
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

О РОЛИ ПРИВОДНОГО ВЕТРА ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ
НА ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА
АТЛАНТЭКС-90

© 2011 г. А. Г. Гранков

*Фрязинский филиал Учреждения Российской академии наук Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино Московской обл.*

E-mail: agrankov@inbox.ru

Поступила в редакцию 13.10.2010 г.

Рассматриваются и сопоставляются два варианта упрощенных (укороченных) параметризаций классических формул тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой (балк-формул) на основе анализа данных эксперимента АТЛАНТЭКС-90 в Ньюфаундлендской зоне Северной Атлантики. Один из них базируется на связи потоков суммарного (явного и скрытого) тепла с разностью температур воды и воздуха — ключевым параметром, фигурирующим в балк-формулах. Другой вариант учитывает влияние дополнительного фактора — скорости приводного ветра, также учитываемого в этих же формулах. И те, и другие оценки тепловых потоков сравниваются с их оценками, полученными из балк-формул. Показано, что в Северной Атлантике ветровой фактор очень важен при анализе тепло- и влагообмена между поверхностью океана и приводным слоем атмосферы в синоптическом диапазоне временных масштабов в отличие от среднемесячных масштабов временного усреднения, используемых при изучении сезонной динамики тепловых потоков в океане. Учет ветрового фактора позволяет существенно снизить расхождение между результатами расчета тепловых потоков по балк-формулам и по их укороченным параметризациям, более удобным для анализа теплового взаимодействия океана и атмосферы с помощью спутниковых СВЧ-радиометрических средств.

Ключевые слова: приводной ветер, тепловые потоки, тропические циклоны, СВЧ-радиометрия

В статье рассмотрен вопрос о влиянии скорости приводного ветра в Ньюфаундлендской зоне Северной Атлантики во время проведения эксперимента АТЛАНТЭКС-90 на связь потоков суммарного (явного и скрытого) тепла с разностью температур воды и воздуха. Данные этого эксперимента, а также проведенного ранее эксперимента НЬЮФАЭКС-88, послужили основой в свое время для изучения возможностей использования СВЧ-радиометрических методов и их обработки для анализа теплового взаимодействия океана и атмосферы из космоса (Гранков, Мильшин, 2004), (Grankov, Milshin, 2009).

Здесь мы постараемся решить вопрос, какие параметры в контактном слое системы “океан-атмосфера” (СОА), являющиеся наиболее существенными в тепло- и влагообмене между поверхностью океана и приводным слоем атмосферы, доступны для их определения спутниковыми СВЧ-радиометрическими средствами. Уникальные и дорогостоящие эксперименты НЬЮФАЭКС-88 и АТЛАНТЭКС-90, проведенные в советское время, позволяют нам ответить на этот вопрос; похоже, что нам — специалистам по дистанционному зондированию океана из космоса — придется опираться на данные этих экспериментов еще долгое время.

Мы попытаемся применить в скором времени опыт, накопленный в 1990-х годах по изучению связи собственного СВЧ-излучения СОА с интенсивностью тепло- и влагообмена между поверхностью океана и атмосферой в средних широтах Атлантики в районах активной деятельности циклонов (антициклонов), к тропическим широтам. Эта работа проводится в настоящее время в рамках проекта МНТЦ № 3827 “Разработка технологий диагностики зарождения тропических ураганов в океане на основе методов дистанционного зондирования” в Институте радиотехники и электроники РАН (ИРЭ РАН) при участии ведущих специалистов Института океанологии РАН, Института космических исследований РАН и Росгидрометцентра.

Между среднеширотными и тропическими ураганами много общего — сильный приводной ветер ($30\text{--}35\text{ м с}^{-1}$) и высокое влагосодержание атмосферы (до 50 кг м^{-2}) в средних и (до 70 кг м^{-2}) в южных широтах океана. Также значительна роль вертикальных турбулентных потоков тепла и влаги на границе раздела океана и атмосферы как характеристик СОА, реагирующих на прохождение среднеширотных циклонов (Гулев и др., 1994), (Лаппо и др., 1990), так и факторов, необходимых для анализа условий возникновения тропических циклонов (ТЦ) (Голицын, 2008). Именно эти параметры атмо-

сферы надежно определяются с помощью современных спутниковых СВЧ-радиометрических средств в миллиметровом и сантиметровом диапазонах длин волн. Поэтому мы рассматриваем наш опыт спутниковых исследований циклонических явлений в средних широтах океана как “трамплин” для изучения ТЦ, прежде всего, для изучения причин их появления с помощью методов математического моделирования и дистанционного зондирования.

