радар и нагревной стенд. Вокруг Северного и Южного полюсов развернута международная сеть когерентных высокочастотных радаров. В Китае создаётся радар некогерентного рассеяния, развернута беспрецедентная региональная сеть станций, оснащенная современными инструментами. Большие работы ведутся в Европе, США, в других странах мира по созданию суперсовременных солнечных телескопов.

### **Как был рожден мегапроект**

При написании аналитической записки на имя Президента Российской Федерации мы тщательно проанализировали состояние наших экспериментальных комплексов в России и поняли, что необходимо, и как можно скорее, создать крупный гелиогеофизический комплекс. Так родился мегапроект. Для реализации его у нас есть возможности, есть основа — база обсерваторий Института солнечно-земной физики. Немаловажно, что здесь уже есть дороги, энергоснабжение, инженерные сети, люди, имеющие опыт разработки и создания крупных инструментов.

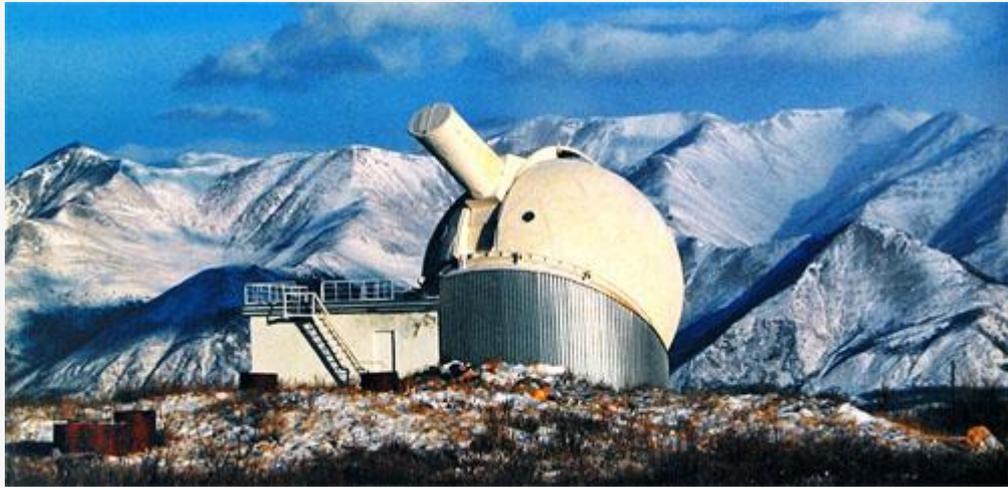
Мегапроект предполагает на основе имеющихся в институте инструментов создать новые, более современного уровня. Он включает пять взаимосогласованных субпроектов. Общий объём необходимых бюджетных инвестиций составляет порядка 10 миллиардов рублей. Предполагаемый срок реализации проекта — 2012–2017 годы. Это позволит нам проводить на современном уровне фундаментальные исследования в области физики Солнца и околоземного космического пространства, а также решать актуальные прикладные задачи в течение 20–25 лет с помощью наземных средств.

Стоит напомнить, что территория России перекрывает девять часовых поясов. Это даёт возможность контролировать наземными средствами околоземное пространство практически половины Северного полушария — наблюдать начало геофизических процессов и прогнозировать их развитие над всей этой территорией.

