

**Григорий Чернявский,**  
начальник Научно-технологического центра космического мониторинга Земли – филиала ФГУП «РНИИ КП», профессор, член-корреспондент РАН, доктор технических наук

**Н**аблюдение из космоса природных и антропогенных процессов на Земле способствует решению важнейших проблем национальной безопасности и социально-экономического развития, предоставляя уникальную возможность получения данных в глобальном масштабе с высоким пространственным и временным разрешением.

Наличие функциональной зависимости между излучательной и отражательной способностью объектов и их некоторыми параметрами позволяет методами и средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) формировать информацию о физических, химических, биологических, геометрических характеристиках объектов наблюдения во всех средах Земли.

Многообразие проблем обуславливает дифференциацию спутниковых систем ДЗЗ по целевым задачам и технологиям.

К задачам фундаментального плана относят исследования биосферы, земного климата и природных катастроф. Прикладные задачи представляют мониторинг гидрометеорологической и гелиофизической обстановки, экологической среды, природных ресурсов, чрезвычайных ситуаций, а также наблюдение земных объектов в целях картографирования и инвентаризации.

В мировой практике ДЗЗ базируется на активных и пассивных методах зондирования с использованием измерительных средств, функционирующих в доступном для наблюдения спектре частот (UV, VIS, NIR, IR, TIR, MW) с детальным, сверхвысоким, высоким, средним и малым разрешениями.

Особое место в ДЗЗ занимает спутниковая СВЧ-радиометрия. Применение пассивных методов зондирования в СВЧ-диапазоне кардинально расширяет возможности наблюдения Земли из космоса. Использование СВЧ-диапазона, наряду с оптическим, повышает информативность ДЗЗ и, в отличие от последнего, позволяет проводить круглосуточные измерения во всегодных условиях. Бортовые СВЧ-радиометры отличаются от радиолокаторов меньшими значениями массогабаритных характеристик и потребляемой энергии, что способствует повышению эффективности ДЗЗ из космоса. Спектральные осо-

# Отечественные технологии спутниковой СВЧ-радиометрии

бенности СВЧ-зондирования весьма эффективны при исследованиях и мониторинге системы океан–атмосфера.

Применение спутниковых микроволновых радиометров началось в 1979 г. с американского зондирующего MSU на КА NOAA для измерения профиля температуры на частотах 50-58 ГГц. В 1987 г. на орбиту Земли в составе КА DMSP был запущен сканер SSM/I для определения интегральных метеопараметров на частотах 19,3; 22,2; 37,0; 85,5 ГГц.

Установленный на КА DMSP в 1991 г. приборный комплекс включает наряду со сканером SSM/I зондирующего SSM/T-1 и SSM/T-2, предназначенные соответственно для определения профиля температуры (50-59 ГГц) и профиля влажности (183 ГГц) атмосферы. С 1998 г. на спутниках серии NOAA также устанавливаются температурный AMSU-A и влажностный AMSU-B зондирующего. Данные приборы обеспечивают в определенном объеме стандартной гидрометеорологической информацией страны–члены ВМО.

В России спутниковая СВЧ-радиометрия из-за ряда объективных и субъективных факторов остается пока одной из немногих динамично развивающихся тех-

