

М.Н.Поспелов*, Ю.Н.Горячкин**, Д.М.Ермаков***,
Н.Ю.Комарова*, А.С.Кузнецов**, А.В.Кузьмин*,
И.А.Репина****, И.Н.Садовский*, М.Т.Смирнов***

*Институт космических исследований РАН, г.Москва

**Морской гидрофизический институт НАНУ, г.Севастополь

***Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники РАН, г.Фрязино

****Институт физики атмосферы РАН, г.Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ В СЕРИИ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ CARPOS'05-07-09

Комплексные эксперименты CARPOS'05-07-09 с участием исследователей из России, Украины и Италии проводились на океанографической платформе Экспериментального отделения Морского гидрофизического института (ЭО МГИ) НАН Украины в пгт.Кацивели вблизи южного побережья Крыма. Основной задачей экспериментов была отработка новых методов дистанционного зондирования морской поверхности в микроволновом диапазоне. В ходе экспериментов в июне 2005, августе 2007 и октябре 2009 гг. проводились круглосуточные измерения характеристик собственного излучения морской поверхности в микроволновом и ИК диапазоне при различных метеорологических условиях. Характеристики рассеяния электромагнитных волн взволнованной поверхностью измерялись с помощью скаттерометра 2 см диапазона длин волн. Компоненты скорости ветра, температура и влажность воздуха измерялись на нескольких уровнях относительно морской поверхности. Также производились синхронные измерения параметров волнения и турбулентности в поверхностном слое моря, восстанавливался профиль течений, осуществлялось периодическая регистрация профиля температуры и солености воды. Сопоставление экспериментальных данных дистанционных и контактных измерений позволяет уточнить параметры решения обратной задачи восстановления характеристик поверхностного слоя моря из дистанционных измерений в микроволновом и ИК диапазоне. Результаты экспериментов дают основания для предложения организовать на базе платформы ЭО МГИ экспериментальный полигон для валидации/калибровки спутниковых данных дистанционного зондирования Земли.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *взаимодействие океана и атмосферы, дистанционное зондирование, океанографическая платформа, ветровое волнение, турбулентность, подспутниковый полигон.*

Спутниковые данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в настоящее время находят все более широкое применение в задачах мониторинга взаимодействия океана и атмосферы. Результаты дистанционных измерений таких параметров взаимодействия, как температура поверхности океана, скорость приповерхностного ветра, интегральное по высоте влагосодержание атмосферы и водозапас облачности, производимых с помощью космических радиометров микроволнового и инфракрасного (ИК) диапазона, используются и в фундаментальных океанологических и климатологических ис-

© М.Н.Поспелов, Ю.Н.Горячкин, Д.М.Ермаков, Н.Ю.Комарова,
А.С.Кузнецов, А.В.Кузьмин, И.А.Репина, И.Н.Садовский,
М.Т.Смирнов, 2010

следованиях, и в оперативных метеорологических наблюдениях и прогнозах.

Одним из ключевых параметров системы океан-атмосфера, в значительной степени определяющим циркуляцию океанических вод и, следовательно, энерго- и массоперенос в пограничных слоях океана и атмосферы, является соленость поверхностного слоя океана. Необходимость мониторинга ее в глобальных масштабах вытекает из наблюдаемых в последние годы тенденций сокращения ледового покрова в полярных широтах, связываемых с потеплением климата [1]. Вызываемое усиленным таянием льдов распреснение поверхностного слоя океана может дать толчок перестройке существующей системы океанических течений и послужить причиной значительных изменений климата не только в приполярных областях, но и в планетарных масштабах. В планах космических агентств Европы и США на ближайшие годы намечены запуски специализированных спутников, предназначенных для построения глобальных карт солености океана на основе дистанционных радиотепловых измерений в L -диапазоне (длина волны 21 см) [2, 3]. В конце 2009 г. Европейским космическим агентством (ESA) был осуществлён запуск первого такого специализированного спутника *SMOS* [4], одной из двух основных задач которого как раз и является построение глобальных карт солёности поверхностного слоя океана. Однако до настоящего времени проблема дистанционного измерения солености с необходимой точностью далека от практического решения. Это связано, главным образом, со сложностью выделения относительно небольших изменений теплового радиоизлучения, вызываемых вариациями солености, на фоне значительно превосходящих их по величине сигналов, вызываемых поверхностным волнением.

