

Космические эксперименты по исследованию Земли из космоса на Российском сегменте Международной космической станции

В.П. Саворский, А.Б. Аквилонова, И.Н. Кибардина, С.М. Маклаков

*ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Московская обл., Россия
E-mail: savor@sunclass.ire.rssi.ru*

Представлен аналитический обзор состояния научно-прикладных исследований на Российском сегменте Международной космической станции (МКС), которые проходят по программе координационного научно-технического совета «Исследование Земли из космоса». Обзор ограничен работами, завершенными в 2012-2014 гг., и выполняющимися или готовящимися к выполнению в настоящее время. Эксперименты включают методы, основанные на измерениях собственного излучения Земли или отраженного сигнала в диапазоне длин волн от видимого до СВЧ. Тематика экспериментов направлена на отработку методов и средств дистанционного зондирования из космоса поверхности суши и океана, выявление климатообразующих факторов для мониторинга лесных экосистем, развития средств контроля природопользования, экологического контроля и мониторинга чрезвычайных ситуаций. В этих космических исследованиях применяются различные виды научной аппаратуры, в том числе многоцелевая аппаратура видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, спектрометры видимого и ИК диапазонов, приборы пассивной и активной локации в СВЧ диапазоне. В статье приведены краткие характеристики этой аппаратуры. В результате проведенного анализа установлены наиболее важные проблемы, решение которых поможет повысить эффективность подготовки и проведения космических экспериментов. В частности, эффективность работ может быть существенно повышена в результате разработки и реализации единой согласованной программы создания комплекса научной аппаратуры по исследованию Земли с борта РС МКС.

Ключевые слова: космические эксперименты, исследование Земли из космоса, дистанционное зондирование Земли, Международная космическая станция, координационный научно-технический совет.

Введение

Наблюдения Земли из космоса с Российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) ведутся с 2001 г. С этого времени накоплен большой опыт наблюдений как с участием экипажа, так и в автоматическом режиме.

В данной работе рассмотрены эксперименты на МКС, проведенные или подготавливаемые к проведению в последние 3 года по программе научно-прикладных исследований (НПИ) секции 3 координационного научно-технического совета (КНТС) «Исследование Земли из космоса» (ИЗК). В работе приведено краткое описание космических экспериментов (КЭ), рассмотрено текущее состояние НПИ на РС МКС, представлен анализ хода их подготовки, сформулированы предложения по повышению эффективности проведения КЭ.

Краткое описание реализуемых и планируемых космических экспериментов

Наблюдения Земли из космоса включают измерения собственного и отраженного излучения Земли со спутников в широком диапазоне электромагнитных волн – от видимого до СВЧ. В КЭ запланированы и применяются различные виды научной аппаратуры (НА), обеспечивающие проведение наблюдений Земли из космоса в указанных диапазонах, включая использование:

- многоцелевой аппаратуры видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов,
- спектрометров видимого и ИК диапазонов,

- средств пассивной СВЧ аппаратуры,
- средств активной СВЧ аппаратуры.

В 2014 г. на РС МКС завершается двухлетний цикл работ по КЭ «Экспериментальная отработка методики поиска и обнаружения промыслово-продуктивных районов Мирового океана экипажем российского сегмента Международной космической станции» («Сейнер»). В КЭ используются данные дистанционных наблюдений, полученные с помощью цифрового фотоаппарата NIKON D3X и фотоспектральной аппаратуры (ФСС) видимого диапазона.

В 2014 г. на борту РС МКС начата реализация «оптической части» КЭ «Экспериментальная отработка технологии малогабаритного радиолокатора с синтезированной апертурой на основе микрополосковых активных фазированных антенных решеток в интересах решения задач природопользования, экологического контроля и мониторинга чрезвычайных ситуаций» («Напор-миниРСА»), заключающаяся в отработке системы оптических телескопов для получения и передачи с борта служебного модуля через радиотехническую систему передачи информации на наземные приемные станции видеоизображений подстилающей поверхности Земли (в т.ч. получение видеоизображений тестовых участков, синхронных с радиолокационными) для обеспечения потребностей российских и зарубежных организаций. Начало работ на борту МКС стало возможно благодаря доставке в 2013–2014 г на МКС камер телескопов канадской компании EVC среднего (MRC) и высокого разрешения (HRC). Моноблок HRC предназначен для видеосъемки участка подстилающей поверхности размером 5,36×3,56 км с проекцией пикселя на поверхность Земли 1,15 м (для высоты орбиты 350 км) со скоростью 3 кадра в секунду. Моноблок MRC дает возможность съемки поверхности в режиме «подметания» и получения изображений в виде полос шириной 37,7 км и 47,4 км. Проекция пикселя в этом случае на поверхность Земли составляет 5,4 м (для высоты орбиты 350 км) (Космические новости, 2014).

