

Исследования характеристик ветровых волн гравитационно-капиллярного интервала в рамках экспериментов серии «CAPMOS»

И.Н. Садовский^{1,2}, А.В. Кузьмин¹, М.Н. Поспелов¹

¹Институт космических исследований РАН, 117997 Москва, Профсоюзная 84/32

²Владимирский государственный университет, 600026, Владимир, ул. Горького, 87

E-mail: Ilya.Nik.Sad@mail.ru

В работе представлены некоторые результаты натурных исследований микроволнового излучения взволнованной водной поверхности, выполненных в период с 2005 по 2009 гг. в рамках серии международных экспериментов "CAPMOS" (Combined Active/Passive Microwave Measurements of Wind Waves for Global Ocean Salinity Monitoring). Приоритетной задачей экспериментов являлось исследование характеристик спектра гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) на основе данных дистанционных радиополяриметрических измерений. В работе представлены временные диаграммы поведения различных спектральных компонент волнения. Показано, что восстановленные характеристики волнения хорошо коррелируют со скоростью приповерхностного ветра.

In paper some results of full-scale researches of microwave radiation of the disturbed water surface, fulfilled during the period with 2005 for 2009 according to the program of the international experiments "CAPMOS" (Combined Active/Passive Microwave Measurements of Wind Waves for Global Ocean Salinity Monitoring) are presented. The priority task of experiments was research of gravity capillary waves (GCW) spectrum characteristics, based on the remote radio polarimetric measurements. In paper a time diagrams of various spectral components of wind-waves are presented. It is shown that reduced characteristics of wind-waves well correlate with a speed of surface wind.

Целью экспериментов серии "CAPMOS" (натурные исследования 2005, 2007 и 2009 гг.) являлось изучение взаимосвязи характеристик частично поляризованного собственного излучения морской поверхности в микроволновом диапазоне и ее состояния при различных метеорологических условиях, присутствии пленок ПАВ, а также различных условиях волнообразования.

Приоритетной задачей экспериментов являлось исследование характеристик спектра гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) на основе данных дистанционных радиополяриметрических измерений. Для этих целей применялась оригинальная методика нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРРС). Данный метод был предложен Ю.Г. Трохимовским [5] и получил дальнейшее развитие в работах [6, 2, 3]. В соответствии методом НРРС, используя данные угловых измерений интенсивности собственного излучения морской поверхности, оказывается возможным осуществить переход к таким характеристикам волнения, как: ненаправленный спектр кривизны ГКВ и усредненные по азимутальному углу функции дисперсии уклонов и дисперсии уклонов крупных волн. При этом точность решения поставленной задачи, как показали результаты модельных расчетов, оказывается достаточной для решения большинства научных и практических задач [2].

Следует особо отметить, что стационарная океанографическая платформа МГИ НАНУ (п. Кацевели, Украина), используемая в качестве места проведения исследований, находится на расстоянии около 600 м от берега при глубине моря около 30 м [1]. При господствующих ветрах восточного и западного направления, тем более при южном ветре со стороны открытого моря, обеспечивается достаточный разгон ветровых волн, что позволяет относить волновые измерения к условиям глубокой воды и развитого волнения. В связи с этим, наблюдаемая корреляция характеристик спектра

со скоростью ветра является не только подтверждением достоверности их восстановления, но и позволяет использовать полученные результаты для разработки эмпирической модели спектра ГКВ.

Поскольку метод НРПС восстановления характеристик ветрового волнения основан на анализе данных угловых измерений интенсивности собственного теплового излучения [3], программа экспериментов состояла из 20-минутных повторяющихся интервалов сканирования. В пределах каждого скана, азимутальный угол наблюдения менялся в диапазоне углов от 90 до 270 градусов (относительно северного направления), а вертикальный угол - в пределах от 20 до 170 градусов (от надира). Детальное описание автоматического сканирующего комплекса "Траверс", а также полный состав измерительного комплекса, используемого в рамках описываемых экспериментов можно найти, например, в [7].

Таким образом, в ходе экспериментальных наблюдений, каждые 20 минут получалась информация о состоянии водной поверхности в виде функции спектра кривизны $B(K)$ и значения дисперсии уклонов крупных волн σ_0^2 .

Результатом проведения серии натуральных экспериментов "САРМОС" стало накопление обширного банка данных восстановленных характеристик спектра ветровых ГКВ. Этому способствовали как оперативность получения данных на основе метода НРПС, так и долгосрочность проведенных экспериментов: с 13 по 26 июня в 2005 году; с 14 по 20 августа в 2007 году и 21 по 27 октября в 2009 году.

