

ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СОБСТВЕННОГО СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Д.ф.-м.н. А.Г. Гранков, А.А. Мильшин

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва

AN ASSESSMENT OF THE OCEAN-ATMOSPHERE HEAT INTERACTION FROM THE SATELLITE DATA MEASUREMENTS OF NATURAL MICROWAVE RADIATION

A.G. Grankov, A.A. Milshin

Взаимодействие океана и атмосферы, тепловые потоки, СВЧ-радиометрический метод, яркостная температура.

Ocean-atmosphere interaction, heat fluxes, microwave radiometric method, brightness temperature.

Иллюстрируются возможности использования спутникового СВЧ-радиометрического метода для анализа теплового взаимодействия океана и атмосферы в виде потоков явного и скрытого тепла на границе раздела этих сред, их резких (короткопериодических) и плавных (многолетних) изменений. Метод основан на тесной взаимосвязи интенсивности собственного радиотеплового (СВЧ) излучения системы океан-атмосфера (яркостной температурой) с температурными и влажностными характеристиками системы, формирующими процессы тепло- и влагообмена на границе ее раздела.

A feasibility of the satellite microwave radiometric method to analyze a heat interaction between the ocean and atmosphere by way of the boundary fluxes of sensible and latent heat fluxes is considered. The method is based on the close intercommunication between an intensity of natural thermal (microwave) radiation of the system ocean-atmosphere (the brightness temperature) and the temperature and humidity characteristics, which form the processes of heat and moisture exchange at its boundary.

Введение

Разработка методов анализа теплового взаимодействия океана и атмосферы как фактора годового хода и межгодовой изменчивости климата являлось и является важным аспектом исследований с точки зрения международных программ, таких как Всемирная программа исследований климата (ВПИК), Международная геосферно-биосферная программа (МГБП), Global Change Research Program, Earth Observing System (EOS), Climate Variability and Predictability (CLIVAR) и др. Актуальность этой тематики для национальных интересов России отражена в Федеральной целевой программе "Исследования природы Мирового океана", а также в разделе "Создание единой общегосударственной системы информации об обстановке в Мировом океане".

Даже 25–30 лет назад, когда в стране регулярно проводились судовые экспедиционные наблюдения в океане, их объем и регулярность были недостаточны для решения целого ряда научных и прикладных задач. Резкое сокращение таких измерений в последнее время значительно увеличило роль спутниковых средств исследований Мирового океана, функциональные возможности которых (точность измерений, пространственное разрешение, а главное, срок "жизни") в последнее время непрерывно улучшаются. Например, американские метеорологические спутники серии DMSP проводят непрерывные СВЧ-радиометрические измерения интенсивности собственного радиотеплового (СВЧ) излучения Земли с суточным или полусуточным временным разрешением на протяжении последних 25 лет, обеспечивая специалистов глобальной и регулярной метеорологической и океанографической информацией. Отметим, что такие измерения являются по сравнению со спутниковыми измерениями в инфракрасном диапазоне практически всепогодными.

В начале 1980-х годов в ИРЭ РАН был сделан первый шаг, ознаменовавший переход от исследования возможностей использования СВЧ-радиометрических методов определения отдельных параметров поверхности океана и атмосферы (температура поверхности океана, скорость приводного ветра, параметры атмосферы) в синоптическом диапазоне временных масштабов по фрагментарным измерениям с отечественных ИСЗ "Космос-243", "Космос-1056", "Космос-1151" к их использованию для анализа изменчивости интегральных характеристик СОА (усредненных на масштабах месяцы, сезоны, годы), основываясь на моделировании данных регулярных спутниковых СВЧ-радиометрических наблюдений [1, 4]. Эти исследования опирались на тесное и постоянное партнерство с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Институтом космических исследований, с организациями Роскосмоса, а также с Росгидрометцентром, и рядом зарубежных аэрокосмических организаций.