Наряду с этими экспериментами до 2020 г. на РС МКС запланировано проведение целого ряда КЭ с использованием многоцелевой аппаратуры видимого и ИК диапазонов (см. их краткие описания в *табл. 1*).

КЭ «Дубрава» запланирован к реализации на РС МКС с 2015 г. Основные решаемые задачи КЭ – отработка методов измерения, регистрации и тематической обработки изображений лесов с борта орбитальной станции и получение данных, необходимых для решения основных научно-методических вопросов, определяющих повышение информационного потенциала пилотируемых орбитальных средств, используемого в интересах лесного хозяйства.

КЭ «Климат» направлен на получение данных наблюдений за изменением климатообразующих факторов в тропосфере и нижней стратосфере Земли (аэрозоли, парниковые газы, озон) и изменчивостью основных составляющих энергетического (радиационного) баланса климатической системы Земли. С помощью монохроматических камер видимого диапазона (МИК 630 нм и МИК 555,7 нм) можно будет наблюдать оптическую активность аэрозоля в видимой части солнечного спектра на дневных участках орбиты,

Таблица 1. Планируемые КЭ на РС МКС с использованием многоцелевой аппаратуры видимого и ИК диапазонов

<i>Шифр КЭ</i>	<i>Наименование КЭ</i>	<i>Применяемая НА</i>
«Дубрава»	Мониторинг лесных экосистем	Цифровой фотоаппарат NIKON D3X. Цифровая видеоаппаратура - камкордер Sony HVR-Z1J . Фотоспектральная аппаратура (ФСС) видимого диапазона
«Климат»	Отработка технологии космического мониторинга климатообразующих факторов Земли на базе приборного комплекса для измерения содержания аэрозоля, озона, парниковых газов в тропосфере и нижней стратосфере	Монохроматические камеры МИК 555,7 нм и МИК 630 нм
«Фон»	Мониторинг оптических характеристик поверхности и атмосферы Земли	Многозональная оптикоэлектронная цифровая видеорадиометрическая система «Видеорадиометр-300» (две зоны в видимой, одна в ближней инфракрасной зоне)

а интенсивность кислородной эмиссии на ночных участках орбиты. Мониторинг этих параметров даст возможность получать оперативную информацию о вариациях оптических толщин атмосферного аэрозоля, обусловленных как естественными причинами (вулканическая деятельность, лесные пожары, активизация внеземных источников), так и антропогенными факторами.

В КЭ «Фон», как заявлено постановщиками КЭ, будет использована многозональная оптикоэлектронная цифровая видеорадиометрическая система «Видеорадиометр-300», предназначенная для изучения оптических характеристик поверхности и атмосферы Земли. Отличием предлагаемой системы от наземных, воздушных и космических радиометров и спектрометров, используемых для изучения оптических характеристик объектов местности, является одновременное получение изображения местности, оптических характеристик ее элементов, соответствующих каждому пикселю или группе пикселей съемочной системы, и характеристик прозрачности атмосферы в момент съемки.

В табл. 2 показаны запланированные эксперименты, базирующиеся на дистанционных спутниковых наблюдениях Земли с использованием спектрометров видимого и ИК диапазонов. Использование данного вида НА при наблюдениях из космоса позволяет исследовать различные характеристики атмосферы: микроструктуру мезосферных серебристых облаков (КЭ «Терминатор»), состав парниковых газов – CO₂ и CH₄ (КЭ «Дриада»), внутренние гравитационные волны в атмосфере (КЭ «Ракурс»), определять поля общего содержания и вертикальных профилей парниковых газов и озона (ИК-Фурье-спектрорадиометр КЭ «Климат»). Наряду с этим ИК-Фурье-спектрорадиометр позволит получать оперативную информацию о вариациях оптических толщин парниковых газов, а также о вертикальном распределении температуры атмосферы (тропосферы и нижней стратосферы) и температуры подстилающей поверхности.