Исследование влияния температуры, солености и волнения на характеристики излучаемых и рассеиваемых морской поверхностью электромагнитных волн, а также дальнейшее развитие средств и методов ДЗЗ явились приоритетными целями международного научного проекта *CAPMOS (Combined Active/Passive Microwave Measurements of Wind Waves for Global Ocean Salinity Monitoring)*. Проект, финансируемый Международной ассоциацией по развитию сотрудничества с учеными бывшего СССР (*INTAS*), объединял 8 научных групп из 4 стран: России, Украины, Италии и Дании. В его рамках в июне 2005 г. и августе 2007 г. на стационарной океанографической платформе Экспериментального отделения Морского гидрофизического института (ЭО МГИ) НАН Украины, расположенной у южного берега Крыма вблизи пгт.Кацивели, проводились комплексные измерения характеристик взаимодействия океана и атмосферы. В октябре 2009 г., в связи с завершением деятельности *INTAS*, аналогичные измерения проводились при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

Общая характеристика экспериментов. Океанографическая платформа была установлена в открытом море в 1980 г. для проведения регулярных гидрологических и метеорологических измерений. Географические координаты платформы: 44°23'35" с.ш., 33°59'04" в.д.; удаление от берега около 600 м; глубина моря около 30 м. При господствующих ветрах восточного и западного направления, тем более при южном ветре со стороны открытого моря, обеспечивается достаточный разгон ветровых волн, что позволяет в этих условиях относить волновые измерения к условиям глубокой

воды и развитого волнения. Энергоснабжение платформы осуществляется с берега по кабелю, доставка оборудования и персонала производится с помощью катера; на основной палубе размером $25 \times 25 \text{ м}^2$ на высоте 12 м расположены лаборатории и жилые помещения. По своим возможностям проведения комплексных долговременных измерений платформа не имеет аналогов на территории бывшего СССР, да и во всем мире число таких научно-исследовательских сооружений невелико.

Платформа имеет несколько рабочих уровней, расположение на них аппаратуры в ходе серии экспериментов *CAPMOS* можно схематически обобщить следующим образом:

- глубина 3, 5, 10, 15 и 20 м – измерители течений МГИ-1308;
- от поверхности до дна – периодические зондирования с помощью *CTD*-зонда МГИ-4117;
- глубина 1 м – термисторный температурный датчик;
- глубина 0,3 м – *CTD*-микрозонд МГИ-4102;
- высота 1,5 м – метеокомплекс МК-15;
- рабочая палуба на высоте 4 м – 2 антенны струнных волнографов, акустический анемометр-термометр *USA-1* (только в 2005 г.), газовый анализатор *LI-COR 7500* (только в 2005 г.), цифровая фотокамера *Olympus 8080 WZ* – периодическая фотосъемка, радиоинтерферометр для измерения возвышений поверхности (только в 2005 г.), комплекс из 5 радиометров и веб-камеры (2007 и 2009 гг.) на автоматическом поворотном устройстве;
- основная палуба на высоте 12 м – микроволновый скаттерометр *Ku*-диапазона (только в 2005 г.), радиометр *L*-диапазона, компьютеры управления приборным комплексом и регистрации данных;
- крыша лаборатории на высоте 15 м – цифровая фотокамера *Olympus 8080 WZ* (периодическая фотосъемка);
- метеомачта на высоте 21 м – метеокомплекс МК-15.