Научная концепция использования данных спутниковой СВЧ-радиометрии для анализа теплового взаимодействия океана и атмосферы

В основе концепции лежит использование атмосферных линий резонансного поглощения (излучения) молекулярного кислорода (5 мм) и водяного пара (1.35 см) в качестве "мостиков" между интенсивностью восходящего СВЧ излучения системы океан-атмосфера (СОА), измеряемой с ИСЗ, и вертикальными турбулентными потоками тепла и влаги в контактном слое (интерфейсе) системы [1, 4]. На наш взгляд можно констатировать тот факт, что успех решения задач исследования теплового и динамического взаимодействия поверхности океана и атмосферы и оценки параметров теплового (энергетического) баланса в СОА различных временных масштабах (синоптических, сезонных и климатических) зависит в настоящее время не столько от технических средств, сколько от и концепций, идей и методов их применения.

Признано, что параметры, определяемые с ИСЗ, такие как вертикальные турбулентные потоки явного, скрытого тепла и импульса, относятся к числу так называемых климатоформирующих параметров. Основная проблема определения этих параметров со спутников заключается в том, что поле собственного СВЧ-излучения несет информацию не только о нижних слоях атмосферы (которые

непосредственно участвуют в энергообмене с поверхностью океана), но и о более ее высоких слоях. Вот почему спутниковые СВЧ-радиометрические методы анализа климатоформирующих параметров стали активно развиваться лишь в 80-е и 90-е годы (преимущественно в США, России и Германии), хотя уже в 60-х и 70-х годах были получены обнадеживающие результаты применения дистанционных СВЧ- и ИК-радиометрических методов для анализа процессов теплообмена на границе "вода-воздух" при измерениях в лабораторных условиях, с плавучих платформ, низколетящих самолетов. Существуют следующие предпосылки для реализации данной концепции:

1) составляющие тепло- и влагообмена океана и атмосферы (температура поверхности океана, температура и влажность воздуха, скорость приводного ветра), непосредственно участвуют в формировании и трансформации СВЧ-излучения в указанных спектральных линиях и их окрестностях как в приводном (10–20 м), так и в вышележащих слоях атмосферы;

2) толщина слоев атмосферы, в которых формируется СВЧ-излучение СОА, в данных участках спектра близка к толщине пограничного (турбулентного) слоя атмосферы (1000–1500 м).

Примеры использования методов спутниковой СВЧ-радиометрии для анализа процессов теплового взаимодействия океана и атмосферы типа метеорологических бомб

Циклоническая деятельность в Ньюфаундлендской зоне Северной Атлантики

Основные результаты получены путем совмещения данных судовых экспериментов НЬЮФАЭКС-88 и АТЛАНТЭКС-90 в Ньюфаундлендской зоне Северной Атлантике с данными СВЧ-радиометрических измерений, проведенных СВЧ-радиометром SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) с метеорологического спутника США F-08 серии DMSP (Defence Meteorological Satellite Program). Те и другие измерения были запланированы и выполнялись в то время независимо различными научными и промышленными организациями СССР и США; сдвиг в расширении возможностей спутниковой СВЧ-радиометрии для анализа теплового взаимодействия океана и атмосферы произошел благодаря их совмещению [1, 4].

Из обширного архива данных, накопленных за весь проведения экспериментов, мы привлекли данные их стационарных фаз (когда суда погоды стояли длительное время неподвижно), отличающихся следующими особенностями:

а) наибольшая периодичность и регулярность метеорологических и аэрологических наблюдений в этот период;

б) возможность исследования в чистом виде временной динамики параметров океана и атмосферы благодаря фиксированному положению судов погоды.

На рис. 1 показаны примеры линейного регрессионного анализа между синоптическими вариациями яркостной температуры СОА, измеренными радиометром SSM/I с метеорологического спутника США F-08 серии DMSP, и потоками суммарного (явного и скрытого) тепла, зарегистрированных в экспериментах НЬЮФАЭКС-88 и АТЛАНТЭКС-90 в Ньюфаундлендской энергоактивной зоне Северной Атлантики в марте 1988 г., характеризующейся активной деятельностью среднеширотных атлантических циклонов.