В табл.3 представлены запланированные эксперименты, выполняемые с использованием пассивной СВЧ аппаратуры. Научная аппаратура КЭ «Ветер» предназначена для

дистанционного определения скорости и направления приводного ветра путем измерения собственного и отраженного микроволнового излучения водной поверхности Земли и для оценки спектральных характеристик волнения морской поверхности. Планируемые измерения радиометрами-поляриметрами одновременно на двух длинах волн $\lambda = 0,8$ и $2,25$ см

Таблица 2. Планируемые КЭ на РС МКС с использованием спектрометров видимого и ИК диапазонов

<i>Шифр КЭ</i>	<i>Наименование КЭ</i>	<i>Применяемая НА</i>
«Терминатор»	Наблюдение в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра слоистых образований на высотах верхней мезосферы – нижней термосферы в окрестности солнечного терминатора	Микрокамеры видимого и ближнего ИК диапазонов (420±5, 500±5, 600±5, 760±5 нм)
«Дриада»	Измерения спектров поглощения земной атмосферы в ближнем ИК диапазоне и восстановление концентраций парниковых газов	ИК спектрометр высокого разрешения и видеокамера
«Ракурс»	Многоракурсная спектрометрия атмосферных внутренних гравитационных волн	Камера с узкополосным интерференционным фильтром (762±5 нм); блок из двух фотоприемников для лимбовой съёмки эмиссионных слоёв в атмосферной полосе (762 нм) и зелёной линии атомарного кислорода (557,7 нм) в диапазоне высот 80÷120 км.
«Климат»	Отработка технологии космического мониторинга климатообразующих факторов Земли на базе приборного комплекса для измерения содержания аэрозоля, озона, парниковых газов в тропосфере и нижней стратосфере	ИК-ФСР высокого спектрального разрешения.

Таблица 3. Планируемые КЭ на РС МКС с использованием пассивной СВЧ аппаратуры

<i>Шифр КЭ</i>	<i>Наименование КЭ</i>	<i>Применяемая НА</i>
«Ветер»	Разработка методик определения и получение новых экспериментальных данных о пространственных характеристиках вектора скорости приводного ветра и спектра волнения Мирового океана по измерениям параметров Стокса микроволнового радиотеплового излучения морской поверхности	СВЧ радиометры-поляриметры в диапазонах длин волн $\lambda = 0,8$ см и $\lambda = 2,25$ см
«Метрад»	Радиозондирование трехмерной структуры околоземного пространства и поверхности Земли с помощью высокостабильных сигналов навигационных спутников ГЛОНАСС/GPS для глобального мониторинга ионосферы, атмосферы и земной поверхности	Приемники радиозатменных и опорных навигационных сигналов спутников ГЛОНАСС/GPS

при последовательных наблюдениях (за счет движения КА) одного и того же участка поверхности под 3-мя углами визирования позволяют определить параметры Стокса поляризованного СВЧ излучения водной поверхности и по ним восстановить вектор скорости приводного ветра.

КЭ «Метрад» направлен на развитие и внедрение метода многочастотного радиозатменного и радиоголографического мониторинга атмосферы и ионосферы, а также радиоголографического контроля поверхности Земли. Мониторинг базируется на измерениях параметров высокостабильных сигналов навигационных спутников ГЛОНАСС/GPS. Научная аппаратура КЭ «Метрад» – приемник сигналов ГЛОНАСС и GPS, измеряющий фазу, амплитуду и спектр сигналов на трассах спутник – спутник или спутник – поверхность – спутник.

В табл. 4 приведены описания запланированных экспериментов, выполняемых с использованием активной СВЧ аппаратуры.

В КЭ «Напор-миниРСА» будет выполняться экспериментальная отработка в условиях космического пространства работы малогабаритного радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) в С диапазоне на основе микрополосковых активных фазированных антенных решёток в интересах решения задач природопользования, экологического контроля и мониторинга чрезвычайных ситуаций.