Суть данной работы заключается в определении роли (ранжировании) основных параметров, определяющих интенсивность тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой, — разности температур воды и воздуха, разности фактической влажности воздуха e и влажности насыщения e_0 и скорости приповерхностного (приводного) ветра. Известно, что именно эти параметры являются ключевыми при расчетах вертикальных турбулентных потоков явного (qh) и скрытого тепла (qe) и фигурируют на первом месте в известных формулах тепло- и влагообмена — так называемых балк-формулах (Лаппо и др., 1990), полученных на основе глобального аэродинамического метода (Global Bulk Aerodynamic Method). В соответствии с этим подходом величины qh и qe характеризуются следующими соотношениями:

$$qh = c_p \rho C_T (T_n - T_a) V; \quad (1)$$

$$qe = L_p (0.622/Pa) C_E (e - e_0) V, \quad (2)$$

т.е. выражаются через следующие параметры СОА: температуру (T_a), упругость водяного пара (e) и скорость ветра (V) в приводном воздухе, а также через температуру поверхности океана ТПО (T_n) и максимальную для данной величины ТПО влажность воздуха (e_0). В качестве коэффициентов пропорциональности в соотношениях (1) и (2) служат коэффициенты обмена теплом C_T (число Шмидта) и влагой C_E (число Дальтона), а также удельная теплота испарения (L), удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении (c_p) и его плотность (ρ) (Лаппо и др., 1990).

Здесь анализируется связь интенсивности вертикальных турбулентных потоков суммарного (явного и скрытого) тепла у поверхности океана с разностью температур воды и воздуха в средних широтах Северной Атлантики. На эту тему опубликовано много статей в нашей стране и за рубежом. В то же время слабо исследован эффект влияния скорости приводного ветра на связь потоков суммарного тепла с разностью температур водной поверхности и приводного воздуха атмосферы в синоптическом диапазоне временных интервалов. Полученные результаты оказались неожиданными даже для нас, судя по нашим прежним результатам — исследованиям влияния скорости ветра на яркостную температуру СОА, — эффект ветрового волнения со среднемесячным усреднением данных измерений показался нам не столь значительным (Гранков, Мильшин,

2004). На синоптических же масштабах времени этот эффект оказался очень существенным для оценки тепло- и влагообмена между поверхностью океана и приводной атмосферой.

Результаты работы получены на основе данных долговременных измерений в районах Северной Атлантики, характеризующихся активной циклонической деятельностью и сильной изменчивостью параметров поверхности океана и приводного слоя атмосферы, — например, в марте—апреле 1990 г. над Гольфстримом образовалось семь фронтальных циклонов (Гулев и др., 1994).

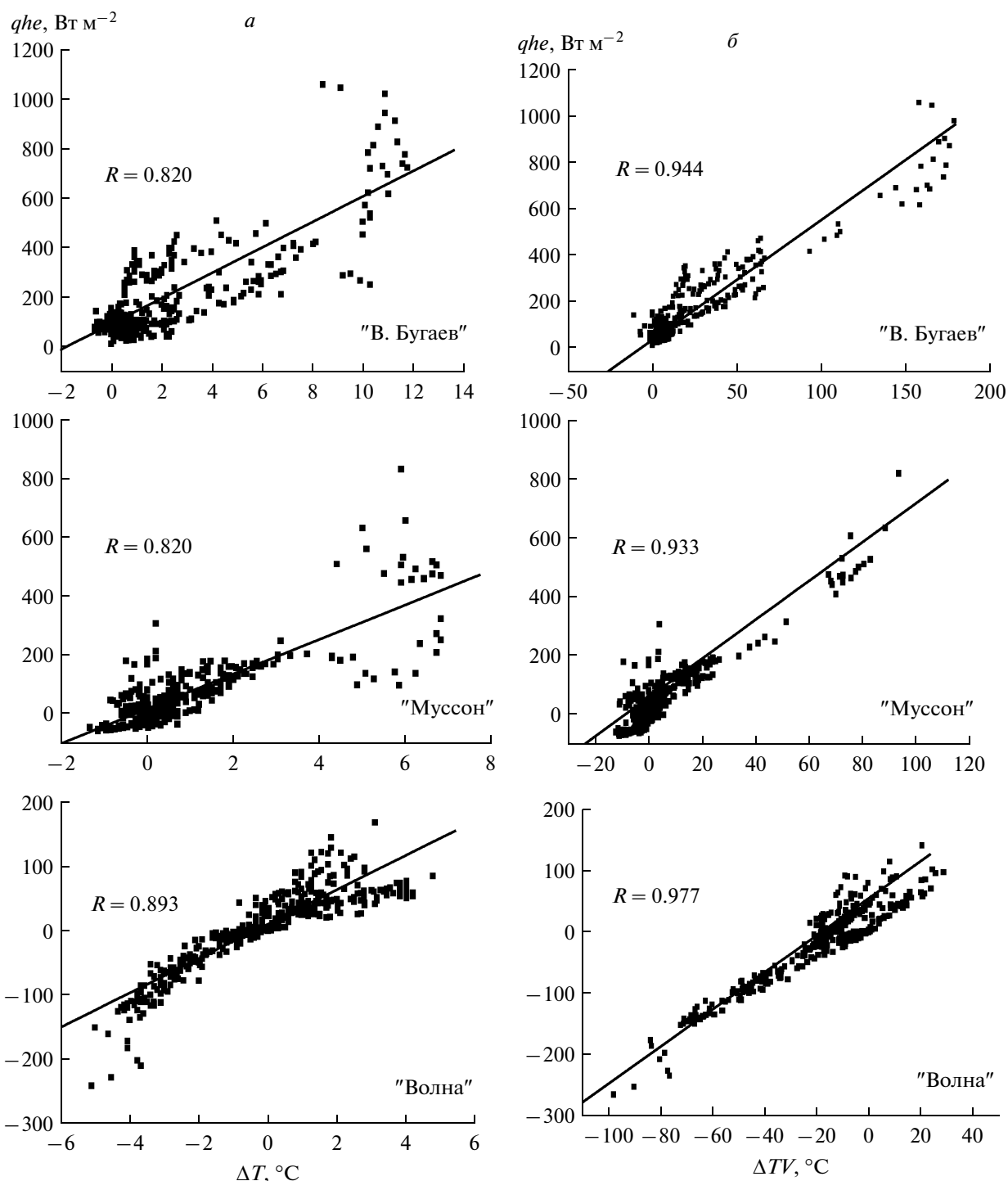
Значения потоков явного, скрытого и суммарного тепла вычислены с помощью данных ежечасных измерений температуры поверхности океана, температуры и влажности воздуха в приводном 10-метровом слое, скорости приводного ветра с научных судов погоды (НИСП “Виктор Бугаев”, “Муссон” и “Волна”, которые получены в эксперименте АТЛАНТЭКС-90 в апреле 1990 г. и переданы нам С.К. Гулевым.

