

XXII международная конференция "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

Дистанционные исследования Мирового океана

О характеристиках атмосферных волн (по данным оптического сканера цвета океана) E.112

Жукова М.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Атмосферные гравитационные волны (АГВ) за счет связанной с ними изменчивости напряжения трения ветра модулирует шероховатость морской поверхности (1), обуславливая изменения яркости толщи моря (remote sensing reflectance Rrs) и создавая сигнатуры. Rrs определяется как отношение значений радиации, выходящей из-под поверхности на границе раздела океан – атмосфера, к радиации, падающей на поверхность океана. Изменения Rrs фиксируются сканерами цвета океана, установленными на космических носителях. Сигнатуры на изображениях Rrs проявляются в виде контрастных полос, отображающих гребни и впадины АГВ. При высоком содержании влаги в воздухе, когда гребни АГВ достигают высоты уровня конденсации, они могут быть видны в небе в виде облачных полос. Фотография пакета АГВ в виде волнистых облаков (облачных полос) над Москвой, сделанная автором с восьмого этажа дома, показана на рис. 1.



Рис.1. Облачные полосы, образованные АГВ, в небе над Москвой

Были изучены некоторые характерные виды проявлений сигнатур АГВ на морской поверхности, полученных с использованием данных Rrs (2), обеспеченных сканером цвета океана SeaWiFS, установленном на спутнике OrbView-2. Сканер SeaWiFS функционировал с августа 1997 г. по декабрь 2010 г. Данные сканера уровня L2 (после атмосферной коррекции) с разрешением 1,13 км (Local Area Coverage или LAC данные) доступны в архиве на сайте <https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov>. Оптические датчики сканера SeaWiFS были наклонены с целью исключения солнечной засветки (3), что позволяло получать большое количество «доброкачественных» пикселей изображения, в отличие от сканеров типа MODIS. В архиве SeaWiFS за один день пролетов имеется около 10 файлов, причем данные одного файла могут соответствовать изображению размером от -90° до 90° по широте и долготе. Для поиска сигнатур АГВ по изображениям, свободным от облаков, необходимо вырезать необходимые площадки и затем увеличивать их для просмотра. За день пролетов SeaWiFS реально найти несколько изображений сигнатур крупномасштабных АГВ, что говорит об универсальном характере их проявлений в океане.

Было исследовано несколько десятков таких сигнатур АГВ. Наиболее четко они проявились на изображениях Rrs на длине волны 412 нм. Сигнатуры АГВ имели длину волны в десятки километров и длину гребня в сотни километров. Форма сигнатур была чаще всего дугообразной или линейной. Согласно расположению сигнатур, распространение крупномасштабных АГВ шло в основном в широтном направлении, хотя часто имело и небольшую меридиональную составляющую.

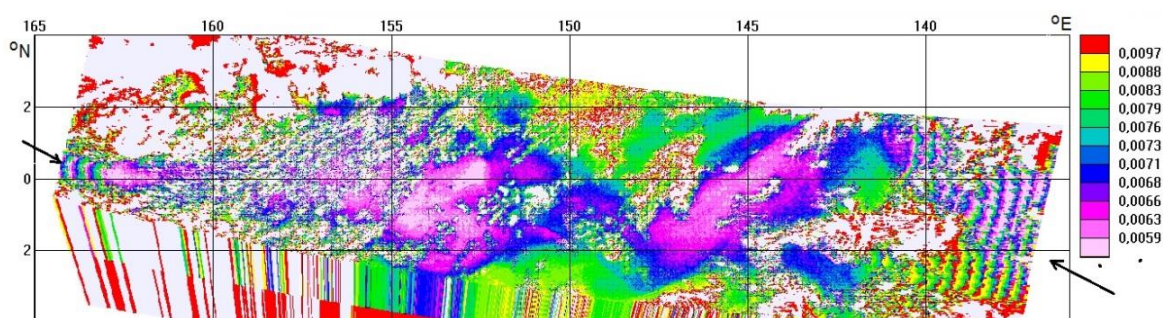


Рис.2. Распределение Rrs_{412} в центральной экваториальной части Тихого океана, полученное 26 декабря 2005 г. в 2240 UTC.

На рис. 2 показано распределение Rrs_{412} в центральной экваториальной части Тихого океана. Два дугообразных пакета сигнатур АГВ отобразились в областях $163-165^\circ\text{E}$ и $141-136^\circ\text{E}$; они распространялись в противоположных направлениях. Пакеты отстояли друг от друга на расстояние ~ 2500 км, длина волны «западного» пакета ~ 43 км, длина волны «восточного» пакета ~ 47 км, а длина его гребня была не менее 400 км.

Продолжительность проявления сигнатур с мелкомасштабными вариациями в одном географическом месте могло составлять несколько дней (рис.3).