Целью проведения КЭ «МКС-Глонасс» является исследование структуры и динамики ионосферы при помощи комбинированного применения радиотомографического (РТ) и радиозатменного (РЗ) методов с наземной и спутниковой регистрацией радиосигналов. Для проведения РТ экспериментов предполагается использовать существующую российскую РТ систему, расположенную по линии Шпицберген – Мурманск – Москва – Сочи. Предлагаемое комбинированное применение РТ и РЗ с наземной и спутниковой регистрацией радиосигналов позволяет существенно улучшить вертикальное разрешение классического РТ подхода и восстанавливать сложные распределения электронной концентрации в F и E областях ионосферы. Это, несомненно, будет новый шаг в исследовании структуры ионосферы.

Задачей КЭ «Скаттерометр» является разработка методов скаттерометрии в дециметровом диапазоне электромагнитных волн для получения карт скорости и направления приводного ветра с пространственным разрешением 25 км. Основные области использования результатов этих наблюдений – картирование и оценка состояния льдов, обнаружение зон загрязнений водной поверхности нефтяными пленками, определение параметров ледяного и снежного покровов, восстановление значений влажности почвогрунтов. Научная аппаратура – 12-ти канальная приемо-передающая система, которая должна принимать излучение в полосе частот 1,255–1,265 ГГц при средней частоте около 1,260 ГГц (длина волны $\lambda \sim 24$ см), формируя 12-ти лучевую веерообразную диаграмму направленности.

КЭ «МКС РСА (Р)» – это отработка методов дистанционного зондирования земной поверхности в Р-диапазоне при помощи поляриметрической радиолокационной станции бокового обзора с синтезированной апертурой в диапазоне длинных дециметровых волн

Таблица 4. Планируемые КЭ на РС МКС с использованием активной СВЧ аппаратуры

<i>Шифр КЭ</i>	<i>Наименование КЭ</i>	<i>Применяемая НА</i>
«Напор-миниРСА»	Экспериментальная отработка технологии малогабаритного радиолокатора с синтезированной апертурой на основе микрополосковых активных фазированных антенных решеток в интересах решения задач природопользования, экологического контроля и мониторинга чрезвычайных ситуаций	РСА С-диапазона (несущая частота 5350 МГц)
«МКС-Глонасс»	Радиозондирование ионосферы радиотомографическим и радиозатменным методами	Трехканальные приемники радиосигналов L-диапазона, блоки передатчиков 150, 400 и 1067 МГц, сигнал от которых принимается приемниками российской РТ-системы
«Скаттерометр-L»	Использование методов скаттерометрии для мониторинга морской поверхности	Скаттерометр дециметрового диапазона (длина волны несущей частоты $\lambda \sim 24$ см)
«МКС РСА (Р)»	Отработка методов дистанционного зондирования земной поверхности в Р-диапазоне при помощи поляриметрической радиолокационной станции бокового обзора с синтезированной апертурой	РСА Р-диапазона (длина волны несущей частоты $\lambda \approx 70$ см)

(длина волны около 70 см). КЭ направлен на исследование возможностей использования результатов измерений обратного рассеяния точечных и распределенных объектов на поверхности Земли в Р-диапазоне. Для этого в работе предполагается развить средства тематической интерпретации данных РСА измерений в Р-диапазоне для оценки параметров как морской поверхности (волнения, стратификации, солености), так и земных покровов (получение данных об отражательной способности хвойных, лиственных и смешанных лесов, изучение возможностей определения биомассы леса).

Анализ хода проведения КЭ

Отработка методики определения содержания углекислого газа и метана в атмосфере земли с борта РС МКС составили основное содержание КЭ «Русалка» (Кораблев О.И и др., 2011). Проводимые в его рамках измерения были планомерно завершены в мае 2012г. Эксперимент позволил накопить объем экспериментальных данных, достаточный для отработки методики восстановления концентраций содержания углекислого газа и метана в атмосфере. Важно отметить, что КЭ «Русалка» выполнялся космонавтами в ручном режиме. Развитием КЭ «Русалка» является готовящийся в настоящее время КЭ «Дриада». Эксперимент направлен на отработку методики и разработку прибора, выполняющего спектроскопические измерения в ближнем ИК диапазоне, позволяющие определять содержание всех парниковых газов в автономном режиме. Это даст возможность приступить к мониторингу парниковых газов атмосферы в выделенных зонах Земли.