Измерения производились непрерывно 24 часа в сутки, за исключением технологических перерывов на ремонт и обслуживание аппаратуры. Экспериментальные данные регистрировались в цифровой форме на персональных компьютерах. Метеорологические условия в экспериментах разных лет существенно различались. Если эксперимент 2005 г. характеризовался значительными вариациями температуры и солёности поверхностного слоя воды, то в 2007 и 2009 гг. таких вариаций выявлено не было, и основное влияние на дистанционные измерения оказывали вариации приповерхностного ветра. В следующих параграфах будут более детально рассмотрены некоторые результаты эксперимента *CAPMOS'05*.

Контактные океанографические и метеорологические измерения.

Эксперимент *CAPMOS'05* проводился в период гидрологической весны, к которому в Черном море относят апрель – июнь. Этот сезон характерен общим прогревом поверхностного слоя моря и формированием сезонного слоя скачка температуры. Термический режим вод в районе океанографической платформы определяется климатическими факторами, режимом течений и ветра. Поскольку район находится в прибрежной зоне, здесь наблюдается ускоренный ход термических процессов и существенно более интенсивный процесс перемешивания вод, чем в открытой части моря. Кроме этого, большой вклад во временную изменчивость вносят сгонно-нагонные явле-

ния. Все отмеченные факторы предопределяют особенности вертикальной структуры вод и её временной изменчивости.

На рис.1 приведено семейство профилей температуры воды, полученных за все время измерений (всего 217 зондирований). Из всего многообразия профилей температуры можно выделить три основных типа:

- трехслойная структура, с выраженным верхним квазиоднородным слоем, чрезвычайно резким слоем скачка температуры, до $8 - 9 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$, и слоем медленного понижения температуры;
- ступенчатая структура, когда термоклин разделяется на отдельные, чередующиеся слои с высокими градиентами и изотермическими прослойками, при этом зачастую термоклин начинается прямо с поверхности;
- гомотермическая от поверхности до дна структура с низкой температурой (ситуация сгона).

Приведенные типы вертикальной структуры, конечно, не отражают все возможные ситуации, однако дают общее представление об их характере.

Характер вертикального распределения солёности в целом был близок к соответствующим типам распределения температуры (рис.2). Наибольшие пределы изменчивости отмечались в слое $0 - 15 \text{ м}$. В поверхностном слое солёность менялась в пределах $1,75 \text{ епс}$ ($16,5 - 18,25 \text{ епс}$). Слой максимальных градиентов температуры в подавляющем числе случаев совпадал со слоем максимальных градиентов солёности. При анализе временного хода поверхностной температуры и солёности хорошо заметно, что практически во все моменты они находятся в противофазе, что отражает динамику сгонно-нагонного процесса (рис.3).

