

**АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ,
ПЛАНЕТ И ДРУГИХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.
ГЕОЭКОЛОГИЯ И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПОИСКА И СПАСАНИЯ**

УДК 523.45-77

**Многолетние вариации водяного пара
в Северной Атлантике по данным спутниковых
микроволновых измерений**

А. Г. Гранков¹, А. А. Мильшин², Н. К. Шелобанова³, И. В. Черный⁴, Г. Г. Язерян⁵

¹д. ф.-м. н., ⁴д. т. н., ⁵к. т. н.

^{1,2,3}Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

^{4,5}ОАО «Российские космические системы»

e-mail: amilshin@list.ru

Аннотация. На основе данных долговременных спутниковых СВЧ-радиометрических измерений получены оценки межгодовых и внутригодовых вариаций среднемесячных значений общего содержания водяного пара в атмосфере в Северной Атлантике с января 1988 г. по ноябрь 2011 г. Выделены зоны, характеризующиеся наибольшей интенсивностью тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой — Гольфстримская, Ньюфаундлендская и Норвежско-Гренландская. Оценены долговременные тренды в изменении водяного пара в этих зонах. Отмечена особенность поведения атмосферного водяного пара в 2010 г., когда наблюдались интенсивные нефтяные разливы в Мексиканском заливе и сильная летняя засухливость на европейской территории России.

Ключевые слова: радиоизлучение, яркостная температура, система океан–атмосфера, потоки тепла, влаги и импульса, спутниковые микроволновые данные, температура и влажность атмосферы, радиометры SSM/I и AMSR-E

**Long-Term Variation of Total Vapor Over North Atlantic
Using a Satellite Microwave Data**

A.G. Grankov¹, A. A. Milshin, N. K. Shelobanova, I. V. Cherny², G. G. Yazeryan³

¹Ph. doctor, ²doctor of engineering science, ³candidate of engineering science

Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS

Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: amilshin@list.ru

Abstract. On the basis of long-term satellite microwave radiometric measurements obtained estimates of inter-annual and intra-annual variations of the monthly averages of total water vapor content in the atmosphere in the North Atlantic between January 1988 and November 2011. The zones characterized by the most intensity heat and moisture exchange between the ocean and the atmosphere — Gulf Stream, Newfoundland and Norwegian energy-active zones. Estimated long-term trends in the change of water vapor in these areas. The peculiarity of the behavior of atmospheric water vapor in 2010 when there was extensive oil spill in the Gulf of Mexico, this spring and summer drought on strong European Russia.

Key words: radioemission, brightness temperature, ocean–atmosphere system, heat, latent and moment fluxes, satellite microwave data, atmosphere temperature and humidity, radiometers SSM/I and AMSR-E

Введение

Энергоактивные зоны Северной Атлантики Норвежская, Ньюфаундлендская, Гольфстримская и другие, находящиеся в русле Гольфстримского и Северо-Атлантического течений, оказывают значительное влияние на погодные условия и климатические тенденции (тренды) на территории Европы и европейской части России [1, 2]. Изучение процессов крупномасштабного теплового и динамического взаимодействия океана и атмосферы представляет интерес для анализа меридионального переноса энергии в Северной Атлантике [3]. Тропическая часть Северной Атлантики является областью зарождения и формирования тропических циклонов [4].

В настоящей работе анализируются межгодовые и внутригодовые вариации климатически значимого параметра системы океан–атмосфера — водяного пара — на 10–20-летнем периоде [5, 6, 7].

Географической областью наших исследований является Северная Атлантика с координатами 67N, 95W–0N, 0W. Для обработки мы использовали архивные данные многоканальных сканирующих СВЧ-радиометров AMSR-E и SSM/I спутников EOS-Aqua и DMSP, полученные в Remote Sensing Systems (RSS). Исходными данными служили файлы с суточным (восходящие и нисходящие витки) глобальным распределением водяного пара. Файлы содержат данные обработки измерений радиометра AMSR-E за период с июня 2002 г. по октябрь 2011 г., а также радиометра SSM/I за период с января по май 2002 г. и за ноябрь–декабрь 2011 г. На основе глобальных данных были получены оценки среднемесячных значений интегрального влагосодержания атмосферы Северной Атлантики. Пространственное разрешение составляет $0,25^\circ$ по широте и долготе. В докладе представлены пространственно-временные распределения водяного пара за десятилетний период. Выполнен анализ особенностей межгодового распределения водяного пара. Для судовых станций (кораблей) погоды М (MIKE — 66N, 0,5W), D (DELTA — 44N, 41W) и Н (HOTEL — 38N, 71W), относящихся к Норвежской, Ньюфаундлендской и Гольфстримской энергоактивной зоне (рис. 1), получены оценки среднемесячных значений водяного пара

