О Научной программе космических экспериментов в ходе эксплуатации КА «МКА-ПН1»

Н.А. Арманд, Ю.Г. Тищенко, В.П. Саворский, М.Т. Смирнов

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН 141190 Московская обл., г. Фрязино, площадь им. академика Б.А. Введенского, д. 1 E-mail: tishchen@ire.rssi.ru

Научная программа космических экспериментов в ходе эксплуатации КА «МКА-ПН1» разработана в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН на основе предложений российских организаций и имеющегося в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН опыта формирования Научных программ по космическим проектам «Природа», «Океан-О» № 1 и др. Основные цели Научной программы: разработка радиофизических методов ДЗЗ из космоса в перспективном дециметровом диапазоне волн для изучения физических явлений и процессов в системе атмосфера — земная поверхность, исследование влияния внешних факторов (галактический фон, ионосфера и др.) на измеряемые характеристики объектов, изучение помеховой обстановки при проведении исследований, развитие методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением.

Ключевые слова: космический эксперимент, МКА-ПН-1, дециметровый диапазон волн, система атмосфера – земная поверхность.

СВЧ радиометрические приборы, несмотря на относительно невысокую разрешающую широко используются в дистанционных космических исследованиях окружающей среды. Это связано с тем, что с помощью СВЧ радиометрии можно получить такие данные, которые невозможно или очень трудно получить другими методами. К таким данным можно отнести усредненную по поверхности и глубине термодинамическую температуру исследуемого объекта, его интегральные рассеивающие свойства и информацию о комплексной диэлектрической проницаемости (см., например, [1-5]). Причем эти и другие данные могут быть получены в любое время суток и практически не зависят от погодных условий. Выходные сигналы СВЧ радиометров пропорциональны излучательной способности исследуемых объектов, которая зависит от его электрофизических параметров, а также от условий наблюдения (высота, угол визирования, поляризация принимаемого сигнала и т.д.) [3, 5]. Достоинства СВЧ радиометров способствовали тому, что они практически одними из первых начали использоваться для исследования Земли из космоса. СВЧ аппаратурные комплексы и СВЧ радиометрические методы использовались более 25 лет во многих национальных и международных программах как на научной, так и на коммерческой основе на территории бывшего СССР и других стран.

С целью развития и совершенствования методов наблюдения Земли из космоса СВЧ радиометрическими средствами в дециметровом диапазоне длин волн в настоящее время в ФГУП СКБ ИРЭ РАН разрабатывается новый научный прибор - панорамный СВЧ радиометр для установки его на малоразмерный космический аппарат «МКА-ПН1» разработки ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» (планируемый запуск – конец 2009 г.). К настоящему времени изготовлен технологический образец антенной системы и СВЧ радиометрического приемника (рис. 1), заканчивается изготовление летного образца радиометра, разработаны и утверждены техническое задание на космический эксперимент и Научная программа экспериментов в ходе

эксплуатации КА «МКА-ПН1». На рис. 2 показана одна из возможных схем полетной конфигурации космического аппарата и СВЧ радиометра.

В Таблице 1 приведены основные характеристики КА «МКА-ПН1».

Таблица 1. Основные характеристики КА

Высота орбиты, км	820
Наклонение орбиты, град	98.8
Погрешность ориентации (3σ) по каждой оси, угл. мин.	18
Погрешность стабилизации (3σ) по каждой оси, угл. с	30
Объем бортового ЗУ, Гбайт	5
Скорость передачи научной информации, Кбит/с	не более 256
Объем передаваемой научной информации за сутки, Кбайт	не более 500
Среднесуточная мощность, Вт	100-150
Срок активного существования	не менее 3-х лет

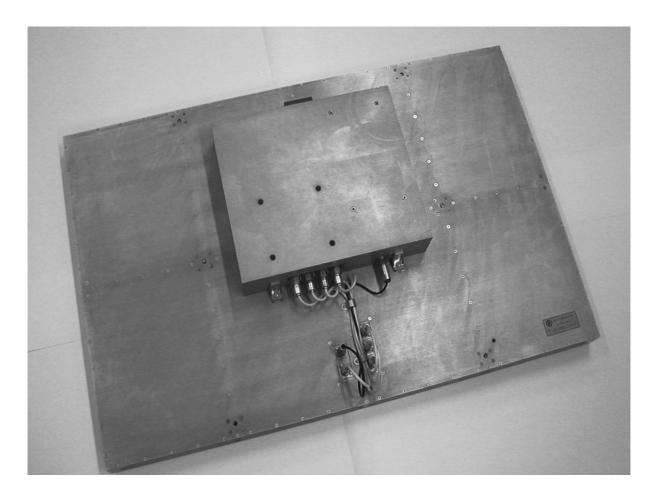


Рис. 1. Технологический образец антенной системы и СВЧ радиометрического приемника

Планируемое использование радиометра связано с решением задач по разработке радиофизических методов дистанционного зондирования Земли из космоса в перспективном дециметровом диапазоне электромагнитных волн для изучения физических явлений и процессов в системе атмосфера-земная поверхность; влиянию внешних факторов (галактический фон, ионосфера и др.) на измеряемые характеристики объектов; изучению помеховой обстановки; по развитию методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением.