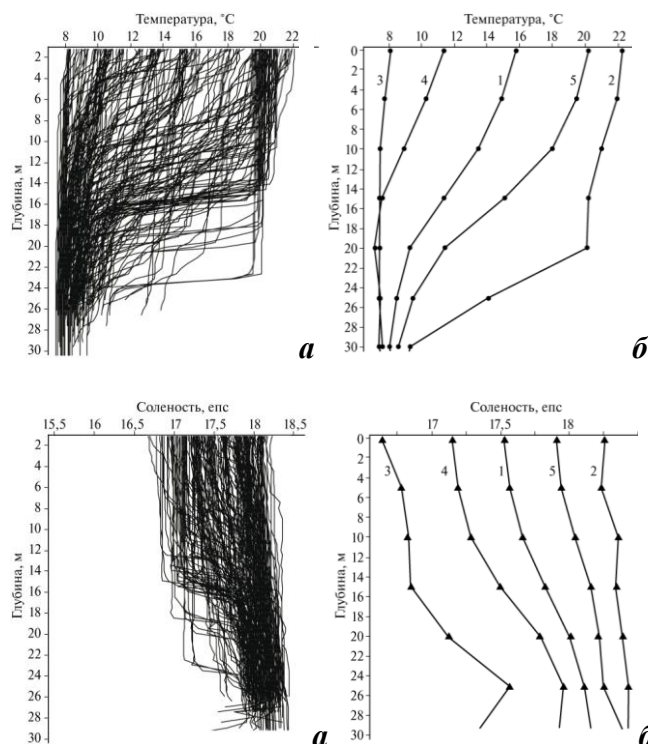
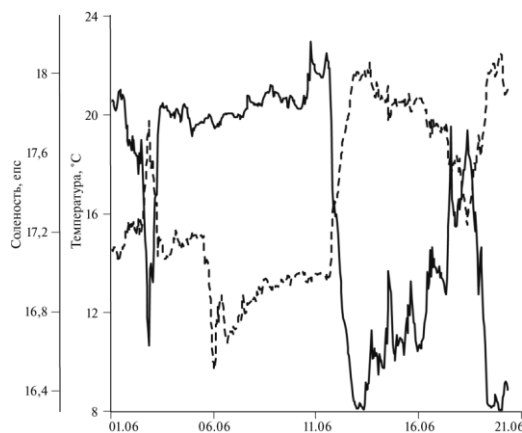


Рис. 1. Семейство профилей температуры (а); средний профиль (1); максимальные (2) и минимальные (3) значения, стандартные отклонения (4, 5) по 5 м слоям за 1 – 20 июня 2005 г. (б).

Рис. 2. Семейство профилей солёности (а); средний профиль (1), максимальные (2) и минимальные (3) значения, стандартные отклонения (4, 5) по 5 м слоям за 1 – 20 июня 2005 г. (б).



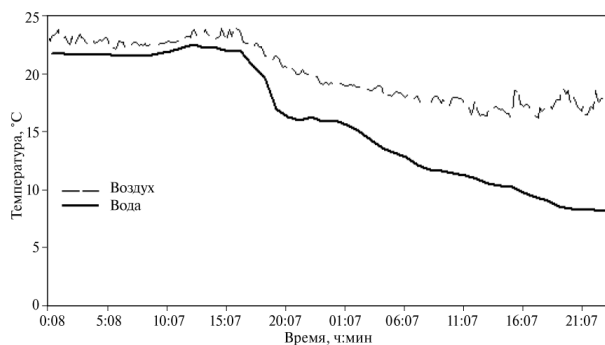
Р и с . 3 . Временной ход поверхностной температуры (—) и солёности (- - -) 1 – 21 июня 2005 г.

Сгонно-нагонные процессы в значительной степени определяли и динамику атмосферы на протяжении данного эксперимента. Характеристики атмосферы измерялись тремя метеоконструкциями, имеющими в своем составе трехкомпонентные акустические анемометры, датчики температуры, давления и влажности. Отечественные метеоконструкции МК-15 с частотой оцифровки 3 Гц были установлены на высоте 1,5 м над морской поверхностью с мористой стороны платформы и на высоте 21 м на метеомачте, где

влияние конструкций платформы на характеристики ветрового потока было минимальным. Акустический анемометр USA-1 фирмы METEK с частотой оцифровки 20 Гц был установлен на высоте 4 м с мористой стороны платформы совместно с газовым анализатором LI-COR 7500, измерявшим также с частотой 20 Гц турбулентные пульсации концентраций углекислого газа и водяного пара.

Для вычисления турбулентных потоков тепла, импульса, влаги и углекислого газа применялся прямой метод, который требует небольшого количества теоретических допущений и работает над различными типами подстилающей поверхности. Потоки вычисляются по ковариациям между пульсациями измеряемых параметров [5]. Поток считается положительным, если он направлен из океана в атмосферу.

