

Спутник Японии GCOM-W1: моделирование, калибровка и первые результаты восстановления параметров океана и атмосферы

Л.М. Митник^{1,2}, М.Л. Митник¹, Е.В. Заболотских^{2,3}

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН
Владивосток, Россия

E-mail: mitnik@poi.dvo.ru

² Российский государственный гидрометеорологический университет
Санкт-Петербург, Россия

³ Научный фонд «Международный центр по окружающей среде
и дистанционному зондированию имени Нансена»

Санкт Петербург, Россия

E-mail: liza@rshu.ru

Рассмотрены основные характеристики усовершенствованного микроволнового сканирующего радиометра AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2) на спутнике Японии GCOM-W1 (Global Change Observation Mission 1st–Water), запущенном 18 мая 2012 г. Обсуждаются вопросы моделирования яркостных температур $T_{\text{я}}(\nu)$ на частотах ν радиометра AMSR2, разработки усовершенствованных алгоритмов восстановления параметров океана и атмосферы и калибровки $T_{\text{я}}(\nu)$ на орбите. Рассмотрены алгоритмы восстановления паросодержания атмосферы, водозаписа облаков и скорости приводного ветра, разработанные по массивам расчётных $T_{\text{я}}(\nu)$. Приведены примеры обработки данных AMSR2, полученных над морскими погодными системами.

Ключевые слова: микроволновая радиометрия, спутник GCOM-W1, радиометр AMSR2, моделирование яркостных температуры, калибровка, алгоритмы восстановления параметров, паросодержание атмосферы, водозапас облаков, скорость приводного ветра.

Введение

18 мая 2012 г. Япония осуществила запуск спутника GCOM-W1 (Global Change Observation Mission 1st–Water), основным инструментом которого является усовершенствованный микроволновый сканирующий радиометр AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2). AMSR2 предназначен для измерения параметров окружающей среды, требуемых для изучения круговорота воды в природе, что подчеркнуто и в сокращенном названии спутника: Shizuku – капля. Самая большая в мире вращающаяся антенна, диаметр которой равен 2 м, обеспечивает получение данных с очень высоким пространственным разрешением, не достигавшемся ранее в микроволновом диапазоне. 29 июня GCOM-W1 был переведен на орбиту A-train, на которой уже находились спутники Aqua, CloudSat, CALIPSO и Aura. 16 различных научных инструментов, установленных на этих спутниках, практически одновременно наблюдают атмосферу и подстилающую поверхность Земли вдоль одного и того же пути в широком диапазоне длин волн (L'Ecuyer, Jiang, 2010). Непрерывные наблюдения начались 3 июля, первая фаза проверки работы систем спутника и радиометра была закончена 10 августа.

Для AMSR2 (как и для любого другого инструмента) решающее значение после запуска имеют точная географическая привязка данных, их тщательная калибровка, сведения о стабильности работы, анализ результатов тестирования и настройки алгоритмов восстановления параметров атмосферы, океана, ледяного покрова, земной поверхности (влажность почвы, водосодержание снега и др.), разработанных при выполнении проектов, отобранных Японским аэрокосмическим исследовательским агентством JAXA по конкурсу. После предварительной калибровки яркостные температуры были доступны для всех руководителей проектов. Ниже будут изложены результаты, полученные в рамках проекта «Water vapor, cloud liquid water and wind speed retrieval algorithms for GCOM-W1 AMSR2», представленные на конференции в ИКИ РАН в ноябре 2012 г.

Радиометр и данные

AMSR2 принимает излучение на 7 частотах $\nu = 6,9, 7,3, 18,7, 23,8, 36,5$ и $89,0$ ГГц на вертикальной (в) и горизонтальной (г) поляризациях и позволяет оценивать важнейшие характеристики энергетического и гидрологического циклов Земли, включая паросодержание атмосферы V , водозапас облаков Q , интенсивность осадков, скорость приводного ветра W , температуру поверхности океана (ТПО), параметры ледяного и снежного покрова и растительности. AMSR2 представляет собой практически полный аналог своего предшественника AMSR-E на борту спутника Aqua (Kawanishi et al., 2003), но с двумя новыми каналами на частоте $\nu = 7,3$ ГГц, добавленными для снижения влияния искусственных помех на восстановление температуры поверхности океана и скорости приводного ветра. Антенна AMSR2 вращается со скоростью 40 оборотов в минуту и принимает излучение Земли под постоянным углом визирования 55° в полосе обзора шириной 1450 км (эффективная полоса 1600 км). Антенна диаметром 2 м обеспечивает получение данных с разрешением от 35×62 км на $\nu = 6,9$ ГГц до 3×5 км на $\nu = 89,0$ ГГц (табл. 1).