В качестве примера, на рис. 1, представлена временная динамика некоторых спектральных компонент (значений функции $B(K)$ для выделенных K) спектра ГКВ в пределах одного дня измерений для каждого года исследований. Различными знаками (и цветом) обозначены значения спектра кривизны ГКВ для указанных волновых чисел. Черная сплошная линия соответствует изменениям скорости ветра (измеренным на высоте 1,5 м от уровня гладкой водной поверхности) в течении указанных временных интервалов.

Высокий уровень корреляции восстановленных характеристик спектра со скоростью приповерхностного ветра, позволил перейти к рассмотрению спектрально-ветровых зависимостей восстанавливаемых параметров спектра ГКВ. Следует отметить, что данный этап является, по сути, первым шагом на пути построения эмпирической модели спектра ветровых гравитационно-капиллярных волн поскольку именно интенсивность ветрового потока является наиболее очевидным волнообразующим фактором.

В частности, на рис. 2 представлены зависимости восстановленных значений спектра кривизны от скорости ветра. Каждый график построен для одного волнового числа (0,387 (а), 7,227 (б) и 14,943 рад/см (с)). Черный цвет точек соответствует данным, полученным в экспериментах 2005 года, синий - 2007 год и красные точки соответствуют данным 2009 года. Особо следует отметить, что значения, отложенные по оси абсцисс соответствуют измеренным (на уровне 1,5 метра от уровня спокойной поверхности) значениям модуля скорости ветра, безотносительно к направлению ветрового потока или знаку его градиента. Эти значения являются усредненными по данным 20-и минутных измерений, соответствующих времени накопления информации о собственном излучении водной поверхности.

Совместный анализ данных о состоянии водной поверхности, полученной в ходе серии экспериментов "САРМОС" на основе метода НРПС, позволил сделать следующие выводы:

