

# Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 551.465.5 + 551.466

В.А. Дулов, А.Н. Большаков, В.Е. Смолов, М.В. Иванчик

## Натурное исследование пространственной однородности метео- и волнографических параметров в прибрежной зоне. К проблеме калибровки РЛС БО спутника «Січ-1М» как инструмента для получения скорости приводного ветра

Рассмотрен вопрос о подспутниковой калибровке радиолокационной станции бокового обзора (РЛС БО) спутника «Січ-1М» как средства для оценки скорости приводного ветра. Обсуждена возможность использования значений метео- и волнографических параметров, измеренных со стационарной океанографической платформы Экспериментального отделения МГИ, для их оценки в удаленных областях моря. Эти области можно наблюдать РЛС БО без помех, обусловленных попаданием берега в элемент разрешения. Чтобы экспериментально доказать такую возможность, были выполнены синхронные измерения температуры воды и воздуха, скорости ветра и характеристик волнения с платформы и в акватории, прилегающей к ней со стороны моря на расстояниях до 4,8 км. Получены количественные оценки степени пространственной однородности исследуемых параметров для условий стабильного ветра, направленного со стороны моря. Сделан вывод о возможности использования платформы для подспутниковых измерений с целью валидации и совершенствования алгоритма восстановления скорости приводного ветра для РЛС БО спутника «Січ-1М».

### Введение

При калибровке и контроле микроволновой спутниковой аппаратуры по синхронным подспутниковым измерениям предполагается однородность метео- и волнографических параметров в пределах элемента пространственного разрешения аппаратуры. Например, для скаттерометров *NSCAT* и *ERS* данные о приводном ветре, относящиеся к квадратам со стороной 25 км, сопоставлялись с точечными измерениями ветра с океанографических буев в предположении, что ветер и параметры волнения, формирующие сигнал скаттерометра, однородны в пределах квадрата (см., напр., [1, 2]). На планируемом к запуску украинско-российском спутнике «Січ-1М» будет установлена РЛС БО, практическое использование которой потребует выполнения соответствующих контрольно-калибровочных работ. Их проведение существенно облегчится, если использовать уже имеющуюся стационарную океанографическую платформу ЭО МГИ НАН Украины, расположенную в прибрежной зоне Черного моря в районе пос. Кацивели. Однако данные с РЛС БО, не искаженные попаданием суши в элемент разрешения, относятся к областям, удаленным от берега на расстояние не менее 2 — 3 км. Платформа же расположена на расстоянии 0,5 км от берега. Поэтому возник практически важный вопрос о том, можно ли использовать измерения с платформы для оценки метео- и волно-

© В.А. Дулов, А.Н. Большаков, В.Е. Смолов, М.В. Иванчик, 2005

графических параметров в областях, удаленных от точки измерений на расстояние в несколько километров.

Обсуждаемая РЛС БО может работать над морем при скоростях ветра выше 3 — 4 м/с, когда мощность обратного рассеянного сигнала достаточна для ее регистрации приемником. Для целей калибровки РЛС БО наиболее интересны ситуации с сильным ветром. При этом можно ожидать повышения степени пространственной однородности состояния морской поверхности, по крайней мере из-за отсутствия пленок поверхностно-активных веществ при интенсификации приповерхностного перемешивания, а также из-за падения контрастов интенсивности обрушений волн на внутренних волнах, течениях и мезомасштабной подповерхностной турбулентности [3]. Хотя орографические эффекты при направлениях ветра с суши в сторону моря приводят к неоднородностям его скорости, наблюдаемым в сигнале РЛС БО [4], мы можем не использовать для подспутниковых измерений данные, полученные при таких направлениях ветра. Интуитивно представляется, что подавляющую часть времени в прибрежной зоне нет ярко выраженной пространственной изменчивости ветро-волновых характеристик. Это представление до некоторой степени подтверждается работой, выполненной с платформы в Кацевели [3]. В этой работе рассмотрены аномалии интенсивности обрушений ветровых волн, вызванные мезомасштабной турбулентностью в водной толще. Аномалии визуализируют возмущения спектра ветровых волн, которые отражают пространственную неоднородность течений. Продолжительность аномалий составляет примерно час, и наблюдаются они не каждый день, т. е. и ситуации неоднородного волнения реализуются редко. Во всяком случае при подспутниковых измерениях есть принципиальная возможность контролировать метео- и волновую обстановку с платформы и идентифицировать ситуации, явно не подходящие для работы.

Какова степень «естественной» неоднородности метео- и волнографических характеристик в тех случаях, когда нет явных причин для возникновения их пространственной изменчивости, и достаточно ли она мала для выполнения подспутниковых контрольно-калибровочных работ? Такой вопрос, по-видимому, ранее не ставился, и для его исследования в летне-осенний период 2003 г. был проведен специализированный эксперимент на базе стационарной океанографической платформы в Кацевели. В данной работе представлены его результаты.

