

УДК 523.45-77 DOI 10.30894/issn2409-0239.2018.5.2.20.25

Анализ изменчивости поверхностных потоков тепла и импульса и влагосодержания атмосферы в Северной Атлантике по данным спутниковых микроволновых измерений

А. Г. Гранков, д. ф.-м. н., agrankov@inbox.ru

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

А. А. Мильшин, amilhin@list.ru

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

Н. К. Шелобанова, nadezhda@ms.ire.rssi.ru

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

Г. Г. Язерян, к. т. н., contact@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. На основе данных спутниковых СВЧ радиометрических измерений получены оценки пространственных и временных вариаций среднемесячных значений вертикальных турбулентных потоков явного, скрытого тепла и импульса на поверхности океана и общего содержания водяного пара в атмосфере в Северной Атлантике. Для областей, характеризующихся наибольшей интенсивностью тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой — Гольфстримской, Ньюфаундлендской и Норвежской, — оценены долговременные тренды в изменении водяного пара. Отмечена особенность поведения атмосферного водяного пара в 2010 году, когда наблюдались интенсивные нефтяные разливы в Мексиканском заливе весной этого года и сильная летняя засухливость на европейской территории России.

Ключевые слова: микроволновое (СВЧ) излучение, яркостная температура, система океан–атмосфера, энергоактивные зоны, явное, скрытое тепло и импульс, поверхностные потоки, водяной пар атмосферы, радиометры SSM/I и AMSR-E

Analysis of Variability of the Surface Heat and Impulse Fluxes and Water Vapor Content of the Atmosphere over the North Atlantic from the Satellite Microwave Data

A. G. Grankov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), agrankov@inbox.ru

Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Moscow, Russian Federation

A. A. Milshin, amilhin@list.ru

Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Moscow, Russian Federation

N. K. Shelobanova, nadezhda@ms.ire.rssi.ru

Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Moscow, Russian Federation

G. G. Yazeryan, contact@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

Abstract. The estimates of spatial and temporal variations of monthly mean values of the near-surface vertical turbulent fluxes of sensible, latent heat and impulse and the atmospheric total water vapor content in the North Atlantic were obtained based on the data of the satellite microwave measurements. The Gulf Stream, Newfoundland, and Norwegian areas, which are characterized by the strongest intensity of the ocean-atmosphere heat exchanges, are in a focus of this study. The long-term trends in water vapor changes over these areas were estimated. Some peculiarities of the water vapor dynamics were observed in 2010, which was manifested by intensive oil spills in the Gulf of Mexico in the spring of this year as well as strong summer dryness over the European part of Russia.

Keywords: microwave radiation, brightness temperature, ocean–atmosphere system, energy active zones, sensible, latent heat and impulse, near-surface fluxes, water vapor of the atmosphere, radiometers SSM/I and AMSR-E

Введение

Даже 25–30 лет назад, когда регулярно проводились судовые экспедиционные наблюдения в океане, их объем и частота были недостаточны для решения целого ряда научных и прикладных задач гидрометеорологии. Резкое сокращение таких измерений в последнее время увеличило роль спутниковых средств исследований Мирового океана, функциональные возможности которых (точность измерений, пространственное разрешение, а главное, продолжительность срока их эксплуатации) непрерывно улучшаются. Современные спутники проводят постоянные измерения интенсивности собственного микроволнового (СВЧ) излучения Земли с суточным или полусуточным временным разрешением, обеспечивая специалистов глобальной и регулярной метеорологической и океанографической информацией. При этом изменился и характер решаемых задач — от определения отдельных параметров поверхности океана и атмосферы (температура поверхности океана, скорость приводного ветра, влагосодержание атмосферы) по фрагментарным измерениям (с первых ИСЗ «Космос-243», Nimbus-5, «Космос-1056», «Космос-1151») к использованию спутниковых данных для анализа их долгосрочной изменчивости на масштабах месяцы, годы.