Таблица 1. Основные характеристики радиометра AMSR2 (Oki et al., 2010).

Частота, ГГц	6,925/7,3	10,65	18,7	23,8	36,5	89,0
Ширина полосы, МГц	350	100	200	400	1000	3000
Поляризация	вертикальная и горизонтальная					
Чувствительность, К	<0,34/0,43	<0,70	<0,70	<0,60	<0,70	<1,20/1,40
Поле зрения, км × км	35×62	24×42	14×22	15×26	7×12	3×5
Интервал выборки, км	10					5

Калибровка принятых сигналов выполняется на каждом скане путем приема космического излучения с температурой 2,73 К и излучения от нагретой согласованной нагрузки, температура которой измеряется в нескольких точках. Вклад излучения, принятого по боковым и задним лепесткам диаграммы направленности антенны, учитывается по расчетным значениям яркостных температур $T_{я}^{вг}(\nu)$. Яркостные температуры AMSR2 сравниваются

с измерениями, полученными микроволновыми радиометрами на других спутниках, включая данные радиометра AMSR-E на спутнике Aqua, вращение антенны которого было восстановлено, но со скоростью 2 оборота/мин.

С 25 января 2013 г. яркостные температуры, измеренные GCOM-W1 (продукты L1), находятся в свободном доступе в Data Providing Service (<https://gcom-w1.jaxa.jp>), а с мая на этом же сайте размещены и поля геофизических параметров (продукты L2).

Моделирование измерений и алгоритмы восстановления параметров

Алгоритмы восстановления двух интегральных параметров атмосферы – полной массы водяного пара (паросодержания атмосферы) V и содержания капелек воды в облаках (водозапаса облаков) Q – и скорости приводного ветра W были разработаны на основе массивов модельных значений яркостных температур системы океан – атмосфера $T_{я}^{вр}(v)$ с учетом шумов радиометра. В качестве входной информации были использованы данные судовых и островных радиозондов, сведения о температуре поверхности океана и скорости ветра, дополненные модельными профилями водности облаков (Митник, Митник, 2006; Mitnik, Mitnik, 2003; Mitnik et al., 2009). Модель переноса излучения была скорректирована для учёта новых экспериментальных данных о спектрах поглощения водяного пара и диэлектрической проницаемости пресной и солёной воды (Turner et al., 2009; Liu et al., 2011; Meissner, Wentz, 2012). В результате были усовершенствованы разработанные ранее алгоритмы для восстановления V , Q и W по данным радиометров AMSR и AMSR-E, основанные как на алгебраизации уравнения переноса микроволнового излучения в системе океан – атмосфера (Митник, Митник, 2006; 2011а; 2011б; Mitnik, Mitnik, 2003; 2010), так и использующие нейронно-сетевой подход (Bobylev et al., 2011). Алгоритмы были применены к данным зондирования AMSR2, полученным над различными погодными системами над океаном. Восстановленные поля сравнивались с полями ветра по данным скаттерометров, с данными станций радиозондирования и океанических буёв, с картами погоды и с другой сопутствующей информацией, что, в частности, позволило выявить, оценить и учесть в алгоритмах систематические различия между расчётными и измеренными с GCOM-W1 значениями $T_{я}^{вр}(v)$ (Wilheit, 2013). На разных каналах различия в значениях $T_{я}^{вр}(v)$ составляли от 0,5 до 3,5 К. Ниже приведены примеры применения алгоритмов к данным радиометра AMSR2, полученным над тропическими циклонами.