В рамках КЭ «СВЧ-радиометрия» были проведены измерения СВЧ радиотеплового излучения Земли в L-диапазоне. Для этих целей использован новый научный прибор – многолучевой панорамный СВЧ радиометр, работающий в L-диапазоне длин волн. Измерения были проведены с марта по август 2011 г., а их анализ завершен в 2013 г. По результатам экспериментальных измерений впервые в России построены декадные карты радиоярких температур Земли в дециметровом СВЧ диапазоне (Смирнов, Халдин, 2012; Аквилонова и др., 2013). Данные, полученные в ходе эксперимента, позволили проанализировать глобальную помеховую обстановку в L-диапазоне и установить наличие определенных районов суши и акватории океанов, где практически постоянно наблюдаются значительные превышения уровня сигнала, которые в большинстве случаев вызваны работой наземных радиолокаторов и других передающих устройств.

Фотосъемка поверхности Мирового океана с борта РС МКС в 2013–2014 гг. реализована в рамках работ по КЭ «Сейнер». За этот период на протяжении 36–39 экспедиций на РС МКС, были выполнены три программы наблюдений основных промысловых районов Мирового океана, учитывающие их сезонные и приоритетные особенности. Для валидации результатов анализа наблюдений параллельно формировалась квазисинхронная информационная база данных о температурных условиях в основных промысловых районах Мирового океана, определяемых зонами наблюдений. Результаты дешифрирования информативных снимков с накоплением статистики могут быть использованы при составлении и планировании перспективных в промысловом отношении экспедиций в открытые районы Мирового океана. Необходимо отметить, что КЭ «Сейнер», при его надлежащем техническом обеспечении, особенно важен в условиях меняющегося в настоящее время климата Земли, что сказывается непосредственно на устойчивости гидробиологической обстановки в промысловых районах и вызывает потребность их постоянного целенаправленного мониторинга.

В рамках работ по подготовке КЭ «Напор-мини РСА» в 2013–2014 гг. на борт РС МКС были доставлены и установлены телескопы среднего (MRC) и высокого разрешения (HRC), созданные канадской компании EVC. В 2014 г. было проведено их тестирование, в ходе которых работоспособность телескопов была успешно подтверждена, что позволяет ввести телескопы в полнофункциональную эксплуатацию.

Анализ хода подготовки КЭ

КЭ «Ветер», «Дриада», «Дубрава», «Климат», «Метрад», «МКС-Глонавс», «МКС-РСА(Р)», «Напор-мини РСА» (в части работ с РСА С-диапазона), «Ракурс», «Скаттерометр-L», «Терминатор», «Фон» (см. краткие описания в *табл. 1–4*) находятся на различных этапах подготовки. Анализ показывает, что реализация текущих планов этапной программы, прежде всего – разработка и изготовление НА, происходит со значительными задержками, что обусловлено целым рядом объективных и субъективных причин. Это по-

казывает, в частности, сопоставление редакций Этапной программы (ЭП) НПИ на РС МКС за 2012 и 2013 годы (Этапная программа, 2012; Этапная программа, 2013).

В результате проведенного в работе анализа были установлены наиболее важные проблемы, решение которых, несомненно, поможет существенно повысить эффективность подготовки и проведения КЭ. К таким проблемным вопросам следует отнести:

1. отсутствие единой программы наблюдений Земли с РС МКС, направленной на решение актуальных востребованных задач развития отечественных средств ДЗЗ и использования полученных данных для мониторинга природных ресурсов России;
2. отсутствие координации КЭ по ИЗК на РС МКС с российскими, зарубежными и международными программами и проектами по развитию и использованию средств ДЗЗ для исследования природных ресурсов Земли, проводимыми на автоматических космических аппаратах;
3. недостаточная обеспеченность либо малая производительность инфраструктуры РС МКС, выполняющая поддержку общесистемных сервисов, необходимых для подготовки и проведения КЭ, в том числе:
 - унифицированных средств, обеспечивающих высокоточную пространственно-временную привязку данных дистанционных наблюдений;
 - средств оперативной доставки данных наблюдений на Землю, включая высокопроизводительные каналы передачи данных и, по возможности, использование спутниковых ретрансляторов;
 - средств, обеспечивающих гибкое оперативное управление средствами наблюдений;
4. отсутствие возможности либо, по меньшей мере, существенные трудности в организации комплексных наблюдений различными средствами ДЗЗ, размещенными на РС МКС;
5. существенные сложности в получении возможности проведения наблюдений с помощью НА, уже размещенной на РС МКС, для научно-исследовательских коллективов, не являющихся постановщиками КЭ.