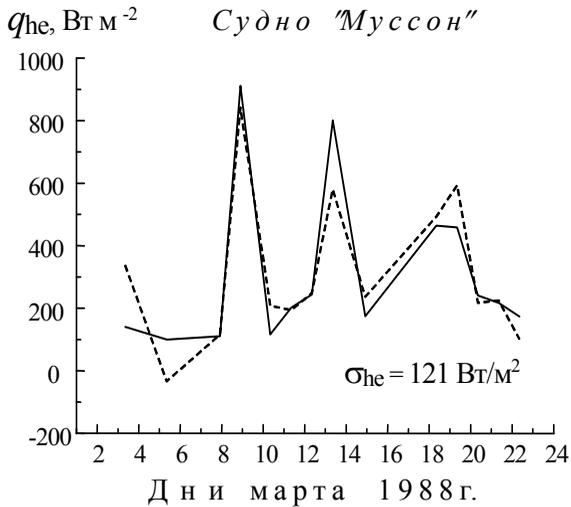
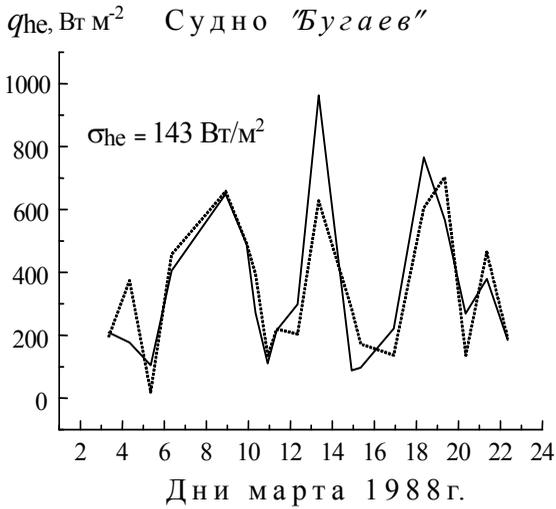


Рис. 1. Эксперимент НЬЮФАЭКС-88. Судовые оценки потоков суммарного тепла q_{he} (сплошные линии) и их спутниковые СВЧ-радиометрические оценки по данным измерений радиометра SSM/I (пунктирные линии) в Ньюфаундлендской зоне в районах расположения НИСП "Виктор Бугаев" и "Муссон". На полях рисунков указаны количественные оценки расхождения между теми и другими оценками (σ)

Наблюдаемые явления, по мнению специалистов, носят взрывной характер и называются ими "метеорологическими бомбами" [3].

*Индикация распространения тропических ураганов из космоса
по данным СВЧ-радиометрических измерений*

Наблюдается сильная отзывчивость яркостной температуры СОА в области поглощения (излучения) водяного пара атмосферы к перемещению тропических циклонов при наблюдении с ИСЗ (рис. 2).

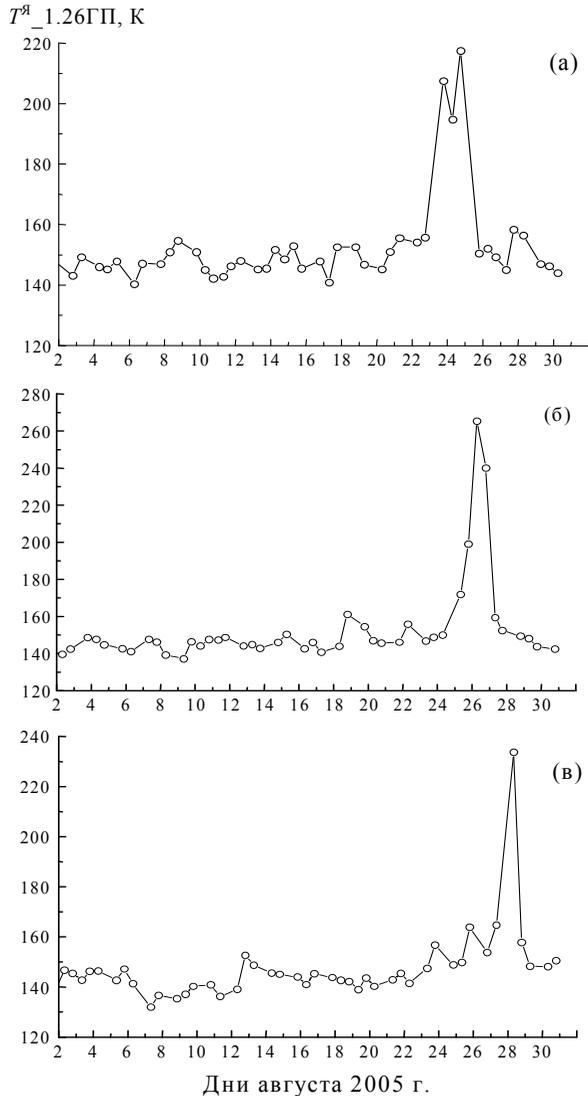


Рис. 2. Вариации яркостной температуры СОА на длине волны 1.26 см, измеренные радиометром AMSR-E на горизонтальной поляризации (ГП) в различных точках траектории распространения ТЦ Katrina от очага его возникновения к южному побережью США: а) 26°с.ш., 78°з.д.; б) 25°с.ш., 83°з.д.; в) 27°с.ш., 89°з.д.