В настоящей работе анализируются пространственные и временные вариации среднемесячных значений вертикальных турбулентных потоков явного, скрытого тепла и импульса на поверхности океана и общего содержания водяного пара в атмосфере, относящихся к числу климатоформирующих параметров.

Географической областью исследований является Северная Атлантика с координатами 67N, 95W–0N, 0W с упором на области, характеризующиеся наибольшей интенсивностью тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой: Гольфстримская, Ньюфаундлендская и Норвежско-Гренландская энергоактивные зоны.

В качестве источников спутниковых данных используются результаты регулярных измерений СВЧ-радиометров SSM/I (Scanning Sensor Microwave/Imager) метеорологических спутников DMSP и AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer) океанографического спутника EOS Aqua.

Технические характеристики этих радиометров и их возможности приведены в [1–3], процедуры первичной и тематической (вторичной) обработки данных спутниковых измерений описаны в [4].

Отдельные результаты исследования возможностей использования данных долговременных спутниковых СВЧ радиометрических измерений для анализа полей водяного пара в Северной Атлантике изложены в работах [5, 6].

Пространственная и сезонная изменчивость среднемесячных потоков и водяного пара в Северной Атлантике

Обработаны результаты измерений радиометра AMSR-E на восходящих и нисходящих витках спутника EOS Aqua за период с ноября 2009 г. по декабрь 2010 г. в области Северной Атлантики с координатами 67° с. ш., 95° з. д.–0° с. ш., 0° в. д. и получены суточные оценки потоков явного, скрытого тепла и импульса, затем на их основе определены среднемесячные значения потоков с разрешением 0,25° по широте и долготе (на рис. 1 представлены примеры обработки за февраль и август 2010 г.).

Отмечается высокая пространственная и сезонная изменчивость потоков всех типов в Северной Атлантике. Наибольшая интенсивность потоков скрытого тепла наблюдается в летний сезон, а пик приходит на июль. Повышенными значениями данного параметра характеризуется тропическая зона восточнее Кубы в весенний и летний сезоны, а также в сентябре–октябре. Эта зона относится к районам зарождения, формирования и прохождения тропических циклонов. Сезонная особенность поведения потока импульса заключается в минимальных контрастах в летний сезон, в осенне-зимние сезоны контрасты существенно возрастают. Для потоков явного тепла наблюдается отчетливая широтная зависимость: — наиболее интенсивны потоки на севере Атлантики, их величина снижается по мере приближения к экваториальным широтам.