### **Процессы на Солнце надо видеть**

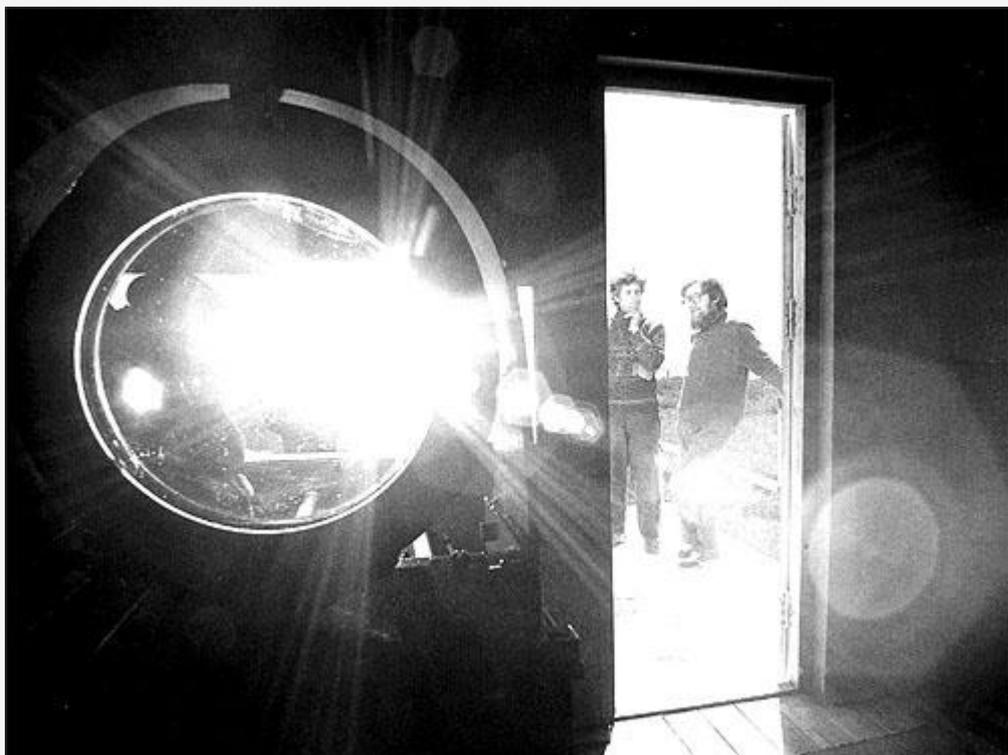
Первый субпроект — это крупный солнечный телескоп-коронограф с диаметром зеркала 3 метра. Создание такого крупного телескопа должно внести решающий вклад в наше понимание происхождения солнечной активности, которая управляет явлениями космической погоды в межпланетной среде и в околоземном космическом пространстве. Мы знаем, что большие солнечные вспышки рождают потоки высокоэнергичных солнечных частиц. Выбросы корональной массы вызывают ударные

волны, которые также ускоряют энергичные частицы. Всё это может вызвать нарушения в работе технических систем, представляет опасность для здоровья космонавтов, пассажиров авиалайнеров, трассы которых проходят через полярные зоны Земли.



**Большой солнечный внеатмосферный коронограф Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН.**

Спусковой механизм нарушения равновесия лежит в тонкой структуре магнитного поля Солнца. Крупный солнечный телескоп позволит получать точные знания о микроструктуре магнитных полей в самых глубоких слоях фотосферы, заглянуть в подфотосферные слои. В конечном итоге, мы придём к физически обоснованной модели солнечно-земного взаимодействия.



**Саянская солнечная обсерватория. На солнечном телескопе идёт запись Солнца.**

Солнце — это звезда. Звезда небольшая, хотя для нас она имеет просто исключительное значение, поскольку она ближайшая к нам. Следовательно, изучая эту звезду, мы можем распространить знания на другие звёзды, которые находятся дальше и которые гораздо больше по размерам, чем наше Солнце. Крупный солнечный телескоп, оснащенный спектрографом высокого разрешения и спектрополяриметром, может служить уникальной платформой для выполнения в ночное время программ наблюдений в области солнечно-звездной физики.

### **Солнце надо слышать**

Второй субпроект, который относится тоже к инструментам, с помощью которых решаются проблемы физики Солнца — это многоволновый радиогелиограф, или многоволновый солнечный радиотелескоп.

Наиболее динамичными, определяющими возмущение околоземного пространства являются процессы в короне Солнца. Такие явления, как солнечные вспышки, выбросы корональной массы приводят к резкому увеличению потоков плазмы солнечного ветра, ускоренных частиц и жёстких электромагнитных излучений в околоземном пространстве. В настоящее время известно, что источником энергии этих взрывных процессов является магнитное поле в атмосфере Солнца. Кроме того, в последнее время стало известно, что с выбросами корональной плазмы к Земле переносятся так называемые магнитные облака, направление магнитного поля в которых радикально влияет на геоэффективность возмущений солнечного ветра. Задача определения структуры магнитных полей в области формирования выброса корональной массы является ключевой как для понимания природы солнечной активности, так и для развития научных основ и методов прогноза космической погоды. Измерение корональных магнитных полей возможно практически только по излучению Солнца в радиодиапазоне, по анализу спектров и поляризации радиоизлучения. Наблюдения на радиогелиографе нового поколения позволят наряду с измерением магнитных полей получить качественно новую информацию и для решения ряда ключевых проблем солнечной активности.