Морские погодные системы

Тайфун Sanba в Тихом океане

Тайфун Sanba (1216) был самым интенсивным тропическим циклоном (ТЦ) в сезоне 2012 г. ТЦ сформировался к востоку от Филиппин 10 сентября как тропическая депрессия. Шторм постепенно интенсифицировался, перемещаясь преимущественно на север в область благоприятную для развития. Меньше, чем за сутки система достигла стадии

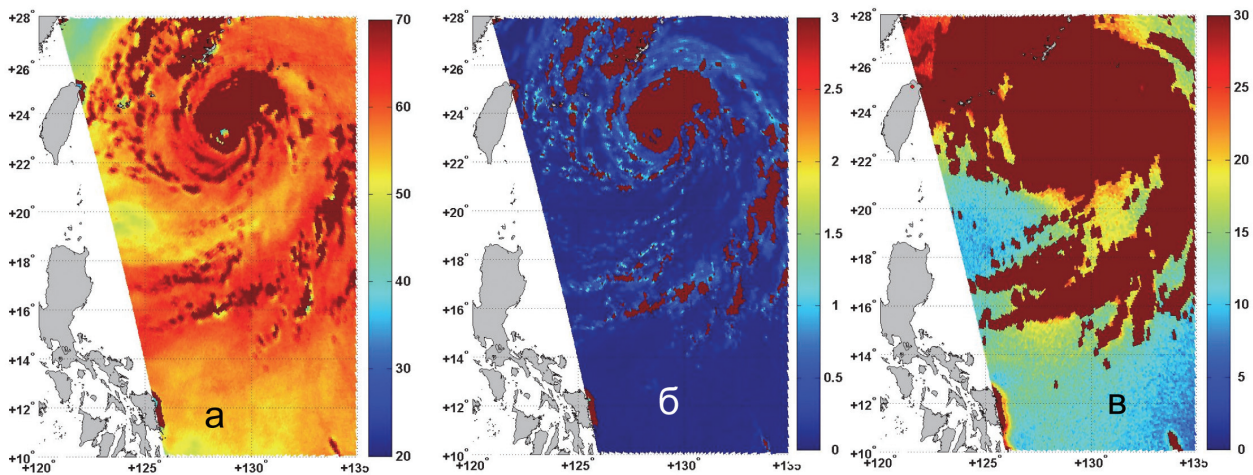


Рис. 1. Поля: (а) паросодержания атмосферы (в кг/м³); (б) водозапаса облаков (в кг/м³) и (в) скорости приводного ветра (в м/с) в супертайфуне Sanba в Тихом океане 15 сентября 2012 г. в 4:30 Гр., восстановленные по данным радиометра AMSR2 со спутника GCOM-W1 по нейронно-сетевым алгоритмам. Коричневые цветом показаны области осадков, где из-за сильного ослабления в атмосфере параметры не восстанавливаются

тропического шторма, а 12 сентября – стадии тайфуна. Позже в этот же день произошла взрывная интенсификация ТЦ. 13 сентября минимальное давление $P_{ц}$ упало до 900 мб, а максимальная установившаяся скорость ветра в области глаза ТЦ $W_{\text{макс}} = 57$ м/с. Тайфун, ускоряясь, продолжал движение в северном направлении и начал ослабевать при увеличении размера его глаза. В конце суток 17 сентября тайфун вышел на Южную Корею и трансформировался во внетропический циклон, который до 19 сентября оказывал воздействие на Приморский край. ТЦ Sanba несколько раз находился в пределах полосы обзора AMSR2, а в районах севернее 38° с. ш. – и в пределах полосы обзора радиометра МТВЗА-ГЯ на спутнике Метеор-М № 1. На *рис. 1* показаны поля параметров в области ТЦ Sanba 15 сентября, когда $P_{ц} = 920$ мб, а $W_{\text{макс}} = 50$ м/с. Осадки и мощная облачность в центральной зоне ТЦ и в спиральных рукавах препятствуют восстановлению паросодержания атмосферы, водозапаса облаков и скорости приводного ветра.