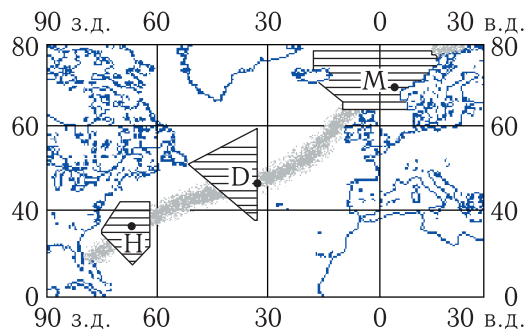


Рис. 1. Расположение судовых станций Н (Гольфстримская ЭАЗО), D (Ньюфаундлендская ЭАЗО) и М (Норвежско-Гренландская ЭАЗО) относительно течения Гольфстрим и Северо-Атлантического течения

за 24 г. В этот период входят данные, полученные нами в более ранних работах [1] с 1988 по 1998 гг.

Анализ полей влажности атмосферы в Северной Атлантике по данным радиометра AMSR-E

На рис. 2 представлены оценки среднемесячных значений общего содержания водяного пара в атмосфере в Северной Атлантике за 2009 (а), 2010 (б) и 2011 (в), играющего важную роль в тепловом взаимодействии океана и атмосферы. Из многочисленных данных за разные годы нами выделен 2010-й год, знаменательный разливами нефти в Мексиканском заливе и аномально жарким летом на европейской территории России. Мы наблюдаем меридиональную и зональную закономерности пространственного распределения водяного пара, границы которых варьируют от сезона к сезону. Отмечается высокая контрастность данного параметра, меняющегося от 15 до 55 кг/м^2 в зависимости от географической широты океана и сезона года.

Для количественных оценок сезонных вариаций водяного пара мы выполнили оценки среднего значения, среднеквадратичного значения, минимального и максимального значения интегрального содержания водяного пара по всей акватории Северной Атлантики. Эти оценки за 2010 г. иллюстрирует рис. 3. Общее содержание пара в Северной Атлантике имеет выраженный сезонный ход