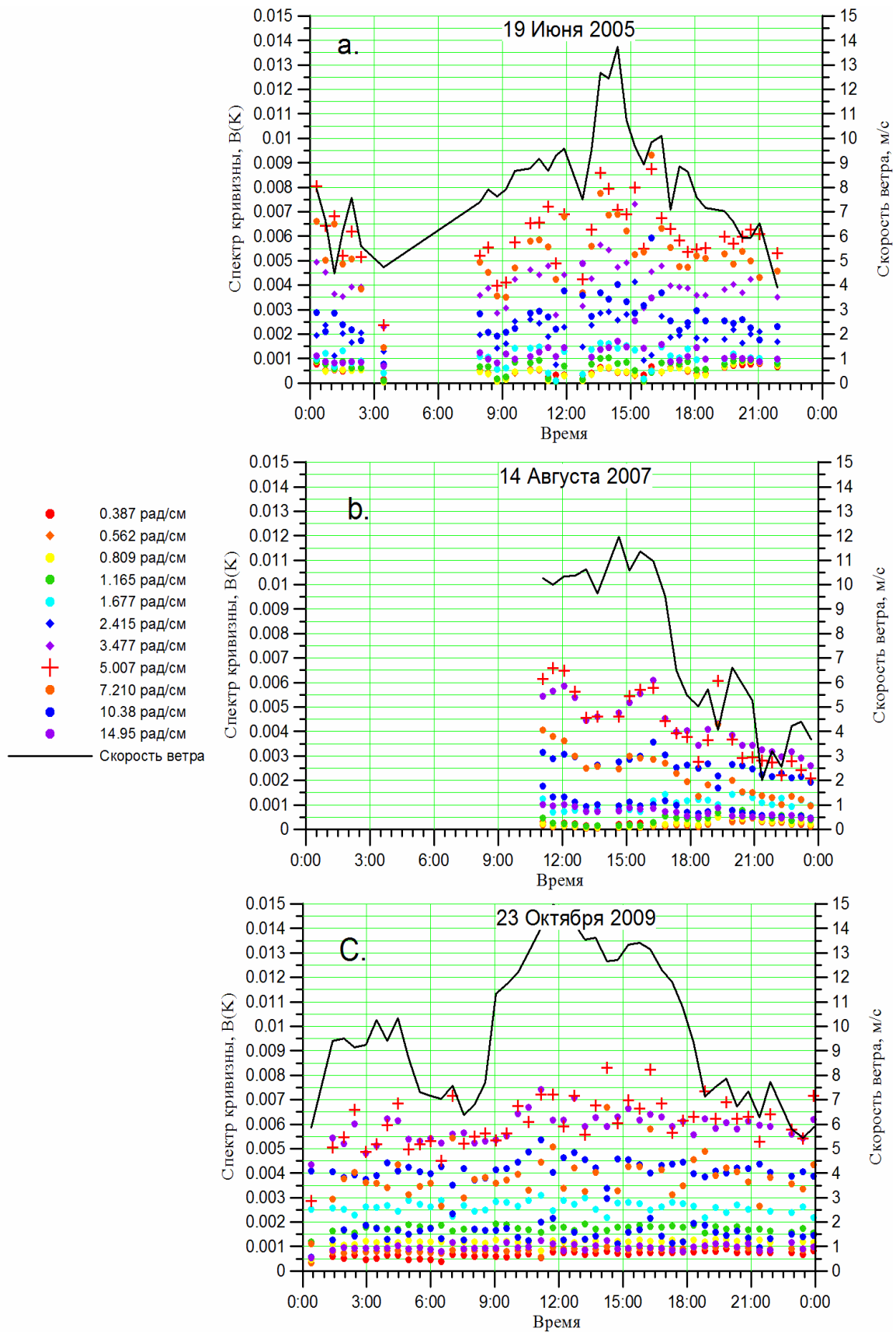


Рис. 1. Изменчивость во времени амплитуды различных волновых компонент в спектре кривизны $V(K)$. Пояснения даны в тексте.

- за 3 года проведения исследований накоплен большой объем экспериментальных данных о поведении спектра кривизны ГКВ в различных условиях волнообразования. Не смотря на это, анализ условий проведения экспериментальных исследований показал, что не более 30 - 35% измерений можно отнести к условиям "развитого волнения";

- измерения, проведенные в пределах одного года характеризуется своими, зачастую не похожими диапазонами значений скорости ветра, осложняющими интерпретацию полученных результатов и подтверждающих необходимость проведения долгосрочных натурных исследований с целью охвата всего диапазона возможных скоростей ветрового потока в пределах одного эксперимента;

- значительный разброс восстановленных значений спектра ГКВ требует классификации получаемых данных по наибольшему числу контролируемых метеопараметров (например, по следующим признакам: действующее направление и время воздействия ветрового потока, стабильность этих величин и т.д.) и составлении ветровых зависимостей строго в пределах каждого класса;

- отличия восстанавливаемых амплитуд спектральных компонент, наблюдаемых для каждого из трех экспериментов (для схожих значений модуля скорости приповерхностного ветра), также обусловлены различными условиями волнообразования. Здесь, однако, следует учитывать и более сложные процессы, возникающие на границе океан-атмосфера. Так, одной из наиболее очевидных причин расхождений восстановленных характеристик ГКВ является отличие параметра стабильности границы раздела океан/атмосфера, определяющего соотношение температур приграничных слоев воды и воздуха. Различное время года проведения исследований привело к тому, что для 2005 года (июнь) температура воды характеризуется более низкими значениями по сравнению с воздухом. Проведение исследований в августе 2007 года сопровождается практически равными значениями температур воды и атмосферы с незначительными суточными колебаниями температуры воздуха. В отличие от экспериментов 2005 и 2007 годов, в октябре 2009 температура воды, в среднем, была на 3÷5 градусов выше температуры воздушного слоя.

Обобщая вышесказанное, следует отметить, что представленные в данной работе спектрально-ветровые зависимости являются лишь демонстрацией потенциальных возможностей метода НРРС и отсутствии его аналогов при проведении исследований спектра коротких ГКВ в натурных условиях. Однако в представленном виде, использование полученных результатов для исследований различного рода процессов, возникающих на границе океан-атмосфера, не представляется возможным. С целью разрешения данной проблемы, необходимо проведение сортировки и классификации полученных результатов как по очевидным физическим признакам, так и по факторам, воздействие которых на формирование спектра ГКВ является, в настоящее время, лишь гипотезой.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №09-02-00780-а, №11-05-00493-а и №11-05-90407-Укр_ф_а.

Литература.