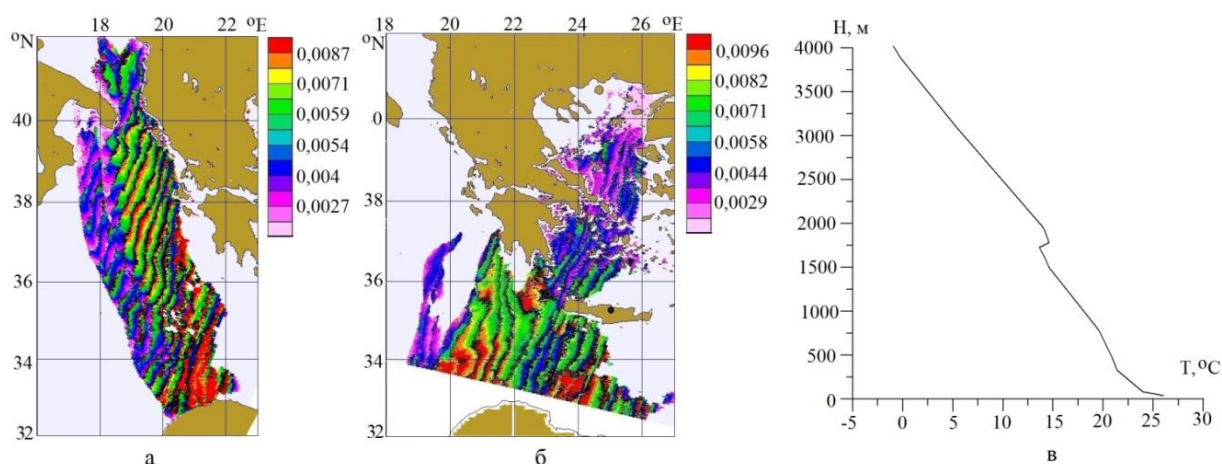


Рис.3. Распределения Rrs_{412} в Средиземном море: а – 10 июня 2010 г., б – 12 июня 2010 г., оба в 1350 UTC; в – вертикальный профиль температуры воздуха T на метеостанции г. Гераклион (аэропорт) на острове Крит, измеренный 12 июня 2010 г. в 1200 UTC

Термодинамические диаграммы, полученные по данным радиозондирования верхнего слоя атмосферы (4) на метеостанциях, находящихся вблизи областей, где примерно в это же время были обнаружены сигнатуры АГВ, показали, что в вертикальных профилях температуры воздуха T имелись инверсии величиной в единицы градусов, находящиеся на высоте 1 – 2 км, и высокий вертикальный градиент T ниже уровня инверсий (рис.3в). Этот температурный градиент действовал как волновод, удерживающий АГВ, которые в свою очередь модулировали морскую поверхность, создавая на ней сигнатуры.

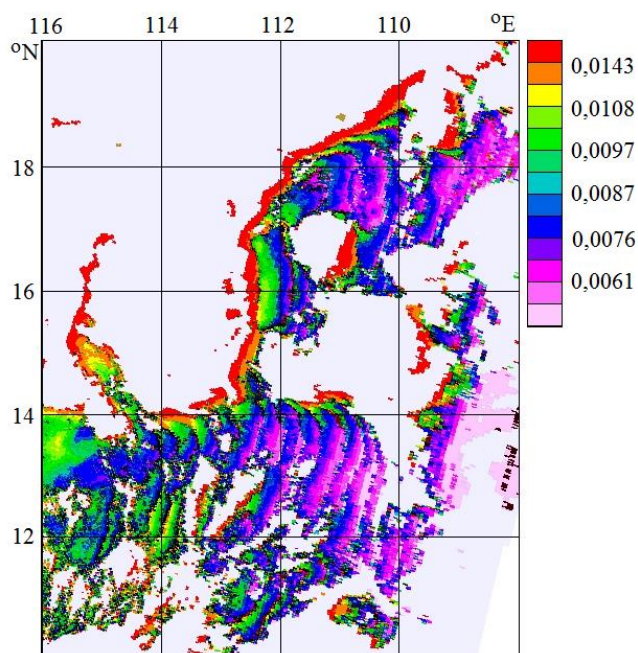


Рис.4. Распределение Rrs_{412} в Тихом океане к югу от п-ва Калифорния 10 июня
2010 г. в 2235 UTC

На рис.4 показано распределение Rrs_{412} в Тихом океане к югу от полуострова Калифорния, где видны дугообразные сигнатуры атмосферных волн АГВ, распространявшихся на восток. Они закруглялись в окрестности фронта повышенной яркости на границе облачного слоя, что проявилось на всех длинах волн оптического диапазона.

Для случаев перемежающейся облачности выявлено, что АГВ могли одновременно проявляться как в облачном слое, так и на морской поверхности. При этом гребни АГВ, отображающиеся в виде полос в облачном слое, имели продолжение в виде впадин АГВ на поверхности моря, и являлись в тоже время гребнями морских волн, индуцированных АГВ.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FMWE-2024-0015 для ИО РАН).

Литература:

1. Alpers, W., Huang, W., 2011. On the discrimination of radar signatures of atmospheric gravity waves and oceanic internal waves on synthetic aperture radar images of the sea surface. IEEE T. Geosci. Remote. 49 (3), 1114—1126, <https://doi.org/10.1109/TGRS.2010.2072930>.
2. Zshukova M. Signatures of atmospheric waves revealed with the satellite ocean color scanner SeaWiFS. Proc. SPIE 12780, 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 127804N (17 October 2023); doi: 10.1117/12.3005235
3. B. A. Franz, S.W. Bailey, R. E. Eplee Jr, G.C. Feldman, E. Kwiatkowska, C. McClain, G. Meister, F.S. Patt, D. Thomas, P. J. Werdell. The continuity of ocean color measurements from SeaWiFS to MODIS.
4. <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)