Основными объектами наблюдений в ходе проведения космических экспериментов будут подстилающая поверхность (почва и растительные покровы), морские и океанические акватории.

Панорамные измерения обеспечиваются путем одновременного измерения СВЧ излучения с разных участков земной поверхности с помощью 2-х лучевой антенны и 2-х канального радиометрического приемника. В Таблице 2 приведены основные тактико-технические характеристики радиометра.

Количество лучей	2
Полоса обзора, км	0.9 H
Поляризация	линейная
Средняя частота, МГц	1415
Полоса принимаемых частот, МГц	20
Флуктуационная чувствительность, К	0.3
Диапазон измеряемых сигналов, К	10 - 320
Уровни выходных сигналов, В	0 - 5
Потребляемая мощность, ВА	≤ 60
Масса, кг	< 13
Габариты, мм	
блок СВЧ	300x250x60
антенна	800x510x40

Таблица 2. Основные тактико-технические характеристики СВЧ радиометра

Научная программа экспериментов на KA «МКА-ПН1» была разработана в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН на основе предложений российских организаций. При разработке Программы использовался имеющийся в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН опыт формирования Научных программ исследований и экспериментов по космическим проектам «Природа», «Океан-О» №1 и др.

Основной вклад в разработку ключевых предложений по Научной программе экспериментов (приоритетные направления исследований, объекты исследований) внесли следующие организации:

- Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
- Институт космических исследований РАН,
- Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

В процессе составления Научной программы экспериментов при обсуждении вопросов эксплуатационных характеристик и режимов работы КА «МКА-ПН1» участвовали сотрудники ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», ФГУП СКБ ИРЭ РАН.

Научная программа экспериментов, планируемая к реализации в ходе эксплуатации КА «МКА-ПН1», направлена на решение задач по разработке радиофизических методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса в перспективном дециметровом диапазоне электромагнитных волн для изучения физических явлений и процессов в системе атмосфераземная поверхность; по исследованию влияния внешних факторов (галактический фон, ионосфера и др.) на измеряемые характеристики исследуемых объектов; по изучению помеховой обстановки при проведении исследований; по развитию методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением.

В 70 и 80-х годах в ИРЭ РАН и ряде других организаций в СССР и за рубежом были проведены широкомасштабные теоретические исследования возможностей СВЧ радиометрии почвогрунтов, растительности и водных поверхностей в диапазоне длин волн до 30 см, а также экспериментальные исследования при измерениях с борта самолетов. Исследования показали возможность оценки, в частности, влажности почв и биомассы растительности, а также солености акваторий СВЧ радиометрии-ческим методом [3, 4, 6]. В то же время, экспериментальных данных по исполь-зованию дециметрового диапазона длин волн для разработки практических методов оценки влажности почв и

биомассы растительности, солености морей из космоса недостаточно для того, чтобы сделать вывод о возможности применения СВЧ радиометрических косми-ческих оперативных наблюдений состояния почв и растительности, акваторий в регио-нальных и глобальных масштабах.

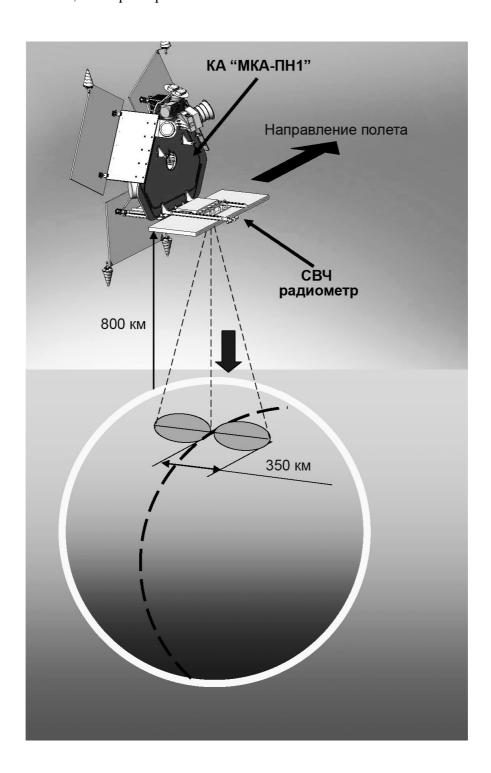


Рис. 2. Одна из возможных схем полетной конфигурации КА «МКА-ПН1» и СВЧ радиометра