**Сибирский солнечный радиотелескоп ИСЗФ СО РАН в предгорьях Восточного Саяна – уникальный инструмент уровня национальных проектов .**

Проект предполагает поэтапное создание по современным технологиям трёх антенных решёток, которые содержат сотни и тысячи отдельных элементов. Поэтому экономичнее использовать при строительстве антенную решётку нашего Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ) в Бадарах и созданную для его обслуживания инфраструктуру. Важен и выбор места расположения нового радиотелескопа — вдали от источников радиопомех.

Планируемый радиотелескоп состоит из трёх отдельных антенных т-образных решеток с длиной луча примерно 1 км. Планируется создание решёток с частотой от 2 до 4 ГГц с сотней антенн диаметром 3 м каждая, на частоте 4–8 ГГц с двумястами антеннами диаметром 1,8 м, на частоте 8–24 ГГц с четырьмястами антеннами диаметром 1 м. Сигнал со всех антенн будет собираться в аппаратном зале с помощью оптоволоконных линий связи, при этом мы предполагаем, что будем получать одновременно не менее шести изображений Солнца на различных частотах.

Одна из основных задач — это мониторинг мощных протонных вспышек, поэтому с целью длительности непрерывных наблюдений в течение светового дня предполагается изготовление двух телескопов для обсерваторий, разнесенных по долготе. А поскольку на этих частотах поглощение сигналов приземного слоя атмосферы значительно, то мы планируем расположить телескопы на высокогорных обсерваториях на высоте около 2000 м. Один из телескопов будет расположен на нашей Саянской горной солнечной обсерватории, а другой — в Карачаево-Черкесской Республике в поселке Нижний Архыз, где расположен крупнейший телескоп РАТАН-600. Все эти инструменты должны работать как единый пространственно разнесенный инструмент.

### **Для воздействия на ионосферу и атмосферу**

Третий субпроект предполагает создание «Радиофизического комплекса для исследования ионосферы и атмосферы». Это очень сложный комплекс, и по масштабам, и по техническому оснащению, и затраты здесь наибольшие. Радиофизический комплекс предназначен для управляемого воздействия на ионосферу и верхнюю атмосферу мощными радиоволнами. Верхняя атмосфера расположена в высотах от 80 до 1500 км и составляет одну из важнейших частей единой системы Солнце—Земля, играя ключевую роль в процессах взаимодействия ионизированной и нейтральной газовых оболочек Земли. Это та область, на которую воздействуют как процессы, происходящие на Солнце, так и процессы, происходящие внизу, начиная от уровня Земли и океана.

Радиофизический комплекс должен внести определяющий вклад в изучение этого взаимодействия. Важную роль в этих исследованиях будет играть мезосферно-стратосферно-тропосферный радар, позволяющий проводить измерения параметров атмосферы в интервале от 1 до 90 км. Это очень эффективный метод исследования. Он будет впервые реализован в нашей стране и позволит проводить изучение всех слоев атмосферы как единой системы.

Радар некогерентного рассеяния, разработанный с применением новейших технологий, позволит получать параметры околоземного космического пространства начиная с нижних слоев ионосферы (100 км) и выше, включая высоты магнитосферы Земли (2000 км).

Надо учитывать, что все процессы, которые мы изучаем, носят глобальный, планетарный характер, и невозможно получить цельную картину того или иного явления, если вести наблюдения в одном месте. Для полных фундаментальных исследований важна картина в целом, поэтому все такие крупномасштабные исследования должны носить международный характер.

Результаты исследований ионосферы и верхней атмосферы на радиофизическом комплексе представляются важными для различных областей науки и технологии. Это космическая и наземная радиосвязь, радиолокация и радионавигация, космические аппараты и спутники, контроль околоземного космического пространства, включая проблему космического мусора.