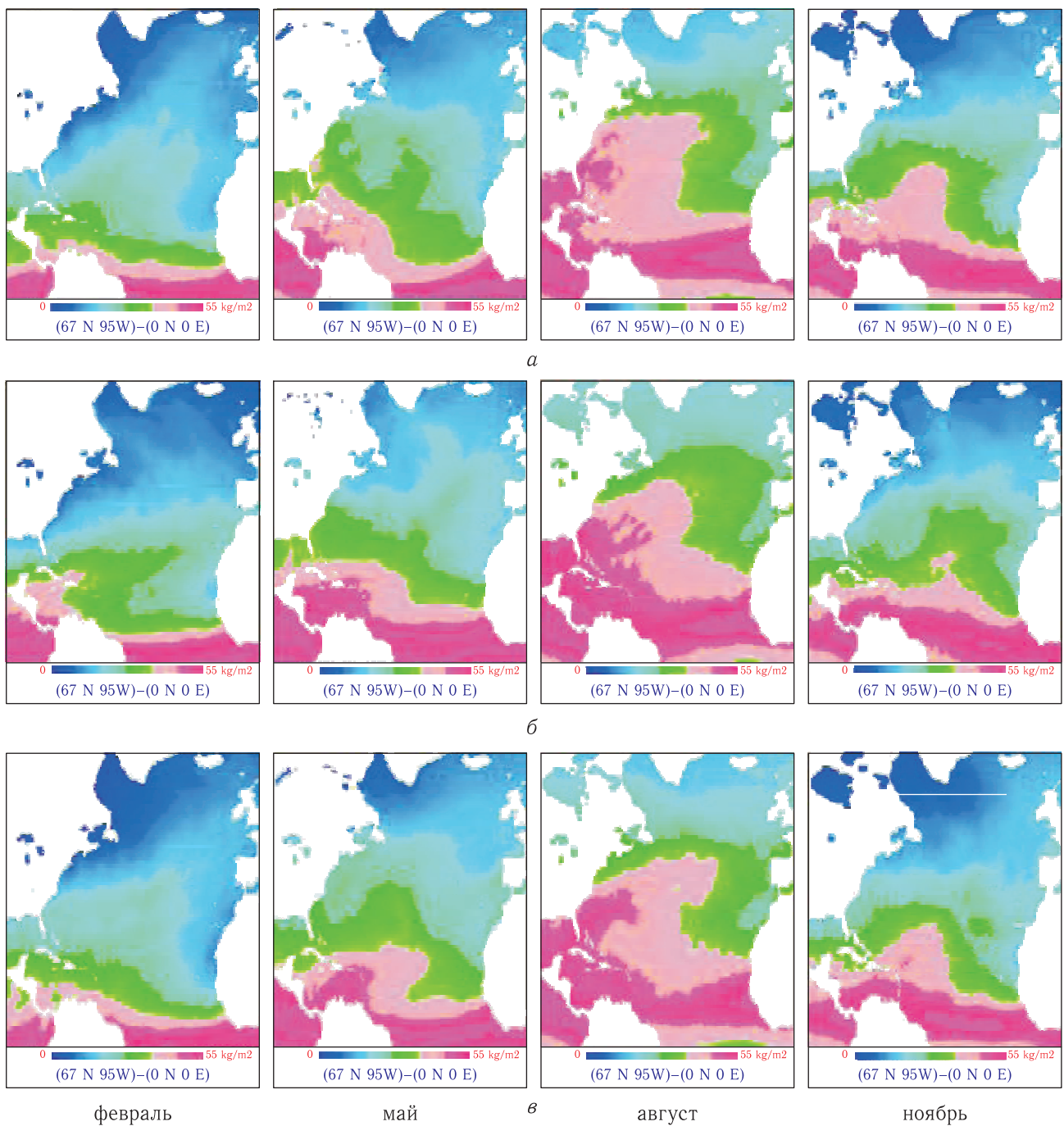


Рис. 2. Межгодовые и сезонные вариации водяного пара в атмосфере в энергоактивных областях Северной Атлантики

с максимумом в августе ($37,9 \text{ кг/м}^2$) и минимумом в зимний сезон ($22,9\text{--}24,3 \text{ кг/м}^2$). Для Северной Атлантики характерны значительные изменения пара, среднеквадратические значения варьируют от $11,8$ до 15 кг/м^2 . Наибольшая простран-

ственная изменчивость наблюдается в апреле, мае и ноябре. Максимальные значения пара в течение года практически не меняются и находятся в пределах $59,6\text{--}65,6 \text{ кг/м}^2$.

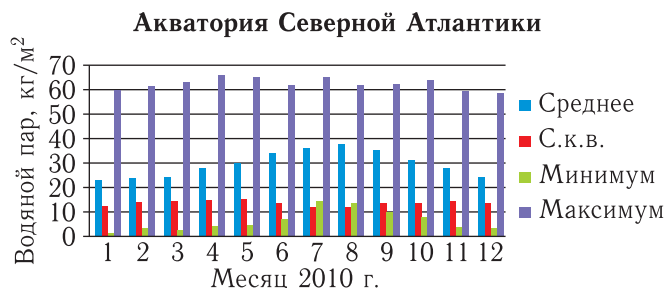


Рис. 3. Оценка среднего значения, среднеквадратичного значения, минимального и максимального значения интегрального содержания водяного пара по всей акватории Северной Атлантики по данным радиометра AMSR-E

Распределение областей с минимальным содержанием водяного пара носит сезонный характер, минимум ($1,2 \text{ кг/м}^2$) отмечается в январе, а максимум ($14,3 \text{ кг/м}^2$) в июле.

