

О механизмах формирования взаимосвязи радиоизлучения с тепловыми процессами на поверхности океана и в атмосфере

А.Г. Гранков, А.М. Мильшин

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 141190 Фрязино Московской области, пл. Введенского, д. 1, e-mail: agrankov@inbox.ru

Анализируются различные механизмы взаимосвязи измеряемых со спутников характеристик собственного СВЧ-излучения системы океан-атмосфера с вертикальными турбулентными потоками тепла и влаги на поверхности океана. Показано, что вариации интенсивности горизонтальных (адвективных) потоков в атмосферном пограничном слое вызывают одновременно изменения радиояркостной температуры системы и поверхностных тепловых потоков, что обуславливает прямую связь между ними.

Various mechanisms of intercommunication between characteristics of natural microwave radiation of the ocean-atmosphere system measured from satellites and near-surface vertical turbulent heat and moisture fluxes are analyzed. It is shown that variations of the horizontal (advective) flux intensity in the atmospheric boundary layer initiate the changes both the surface heat fluxes and the radiobrightness temperature of the system simultaneously; this is the reason for direct bonds between them.

Введение

Спутниковые сверхвысокочастотные (СВЧ)-радиометрические (радиотепловые) методы анализа характеристик тепловых процессов на поверхности океана и в атмосфере занимают в последнее время все большее место среди традиционных средств их изучения и становятся все более привлекательными для океанологов, метеорологов и климатологов.

Важное место в разработке этих методов занимает изучение механизмов формирования связи между измеряемыми с ИСЗ характеристиками собственного СВЧ-излучения системы океан-атмосфера (СОА) и такими характеристиками контактного слоя системы как вертикальные турбулентные потоки тепла и влаги на границе раздела системы, которые относятся к климатоформирующим факторам. Актуальность этой задачи связана с тем, что поле собственного СВЧ-излучения несет информацию не только о нижних слоях атмосферы (которые непосредственно участвуют в тепло- и влагообмене с поверхностью океана), но и о более ее высоких слоях.

В докладе рассмотрены основные механизмы взаимосвязи интенсивности собственного СВЧ-излучения (радиояркостной температуры) СОА и вертикальных турбулентных потоков явного и скрытого тепла на границе раздела системы, исследованные в ИРЭ РАН в последние годы на основе расчетов электромагнитных и тепловых потоков на поверхности океана и в атмосфере.

Механизм вертикального турбулентного переноса тепла

Первоначально рассматривался эффект вертикальной турбулентной диффузии тепла и влаги в атмосферном пограничном слое, в предположении, что именно он определяет связь между СОА с поверхностными потоками явного и скрытого тепла [1]. Построена приближенная (параметризованная) модель отклика собственного СВЧ-излучения системы океан-атмосфера сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн на возмущение теплового равновесия между пограничными слоями океана (ОПС) и атмосферы (АПС), вызванное резким изменением притока солнечной радиации к границе раздела. Обусловленная этим возмущением перестройка СОА сопровождается

существенными изменениями температуры поверхности океана, температуры и влажности пограничного слоя атмосферы, т.е. тех параметров системы, которые вносят определяющий вклад в формирование и трансформацию как электромагнитных, так и тепловых потоков: это служит предпосылкой для совместного анализа характеристик излучения и тепло- и влагопереноса.

Результаты анализа эволюций температурно-влажностных характеристик АПС и ОПС, а также потоков явного и скрытого тепла на границе раздела океана и атмосферы в результате нарушения теплового равновесия в СОА представлены на рис. 1. и рис. 2., соответственно.

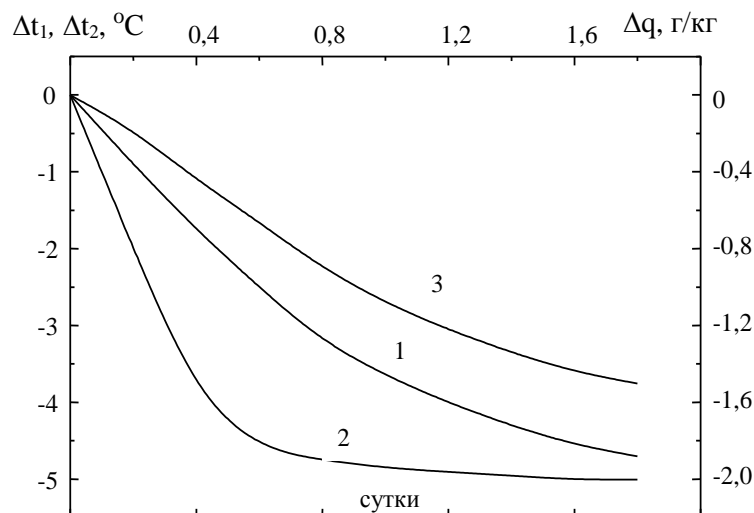


Рис. 1. Эволюции температуры АПС t_1 (1), температуры ОПС t_2 (2) и влажности воздуха АПС q (3).

