

Космические проекты с радиометрическими системами L-диапазона длин волн

Н.А. Арманд¹, Ю.Г. Тищенко¹, В.П. Саворский¹, М.Т. Смирнов¹, В.С. Аблязов²,
А.А. Халдин^{2*}, А.Н. Козлов²

¹ Фрязинский филиал Учреждения Российской академии наук Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино Московской обл.

² ФГУП Специальное конструкторское бюро Института радиотехники и электроники РАН, Фрязино Московской обл., *E-mail: ahaldin@sdb.ire.rssi.ru

Для развития и совершенствования методов наблюдения Земли из космоса СВЧ-радиометрическими средствами в настоящее время в России разрабатываются перспективные космические проекты. С этой целью в Специальном конструкторском бюро Института радиотехники и электроники РАН создаются новые СВЧ радиометрические системы в дециметровом диапазоне электромагнитных волн (L-диапазон, длина волны около 21 см). Научные программы экспериментов разрабатываются в Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН на основе предложений российских организаций. Основными целями Научных программ являются: разработка радиофизических методов дистанционного зондирования Земли (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 различных приборов с разным пространственным разрешением.

In order to develop and enhance Earth remote sensing techniques by means of microwave radiometry in Russia now are under creation prospective space missions. New L-band (wavelength about 21 cm) microwave radiometric systems are being constructed in the Special Design Bureau of the Institute of Radioengineering and Electronics RAS. Scientific programs of experiments with these instruments are created in the Institute of Radioengineering and Electronics RAS on the base of proposals from various Russian scientific institutions. The main goals of these Scientific programs are: development of radio physical Earth remote sensing methods from space in prospective electromagnetic wave band for investigation of physical events and processes in earth surface–atmosphere system; investigation of external factors (galaxy emission, ionosphere, etc.) impact into measured parameters of investigated objects; analysis of radio interference problems; development of new techniques of data processing for simultaneous measurements of different instruments with different space resolution.

Широкое использование СВЧ-радиометрических приборов в дистанционных космических исследованиях окружающей среды, несмотря на их невысокую разрешающую способность, обусловлено возможностью получения данных, которые не возможно или трудно получить другими методами. К таким данным можно отнести усредненную по поверхности и глубине термодинамическую температуру исследуемого объекта, его спектральные рассеивающие свойства и информацию о комплексной диэлектрической проницаемости.[1-5] На получение данных практически не влияют погодные условия, так как выходные сигналы СВЧ-радиометров пропорциональны излучательной способности исследуемых объектов, которая зависит от характеризующих состояние объектов электрофизических параметров, а так же от условий наблюдения (высота, угол наблюдения, поляризация принимаемого сигнала и т.д.).[3,5]

В 1970- и 1980-х годах в Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ИРЭ РАН) и ряде других организаций в СССР и за рубежом проводились теоретические и экспериментальные исследования возможностей СВЧ радиометрии почвогрунтов, растительности и водных поверхностей в диапазоне длин волн до 30 см, которые показали возможность оценки влажности почв, биомассы растительности и солёности акваторий.[3,5,6] В то же время экспериментальных

данных по использованию дециметрового диапазона длин волн для разработки практических методов оценки влажности почв и биомассы растительности, солености морей из космоса недостаточно для того, что бы сделать вывод о возможности применения СВЧ-радиометрических космических оперативных наблюдений состояния почв и растительности, акваторий в региональных и глобальных масштабах.

В настоящее время для дистанционного зондирования (ДЗ) влажности почв и солености океана разрабатывается ряд спутниковых проектов с СВЧ радиометрическими системами L-диапазона. Основным прибором европейского проекта SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) является сложный интерферометрический СВЧ-радиометр с синтезом апертуры MIRAS. [7] Разрабатываемый в США проект SMAP (Soil Moisture Active and Passive) предполагает совместное использование сканирующего СВЧ-радиометра L-диапазона с антенной диаметром 6 м и скаттерометра того же диапазона.[8] В России разрабатываются более простые СВЧ-радиометрические системы L-диапазона, которые будут описаны ниже.

С целью развития и совершенствования методов наблюдения Земли из космоса СВЧ-радиометрическими средствами в дециметровом диапазоне длин волн в настоящее время в Специальном конструкторском бюро Института радиотехники и электроники РАН (ФГУП СКБ ИРЭ РАН) разрабатываются следующие новые научные приборы L-диапазона:

- панорамный СВЧ радиометр для установки на российский сегмент (РС) международной космической станции (МКС), состоящий из 8 канального СВЧ-радиометрического приемника ($\lambda \sim 21$ см) и складной (раскладной) 8 лучевой антенной системы;

- панорамный СВЧ радиометр для установки на малоразмерный космический аппарат “МКА-ФКИ” №1 разработки ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина”, состоящий из 2 канального СВЧ-радиометрического приёмника ($\lambda \sim 21$ см) и 2 лучевой антенной системы.

В таблице приведены основные тактико-технические характеристики разрабатываемых радиометров.