НИСП в этот период времени проводили измерения в трех точках дельты Гольфстрима: в южной периферии основной струи Гольфстрима (42.3° с.ш., 46° з.д. — НИСП “Виктор Бугаев”), в южной ветви Гольфстрима (41.3° с.ш., 41° з.д. — НИСП “Муссон”) и в восточной ветви Лабрадорского течения (48.2° с.ш., 46° з.д. — НИСП “Волна”).

Процессы тепло- и влагообмена в районах расположения указанных судов погоды в период измерений отличаются качественно: например, для НИСП “Виктор Бугаев” и “Муссон” (теплые воды Гольфстрима) наблюдается отдача тепла в атмосферу, тогда как в районе расположения НИСП “Волна” (холодные воды Лабрадорского течения) атмосфера отдает тепло океану. Также очень сильно различаются в этих районах и количественные характеристики теплового взаимодействия океана и атмосферы — значения вертикальных турбулентных потоков явного, скрытого и суммарного тепла на границе их раздела (Гулев и др., 1994). В частности, амплитуда колебаний величины суммарного потока тепла достигает 800 Вт/м² для НИСП “Виктор Бугаев”, 500 Вт/м² для НИСП “Муссон” и 350 Вт/м² для НИСП “Волна”.

На рисунке приведены результаты сопоставления разности температуры воды и воздуха с вертикальными потоками суммарного тепла и влаги в Ньюфаундлендской энергоактивной зоне Северной Атлантики, наблюдаемых с НИСП “Виктор Бугаев”, “Муссон” и “Волна” с временным разрешением в 1 ч.

Из рисунка видно (группа *a*), что учет скорости приводного ветра приводит к более жесткой связи между потоками суммарного тепла и разностью температур воды и воздуха в Северной Атлантике. Например, коэффициент корреляции между интенсивностью вертикальных турбулентных потоков суммарного (явного и скрытого) тепла и параметрами $\Delta T = T_n - T_a$ и $\Delta T \times V$ при переходе от левой группы рисунков (*a*) к правой (*b*) возрастает от 0.82 до



Результаты сопоставления разности температуры воды и воздуха с вертикальными потоками суммарного тепла и влаги в Ньюфаундлендской энергоактивной зоне Северной Атлантики, наблюдаемыми с НИСП "Виктор Бугаев", "Муссон" и "Волна" с временным разрешением в 1 ч.

0.944 ("Виктор Бугаев"), от 0.82 до 0.933 ("Муссон"), и от 0.893 до 0.977 ("Волна").

