Спутниковая СВЧ-радиометрия урагана ALBERTO: траектория и эволюция от тропических до средних широт

Н.М. Астафьева, М.Д. Раев, Е.А. Шарков, И.В. Покровская

Институт космических исследований РАН 117997 Москва, Профсоюзная, 84/32 E-mails: <u>ast@iki.rssi.ru; mraev@asp.iki.rssi.ru; easharkov@iki.rssi.ru</u>

Данные спутникового мониторинга Земли (СВЧ-радиометрические микроволновые измерения) используются для изучения передвижения вихревых образований (тропических циклонов) из тропической зоны в средние и средне-высокие широты. Изучается вклад атмосферных вихревых образований в процессы переноса тепла и массы (влаги особенно) над акваторией северной части Атлантического океана. Проведен сравнительный анализ изображений на разных частотах, т. е. энергетический вклад водяного пара, а также мелко- и крупнокапельных облачных систем. Выполнить подобные оценки по оптическим и ИК-данным не представляется возможным в принципе, поскольку дистанционная информация в этих частотных каналах «поступает» от относительно тонкого (от десятков до сотни метров) верхнего слоя облачных систем. Работа направлена на исследование элементов полярного переноса, являющегося одним из важнейших компонентов климатической системы, распределяющего энергетический (водный и тепловой) ресурс в атмосфере Земли и сглаживающего градиенты температуры между полярными и экваториальными областями. Используются данные спутникового мониторинга в рамках программы DMSP http://dmsp.ngdc.noaa.gov/dmsp.html (собранные в базе данных GLOBAL-T), глобальные радиотепловые поля Земли, построенные нами и собранные в электронной коллекции GLOBAL-Field http://www.iki.rssi.ru/asp/ [1], данные базы глобального тропического циклогенеза [2, 3], кроме того, проводится сравнение с информацией NHC-TPC NOAA (National Hurricane Center - Tropical Prediction Center NOAA) http://www.nhc.noaa.gov/.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 06-05-64276-а.

Введение

Фундаментальную роль для эмпирической диагностики климата играют данные наблюдений, надежность их получения и адекватность интерпретации результатов анализа. Бо́льшую часть сведений о системе океан – атмосфера мы получаем дистанционным образом, без непосредственного контакта с самим физическим объектом.

Дистанционное зондирование Земли ведется в радио-, видимом и инфракрасном диапазонах. Различные виды электромагнитного излучения возникают в ходе разнообразных процессов и совершенно по-разному взаимодействуют с земной атмосферой. В радиодиапазоне интенсивность излучения при каждой длине волны формально может быть представлена в виде «своей» температуры, радиояркостной температуры, значение которой в целом ряде случаев просто пропорционально значениям определенных физических величин.

Коротковолновая граница радио- окна определяется поглощением молекул водяного пара и кислорода, длинноволновая граница — пропусканием ионосферы (плазменные процессы). Радиоокно обладает замечательной особенностью — излучение с длинами волн больше 1 см практически свободно проходит через облачный покров земной атмосферы. С учетом того факта, что облака в среднем закрывают 55 % земной поверхности, это окно предоставляет единственную возможность «заглянуть» под облака и зафиксировать процессы, происходящие между облаками и поверхностью Земли и внутри облачных масс. Имея данные об излучении на разных частотах радиодиапазона можно делать выводы о составе и характеристиках газовой и облачной составляющих атмосферы.

Данные наблюдений за изменением геофизических параметров и, в частности данные дистанционного зондирования ранее обычно были представлены в виде локальных (точечных) измерений и гораздо реже — в форме полей пространственных и временных изменений, поскольку это сопряжено с большими техническими трудностями. Обеспечить глобальные наблюдения геофизических параметров в виде полей с достаточными пространственным разрешением, протяженностью и временной регулярностью в настоящее время могут лишь приборы, установленные на искусственных спутниках Земли. Современные ИК- и СВЧ-радиометры регистрируют собственное излучение земных покровов, Мирового океана и атмосферы (в отличие от оптического диапазона, где принимается отраженное солнечное излучение). В последние годы накоплен большой опыт использования спутниковой СВЧ- и ИК-радиометрии [4, 5] для анализа характеристик теплового и динамического взаимодействия океана и атмосферы.