На рис.4 представлена изменчивость температур воды и воздуха 11 – 12 июня 2005 г. В районе 17.00 11 июня начался апвеллинг, то есть сгон тепловой поверхностной воды с последующим уменьшением температуры поверхности до 8 °С. Глубина расположения датчика температуры воды 0,5 м, температура воздуха измерялась на высоте 4 м. С началом увеличения разницы температур вода – воздух происходит перестройка атмосферы, что приводит к интенсификации обменных процессов. Стратификация меняется от нейтральной к устойчивой. Знак турбулентного потока тепла (рис.5) меняется на отрицательный. В течение нескольких часов после начала апвеллинга система море-атмосфера находится в колебательном режиме – атмосфера "приспосабли-



Р и с . 4 . Температура воды и воздуха 11 – 12 июня 2005 г.

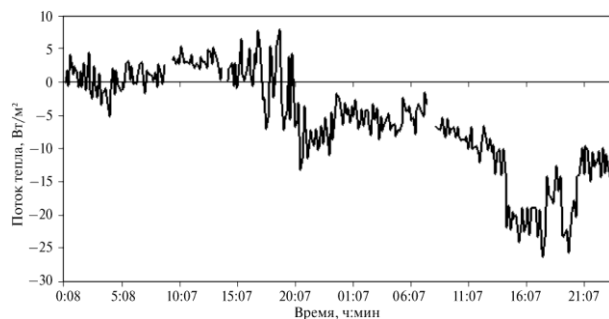


Рис. 5. Турбулентный поток явного тепла 11 – 12 июня 2005 г., полученный из прямых измерений пульсаций температуры и вертикальной скорости ветра на высоте 4 м.

вается" к изменившимся условиям.

Дистанционные измерения. Аппаратура дистанционного зондирования морской поверхности включала в себя микроволновый скаттерометр *Ku*-диапазона (длина волны 2 см) и многоканальный радиометрический комплекс.

Импульсный когерентный скаттерометр, при-

надлежащий итальянскому Институту атмосферных наук и климата (ISAC), измерял сечение обратного рассеяния электромагнитных волн морской поверхностью на различных поляризациях и углах зондирования. Обсуждение полученных с его помощью экспериментальных данных выходит за рамки настоящей публикации, можно лишь упомянуть, что спектральный анализ рассеянного сигнала позволил выделить особенности, связанные как с энергонесущими компонентами волнения с частотой порядка 0,2 Гц, так и с длиннопериодными вариациями поля ветра с характерными частотами 0,001 – 0,007 Гц.

Радиометрический комплекс состоял из радиометра теплового инфракрасного диапазона Р-ИК и набора микроволновых радиометров с рабочими частотами от 3,7 до 94 ГГц (что соответствует длинам волн от 8 см до 3 мм). Основные характеристики радиометров приведены в табл.1.

Все радиометры были закреплены на автоматическом поворотном устройстве (рис.6), обеспечивающем вращение по азимуту в диапазоне углов около 300° и по углу места от надира до зенита. Поворотное устройство было установлено на нижней палубе с мористой (южной) стороны на конце 4-х м выноса, служащего для уменьшения влияния переотраженного от конструкций теплового радиоизлучения. Данные регистрировались с частотой 3 Гц на персональном компьютере, с помощью которого также осуществлялось управление поворотным устройством. Программно можно было задать любой алгоритм вращения. Основной алгоритм состоял в сканировании снизу вверх и обратно со скоростью 0,2 об./мин в диапазоне углов от 20 до

Т а б л и ц а 1 . Характеристики радиометров.