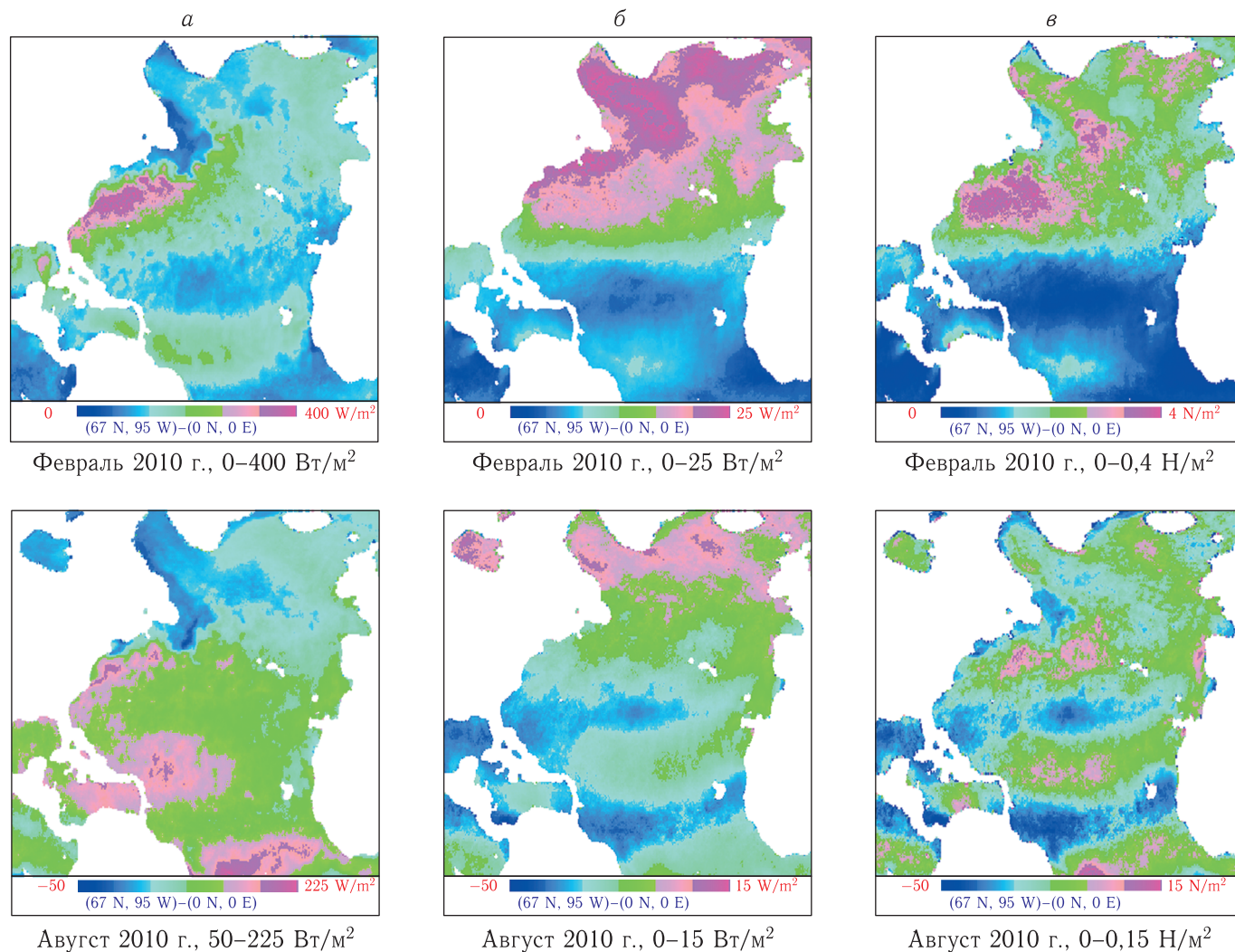


Рис. 1. Пространственное распределение среднемесячных потоков скрытого (а), явного (б) тепла и импульса (в) в Северной Атлантике в 2010 году по данным радиометра AMSR-E

Рис. 1 демонстрирует важный результат — возможность наблюдения из космоса течения Гольфстрим в поле потоков скрытого тепла при пространственном разрешении $0,25 \times 0,25^\circ$, которое обеспечивается современными спутниковыми СВЧ радиометрическими средствами.

Выполнено сопоставление спутниковых оценок среднемесячных потоков суммарного (явного и скрытого) тепла с данными известного архива OAFflux (oaf flux.who i.edu) в районах расположения судовых станций (кораблей погоды) М (MIKE — 66° с.ш., $0,5^\circ$ з.д.), D (DELTA — 44° с.ш., 41° з.д.) и Н (HOTEL — 38° с.ш., 71° з.д.), относящихся соответственно к Норвежской, Нью-

фаундлендской и Гольфстримской энергоактивным зонам. Результаты сопоставления показывают хорошее согласие между спутниковыми и архивными данными.

На рис. 2 представлены оценки среднемесячных значений общего содержания водяного пара в атмосфере в Северной Атлантике, полученные путем обработки данных измерений радиометра AMSR-E спутника EOS Aqua за 2009 и 2010 гг.