Мы используем данные CBЧ-радиометрических приборов SSM/I (Special Sensor Microwave / Imager), установленных на космических аппаратах серии DMSP (Defense Meteorological Satellite Program; http://dmsp.ngdc.noaa.gov/dmsp.html). В Институте космических исследований сформирована [6] постоянно пополняемая электронная база данных GLOBAL – Т, поставляемых в рамках программы DMSP, содержащая на настоящий момент информацию за 1995–2006 гг.

Семиканальные четырехчастотные CBЧ– радиометрические комплексы SSM/I принимают линейно поляризованное излучение на частотах 19,35; 22,24; 37,0 и 85,5 ГГц в режиме конусного сканирования. Получаемые с помощью космических аппаратов этой серии данные из-за специфики траекторий спутников и ограниченности полей зрения приборов оказываются фрагментарными, подспутниковые дорожки не полностью покрывают поверхность планеты за сутки. В результате покрытие оказывается чрезмерно густым на высоких широтах, но оставляет довольно большие пробелы (лакуны) на средних широтах и, особенно, в приэкваториальной области. Кроме того, возможна потеря информации из-за сбоев аппаратуры. Лакуны необходимо заполнять данными, что довольно сложно, если учесть, что спутники проходят над интересующими нас областями планеты в разное время и смотрят на них под разными углами, а процессы в атмосфере достаточно динамичны. Разработанные нами методики [1], основанные на межвитковом и кроссаппаратном выравнивании и дополнении, позволяют восполнить недостающую информацию и построить глобальные радиотепловые поля (два полных глобальных поля в сутки) по данным всех космических аппаратов F10–F15 серии DMSP.

Электронная коллекция глобальных полей радиояркостной температуры GLOBAL – Field создана [1] и постоянно пополняется новыми данными. На настоящее время она содержит многолетние глобальные радиотепловые поля Земли (за период времени с 1999 по 2005 г). Достаточно хорошие регулярность и плотность покрытия (два полных поля в сутки с шагом 0,5×0,5° на земной поверхности) делают поля сформированной коллекции GLOBAL – Field пригодными для дальнейшего научного анализа. В частности, для изучения термодинамических процессов, ответственных за перенос тепла и массы (влаги особенно) в атмосфере, в широком диапазоне пространственно–временных масштабов — от синоптических до междугодовых и как глобальных, так и региональных.

На рис. 1 показаны радиотепловые поля Земли, сформированные по данным SSM/I (от 15.09.2006 г.) на частотах 19,35; 22,24 и 85,5 ГГц (или 1,58; 1,35 и 0,35 см, сверху вниз) с помощью алгоритма кросс-виткового и межаппаратного выравнивания и дополнения. Поля представлены в меркаторской проекции, между первым и вторым полями показана цветовая шкала радиояркостной температуры в градусах Кельвина, поля дополнены 90 градусами по долготе для удобства — это дает возможность наблюдать структуру атмосферных процессов над акваторией каждого из океанов планеты полностью. Отметим, что даже в том масштабе, в котором показаны глобальные поля на рисунке, легко различаются многие структуры системы океан – атмосфера.

Радиометрические приборы SSM/I регистрируют излучение на четырех частотах, которое несет информацию о характеристиках разнообразных объектов:

- на частоте 19,35 ГГц (длина волны 1,58 см) о видимой поверхности: континентах, Мировом океане, наиболее плотных облачных структурах (с жидкими осадками);
- на частоте 22,24 ГГц (длина волны 1,35 см) об интегральном влагозапасе (водяной пар) тропосферы;

- на частоте 37,00 ГГц (длина волны 0,81 см) о водозапасе тропосферы и видимой поверхности;
- на частоте 85,50 ГГц (длина волны 0,35 см) об интегральном водозапасе облачных структур, включая жидкие и кристаллические осадки.

Данные каналов радиометров SSM/I могут быть использованы также для определения скорости ветра, динамики крупномасштабных вихревых и фронтальных структур, влагосодержания (интегрального) атмосферы над акваториями Мирового океана, водозапаса отдельных облачных структур и зон интенсивного выпадения осадков, оценки потоков тепла и импульса.