Тропический циклон в северной части Индийского океана

В тропическом шторме Murjan (TC01A), первом тропическом циклоне в северной части Индийского океана в 2012 г. (23–26 октября), мощная облачность и осадки занимали меньшую площадь по сравнению с тайфуном Sanba, что следует из сравнения полей параметров этих ТЦ, показанных на *рис. 1* и 2. Шторм Murjan, образовался в Аравийском море из тропической депрессии и перемещался на запад со скоростью примерно 25 км/ч. Максимальная скорость ветра составила 17 м/с при давлении в центре 1000 мб. Измерения AMSR2 24 октября в 22:00 Гр. зарегистрировали большие различия между значениями паросодержания атмосферы в сухой воздушной массе к востоку от Аравийского п-ва ($W = 25\text{--}30$ кг/м³) и во влажном тропическом воздухе ТЦ и экваториальной области ($W = 55\text{--}65$ кг/м³). Поля

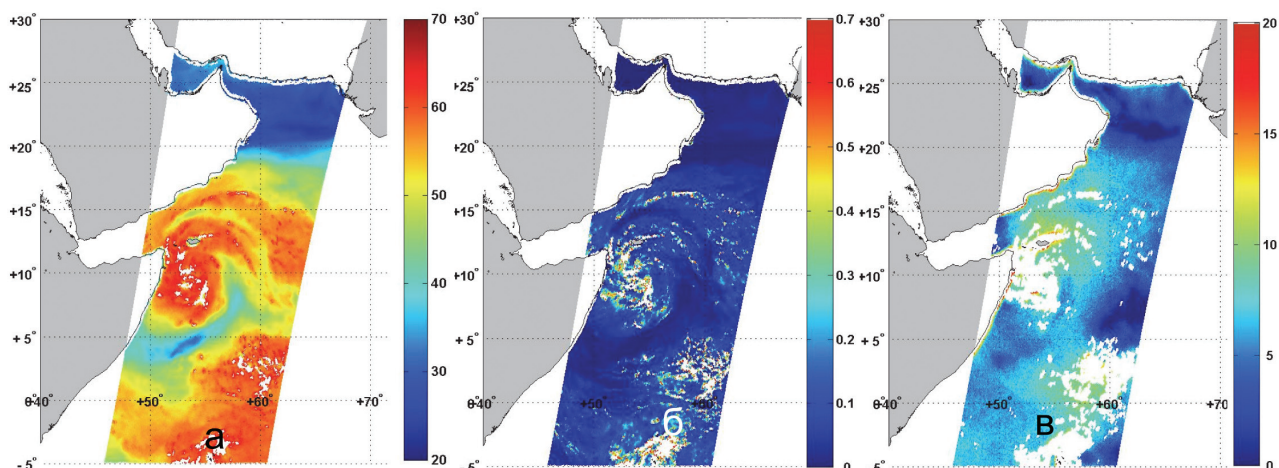


Рис. 2. Поля: (а) паросодержания атмосферы (в $\text{кг}/\text{м}^2$); (б) водозапаса облаков в ($\text{кг}/\text{м}^2$) и (в) скорости приводного ветра (в $\text{м}/\text{с}$) в тропическом шторме Mirjan в Аравийском море 24 октября 2012 г. в 22:000 Гр., восстановленные по данным радиометра AMSR2 со спутника GCOM-W1 по нейронно-сетевым алгоритмам. Белым цветом выделены области, где из-за сильного ослабления в атмосфере параметры не восстанавливаются

паросодержания атмосферы и водозапаса облаков коррелированы, однако, повышенные значения W охватывают существенно бóльшую площадь, чем площадь облаков с водозапасом $Q > 0,3 \text{ кг}/\text{м}^2$. Мощная облачность и осадки препятствуют оценкам интегральных параметров атмосферы V и Q и скорости ветра W . Эти зоны выделены белым цветом на рис. 2.

Заключение

Усовершенствованный сканирующий микроволновый радиометр AMSR2, установленный на японском спутнике GCOM-W1, продемонстрировал высокие и стабильные характеристики, соответствующие техническим требованиям. Различия между расчетными и измеренными AMSR2 яркостными температурами на каналах радиометра меняются примерно от 0 до 3,5 К и, как следует из анализа измерений за более длительный период, со временем уменьшаются. Алгоритмы, разработанные до запуска спутника по массивам расчётных $T_y(v)$, были успешно применены для восстановления параметров атмосферы и океана в морских погодных системах над различными физико-географическими районами Мирового океана, что следует из рис. 1 и 2 и из примеров, приведённых в (Zabolotskikh et al., 2013).

Литература

1. Митник М.Л., Митник Л.М. Восстановление паросодержания атмосферы и водозапаса облаков над океаном по данным микроволнового зондирования со спутников DMSP, TRMM, AQUA и ADEOS-II // Исследование Земли из космоса. 2006. № 4. С. 34–41.