Предложения по повышению эффективности проведения КЭ

Анализ хода подготовки и проведения космических экспериментов на РС МКС по направлению работы секции 3 КНТС «Исследование Земли из космоса» показывает, что эффективность работ по проведению КЭ может быть существенно повышена в результате разработки и реализации единой согласованной программы создания комплекса НА по исследованию Земли с борта РС МКС. Такая программа создаст условия для концентрации имеющихся ресурсов на создании согласованной приборной базы, обеспечивающей функционирование и эволюционное развитие на базе одного из модулей РС МКС многофункциональной лаборатории по комплексному исследованию природных ресурсов Земли, т.е. земной обсерватории. Важным аспектом этой работы является именно комплексный подход

на всех этапах реализации указанной программы. При этом анализ реальной потребности в результатах наблюдения с МКС для решения научных и прикладных задач исследования Земли из космоса должен быть основой для формирования программы. Важно отметить, что формулировка подходов к решению востребованных проблем на пилотируемой станции (РС МКС) должна быть тщательно согласована с учетом возможностей наблюдений Земли с автоматических космических аппаратов, как отечественных, так и зарубежных.

Создаваемый комплекс НА ДЗЗ должен, по возможности, функционировать в режиме центра коллективного пользования, при котором формулирование программы измерений производится на конкурсной основе по заявкам потребителей. При этом на базе приборного комплекса земной обсерватории будет возможна как постановка инициативных проектов, так и проведение ориентированных исследований, задание на которые можно формировать в рамках единой стратегии работ по реализации Федеральной комплексной программы (ФКП) по предложениям, разработанным и согласованным в рамках КНТС. Наряду с этим, благодаря единому управлению всеми ресурсами обсерватории, облегчается возможность проведения совместных научно-исследовательских и прикладных работ с российскими научными фондами (РФФИ, РНФ) и ведомствами (Минобрнауки, МПР и т.д.), а также в рамках международной кооперации.

Создание единого приборного комплекса способствует решению такой важной проблемы, как обеспечение данных ДЗЗ сопутствующими сервисами высокого класса, включая: высокоточную пространственно-временную привязку; обеспечение высокопроизводительными каналами связи для оперативного круглосуточного бесперебойного сброса информации; средства оперативного управления режимами и циклограммами наблюдений; широкое использование специальных платформ со стабилизированной ориентацией относительно центра Земли или другой фиксированной в пространстве точки. Это обусловлено тем, что при создании единого приборного комплекса облегчается проведение общесистемных мероприятий. Решение этой проблемы для земной обсерватории существенно облегчается тем, что при комплексном проведении измерений отсутствует необходимость решения проблемы общесистемной поддержки измерений индивидуально для каждого прибора по отдельности. При этом также важно модульное исполнение НА, при котором облегчается проведение ремонтно-профилактических работ, что является необходимым условием успешной реализации многолетних КЭ.

Существенным фактором повышения эффективности проведения КЭ на РС МКС является организация сопутствующих калибровочных и валидационных измерений, что необходимо для повышения точности и достоверности получаемых результатов. В этой области большое значение имеет возможность доступа участников калибровочных и валидационных измерений к формированию рабочих программ работы бортовой научной аппаратуры. Большой интерес представляет также оперативный доступ к результатам космических измерений. В случае необходимости управления бортовыми приборами членами экипажа МКС, важно реализовать оперативное взаимодействие с ними с использованием телекоммуникационных средств, например, через интернет. Все эти требования, как видно из вышеизложенной концепции, полностью выполняются при реализации инфраструктуры земной обсерватории на РС МКС.