Среди важнейших характеристик термодинамического режима климатической системы — облачность, влагосодержание атмосферы, температура поверхности океана [5]. Эти параметры связаны с яркостной температурой на частоте 19,35 ГГц. С яркостной температурой в резонансной линии излучения водяного пара на частоте 22,24 ГГц, тесно связано общее влагосодержание атмосферы — интегральный параметр, характеризующий процессы тепло- и влагообмена в системе в целом. В водяном паре в виде скрытого тепла сосредоточена значительная доля общего тепла климатической системы.

Циклоническая деятельность тропической атмосферы — один из элементов глобального полярного переноса тепла из тропической зоны в более высокие широты, сглаживающего широтные градиенты тепла в атмосфере, которая основную долю тепла от Солнца получает в тропической зоне. Это своеобразный механизм сброса избыточного тепла в условиях, когда действия обычных механизмов (турбулентная конвекция и различные составляющие глобальной циркуляции атмосферы) оказывается недостаточно.

В статье обсуждаются некоторые характеристики циклонической деятельности над акваторией Атлантического океана. Используются глобальные радиотепловые поля Земли, построенные нами и собранные в электронной коллекции GLOBAL – Field [1], данные базы глобального тропического циклогенеза [2, 3]; кроме того, проводится сравнение с информацией, поставляемой NHC-TPC NOAA. Проведен сравнительный анализ изображений на разных частотах, т. е. энергетический вклад водяного пара, а также мелко- и крупнокапельных облачных систем. Выполнить подобные оценки по оптическим и ИК-данным не представляется возможным в принципе, поскольку дистанционная информация в этих частотных каналах «поступает» от относительно тонкого (от десятков до сотни метров) верхнего слоя облачных систем.

Эволюция урагана ALBERTO (03–23 октября 2000 г.) по информации NHC и электронной коллекции глобальных радиотепловых полей GLOBAL – Field

В осенне-летний период 2000 г., с августа по октябрь, над Атлантикой было зарегистрировано 15 ураганов (именных). Их траектории представлены на рис. 2 (слева). Наиболее интересным из них представляется ураган ALBERTO, путь следования которого над Атлантикой показан на том же рисунке справа.

ALBERTO был долгоживущим ураганом, остававшимся над океаном в течение всего времени жизни. Он оказался наиболее долгоживущим тропическим циклоном из тех, что сформировались над Атлантикой в августе. В процессе продвижения по траектории интенсивность ALBERTO менялась в три раза. Траектория циклона включает большую антициклоническую петлю, по которой циклон продвигался в течение пяти дней, и экстратропическую часть (вблизи 53° с.ш.).

Хорошо развитая тропическая волна была обнаружена на спутниковых изображениях над центральной Африкой еще 30 июля. Она продвигалась над Африкой в западном направлении и достигла побережья 3 августа. Над Атлантикой структура перешла в стадию тропической депрессии, продвигалась на запад – северо-запад, достигла стадии тропического шторма (15–20 кт) и получила имя ALBERTO ранним утром следующего дня. Это произошло на коротком участке



Рис.1. Глобальные радиотепловые поля Ø19, Ø22, Ø85



Рис.2. Траектории наиболее интенсивных ураганов, над Атлантикой летом – осенью 2000 года. Траектория одного из них, урагана ALBERTO (№1), показана справа

траектории, когда циклон двигался на запад. Позже, в этот же день, ураган возобновил движение на запад – северо-запад. К седьмому августа, ALBERTO достиг первого пика интенсивности (80 кт).

Эволюция урагана ALBERTO хорошо прослеживается на серии фрагментов радиотеплового поля Θ 19 на частоте 19 ГГц, рис. 3, за период со 2 по 26 августа.

Сильное понижение на верхних уровнях развилось на западе – юго-западе от ALBERTO в течение 7–8 августа. Это стало причиной увеличения вертикального сдвига, северо-западного поворота ALBERTO 8 числа и его ослабления к стадии тропического шторма на 9 августа. ALBERTO медленно продвигался на северо-запад, пока не вернул себе силу урагана 10 августа. Постепенный разворот на север и север – северо-восток происходил 11–12 августа. ALBERTO прошел восточнее Бермуд 11 числа.