прибор	диапазон длин волн	поляризация	ширина луча, °	чувствительность, К
Р-ИК	8 – 12 мкм	–	9	0,1
Р-03	3 мм	В, Г	7	0,15
Р-08	8 мм	В, Г, ± 45°	9	0,15
Р-15	1,5 см	В, Г, ± 45°	9	0,15
Р-80	8 см	В	15	0,1

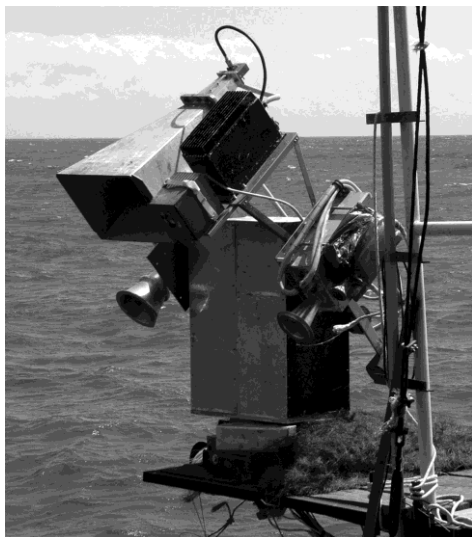


Рис. 6. Поворотное устройство с радиометрами.

Кроме того, при сканировании на первом и последнем азимутальном угле в поле зрения антенн радиометров миллиметрового диапазона попадал поглотитель микроволнового излучения, закрепленный на выносе у основания поворотного устройства. Температура поглотителя, изготовленного из синтетических волокон, измерялась с помощью двух термисторов. Это позволяет осуществлять внешнюю калибровку радиометров миллиметрового диапазона по двум точкам – температуре поглотителя и температуре атмосферы, поглощение в которой рассчитывается из углового профиля радиояростной температуры.

В дальнейшем данные радиотепловых измерений в различных диапазонах и на различных поляризациях и углах зондирования использовались для анализа зависимости радиояростной температуры от скорости приповерхностного ветра, а также для восстановления параметров спектра гравитационно-капиллярных волн на основе оригинальной методики, разработанной в Институте космических исследований РАН [6, 7]. Пример результатов восстановления спектра кривизны и эволюции отдельных спектральных компонент в зависимости от изменяющейся скорости ветра представлен на рис. 7.

Из приведённого рисунка очевидно, что характеристики спектра кривизны коротких гравитационно-капиллярных волн обладают высокой чувствительностью к скорости приповерхностного ветра, причём наиболее чувствительны спектральные компоненты вблизи максимума кривизны (приблизительно 6 рад/см). Также бросается в глаза несинхронность эволюции различных спектральных компонент с изменением скорости ветра, в частности, заметное запаздывание изменения спектральной плотности при уменьшении скорости ветра. Подобный эффект отмечался нами ранее при проведении похожих измерений с пирса в Геленджике [8]. Не исключено, что причиной подобного запаздывания являются нелинейные процессы трансформации волнения, характерные для прибрежной зоны.

153° по отношению к надиру на шести последовательных азимутальных углах, через каждые 36°, и затем возврат на исходный азимутальный угол. Обратный азимутальный скан осуществлялся при фиксированном угле места порядка 65 – 70° от надира.

Общая продолжительность такого цикла составляла около 25 мин. Таким образом, в различных азимутальных направлениях измерялась радиояростная температура морской поверхности на углах от близких к надиру до горизонта, и затем – радиояростная температура атмосферы от горизонта почти до зенита. Обратный азимутальный скан дает возможность оценить величину азимутальной анизотропии радиотеплового излучения морской поверхности.

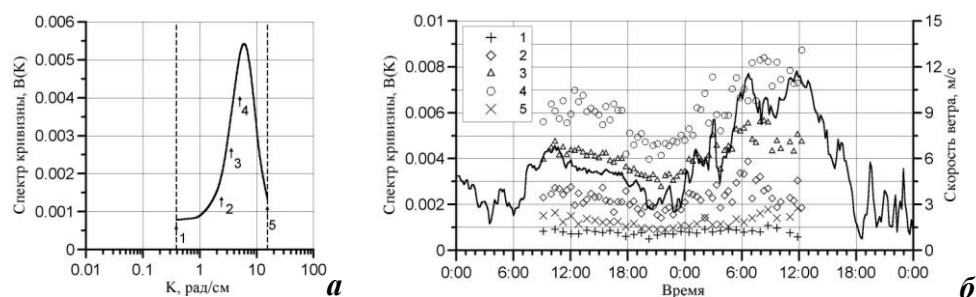


Рис. 7. Спектр кривизны, восстановленный из угловых радиометрических измерений (а) и эволюция отдельных спектральных компонент (б); сплошная линия – скорость ветра; символы 1 – 5 соответствуют различным спектральным компонентам, положение которых в спектре отмечено стрелками.