Таблица. Основные тактико-технические характеристики радиометров дециметрового диапазона

Параметры	Космическая платформа	
	"МКА-ФКИ" №1	РС МКС
Средняя частота, МГц	1410	1410
Полоса принимаемых частот, МГц	20	20
Флуктуационная чувствительность, К	0,3	0,2
Диапазон измеряемых сигналов, К	10-320	10-320
Поляризация	линейная	линейная
Количество лучей	2	8
Полоса обзора, км	700	400
Пространственное разрешение, км	350	50
Потребляемая мощность, ВА	≤ 60	≤ 120
Масса, кг	≤ 13	≤ 35
Размеры, мм		
антенна	800x510x40	1200x1920x50
СВЧ-радиометрический приёмник	350x300x70	670x250x210

Приборы близки по своей организации, но имеют различные возможности по обзору пространства. Первый из этих приборов имеет антенну большего размера и

соответственно более высокое пространственное разрешение. Панорамный обзор пространства обеспечивается путем одновременного измерения СВЧ-излучения с разных участков земной поверхности с помощью 8 лучевой антенны и 8 канального радиометрического приемника на РС МКС и соответственно 2 лучевой антенны и 2 канального приемника на “МКА-ФКИ” №1.

К настоящему времени для “МКА-ФКИ” №1 изготовлены технологический образец и образец для КДИ СВЧ-радиометра, подготовлено техническое задание на космический эксперимент, сформирована научная программа космических экспериментов в ходе реализации проекта “МКА-ПН1”.

Для РС МКС изготовлены технологический образец и образец для КДИ СВЧ-радиометра, подготовлено техническое задание на космический эксперимент, сформирована научная программа космических экспериментов на РС МКС. Одна из особенностей конструкции данного СВЧ-радиометра заключается в относительно больших размерах его антенной системы (см. таблица 1) для повышения поверхностного пространственного разрешения. Антенна, доставленная на орбиту в сложенном виде, разворачивается космонавтами при монтаже СВЧ-радиометра снаружи модуля РС МКС.

Научные программы экспериментов космического проекта “МКА-ПН1” и для РС МКС направлены на решение следующих задач: разработка радиофизических методов ДЗЗ из космоса в перспективном дециметровом диапазоне электромагнитных волн для изучения физических явлений и процессов в системе атмосфера–земная поверхность; исследование влияния внешних факторов (галактический фон, ионосфера и др.) на измеряемые характеристики исследуемых объектов; изучение помеховой обстановки при проведении исследований; развитие методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением.

Реализация научных программ 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 пяти для “МКА-ФКИ” №1 и до семи для РС МКС, солености – до трех для “МКА-ФКИ” №1 и до пяти для РС МКС. Будут разработаны 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, таких как:

- 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 научных программ позволит разработать радиофизические методы ДЗЗ

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, солёности морей из космоса в региональных и глобальных масштабах, оценить возможность практического использования разработанных методов в научных и прикладных целях.

Научные программы состоят из пяти разделов и приложений. Разделы программ охватывают следующие объекты исследований: 1) исследование суши; 2) исследование океана; 3) исследование атмосферы; 4) проведение калибровочных измерений; 5) информационное обеспечение научной программы.

В первом разделе систематизированы эксперименты по ДЗ 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 ДЗ океана. Планируются следующие основные направления исследований: развитие методик дистанционного определения солёности 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 ДЗ 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. 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 ходе реализации научных программ экспериментов должен быть решен широкий круг научных задач, составной частью которых является проведение сопутствующих подспутниковых (калибровочных) измерений. Такие измерения необходимы для:

- калибровки приборов ДЗ, 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;
- валидация 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.

Планируемое использование разрабатываемых СВЧ-радиометров связано с решением задач по разработке радиофизических методов ДЗЗ 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; развитию методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением. Объектами наблюдений в ходе проведения космических экспериментов будут подстилающая поверхность (почва и растительные покровы), морские и океанические акватории.

Научную программу космических экспериментов в ходе реализации космического проекта “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. Ulaby F.T., Moore R.K., Fung A.K. Microwave remote sensing. N.Y.: 1981, 1982, 1986. V. 1, 2, 3.
3. Шутко А.М. СВЧ радиометрия водной поверхности и почвогрунтов. М.: Наука, 1986. 190 с.
4. Jackson T.J., Hsu A.Y., Shutko A., Tishchenko Yu., Petrenko B., Kutuza B., Armand N. Pridoda microwave radiometer observations in the Southern Great Plains 1997 Hydrology experiment // Int. J. Rem. Sens. 2002. V. 23. № 2. P. 231–248.
5. Armand N.A., Polyakov V.M. Radio Propagation and Remote Sensing of the Environment. N.Y.: CRC Press, 2005. 448 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 // 3rd Int. Conf. on Recent Advances in Space Technologies Space for a More Secure World (RAST 2007). 14–16 June 2007. Istanbul, Turkey. 2007.
7. Font J., Lagerloef G., LeVine D., Camps A., Zanife O.Z. The Determination of Surface Salinity with the European SMOS Space Mission // IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens., 2004. V. 42. № 10. P. 2196–2205.
8. SMAP. <http://smap.jpl.nasa.gov>