1. Поспелов М.Н., Горячкин Ю.Н., Комарова Н.Ю., Кузнецов А.С., Кузьмин А.В., Репина И.А., Садовский И.Н., Смирнов М.Т. Исследование особенностей взаимодействия океана и атмосферы в прибрежной зоне в серии комплексных экспериментов CAPMOS'05-07-09// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. «К 30-

- летию океанографической платформы в Кацивели» / НАН Украины: МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ.- Севастополь, 2010, вып. 21., с. 25-35.
2. Садовский И.Н. Методика восстановления параметров спектра ветрового волнения на основе данных угловых радиополяриметрических измерений// Исследование Земли из космоса., 2008а, № 6, с. 1–7.
 3. Садовский И.Н. Методика дистанционного определения характеристик ветрового волнения: 2. Алгоритм восстановления параметров спектра ГКВ// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сборник научных статей. Выпуск 5. Том II. – М.: ООО «Азбука-2000», 2008б. с. 199-205.
 4. Садовский И.Н., Кузьмин А.В., Поспелов М.Н. Исследование параметров спектра ветрового волнения по данным дистанционных радиополяриметрических измерений// Исследование Земли из космоса. 2009, № 2, с. 1–8.
 5. Трохимовский Ю.Г. Модель радиотеплового излучения взволнованной морской поверхности // Исследование Земли из космоса. 1997. № 1. С. 39–49.
 6. Kuzmin A., Pospelov M., Trokhimovskii Yu. Sea surface parameters retrieval by passive microwave polarimetry // Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Earth's Surface and Atmosphere / Eds. P. Pampaloni, S. Paloscia. VSP Intern. Science Publishers. Zeist, The Netherlands. 2000. P. 3–11.
 7. M.N. Pospelov, F. De Biasio, Y.N. Goryachkin, N.Y. Komarova, A.V. Kuzmin, P. Pampaloni, I.A. Repina, I.N. Sadovsky, S. Zecchetto. Air–sea interaction in a coastal zone: The results of the CAPMOS'05 experiment on an oceanographic platform in the Black Sea// Atmospheric Research, vol. 94, No. 1, 2009, pp. 61-73.

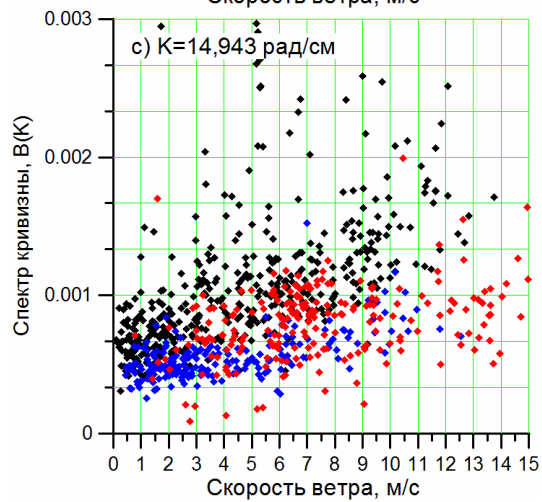
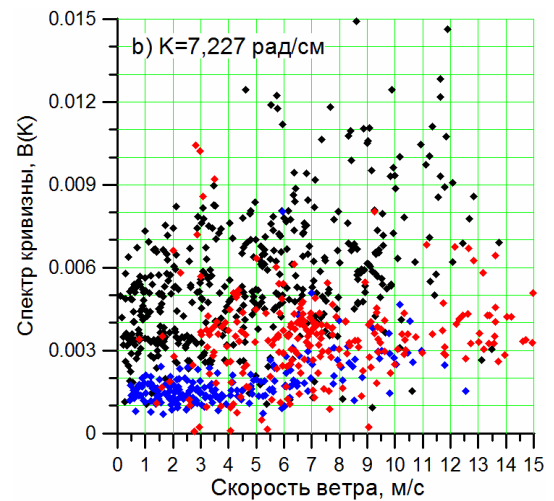
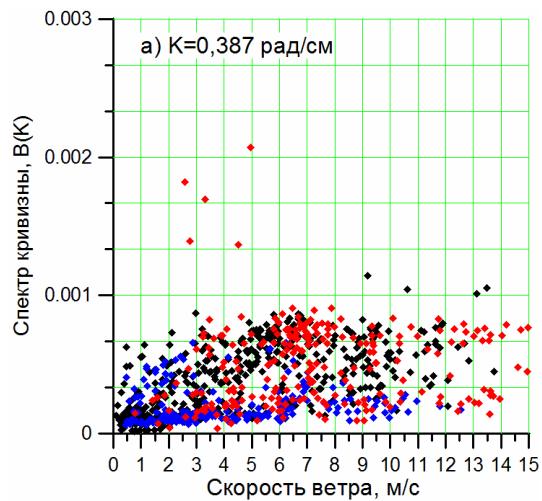


Рис. 2. Зависимости восстановленных значений спектра кривизны для трех фиксированных значений волновых чисел (0,387 (а), 7,227 (б) и 14,943 рад/см (в)) от величины модуля скорости приповерхностного ветра. Черный цвет точек - данные наблюдений 2005 года, синий и красный - 2007 и 2009 года, соответственно.