Второго и наивысшего пика интенсивности (около 110 кт) ALBERTO достиг 12 августа. 13 и 14 августа ALBERTO двигался на восток – северо-восток и медленно ослабевал. Циклон терял конвективную энергию и стал тропическим штормом 14 числа.

15 августа ALBERTO развернулся на юг, 16-го — на юго-запад и 17-го — на запад. В это время, 17 августа, интенсивность шторма начала расти и через несколько дней он в третий раз достиг стадии урагана. Третий пик интенсивности (90 кт) произошел 20 августа. Ураган завершил за этот период свое движение по антициклонической петле: повернул на северо-запад 18-го, на север — 19-го и на север – северо-восток — в течение 20 и 21 августа.

Ослабление урагана и ускорение его движения происходили 22 августа и ALBERTO опять стал тропическим штормом, прежде чем стать экстра- тропическим на следующий день. Став экстра-тропическим, ALBERTO продолжал двигаться на север – северо-восток и прошел вблизи Исландии 24 августа. На следующий день ALBERTO повернул на восток – северо-восток и окончательно диссипировал.

Изменения траектории, формы и интенсивности ALBERTO хорошо прослеживаются на фрагментах радиотепловых полей, прикрепленных к траектории урагана, см. рис. 4. Перенос влаги и воды ураганом показан на выборочной серии фрагментов (вблизи максимума интенсивности урагана) радиотепловых полей на разных частотах, характеризующих влаго- (19,35 ГГц) и водозапас (22,24 и 85,5 ГГц) атмосферы.



Серия фрагментов радиотеплового поля Θ 19 на частоте 19 ГГц, демонстрирующая эволюцию урагана ALBERTO при его продвижении над Атлантикой (на восходящих и нисходящих витках)



Рис. 4. Изменения траектории, формы и интенсивности ALBERTO при его продвижении над Атлантикой

Сравнительный анализ изображений на разных частотах, позволяет определить энергетический вклад водяного пара, а также мелко- и крупнокапельных облачных систем. Выполнить подобные оценки по оптическим и ИК-данным не представляется возможным в принципе, поскольку дистанционная информация в этих частотных каналах «поступает» от относительно тонкого (от десятков до сотни метров) верхнего слоя облачных систем. Данные спутникового мониторинга Земли (СВЧ-радиометрические микроволновые измерения) используются для изучения вклада атмосферных вихревых образований в процессы переноса тепла и массы (влаги особенно) из тропической зоны в средние и средне-высокие широты.



Рис. 5. Ураган ALBERTO вблизи максимума активности на частотах 19,35; 22,24 и 85,5 ГГц (сверху вниз), характеризующих влаго- и водозапас, переносимый циклоном

Литература

- 1. Астафьева Н.М, Раев М.Д., Шарков Е.А. Глобальное радиотепловое поле системы океан атмосфера по данным микроволновых космических комплексов // Исслед. Земли из космоса. 2006. № 3. С. 64–69.
- Pokrovskaya I.V., Sharkov E.A. Catalogue of Tropical Cyclones and Tropical Disturbances of the World Ocean for 1983–1998. Version 1.1. M.: Poligraph Service Publishing House, 1999. 160 p. ISBN 5-86388-009-2. (In Russian/English).
- 3. Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 2.1 (1983-2000). М.: Полиграф сервис, 2001. 548 с.
- 4. Шарков Е.А. Пассивное микроволновое зондирование Земли: прошлое, настоящее и планы на будущее // Современ. проблемы дистанцион. зондирования из космоса. М.: Полиграф-сервис, 2004. С. 70–80.
- 5. Гранков А.Г., Мильшин А.А. Взаимосвязь радиоизлучения системы океан атмосфера с тепловыми и динамическими процессами на границе раздела. М.: Физматлит, 2004. 168 с.
- 6. *Ермаков Д.М., Раев М.Д., Суслов А.И., Шарков Е.А.* Электронная база многолетних данных глобального радиотеплового поля системы океан атмосфера в контексте задач исследования вариаций климата планеты и атмосферных катастроф // Современ. проблемы дистанцион. зондирования из космоса: Сб. науч. статей. Т. 2. М.: GRAND Polygraph, 2005. С. 17–22.