На рис. 2 наблюдается эффект «полосатости» (широтного разграничения) картины распределения водяного пара в Северной Атлантике — отчетливо выражена его широтная закономерность (нарастание влажности атмосферы по мере прибли-

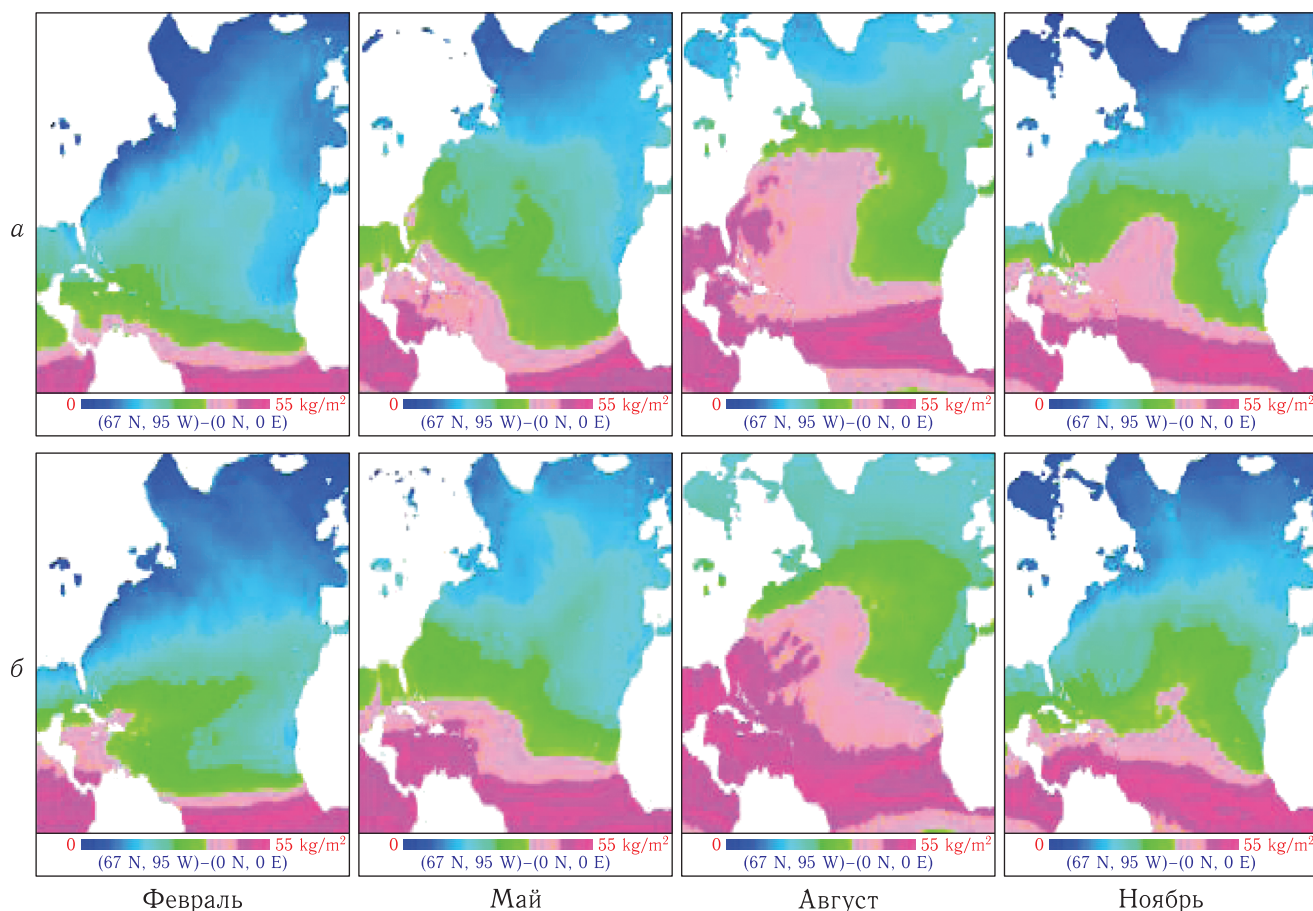


Рис. 2. Пространственное распределение среднемесячных значений общего содержания водяного пара атмосферы в Северной Атлантике: а — 2009 г., б — 2010 г.