В ходе эксперимента *CAPMOS'05* проводились подспутниковые измерения с целью валидации данных спутника «Сич-1М». Результаты дистанционных и контактных измерений с океанографической платформы были предварительно подготовлены, в соответствии со следующей процедурой. Гидрометеорологические данные (скорость и направление ветра, относительная влажность воздуха, температура воздуха и воды) усреднялись по 10-ти мин интервалу, центрированному к моменту траверса спутником направления на платформу (использовались те витки орбиты, на которых платформа попадала в полосу обзора комплекса МТВЗА-ОК). Радиометрические данные микроволновых каналов предварительно калибровались, используя измеренную температуру черного тела и восстановленную из угловых измерений температуру атмосферы. Затем радиояркостьная температура усреднялась по углу места в диапазоне $64 - 66^\circ$ и по азимутальным углам. Дополнительное усреднение по углу места обеспечивалось за счет диаграмм направленности антенн, которые значительно шире, чем у комплекса МТВЗА-ОК.

В целом, следует отметить, что данный эксперимент представлял собой, фактически, первый опыт многочастотного радиометрического зондирования с океанографической платформы с целью использования для валидации данных спутникового радиометра. В определенной степени его можно считать отладочным с точки зрения, как аппаратуры, так и методик. Основным результатом следует считать подтверждение перспективности и необходимости таких измерений в дальнейшем при проведении комплекса работ по калибровке и валидации спутниковых средств ДЗЗ.

Если в задачах дистанционного зондирования суши проблема создания и использования специальных полигонов для этих целей осознана давно и решается (главным образом, за рубежом), то при дистанционном зондировании океана практически единственным способом валидации остается сравнение с данными метеорологических измерений сети буев. Между тем, этому традиционному способу присущ тот недостаток, что сопоставляются разнородные данные (измеренная из космоса радиояркостьная температура – измеренным контактно гидрометеопараметрам), подвергнутые к тому же и принципиально разным способам осреднения. Если спутниковые данные являются практически мгновенной характеристикой наблюдаемой сцены,

осредненной по элементу пространственного разрешения (десятки километров в случае микроволновых радиометров), то данные контактных измерений относятся к одной точке и усредняются по времени, как правило, в интервалах десятков минут и часов. Особенно важно это принципиальное отличие в случае измерения характеристик ветра, который, в отличие от температуры или солености поверхностного слоя воды, обладает значительной временной и пространственной изменчивостью. В случае же измерений с океанографической платформы временные и пространственные параметры данных дистанционных и контактных измерений близки между собой, что позволяет более обоснованно подходить к разработке модельных зависимостей радиояркостной температуры от физических параметров системы океан – атмосфера. Кроме того, при сравнении данных радиометрического зондирования с платформы и спутника сопоставляются однородные данные, что позволяет исключить ошибки, связанные с неточностями модельных зависимостей. Таким образом, создание специальных полигонов, оборудованных средствами не только контактных, но и дистанционных измерений, подобных используемым на специализированных спутниках ДЗЗ, необходимо и для практических целей калибровки и валидации спутниковой аппаратуры, и для фундаментальных исследований в области океанологии и дистанционного зондирования.