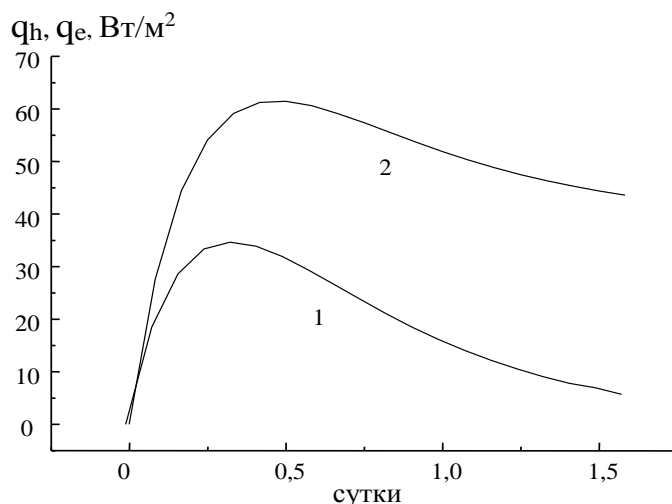


Рис. 2. Эволюции поверхностных потоков явного q_h (1) и скрытого q_e (2) тепла.

Связь яркостной температуры СОА с поверхностными потоками явного и скрытого тепла проявляется наиболее отчетливо в областях резонансного поглощения излучения в водяном паре (1,35 см) и молекулярном кислороде (~5 мм) атмосферы. Обнаружено, что в этих областях СВЧ-диапазона максимальные значения вариации яркостной температуры СОА составляют несколько градусов Кельвина.

Позднее при проведении совместного анализа данных океанографических, метеорологических и спутниковых СВЧ-радиометрических измерений в акваториях Северной Атлантики стало понятно, что эффект вертикального переноса тепла и влаги

в атмосфере не может объяснить реально наблюдаемые контрасты яркостной температуры СОА, а также метеорологических параметров и тепловых потоков (таблица 1), которые на порядок превышают их расчетные оценки, полученные для предельных для этих акваторий значений притока коротковолновой солнечной радиации (200–300 Вт/м²).

Таблица 1. Контрасты характеристик СОА в зонах Северной Атлантики (по данным судовых метеорологических измерений с НИСП “В. Бугаев”, “Муссон” и “Волна” и одновременных СВЧ-радиометрических измерений с ИСЗ F-08) [2]

Измеряемые параметры	“Виктор Бугаев”		“Муссон”		“Волна”	
	НФ-88	А-90	НФ-88	А-90	НФ-88	А-90
Метеопараметры						
$\Delta t_a, ^\circ\text{C}$	11,2	12,7	15,0	8,5	15,5	9,9
$\Delta e, \text{мб}$	12,3	13,0	13,8	12,3	11,7	8,5
$V, \text{м/с}$	24,6	18,5	24,8	18,2	27,1	18,6
Тепловые потоки, Вт/м ²						
Δq_h	490	495	620	252	750	221
Δq_e	1205	738	1190	598	829	200
Δq_{he}	1695	1233	1810	850	1579	421
Яркостная температура, градусы Кельвина						
$\Delta T^{\text{я}} 0.35\text{см, ВП}$	46,6	73,5	72,0	55,1	78,2	87,8
$\Delta T^{\text{я}} 0.81\text{см, ВП}$	26,0	34,5	33,6	31,5	33,6	32,3
$\Delta T^{\text{я}} 0.81, \text{ГП}$	56,3	63,9	78,8	64,2	67,5	71,5
$\Delta T^{\text{я}} 1.35\text{см, ВП}$	33,6	42,5	40,4	36,9	37,9	48,7
$\Delta T^{\text{я}} 1.55\text{см, ВП}$	25,1	26,6	29,5	25,8	24,3	30,2
$\Delta T^{\text{я}} 1.55\text{см, ГП}$	45,7	49,4	62,8	45,7	45,8	59,9

Примечание: t_a – температура поверхности океана, e – упругость водяного пара, V – скорость приводного ветра, q_h – поток явного тепла, q_e – поток скрытого тепла, q_{he} – поток суммарного тепла, $T^{\text{я}}$ – яркостная температура на вертикальной (ВП) и горизонтальной (ГП) поляризациях

Механизм горизонтального адвективного переноса тепла

Такие расхождения между теоретическими оценками и экспериментальными данными можно преодолеть с помощью учета фактора горизонтального (адвективного) переноса тепла и влаги в атмосфере. Для этого используется модель, построенная в рамках традиционных приближений в отношении методов параметризации мелкомасштабной турбулентности, но учитывающей горизонтальную адвекцию тепла и влаги для описания метеорологических полей в атмосферном пограничном слое, на интенсивность его энергообмена с поверхностью океана и последующего расчета вертикальных турбулентных тепловых и электромагнитных потоков [3].

На рис. 3 представлены результаты расчетов откликов яркостной температуры системы океан-атмосфера в диапазоне длин волн 0,6–1,6 см, который захватывает частично область резонансного поглощения (излучения) радиоволн в молекулярном кислороде атмосферы и полностью покрывает область резонансного поглощения радиоволн в атмосферном водяном паре.