жения от нижних широт к высоким), при этом отмечается сильная контрастность данного параметра, меняющегося от 15 до 55 кг/м² в зависимости от географической широты океана и сезона года.

Межгодовые вариации водяного пара в атмосфере в энергоактивных областях Северной Атлантики

На основе результатов обработки данных измерений радиометра AMSR-E в период 2002–2011 гг., дополненных данными измерений радиометра SSM/I в период 1988–2001 гг., получены оценки среднемесячных значений общего влагосодержания атмосферы над Северной Атлантикой с пространственным разрешением 0,25° по широте и долготе в период 1988–2011 гг. Наиболее

детально рассмотрена временная динамика водяного пара в энергоактивных областях М, D и Н.

На рис. 3 представлены среднемесячные значения общего влагосодержания атмосферы в областях М, D и Н Северной Атлантики в период с 1988 по 2011 гг., полученные в разные годы по данным радиометров SSM/I и AMSR-E. Заметен эффект наращивания количества водяного пара в эти годы, который наблюдается особенно отчетливо в областях D и Н.

Увеличение средних за год значений общего содержания водяного пара в атмосфере за период 1996–2005 гг., к примеру в областях М, D, Н, составило соответственно 1, 1,1 и 1,5 кг/м². Для сравнения заметим, что, согласно последним оценкам, глобальные вариации водяного пара в атмосфере за этот же период составляют 0,3–0,5 кг/м² по версиям GOME–SCIAMCHY (Global Ozone

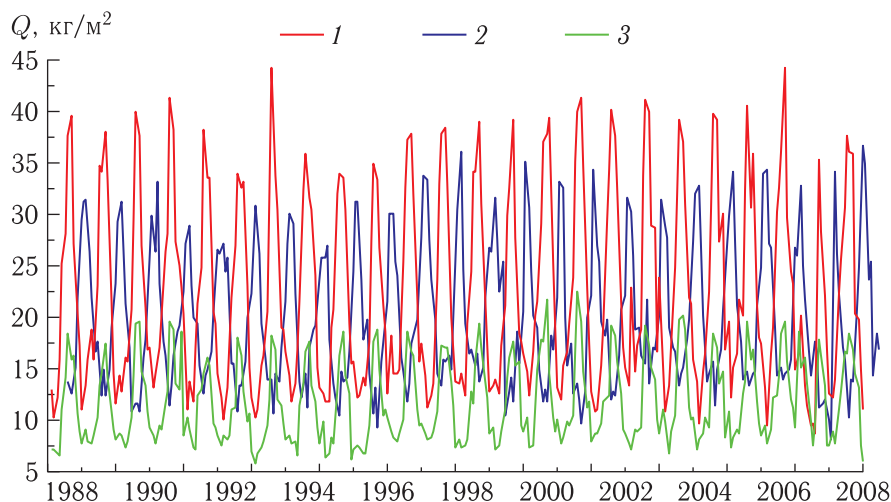


Рис. 3. Многолетние изменения среднемесячных значений полного содержания водяного пара в атмосфере Q в зонах Н (1), D (2), М (3) Северной Атлантики

Monitoring Experiment–Scanning Imaging Absorption spectrometer for Atmospheric Chartography и HOAPS (Hamburg Ocean Atmosphere Parameters and Fluxes from Satellite Data) [7]. Здесь при определении глобальных вариаций водяного пара, вероятно, играет роль сглаживание эффектов влияния таких динамических и контрастных, но локальных областей Мирового океана, как энергоактивные зоны Северной Атлантики, зона Эль-Ниньо в Тихом океане и др.

Рис. 4 иллюстрирует изменчивость среднегодовых значений водяного пара в Гольфстримской и Ньюфаундлендской энергоактивных зонах в период 1992–2011 гг.