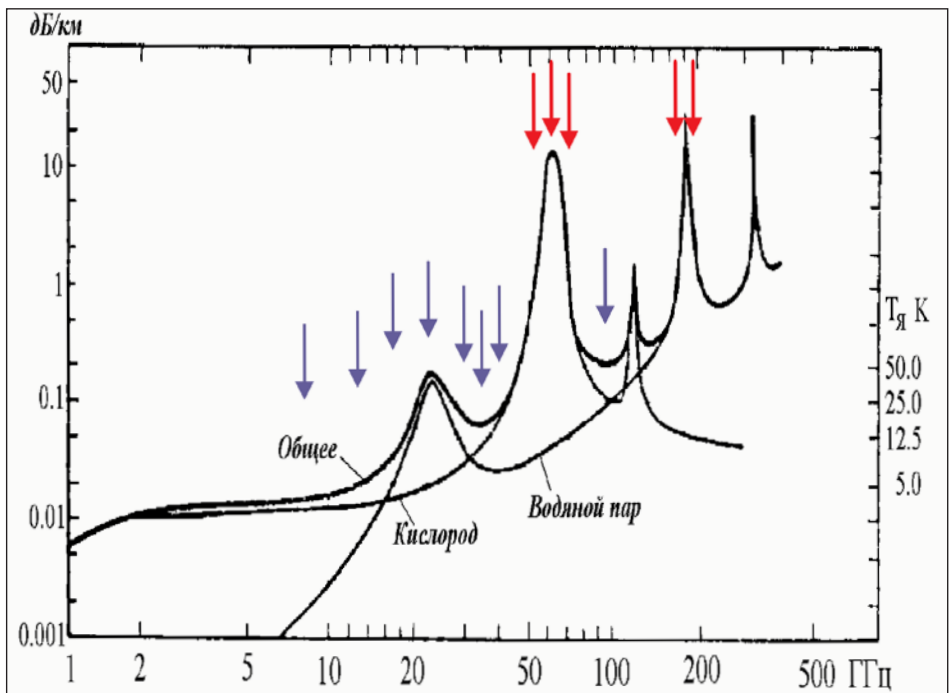
нологий ДЗЗ. Первый отечественный сканер «Икар-Дельта», предназначенный для экспериментов по определению интегральных метеопараметров, был выведен на орбиту в 1996 г. в составе модуля «Мир-Природа».

В России спутниковая СВЧ-радиометрия получила развитие благодаря исследованиям и разработкам Центра программных исследований (ныне – Научно-технологический центр космического мониторинга Земли (НТЦ КМЗ) ФГУП «РНИИ КП») и его кооперации.

Работы в этой области проводятся по двум направлениям:

- исследование и мониторинг внутритропических процессов;
- создание и эксплуатация бортовых СВЧ-радиометров, способных измерять параметры атмосферы, суши, поверхности и активного слоя океана.

Теоретические и экспериментальные исследования по первому направлению проводятся научными сотрудниками НТЦ КМЗ начиная с 1980-х гг. Комплекс выполненных нами пионерских работ продемонстрировал возможность идентификации внутритропических процессов путем измерения яркостной температуры поверх-



Спектральные особенности СВЧ-зондирования атмосферы



МТВЗА КА «Метеор-3М»

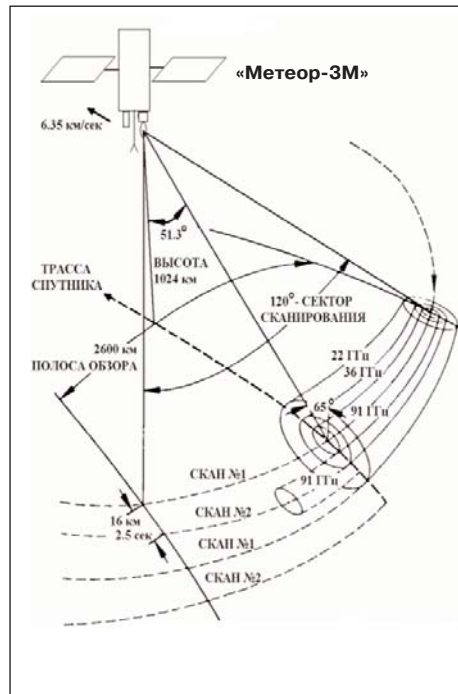
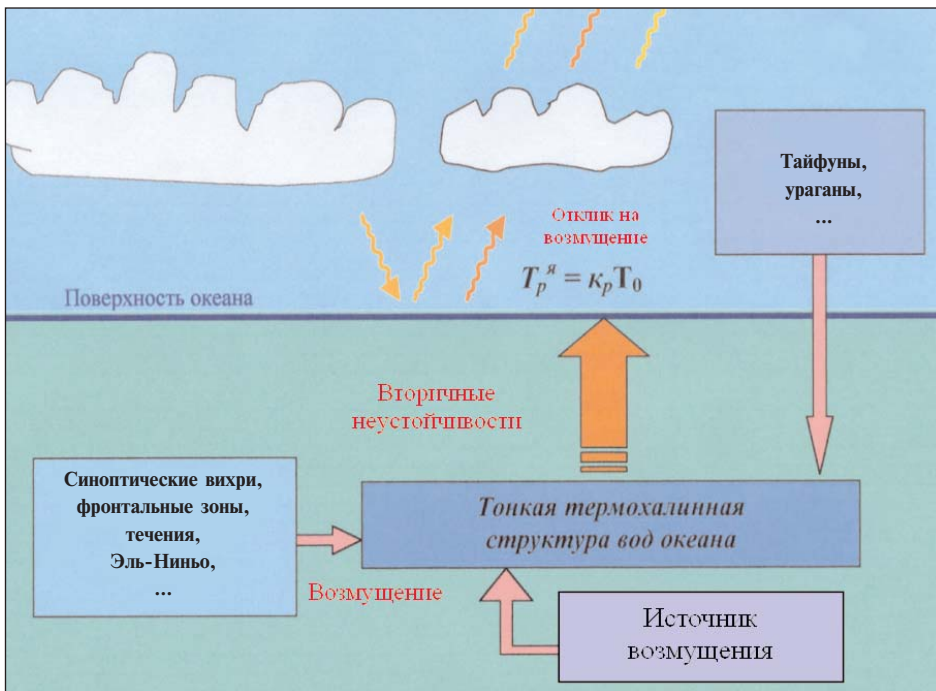