*Эффект теплового взрыва в системе океан-атмосфера
при зарождении тропического урагана Humberto*

Нами замечен эффект возбуждения колебаний интенсивности процессов теплообмена и на границе раздела поверхности океана и атмосферы и радиояростной температурой, измеряемой из космоса после зарождения тропического урагана Humberto из района наблюдательной станции 42019 в Мексиканском заливе в сентябре 2007 г. Этот случай уникален, т.к. точка возникновения урагана Humberto совпала с местоположением штатной американской станции 42019 национального метеорологического агентства NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), где проводятся регулярные метеорологические и океанографические измерения. Это позволило получить полное описание предыстории зарождения и развития урагана Humberto

Рис. 3 иллюстрирует вариации потоков тепла и влаги в период 17–21 сентября на стадии релаксации параметров СОА в районе станции 42019 после возникновения тропического урагана Humberto и его ухода из этого района.

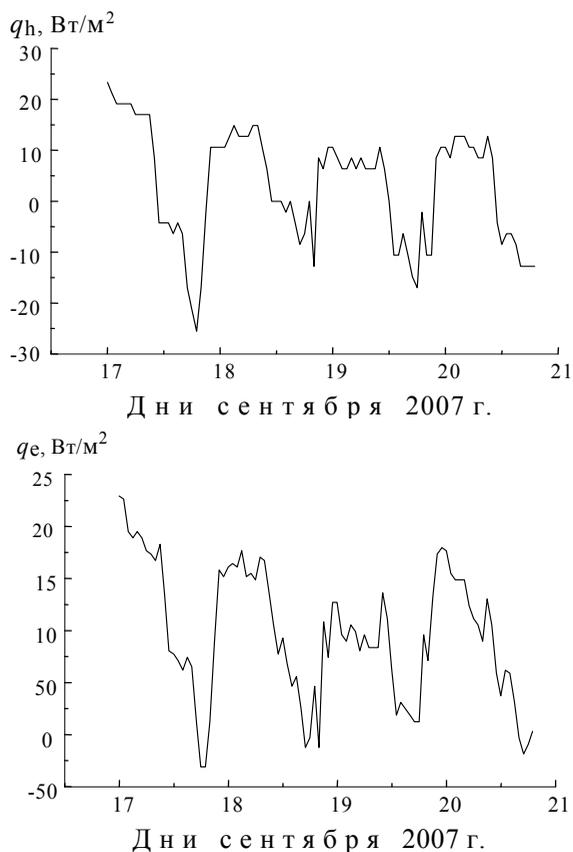


Рис. 3. Поведение потоков явного q_h и скрытого q_e тепла на поверхности океана в районе расположения станции 42019 после зарождения ТЦ Humberto

Везде, в рассмотренных случаях прослеживается прямая связь интенсивности собственного СВЧ-излучения системы океан-атмосфера с интенсивностью тепловых процессов в ее интерфейсе, которая проявляется наиболее отчетливо при их резкой переменчивости, свойственной мощным среднеширотным атлантическим циклонам или тропическим циклонам [2, 5, 6]. Особенно отчетливо этот эффект виден спутниковыми СВЧ-радиометрами в области поглощения водяного пара атмосферы, где наблюдается тесная связь этого параметра атмосферы с радиояростной температурой COA, измеряемой с ИСЗ.

*Постепенные (многолетние) тепловые изменения
в энергоактивных зонах Северной Атлантике*

Исследована многолетняя изменчивость общего содержания водяного пара атмосферы как количественной характеристики теплового взаимодействия океана и атмосферы на основе данных долговременных СВЧ-радиометрических измерений в отдельных областях Северной Атлантики. Среди них нами выделены Гольфстримская (Н), Ньюфаундлендская (D) и Норвежско-Гренландская (M) области Северной Атлантики, которые отличаются максимальной интенсивностью тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой и оказывают заметное влияние на погодные условия в Западной Европе и на европейской территории России [3]. Для этой цели использованы данные измерений радиояростной температуры COA радиометров AMSR-E и SSM/I со спутников EOS Aqua и DMSP в период с 1998 по 2011 гг.