Анализ влажности атмосферы в Северной Атлантике по данным радиометров SSM/I и AMSR-E в локальных областях

Рассмотрим характер поведения содержания водяного пара в локальных областях. На рис. 4 представлены результаты обработки спутниковых данных — среднемесячные значения общего влагосодержания атмосферы в областях М, D и Н Северной Атлантики в период с 1988 по 2012 гг. [1,7]. Из этой иллюстрации видно, что локальные вариации водяного пара в эти годы имеют общую тенденцию, но резко отличаются абсолютными значениями. Диапазон значений пара в точке D находится в пределах от $9,2 \text{ кг/м}^2$ в июле 2010 г. до $37,9 \text{ кг/м}^2$ в июне 2011 г. Для точки Н соответственно имеем: от $8,7 \text{ кг/м}^2$ в июле 2010 г. до $44,4 \text{ кг/м}^2$ в августе 2009 г. и для точки М: от $5,7 \text{ кг/м}^2$ в январе 1994 г. до $22,5 \text{ кг/м}^2$ в июле 2003 г. Среднее значение содержания пара за наблюдаемый период составило в точках D, Н, М соответственно $21,1 \text{ кг/м}^2$, $22,6 \text{ кг/м}^2$ и $11,7 \text{ кг/м}^2$. Наибольшая изменчивость пара за 24 г. отмечается в точке Н — скв (среднеквадратическое значение) = $9,3 \text{ кг/м}^2$, в D скв составляет $6,7 \text{ кг/м}^2$ и в точке М скв = $3,9 \text{ кг/м}^2$.

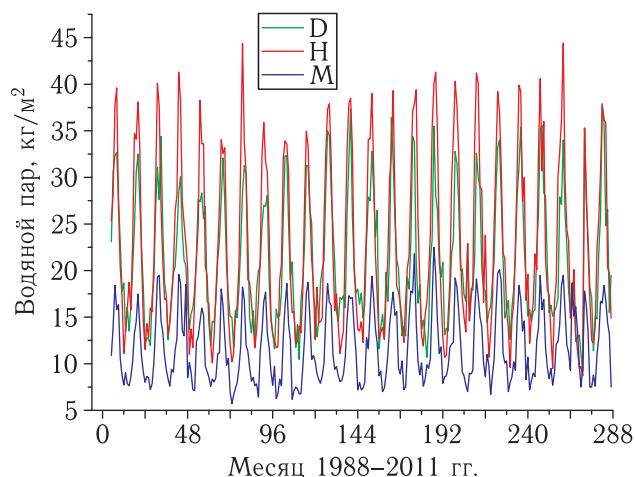


Рис. 4. Спутниковые СВЧ-радиометрические оценки многолетних вариаций содержания водяного пара в атмосфере в областях М, D, Н Северной Атлантики

Для изучения внутригодового хода содержания водяного пара мы использовали наши среднемесячные данные за период с 2002 по 2011 гг., проведя осреднение для каждого месяца за этот период. Результаты обработки представлены на рис. 5. Наблюдается выраженный внутригодовой ход пара. Максимум кривых незначительно смещается, отражая фазовую задержку в распределении пара. Данные в локальных областях хорошо коррелируют с интегральными данными по всей Северной Атлантике (рис. 3).

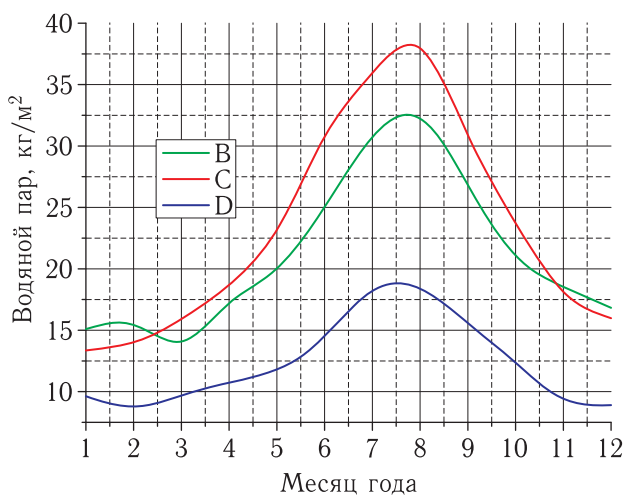


Рис. 5. Спутниковые СВЧ-радиометрические оценки внутригодовых вариаций содержания водяного пара в атмосфере в областях М, D, Н Северной Атлантики в период 2002–2011 гг.