Реализация Научной программы позволит оценить эффективность СВЧ радиометрического метода определения влажности почв и биомассы растительности, солености морей из космоса (точность оценки влажности и биомассы, солености, пространственные и временные вариации

параметров почв и растительности). Ожидаемое число возможных градаций в диапазоне изменений характерных величин влажности и биомассы – до 5, солености – до 3. Будут развиты необходимые модели и алгоритмы, отработана методика проведения соответствующих космических измерений, калибровки и валидации экспериментальных данных. Будут получены данные для решения целого ряда научных и практических задач:

- картирование влажности почв (в т.ч. под лесным пологом) по территориям регионального и глобального масштабов,
 - исследование температурно-влажностного состояния лесоболотных систем,
 - изучение биометрических характеристик растительности,
 - изучение солености водных акваторий,
 - исследование гляциальных и мерзлотных зон,
- изучение энергообмена системы океан-суша-атмосфера (совместно с данными других датчиков),
 - исследование геотермальной деятельности, оценка границы зон и температурного режима,
- развитие методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением.

Полученные результаты могут использоваться в таких областях, как сельское и лесное хозяйство, гидрология, климатология, экология.

Реализация Научной программы позволит разработать радиофизические методы дистанционного зондирования Земли в перспективном диапазоне электромагнитных волн для изучения физических явлений и процессов в системе атмосфера-земная поверхность, развить методы использования дециметрового диапазона волн для оценки влажности почв и биомассы растительности, солености морей из космоса в региональных и глобальных масштабах, оценить возможность практического использования разработанных методов в научных и прикладных целях.

Впервые будут получены данные по использованию дециметрового диапазона волн для оценки влажности почв и биомассы растительности, солености морей из космоса для изучения возможности применения СВЧ радиометрических космических оперативных наблюдений состояния почв и растительности в региональных и глобальных масштабах; будут получены новые и дополнены имеющиеся ряды данных о состоянии объектов окружающей среды, пространственно-временной изменчивости их характеристик, уточнены и развиты модельные представления о природных процессах и явлениях; будут разработаны предложения по модернизации и развитию системы сбора, обработки, хранения, обмена и распределения космических данных и сопутствующей информации, калибровки и валидации экспериментальных данных. Реализация Научной программы позволит также продолжить совершенствование средств и методов дистанционного зондирования Земли из космоса.

Научная программа открыта для участия в ней заинтересованных организаций, ученых и специалистов. После летных испытаний бортового информационно-измерительного комплекса планируется дальнейшее развитие Научной программы: уточнение объемов и структуры научных экспериментов, расширение круга участников и др.

Научная программа состоит из пяти разделов и Приложений. Разделы программы охватывают следующие объекты исследований:

- исследование суши;
- исследование океана;
- исследование атмосферы;
- проведение калибровочных измерений;
- информационное обеспечение Научной программы.

В первых трех разделах систематизированы эксперименты по дистанционному зондированию суши, океана и атмосферы. Выделены основные направления исследований.

В первом разделе систематизированы эксперименты по дистанционному зондированию суши. Планируются следующие основные направления исследований:

- изучение состояния растительного покрова;
- изучение гидрологической обстановки отдельных районов земной поверхности;
- исследование температурно-влажностного состояния лесоболотных систем;
- исследование сейсмоактивных зон, зон геотермальной и вулканической активности;
- исследование гляциальных и мерзлотных зон.

Во втором разделе систематизированы эксперименты по дистанционному зондированию океана. Планируются следующие основные направления исследований:

- развитие методик дистанционного определения солености поверхностного слоя океана;
- исследование теплового и динамического взаимодействия океана и атмосферы;
- СВЧ радиометрические измерения для исследования гидрофизических полей океана;
- изучение ледовой обстановки.

В третьем разделе систематизированы эксперименты по дистанционному зондированию атмосферы. Планируются следующие основные направления исследований:

- влияние внешних факторов (галактический фон, ионосфера и др.) на измеряемые характеристики объектов;
 - изучение помеховой обстановки.

Эксперименты, относящиеся к калибровочным измерениям и информационному обеспечению Научной программы, вынесены в отдельные разделы, т.к. эти эксперименты обеспечивают базис для всех научных экспериментов. Они связаны с отработкой методов и технологий калибровки измерительной аппаратуры и валидации данных; отработкой методов и технологий использования активного архива данных экспериментальных исследований; развитием средств и техники обработки, хранения и распределения данных.