Радиофизический комплекс имеет уникальное расположение, заполняя существенный пробел в долготной цепи геофизических центров США, Европы и Японии, поэтому его данные будут иметь важное значение для получения глобального распределения параметров ионосферы и атмосферы, что крайне необходимо для изучения планетарных явлений.

Иркутский регион характеризуется высокой сейсмической активностью, обеспечивающей необходимые условия для исследования атмосферного и ионосферного проявления этой активности. Именно в этом регионе в последние годы зарегистрировано много необычайно мощных возмущений в верхней атмосфере, в том числе и при умеренных геомагнитных бурях.

В результате выполнения предлагаемого субпроекта будет создан комплекс мирового уровня, который включает в себя основной кластер крупных установок, расположенный в пределах 200 км от Иркутска.

Отличительной и важной составляющей радиофизического комплекса является меридиональная цепь станций Норильск—Иркутск, в которую входят ионозонды вертикального зондирования, магнитометры, приемники для спутниковой радиотомографии, GPS-приемники, трасса наклонного зондирования Норильск—Иркутск.

Создание нагревного стенда вблизи Иркутска позволит эффективно задействовать весь комплекс солнечных, геомагнитных, ионосферных инструментов Института солнечно-земной физики. Антенная система нагревного стенда может быть создана на территории Иркутского областного радиотелевизионного передающего центра, который располагает обширными территориями, необходимыми энергетическими мощностями, квалифицированным персоналом.

### **В международной сети радаров**

Четвертый субпроект — «Российский сегмент когерентных высокочастотных радаров международной сети СУПЕРДАРН».

Воздействие солнечного ветра на магнитосферу и ионосферу Земли — одна

из центральных проблем солнечно-земной физики. Одним из наиболее эффективных инструментов для исследования этого является международная кооперативная система, которая представляет собой сеть высокочастотных коротковолновых радаров когерентного обратного рассеяния, радиолокационное поле которых покрывает полярные области в Северном и Южном полушариях.

В настоящее время имеется 10 радаров в Северном полушарии и 7 — в Южном. Девять стран — США, Канада, Великобритания, Франция, Италия, Япония, Австралия, ЮАР и Китай — активно проводят ионосферные исследования в полярных и субполярных широтах обоих полушарий и интенсивно развивают сеть радаров.

В ближайшие годы этими странами планируется развернуть три новых радара в Северном полушарии и по крайней мере четыре новых радара в Южном. Однако без участия России, территория которой охватывает значительный долготный сектор, оказывается невозможным восстанавливать систему конвекции ионосферной плазмы в Северном полушарии и прогнозировать развитие возмущений верхней атмосферы во время геомагнитных бурь.

Создание российского сегмента сети коротковолновых радаров позволит в полной мере реализовать возможности этой системы и обеспечить паритетное участие российских учёных в международной кооперации. Необходимо развернуть на территории России минимум четыре когерентных радара. Оптимальным является размещение двух радаров на полигоне Института космических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук, вблизи поселка Стекольный Магаданской области, одного радара — вблизи города Братска, и ещё одного — на полигоне Института геологии Уральского отделения вблизи поселка Арти Свердловской области. Этот выбор обсуждался на международном рабочем совещании и был одобрен.

В результате реализации данного проекта будет создана замкнутая система мониторинга полярной и субполярной ионосферы Северного полушария. Кроме того, область обзора братского и магаданского радаров совпадает с магнитосопряженной областью в Южном полушарии, находящейся в зоне обзора австралийских радаров, а местоположение радара в Арти близко к магнитосопряженной точке местоположения французского радара на острове Кергелен. Это открывает перспективу исследований в магнитосопряженных областях другого полушария.

Следует добавить, что, несмотря на отсутствие целевого финансирования на создание гелиогеофизического комплекса, Сибирское отделение РАН смогло выделить некоторую сумму денег, позволяющую нам заказать один из радаров, который уже доставлен на Урал, смонтирован и проходит тестовые испытания.