Заметим, что вывод о целесообразности учета приводного ветра при расчете интенсивности теплообмена между океаном и атмосферой на синоптических масштабах времени был сделан

также в работе (Гранков, Новичихин, 1997), где мы на основе данных измерений с НИСП "Волна" рассматривали возможность реконструкции (упрощения) балк-формулы без особого ущерба для определения потоков явного и скрытого тепла на границе раздела СОА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что в Северной Атлантике ветровой фактор очень важен при анализе тепло- и влагообмена между поверхностью океана и приводным слоем атмосферы в синоптическом диапазоне временных масштабов в отличие от среднемесячных масштабов временного усреднения, используемых при изучении сезонной динамики тепловых потоков в океане. Согласно результатам анализа судовых данных эксперимента АТЛАНТЭКС-90, учет этого фактора позволяет существенно снизить расхождение между результатами расчета тепловых потоков по балк-формулам и по их укороченным параметризациям, более удобным для анализа теплового взаимодействия океана и атмосферы с помощью спутниковых СВЧ-радиометрических средств.

Скорость приводного ветра является легко доступным параметром для его определения СВЧ-радиометрическими методами с ИСЗ, т.к. существует прямая физическая связь интенсивности собственного теплового радиоизлучения (яркостной температуры) СОА с интенсивностью волнения водной поверхности, тесно связанной с параметром V . Более сложной задачей является определение с ИСЗ разности ΔT между температурой поверхности океана и температурой приводного слоя атмосферы, так как связь между яркостной температурой СОА и температурой приводного воздуха является косвенной. Анализ возможностей использования спутниковых СВЧ-радиометрических методов для определения тепловых потоков выходит за рамки данного сообщения. Отметим лишь, что существующая благодаря мощному горизонтальному переносу тепла и влаги в средних широтах Северной Атлантики тесная связь температуры и влажности приводной атмосферы с ее интегральным (полным) влагосодер-

жанием, определяемым с ИСЗ в линии резонансного поглощения (излучения) водяного пара 1.35 см (22.235 ГГц), позволяет оценивать тепловые потоки *прямо* с относительной точностью ~10% (Гранков, Мильшин, 2004), (Grankov, Milshin, 2009). При этом нет необходимости опираться на балк-формулы (1) и (2), включающие числа Шмидта и Дальгона, неопределенность которых и дала название этим формулам как “полуэмпирические”. Как указывается специалистами (Гулев др., 1994), уточнение этих коэффициентов является одной из задач натуральных экспериментов, подобных эксперименту АТЛАНТЭКС-90.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Голицын Г.С. Ураганы, полярные и тропические, их энергия и размеры, количественный критерий возникновения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 6. С. 579–589.
- Гранков А.Г., Новичихин Е.П. Об использовании формул теплообмена между океаном и атмосферой при усвоении спутниковых радиометрических измерений // Метеорология и гидрология. 1997. № 1. С. 81–90.
- Гранков А.Г., Мильшин А.А. Взаимосвязь радиоизлучения системы океан–атмосфера с тепловыми и динамическими процессами на границе раздела. М.: Физматлит, 2004. 168 с.
- Гулев С.К., Колинко А.В., Лапто С.С. Синоптическое взаимодействие океана и атмосферы в средних широтах. СПб.: Гидрометеиздат, 1994. 320 с.
- Лапто 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.
- Grankov A.G., Milshin A.A. Microwave radiation of the ocean–atmosphere: Boundary heat and dynamic interaction. Springer, 2009. 160 p.

On the Role of the Near-Surface Wind Speed when Calculating the Surface Heat Fluxes in the Ocean with the Data of the Experiment Atlantex-90

A. G. Grankov

Institute of Radioengineering and Electronics, Russian Academy of Sciences, Fryazino, Moscow Region

Two variants of simplified (short-cut) parameterizations of the classic formulas of heat and moisture exchange between the ocean and atmosphere (bulk-formulas) are considered and compared here basing on the data of experiment ATLANTEX-90 in the Newfoundland zone of the North Atlantic. One of them is based on relations between the total (sensible and latent) heat and the air-sea temperature difference, which is appeared as the key parameter in the bulk-formulas. Another variant considers an influence of an additional factor - the near surface wind speed. These estimates of heat fluxes are compared with those derived from the bulk-formulas. It was shown that in the North Atlantic the wind factor is very important for an analysis of heat and moisture exchange between the ocean surface and near surface atmosphere in the *synoptic* range of time scales unlike the *month mean* scales of time averaging used for studying the seasonal dynamics of heat fluxes in the ocean. An account of the wind factor let us to reduce essentially a discrepancy between results of computing the heat fluxes with the bulk formulas and with their short-cut parameterizations, which are more suitable for an analysis of the ocean–atmosphere heat interaction with the aid of satellite microwave radiometric means.

Keywords: near-surface wind, surface heat fluxes, tropical cyclones, satellite microwave radiometry