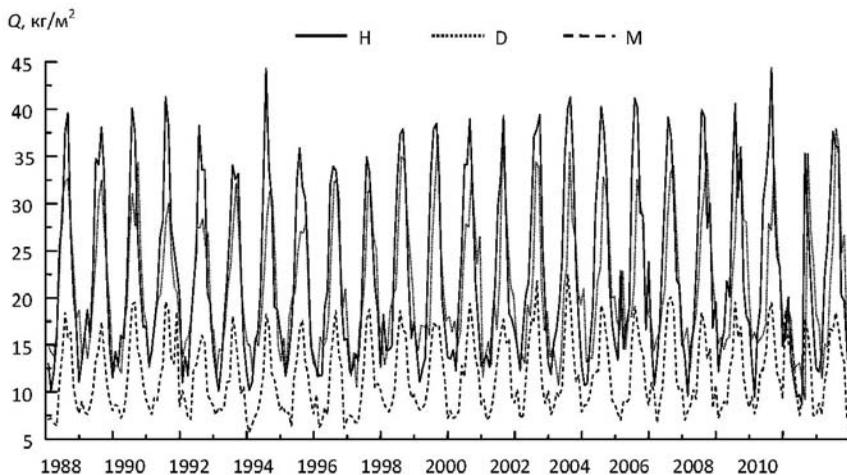


Рис. 4. Многолетние вариации среднемесячных значений полного содержания водяного пара в атмосфере Q в областях М, D и Н

Согласно результатам количественного анализа, тренд увеличения общего содержания водяного пара в атмосфере за этот период в энергоактивных областях М, D, Н Северной Атлантики составил соответственно, 1,7, 1,8 и 2,6 $\text{кг}/\text{м}^2$, что соответствует современным представлениям о глобальных временных трендах водяного пара в Мировом океане [7].

Из приведенной на рис. 4 иллюстрации заметен эффект снижения общего содержания водяного пара Северной Атлантике в 2010 и 2011 гг. Это можно объяснить обширными аварийными нефтяными разливами в Мексиканском заливе в апреле 2010 г. поблизости от области Н, тепловой потенциал которой в этот период заметно снизился за счет уменьшения испарений с водной поверхности и снижения транспорта тепла в области D и M, находящиеся в русле течения Гольфстрим и Северо-Атлантического течения.

Литература

1. Гранков А.Г., Мильшин А.А. Взаимосвязь радиоизлучения системы океан-атмосфера с тепловыми и динамическими процессами на границе раздела. М.: Физматлит, 2004. –168 с.
2. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Новичихин Е.П. Поведение радиояркой температуры системы "океан-атмосфера" в условиях активности среднеширотных и тропических циклонов // Известия вузов. Радиофизика. 2013. №10, с. 711–725.
3. Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат. 1990. – 336 с.
4. Grankov A.G., Milshin A.A. Microwave Radiation of the Ocean-Atmosphere: Boundary Heat and Dynamic Interaction, Berlin, Springer, 2009. – 160 p.
5. Grankov A.G., Marechek S.V., Milshin A.A. et al. Elaboration of Technologies for Diagnosis of Tropical Hurricanes Beginning in Oceans with Remote Sensing Methods In: Advances in hurricane research – modeling, meteorology, preparedness and impacts. Chapter 2 in collective monograph, INTECH Publ. House, 2012, pp. 23–41.
6. Grankov A.G., Milshin A.A., Novichikhin E.P. Behaviour of the Brightness Temperature of the Ocean-Atmosphere System under Conditions of Midlatitude and Tropical Cyclon Activity // Radiophysics and Quantum Electronics, Vol. 56, No.10, March 2014, pp. 639–650.
7. Mieruch S, Schroder M, Noltz S, and Schulz J.S. Comparison of decadal global water vapor changes derived from independent satellite time series. – J. Geophys. Res., 2014, No. 10, pp. 1–11.