Схема сканирования МТВЗА

ности океана на некоторых радиочастотах и алгоритмической обработки этих данных. Регистрируемый СВЧ-радиометром сигнал отражает эффект поверхностного проявления динамики вторичных процессов, происходящих в результате развития неустойчивостей в термодинамически неравновесной океанической среде.

Здесь основным источником неравно-весности служат градиенты температуры и солености. Наличие тонкой термохалинной структуры вод океана обуславливает развитие неустойчивостей под воздействием природных и антропогенных возмущений. Источниками возмущений служат: в глубине океана – цунами, синоп-



Модель СВЧ-диагностики внутриокеанических процессов

тические вихри, фронтальные зоны, течения, явление Эль-Ниньо, в атмосфере – тайфуны, ураганы, осадки.

С целью обоснования методов и средств идентификации внутриокеанических процессов был проведен цикл экспериментов в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах с использованием корабельных, самолетных и спутниковых средств СВЧ-радиометрии.

Накоплен значительный объем информации и получены положительные результаты. В частности, в Охотском море зафиксирована аномалия траектории движения тропического циклона, что весьма важно для мониторинга тайфунов и ураганов, и получены данные о пространственном масштабе и глубинной структуре синоптических вихрей Курошио.

В 2001 г. в составе КА «Метеор-3М» начались летные испытания многофункционального СВЧ-радиометра МТВЗА, разработка которого проводилась НТЦ КМЗ с середины 1990-х гг. Рабочий диапазон частот МТВЗА составляет 18-183 ГГц и содержит 26 каналов.

Это было началом прорыва монополии США в спутниковой гидрометеорологии со всеми вытекающими политическими, военными и экономическими последствиями. К моменту запуска на орбиту конструкция прибора МТВЗА не имела аналогов в мировой практике. В МТВЗА осуществлено конструктивное объединение функций сканера подобно SSM/I, а также зондировщика типа SSM/T-1,2 и AMSU-A,B, и прибор стал первым в мировой практике спутниковым сканером/зондировщиком, предназначенным для определения стандартных гидрометеорологических параметров атмосферы и подстилающей поверхности в квазиреальном масштабе времени.

Американский аналог – сканер/зондировщик SSMIS выведен на орбиту два года спустя, в 2003 г., в составе КА DMSP. Информация с него пока не доступна массовому потребителю.