2. *Митник Л.М., Митник М.Л.* Алгоритм восстановления скорости приводного ветра по измерениям микроволнового радиометра AMSR-E со спутника Aqua // Исследование Земли из космоса. 2011а. № 6. С. 34–44.
3. *Митник М.Л., Митник Л.М.* Алгоритм оценки приводного ветра по данным микроволнового радиометра AMSR-E и его применение к анализу погодных систем в тропической зоне // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2011б. Т. 8. № 3. С. 297–303.
4. *Bobilev L. P., Zabolotskikh E. V., Mitnik L. M., Mitnik M. L.* Atmospheric water vapor and cloud liquid water retrieval over the Arctic Ocean using satellite passive microwave sensing // IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing. 2010. V. 49. No. 1. P. 283–294.
5. *Kawanishi T., Sezai T, Ito Y. et al.* The Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System (AMSR-E), NASDA's contribution to the EOS for Global Energy and Water Cycle Studies // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 2003. V. 41. P. 184–194.
6. *L'Ecuyer T.S., Jiang J.H.* Touring the atmosphere aboard the A-train // Physics Today. 2010. V. 63. No. 7. P. 36–41.
7. *Liu Q.H., Weng F.Z., English S.J.* An improved fast microwave water emissivity model // IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing. 2011. V. 49. No. 4. P. 1238–1250.
8. *Meissner T., Wentz F.J.* The emissivity of the ocean surface between 6–90 GHz over a large range of wind speeds and Earth incidence angle // IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing. 2012. V. 50. No. 8. P. 3004–3026.
9. *Mitnik L.M., Mitnik M.L., Zabolotskikh E.V.* Microwave sensing of the atmosphere-ocean system with ADEOS-II AMSR and Aqua AMSR-E // J. Remote Sensing Society of Japan, 2009. V. 29. No. 1. P. 156–165.
10. *Mitnik L.M., Mitnik M.L.* Retrieval of atmospheric and ocean surface parameters from ADEOS-II AMSR data: comparison of errors of global and regional algorithms // Radio Science. 2003. V. 38, No. 4.
11. *Mitnik L.M., Mitnik M.L.* AMSR-E advanced wind speed retrieval algorithm and its application to marine weather systems // Proc. IGARSS'2010. Hawaii. 2010. P. 3224–3227.
12. *Oki T., Imaoka K., Kachi M.* AMSR instrument on GCOM-W1/2: Concepts and applications // Proc. IGARSS 2010. Hawaii, 26–30 July 2010. P. 1363–1366.
13. *Turner D.D. et al.* Modifications to the water vapor continuum in the microwave suggested by ground-based 150-GHz observations // IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing. 2009. V. 47. No. 10. P. 3326–3337.
14. *Wilheit T.T.* Comparing calibrations of similar conically scanning window-channel microwave radiometers // IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing. 2013. V. 51. No. 3. P. 1453–1464.
15. *Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B.* New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing // Geophys. Research Letters. 2013. V. 40, Issue 13. P. 3347–3350.

Japan satellite GCOM-W1: simulation, calibration and first results of the retrievals of atmospheric and oceanic parameters

L.M. Mitnik^{1,2}, M.L. Mitnik¹, E.V. Zabolotskikh^{2,3}

¹ *V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute (POI), Vladivostok, Russia*

E-mail: mitnik@poi.dvo.ru

² *Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg, Russia*

³ *Scientific Foundation "Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre"*

St. Petersburg, Russia

E-mail: liza@rshu.ru

Performances of AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2) installed on Japanese GCOM-W1 (Global Change Observation Mission 1st-Water) satellite launched on 18 May 2012 are considered. Problems of brightness temperature $T_b(\nu)$ modeling at AMSR2 frequencies ν , development of advanced algorithms for oceanic and atmospheric parameter retrieval and $T_b(\nu)$ calibration in space are discussed. Algorithms for retrieval of total water vapor content, total cloud liquid water content and wind speed developed on the base of the modeled $T_b(\nu)$ are considered. Examples of AMSR2 data processing acquired over marine weather systems are given.

Keywords: microwave radiometry, GCOM-W1 AMSR2, brightness temperature modeling, calibration, retrieval algorithms, total water vapor content, total cloud liquid water content, near-surface wind speed.