В изучении температурного и влажностного взаимодействия океана и атмосферы важную роль играет изменение содержания водяного пара на годовых масштабах. Для локальных зон D, H, M за период с 2002 по 2011 гг. мы получили ряд оценок среднегодового содержания водяного пара в атмосфере.

На рис. 6 представлен график многолетнего хода среднегодового содержания водяного пара в точках D, H, M. Оценки многолетнего хода среднеквадратичных изменений, максимальных и минимальных изменений приводятся на рис. 7 и 8. Интересным моментом является снижение общего содержания атмосферного водяного пара в 2010 г., когда наблюдались интенсивные нефтяные разливы в Мексиканском заливе и сильная летняя засухливость на европейской территории России. Этот факт можно объяснить уменьшением испарения с поверхности океана в Гольфстримской ЭАЗО и снижением транспорта тепла в другие области, находящиеся в русле течения Гольфстрим.

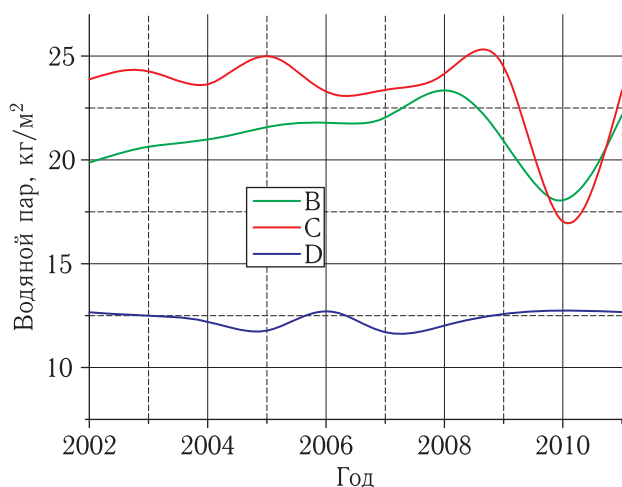


Рис. 6. Спутниковые СВЧ-радиометрические оценки вариаций среднегодового содержания водяного пара в атмосфере в областях M, D, H Северной Атлантики в период 2002–2011 гг.

В целом межгодовые изменения среднегодовых значений незначительны, за исключением 2010 г., и не превышают 2–3 кг/м². Отклонение величины скв (рис. 7) не превышает 1 кг/м² за исключением 2010 г., когда величина скв составила 2 кг/м². Для минимаксных оценок (рис. 8) мы наблюдаем наибольшие отклонения в 2010 г.

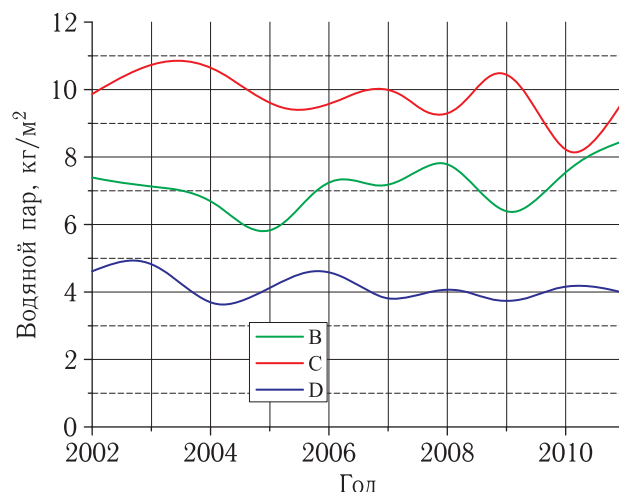


Рис. 7. Спутниковые СВЧ-радиометрические оценки скв среднегодовых вариаций водяного пара в атмосфере в областях M, D, H Северной Атлантики в период 2002–2011 гг.