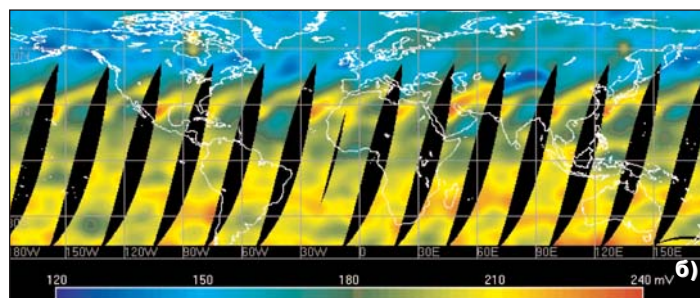
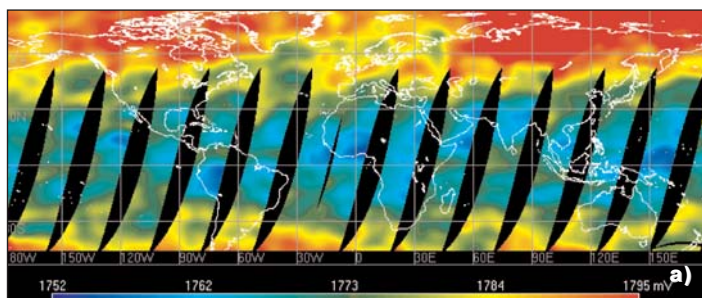
Интеграция функций сканера и зондировщика в едином приборе обуславливает его эффективность, так как уменьшает значения массогабаритных характеристик и энергопотребление.

В МТВЗА впервые реализованы:

- совмещенные во времени и пространстве поля многоспектральных и поляризационных измерений;
- коническое сканирование как для сканера, так и для зондировщика.

Это позволяет более продуктивно вести обработку данных с целью:

- восстанавливать вертикальные профили температур и влажности атмосферы;
- определять: интегральную влажность атмосферы, водный запас облаков, интенсивность осадков, температуру поверхнос-



**Изображения атмосферы Земли в линиях поглощения кислорода по данным СВЧ-радиометра МТВЗА (КА «Метеор-3М»): а) 55,63 ГГц, максимум весовой функции на высоте 16 км; б) 52,80 ГГц, максимум весовой функции на высоте 2 км**

ти океана, скорость приводного ветра, толщину, возраст и сплоченность ледяного покрова, влажность почв, водный эквивалент снежного покрова.

Уникальность прибора МТВЗА состоит и в том, что, благодаря применению нетрадиционных частот зондирования (одновременно используется набор частот 33, 36, 42, 48, 91 ГГц), стало возможным значительно расширить круг решаемых задач, не доступных для других средств. Сюда относится мониторинг: опасных явлений в атмосфере (ураганы, тайфуны), явления Эль-Ниньо и его влияния на глобальные изменения климата, фронтальных зон и синоптических вихрей в океане, играю-

щих важную роль в рыбном промысле, процессов деятельного слоя океана, которые, в свою очередь, оказывают решающее влияние на состояние атмосферы.

Многофункциональный СВЧ-радиометр МТВЗА стал первым в ряде унифицированных приборов, созданных и разрабатываемых НТЦ КМЗ для КА «Сич-1М», «Метеор-М» и «Канопус-СТ». Для КА «Геоник-2» (запуск 2010 г.) разрабатывается специализированный СВЧ-радиометр трассового типа МИРА-М с целью коррекции прецизионных измерений альтиметра.

В модификациях МТВЗА за счет новых конструктивных решений последовательно расширяются функции прибора, совер-

шенствуются информационные характеристики, повышаются ресурс и надежность. Рабочий диапазон частот расширен и составляет 6-220 ГГц, а количество каналов увеличено до 42.



**НТЦ КМЗ – филиал ФГУП «РНИИ КР»**

Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32

Тел.: (495) 429-5311

Факс: (495) 420-2275

E-mail: ichevny@cpi.space.ru



**МТВЗА-ОК КА «Сич-1М»**  
(запуск 2004 г.)



**МТВЗА-ГЯ КА «Метеор-М» № 1**  
(запуск 2008 г.)



**МИРАМ-К КА «Канопус-СТ»**  
(запуск 2011 г.)