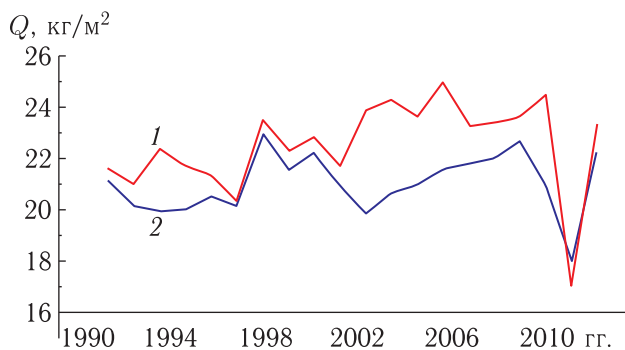


Рис. 4. Вариации общего содержания водяного пара в атмосфере в Гольфстримской (1) и Ньюфаундлендской (2) энергоактивных областях Северной Атлантики в период 1992–2011 гг.

На рисунке отчетливо выделяются области Н и D, характеризующиеся резким снижением водяного пара в 2010 г., когда произошли обильные нефтяные разливы в Мексиканском заливе, что можно объяснить уменьшением испарения с поверхности океана в Гольфстримской энергоактивной зоне и снижением транспорта тепла в другие области, находящиеся в русле течения Гольфстрим.

Заключение

Перечислим основные результаты, полученные на основе анализа данных измерений радиометров AMSR-E и SSM/I:

1. Показана возможность наблюдения из космоса течения Гольфстрим, его пространственно-временной изменчивости в поле потоков скрытого тепла при пространственном разрешении $0,25 \times 0,25^\circ$.

2. Выявлено возрастание среднемесячных значений общего содержания водяного пара в атмосфере в Гольфстримской, Ньюфаундлендской и Норвежско-Гренландской энергоактивных областях Северной Атлантики в период 1998–2011 гг.

3. Обнаружено резкое снижение общего содержания атмосферного водяного пара в 2010 году, когда наблюдались интенсивные нефтяные разливы в Мексиканском заливе весной этого года и сильная летняя засухливость на европейской территории России.

Из приведенных результатов следует, что спутниковые радиометры-сканеры типа радиометров SSM/I и AMSR-E могут служить эффективным инструментом изучения долговременной пространственной и сезонной изменчивости вертикальных турбулентных потоков тепла, влаги и импульса на поверхности океана и общего влагосодержания атмосферы как климатоформирующих факторов. Что в свою очередь подтверждает незаменимость космических методов и систем ДЗЗ в решении задач гидрометеорологии и климатологии.

Список литературы

1. Hollinger P.H., Peirce J.L., Poe G.A. SSM/I instrument evaluation // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1990, v. 28, № 5. P. 781–790.
2. 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. Geosci. Remote Sens., 2003, № 48. P. 173–183.
3. Гранков А.Г., Мильшин А.А. Современное состояние спутниковых СВЧ-радиометрических средств для исследования взаимодействия океана и атмосферы // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2016, № 3. С. 3–29.
4. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Новичихин Е.П. Радиоизлучение системы океан–атмосфера в ее энергоактивных зонах. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016. 314 с.
5. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К., Черный И.В., Язерян Г.Г. Многолетние вариации водяного пара в Северной Атлантике по данным спутниковых микроволновых измерений // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2015, т. 2, вып. 2. С. 47–52.
6. Мильшин А.А., Шелобанова Н.К., Гранков А.Г. Межгодовые и внутригодовые вариации водяного пара в Северной Атлантике по данным спутниковых микроволновых измерений // Метеорология и гидрология, 2016, № 8. С. 18–25.
7. Mieruch S., Schröder M., Noël S., and Schulz J.S. Comparison of decadal global water vapor changes derived from independent satellite time series // J. Geophys. Res., 2014, № 10. P. 1–11.