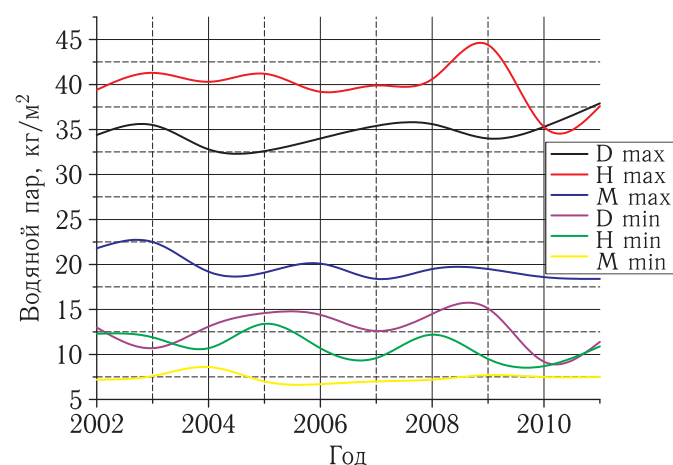


Рис. 8. Спутниковые СВЧ-радиометрические оценки минимаксных среднегодовых вариаций водяного пара в атмосфере в областях M, D, H Северной Атлантики в период 2002–2011 гг.

Заключение

В работе представлены результаты обработки и анализа пространственно-временного распределения интегрального влагосодержания атмосферы Северной Атлантики на основании многолетних спутниковых данных радиометров SSM/I и AMSR-E. Приводятся оценки средних значений, СКВ, максимальных и минимальных значений как на глобальных масштабах (вся Северная

Атлантика), так и на локальных масштабах в областях D, H, M. Выполнен анализ внутригодового хода содержания водяного пара за 2002–2011 гг. и многолетнего хода за 1988–2011 гг.

Анализ выявил аномалию в распределении водяного пара в 2010 г.

Авторы не включили в доклад материалы о вариациях среднемесячных значений водяного пара в Северной Атлантике по данным радиометра МТВЗА-ГЯ спутника «Метеор-М» № 1 за январь–апрель 2009 г. [8], поскольку в настоящей работе рассматриваются аспекты многолетних изменений водяного пара.

Авторы выражают благодарность коллегам из Remote Sensing System за предоставленные спутниковые данные.

Список литературы

1. Гранков А.Г., Мильшин А.А. Взаимосвязь радиоизлучения системы «океан–атмосфера» с тепловыми и динамическими процессами на границе раздела. М.: Наука, 2004. 168 с.
2. Armand N.A., Grankov A.G., Milshin A.A., Lappo S.S., and Gulev S.K. Use of the Data of Simultaneous Satellite Microwave Radiometric and Shipborne Measurements for the Study of Air-Sea Interaction in the North Atlantic // *Oceanology*, 2004, vol. 44, № 1. P. 44.
3. Гранков А.Г., Реснянский Ю.Д., Новичихин Е.П., Мильшин А.А. Моделирование отклика собственного СВЧ-излучения системы «океан–атмосфера» на горизонтальный перенос тепла в атмосферном пограничном слое // *Метеорология и гидрология*, 2014, № 2, с. 33–44.
4. Grankov A.G., Marechek S.V., Milshin A.A., Novichikhin E.P., Golovachev S.P., Shelobanova N.K., Shutko A.M. Elaboration of Technologies for Diagnosis of Tropical Hurricanes Beginning in Oceans with Remote Sensing Methods / Chapter in monograph «Advances in Hurricane Research — Modelling, Meteorology, Preparedness and Impacts» <http://dx.doi.org/10.5772/3399>. Edited by Kieran Hickey. InTech Publ. Hous. Dec. 5 2012. 198 p. (p. 23–41).
5. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Солдатов В.Ю., Шелобанова Н.К. Архивы микроволновых, океанографических и метеорологических данных в зонах возникновения тропических ураганов // *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*, 2012, № 5. . 107–124.
6. Гранков А.Г., Мильшин А.А. Анализ роли водяного пара как характеристики теплового взаимодействия океана и атмосферы // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2008, вып. 5, т. 1, с. 465–471.
7. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К., Черный И.В., Ямпольская Е.А. Межгодовые и внутригодовые вариации водяного пара в Северной Атлантике по данным спутниковых микроволновых измерений // Тезисы докладов Двенадцатой открытой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН, 10–14 ноября 2014 г. С. 177.
8. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К., Черный И.В., Язерян Г.Г. Вариации среднемесячных значений водяного пара в Северной Атлантике по данным радиометра МТВЗА-ГЯ на волне 1,26 см // Тезисы докладов. Двенадцатая открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН, 10–14 ноября 2014 г. С. 20.