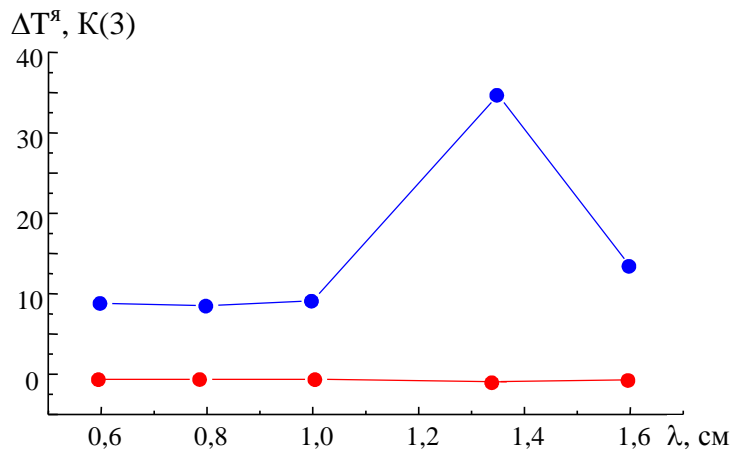
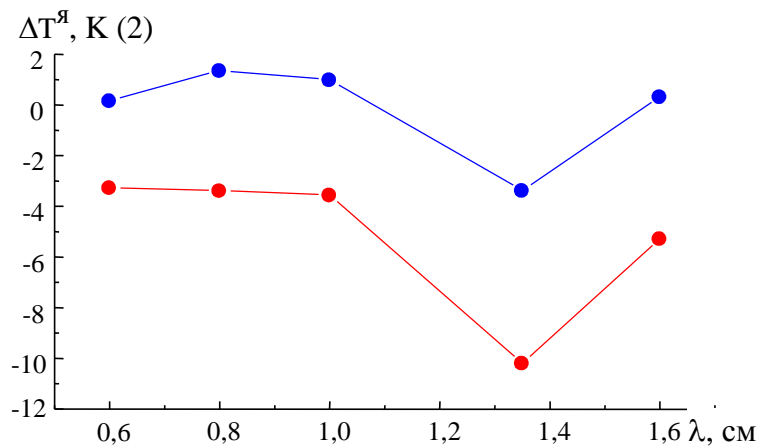
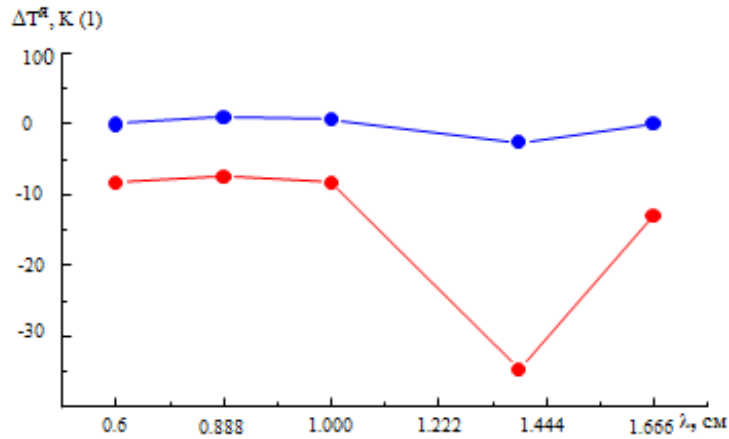


Рис. 3. Приращения яркостной температуры на различных длинах волн при переходе от фоновых условий (отсутствие горизонтальной адвекции в АПС) к случаям "адвекции холода" (верхние линии) и "адвекции тепла" (нижние линии): нейтральная (1), устойчивая (2) и неустойчивая (3) плотностная стратификация АПС.

Из иллюстрации следует, что в спектральной области поглощения (излучения) радиоволн в водяном паре атмосферы, центрирующей относительно линии 1,35 см, чувствительность яркостной температуры атмосферного пограничного слоя к изменениям его теплового режима максимальна. Этот результат указывает на важность данной спектральной области СВЧ-диапазона при исследованиях быстропеременных

процессов тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой в виде вертикальных турбулентных потоков явного и скрытого тепла.

Основным результатом является тот факт, что вариации яркостной температуры АПС в линии 1,35 см могут достигать 30–40 К, что на порядок превышает величину ее вариаций, обусловленных процессами вертикального турбулентного переноса тепла и влаги, и хорошо согласуется с данными спутниковых радиотепловых измерений.

Литература

1. Гранков А.Г., Реснянский Ю.Д. Моделирование отклика собственного излучения системы океан-атмосфера на возмущение теплового равновесия на ее границе, Метеорология и гидрология, 1997, №11, 78-89.
2. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Новичихин Е.П. Радиоизлучение системы океан-атмосфера в ее энергоактивных зонах. LAMBERT, Academic Publishing, 2016.
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, 33-44.