Результаты наших комплексных экспериментов дают достаточно оснований предложить национальным космическим агентствам России и Украины оборудовать на базе океанографической платформы ЭО МГИ полигон для подспутниковых измерений, который в перспективе мог бы быть включён в мировую сеть полигонов для калибровки/валидации спутниковых данных ДЗЗ.

Заключение. В целом, предварительные результаты экспериментов *SARPOS'05-07-09* позволяют сделать следующие выводы:

- сочетание дистанционных и контактных измерителей позволяет осуществлять эффективный мониторинг взаимодействия океана и атмосферы и представляет значительный интерес как для долговременных локальных измерений в широком диапазоне метеорологических и гидрологических условий, так и для калибровки/валидации данных ДЗЗ из космоса;
- совместный анализ вариаций температуры, солености и течений в шельфовой зоне вблизи южного берега Крыма позволил проследить динамику сгонно-нагонных явлений, а также переноса азовских вод в северо-восточной части Черного моря;
- были выполнены прямые измерения потока тепла в пограничном слое атмосферы над морской поверхностью в условиях различной атмосферной стратификации, а также в условиях быстрой перестройки пограничных слоев атмосферы и океана;
- было проведено пассивное и активное микроволновое зондирование морской поверхности в широком диапазоне частот и углов зондирования;
- из угловых радиометрических измерений были восстановлены параметры спектра гравитационно-капиллярных волн и прослежена их динамика в условиях переменной скорости ветра;
- результаты синхронных контактных и дистанционных измерений параметров взаимодействия океан-атмосфера подтвердили перспективность

использования океанографической платформы ЭО МГИ в качестве полигона для подспутниковых измерений и калибровки/валидации спутниковых сенсоров ДЗЗ.

Исследования выполнены при поддержке INTAS (проект № 03-51-4789) и РФФИ (проекты №№ 08-05-00890-а, 08-05-00099-а, 09-05-10075-к, 09-02-00780-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lagerloef G.S.E., Swift C., Le Vine D. Sea surface salinity: The next remote sensing challenge // *Oceanography*.– 1995.– 8.– P.44-50.
2. Berger M., Camps A., Font J., Kerr Y., Miller J., Johannesen J., Boutin J., Drinkwater M.R., Skou N., Floury N., Rast M., Rebhan H., Attema E. Measuring ocean salinity with ESA's SMOS Mission // *ESA Bulletin*.– 2002.– № 111.– P.113-121.
3. Lagerloef G., Colomb F.R., Le Vine D., Wentz F., Yueh S., Ruf C., Lilly J., Gunn J., Chao Y., deCharon A., Feldman G., Swift C. The AQUARIUS/SAC-D Mission // *Oceanography*.– 2008.– 21.– P.68-81.
4. Barré H., Duesmann B., Kerr Y.H. SMOS: The Mission and the System // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.– 2008.– 46.– P.587-594.
5. Edson J.B., Hinton A.A., Prada K.E., Hare J.E., Fairall C.W. Direct covariance flux estimates from mobile platforms at sea // *J. Atmos. and Ocean. Techn.*– 1998.– 15.– P.547-562.
6. Trokhimovski Y.G. Gravity-capillary wave curvature spectrum and mean-square slope retrieved from microwave radiometric measurements (Coastal Ocean Probing Experiment) // *J. Atmos. and Ocean. Techn.*– 2000.– 17, № 9.– P.1259-1270.
7. Kuzmin A.V., Pospelov M.N. Retrieval of gravity-capillary spectrum parameters by means of microwave radiometric techniques // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.– 2005.– 43, № 5.– P.983-989.
8. Трохимовский Ю.Г., Кузьмин А.В., Маречек С.В., Медведев А.П., Поспелов М.Н., Смирнов М.Т., Тищенко Ю.Г. Исследование радиояркостной температуры взволнованной поверхности моря в эксперименте "Геленджик'99" // *Исследования Земли из космоса*.– 2002.– № 3.– С.20-28.

Материал поступил в редакцию 8.10.2010 г.