### **Лидарно-оптический комплекс**

И, наконец, пятый субпроект — лидарно-оптический комплекс для исследования атмосферы и ионосферы. Верхняя атмосфера и ионосфера состоят из нейтрального газа и заряженных частиц, электронов и ионов. Плотность нейтральных частиц падает с высотой и, наоборот, с ростом высоты концентрация заряженных частиц возрастает. Для исследования нейтральной компоненты используются оптические методы. Дело в том, что верхняя атмосфера и ионосфера обладают собственным свечением, и поэтому для исследований применяются оптические приборы, такие как интерферометры Фабри—Перо, камеры всего неба, фотометры и спектрографы.

Лидарно-оптические измерения относятся к активным методам исследования верхней атмосферы и ионосферы.



**Большой солнечный вакуумный телескоп Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН.**

Работа лидара основана на излучении в атмосферу коротких световых импульсов, формировании сигналов в обратном направлении, и на основе этих отражённых сигналов оцениваются различные параметры атмосферы.

Такой комплекс предназначен для исследования профильных характеристик и физических параметров: температуры, плотности ветра, состава средней и верхней атмосферы, формируемых под воздействием природных процессов и антропогенного влияния.

Другой важной научной задачей исследований с помощью лидарно-оптического комплекса являются исследования изменений в области мезопаузы, то есть в интервале высот от 80 до 100 км. Сейчас перед научным сообществом возникает очень интересный вопрос: изменяется ли климат на высоте мезосферы? Если да, то как и почему это происходит? Другой важной проблемой является отклик ионосферы и атмосферы на сверхмощные магнитные бури, во время которых на средних широтах появляется полярное сияние.

В результате функционирования многоканального лидара будут накапливаться ряды данных о профилях температуры, плотности, скорости ветра в стратосфере, мезосфере и нижней термосфере, а также информация о вариациях озона в озоносфере и аэрозольных слоях, в стратосфере и мезосфере.

Местом размещения пассивных оптических инструментов, в том числе многоканального лидара, станет Байкальская астрофизическая обсерватория в поселке Листвянка Института солнечно-земной физики. В зависимости от тех или иных задач,

вспомогательная аппаратура будет размещаться в других точках наблюдений.

### **Наука не может быть второго сорта!**

Наше поколение создало обсерватории с уникальными инструментами. Мы долгое время были «законодателями мод» в нашем направлении исследований. Мы сами создали конструкторское бюро и даже мини завод, где изготавливали аппаратуру, которая летала на спутниках. Но есть предел совершенствованию — то, что было сделано 30 лет назад, не отвечает требованиям науки сегодня! Но науки второго сорта не бывает! Либо это наука, либо её нет. Мегапроект как раз нацелен на то, чтобы вдохнуть в это направление новую жизнь, чтобы и пользу принести Отечеству, и дать российским ученым возможность внести достойный вклад в мировую сокровищницу знаний.

Наш проект получил всестороннюю поддержку — он поддержан президентом Российской академии наук Ю. С. Осиповым, главой Правительства Российской Федерации В. В. Путиным, вице-президентом Российской академии наук А. Л. Асеевым. Однако до сих пор остается открытым вопрос начала финансирования.

В. В. Путин как-то сказал: «Если за что берусь, то доведу до конца, или делаю так, чтобы дальше это двигалось эффективно». Я очень надеюсь, что своё обещание по поддержке проекта он осуществит. Ведь траты для России не так уж велики, по сравнению с другими известными научными проектами, а важность его очевидна. Думаю, что без создания современной экспериментальной базы в области физики Солнца и околоземного космического пространства, которая лежит в основе проекта, исчезнет целое научное направление в нашей стране, которое за рубежом в последние годы очень интенсивно развивается. И появились уже такие знакомые нам термины — область околоземного космического пространства, где функционируют геостационарные аппараты различного назначения, уже называется «зоной ограниченных природных ресурсов».

Какова роль России в экспансии околоземного космоса? Насколько интенсивно мы будем использовать это пространство в интересах развития экономики и безопасности страны? По-видимому, это будет определяться уровнем наших знаний о нем и их практическим использованием.

**Фото В. Короткоручко**

стр. 4-5

Версия для печати  
(постоянный адрес статьи)

<http://www.sbras.ru/HBC/hbc.phtml?5+631+1>