В ходе реализации Научной программы экспериментов должен быть решен широкий круг научных задач, составной частью которых является проведение сопутствующих подспутниковых (калибровочных) измерений. Такие измерения необходимы для:

- калибровки приборов дистанционного зондирования, контроля их работоспособности в период функционирования, оценки информативности экспериментальных данных;
- разработки новых, усовершенствования и проверки существующих методик восстановления геофизических параметров;
- отработки методик совместной интерпретации космических данных, полученных в различных спектральных интервалах, и результатов синхронных подспутниковых измерений;
 - валидации космических данных;
- комплексного изучения природных объектов путем использования информации, получаемой с различных уровней и с разным пространственным разрешением.

Для калибровки выбираются однородные участки земной или водной поверхностей с известными радиационными и геофизическими параметрами. Размеры этих участков определяются разрешающей способностью приборов. Для радиодиапазона - от нескольких километров до десятков и сотен километров в зависимости от длины волны. Полигоны или тестовые участки (на которых синхронно или квазисинхронно со спутниковыми наблюдениями проводятся подспутниковые измерения) выбираются в различных физико-географических районах для более широкого охвата типов изучаемых объектов. Перечень параметров, измеряемых на полигонах, объем измерений определяются конкретным назначением полигона и задачами эксперимента.

Эксперименты, относящиеся к информационному обеспечению Научной программы, вынесены в отдельный раздел, т.к. эти эксперименты обеспечивают базис для всех научных экспериментов. Они связаны с отработкой методов и технологий использования активного архива данных экспериментальных исследований; развитием средств и техники обработки, хранения и

распределения данных. Эффективный обмен данными позволяет расширить возможности исследований, например, путем использования разнообразной информации из различных источников. А это, при проведении комплексных космических экспериментов, во многих случаях может являться принципиальным условием успешной реализации планируемых исследований.

В Приложениях к Научной программе представлены:

- состав и характеристики научной аппаратуры КА «МКА-ПН1»;
- уровни представления космических данных;
- предложения по развитию Научной программы.

Научную программу космических экспериментов в ходе эксплуатации КА «МКА-ПН1» целесообразно скоординировать с подобными исследованиями в рамках существующих и планируемых к реализации в ближайшей перспективе отечественных и зарубежных космических проектов.

Литература

- 1. *Башаринов А.Е.*, *Шутко А.М.* Измерение влажности земных покровов методами сверхвысокочастотной радиометрии // Метеорология и гидрология, 1971. №9. С.17-20.
- 2. *Ньоку* Э.Дж. Пассивное дистанционное зондирование Земли из космоса в СВЧ-диапазоне // ТИИЭР, 1982. Т. 70, №7. С.49-75.
 - 3. Шутко А.М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов. М.: Наука, 1986. 143 с.
- 4. *Jackson T.J.*, *Hsu A.Y.*, *Shutko A.*, *Tishchenko Yu.*, *Petrenko B.*, *Kutuza B.*, *Armand N.* Priroda microwave radiometer observations in the Southern Great Plains 1997 Hydrology experiment // Int. J. Remote Sensing, v.23 (2), 2002. P.231-248.
- 5. Armand N.A., Polyakov V.M. Radio Propagation and Remote Sensing of the Environment. New York, CRC Press, 2005. 440 p.
- 6. Tishchenko Yu.G., Shutko A.M., Savorskiy V.P., Smirnov M.T., Krapivin V.F., Petkov D., Kancheva R., Nikolov H., Borisova D. Regional Monitoring of the Earth Surface in Black Sea Basin in Interests of Natural Disasters Mitigation // Proceedings of RAST 2007. Istanbul. 2007. P.540-542.

About scientific program of space experiments in the course of exploitation of the space apparatus MKA-PN1

N.A. Armand, Yu.G. Tishchenko, V.P. Savorsky, M.T. Smirnov

Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Fryazino branch E-mail: tishchen@ire.rssi.ru

Scientific program of space experiments in the course of exploitation of the space apparatus MKA-PN1 was developed in the IRE RAS on base of both suggestions of some Russian institutions and experience acquired in the course of formation of scientific programs "Priroda", "Okean-O" №1, etc. The main purposes of the program are following: development of radiophysical methods of remote sensing in decimetric range for studying physical processes and phenomena in the system atmosphere – land surface, investigation of the influence of external factors such as galactic background, ionosphere parameters, etc. on the characteristics being measured, examination of noise circumstances, development of methods for combined processing of data with different space resolution.

Keywords: space experiment, MKA-PN1, decimetric range, system atmosphere – land surface.