Литература

1. Аквилонова А.Б., Смирнов М.Т., Кузнецов О.О., Халдин А.А. Анализ СВЧ радиометрических данных L-диапазона, полученных в эксперименте на РС МКС // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013, Т. 10, №2, С.252–262.
2. Кораблев О.И., Трохимовский А.Ю., Виноградов И.И., Федорова А.А., Иванов А.Ю., Калинин Ю.К., Титов А.Ю., Калюжный А.В., Родин А.В., Кострова Е.А., Венкстерн А.А., Барке В.В., Смирнов Ю.В., Поляршинов М.А., Ростэ О.З. Прибор «Русалка» для измерения содержания углекислого газа и метана в атмосфере с борта Международной космической станции // Оптический журнал, 2011, Т.78, №5, С.44–57.
3. Космические новости, выпуск № 1125, 24–28 января 2014.
4. Смирнов М.Т., Халдин А.А. Предварительные результаты экспериментов с СВЧ радиометрическим комплексом L-диапазона на РС МКС. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012, Т.9, №2, С.160–166.
5. Этапная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на российском сегменте МКС на период до 2015г., 2012.
6. Этапная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на российском сегменте МКС на период до 2015г., 2013.

Space experiments for the study of the Earth from space on the Russian Segment of the International Space Station

V.P. Savorsky, A.B. Akvilonova, I.N. Kibardina, S.M. Maklakov

*Fryazino Department of V.A. Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS
Fryazino, Moscow region, 141190, Russia
E-mail: savor@ire.rssi.ru*

An analytical review of the state of scientific and applied researches on the Russian Segment of the International Space Station (ISS) is presented. These researches are performed according to the program of the Scientific and Technical Advisory Council “Earth observation from space”. The review is limited to the works finished in 2012–2014 and carried out or prepared for performance now. Experiments include the methods based on measurements of Earth radiation in the wide band of wavelengths, from visible to microwaves. The experiments are aimed at the development of methods and means for satellite remote sensing of land and ocean surfaces, determining the climate forcing factors, developing tools for monitoring of forest ecosystems, natural resources, environmental control, and disaster mitigation purposes. Various scientific instruments are used in these space researches. Earth observation from space is performed using multi-purpose instruments for visible and infrared (IR) bands, visible and infrared spectrometers, as well as passive and active microwave devices. Brief characteristics of the equipment are presented. The analysis identified the most important problem to be addressed to increase the efficiency of preparation and implementation of space experiments. In particular, the efficiency can be essentially increased by development and fulfillment of a uniform coordinated program for creation of a scientific equipment complex for Earth observation from RS ISS.

Keywords: space experiments, study of the Earth from space, remote sensing of the Earth, International Space Station (ISS), Coordinating Research Council (science and technology committees).

References

1. Akvilonova A.B., Smirnov M.T., Kuznetsov O.O., Haldin A.A. Analiz SVCh radiometricheskikh dannih L-diapazona, poluchennih v eksperimente na RS MKS (Analysis of passive microwave L-band data obtained in experiment on RS ISS), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 2, pp. 252–262.
2. Korablev O.I., Trohimovskii A.U., Vinogradov I.I., Fedorova A.A., Ivanov A.Y., Kalinnikov Y.K., Titov A.Y., Kalyuzhny A.C., Rodin A.C., Kostrov E.A., Wenkstern A.A., Barka B.D., Smirnov Y.C., Poluarshinov M.A., Roste O.Z., Pribor “Rusalka” dlya izmereniya soderganiya uglekislogo gaza i metana v atmosphere s borta Megdunarodnoi kosmicheskoi stanzii (Rusalka instrument to measure atmospheric carbon dioxide and methane onboard ISS), *Opticheskiy jurnal*, 2011, Vol. 78, No. 5, pp. 44–57.
3. *Kosmicheskie novosti*, Issue 1125, 24–28 January 2014.
4. Smirnov M.T., Haldin A.A. Predvaritelnie rezultati eksperimentov c SVCh radiometricheskim kompleksom L-diapazona na RS MKS (Preliminary results of experiments with L-band microwave radiometric system onboard of RS ISS), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 60–166.

5. Milestone Program of Research and Experiments in the Russian Segment of ISS for the period until 2015, RF Government Ordinance 1306, Amendment of 2012.
6. Milestone Program of Research and Experiments in the Russian Segment of ISS for the period until 2015, RF Government Ordinance 1306, Amendment of 2013.