### Задачи эксперимента

Исходным продуктом РЛС БО спутника «Сич-1М» при ее работе из космоса над океаном является сечение обратного рассеяния ( $\sigma$ ) электромагнитных волн  $X$ -диапазона (т. е. с длиной волны 3 см). Величина  $\sigma$  определяется спектральной плотностью ветровых волн с длинами порядка длины электромагнитной волны, т. е. «брегговской рябью», дисперсией уклонов волн с большими длинами и параметрами обрушений ветровых волн (см., напр., [5]). Все эти характеристики зависят главным образом от скорости ветра, поэтому естественным путем использования данных РЛС БО было бы восстановление по ним скорости ветра. Традиционно исходные данные зарубежных скатте-

рометров переводятся в широко используемый выходной продукт — скорость ветра на стандартном горизонте 10 м, приведенную к условиям нейтральной стратификации атмосферы ( $U_{N10}$ ). Определение такой же величины по данным РЛС БО спутника «Січ-1М» позволило бы, с одной стороны, сопоставлять ее с зарубежными аналогами, с другой, — получать более детальные поля ветра, поскольку РЛС БО имеет пространственное разрешение ~ 2 км, а зарубежные скаттерометры ~ 20 км. Последнее обстоятельство особенно важно для вопросов мониторинга прибрежных зон.

Минимальный набор величин, которые нужно знать для определения  $U_{N10}$ , включает скорость ветра и температуру воздуха, измеренные на определенных горизонтах, и температуру поверхности воды [1]. Подспутниковые измерения  $U_{N10}$  позволят выполнить валидацию алгоритма восстановления этой величины по данным РЛС БО. Кроме того, по этим величинам можно сделать оценку потока импульса от атмосферы к морю, величина которого определяет спектральную плотность «брегговской ряби», а также интенсивность обрушений ветровых волн и дисперсию их уклонов — основные параметры, от которых зависит  $\sigma$ . Поэтому их подспутниковые измерения важны также и для усовершенствования алгоритма восстановления  $U_{N10}$ . Эти величины, однако, слабо зависят от характеристик энергонесущих поверхностных волн, которые сами по себе также влияют на величину  $\sigma$ . Поэтому подспутниковые эксперименты с целью усовершенствования алгоритма восстановления  $U_{N10}$  нужно дополнить волнографическими измерениями. Исходя из этого, задачей эксперимента было исследование однородности:

- скорости ветра,
- температуры воздуха,
- температуры воды,
- спектра волнения

в пределах прилегающей к платформе акватории размером в несколько километров в направлении, перпендикулярном береговой линии.

Ошибка восстановления величины  $U_{N10}$  по скаттерометрическим данным составляет ~ 1м/с [1, 2]. Исходя из этого, был сформулирован следующий критерий однородности исследуемых величин: если их наблюдаемая изменчивость приводит к изменениям величины  $U_{N10}$ , меньшим, чем 1м/с, то платформа пригодна для подспутниковых контрольно-калибровочных измерений.

### Методика работ

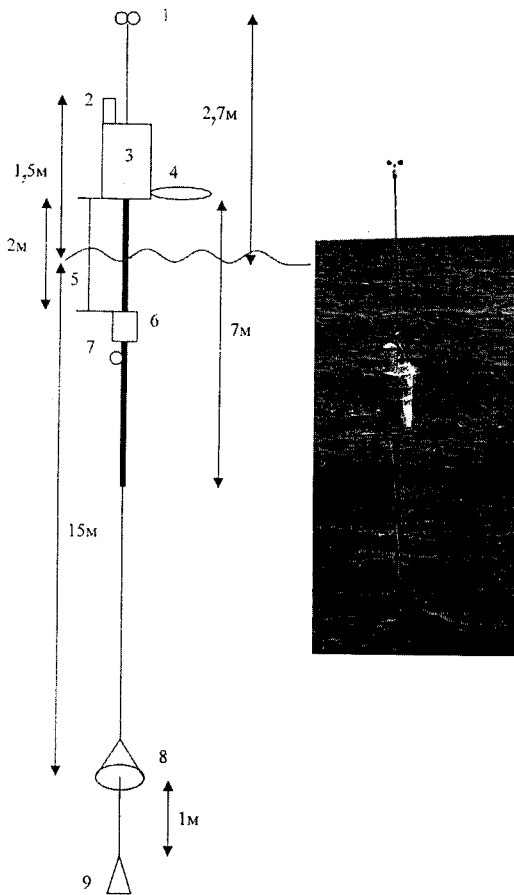
Работы состояли в синхронном измерении температур воды и воздуха, скорости ветра и характеристик волнения со стационарной океанографической платформы и в точках интересующей нас акватории на заданных удалениях от платформы.

Вектор скорости ветра измерялся с платформы чашечным анемометром М-25 и флюгаркой, установленными на высоте 24 м. Волнографические измерения выполнялись решеткой из шести струнных волнографов, расположенных в вершинах и центре правильного пятиугольника с радиусом описанной окружности 25 см. Запись сигналов с волнографов, анемометра и флюгарки проводилась на жесткий диск компьютера с частотой 10 Гц. Темпера-

тура воздуха на высоте 11 м и температура верхнего слоя воды на глубине 1,5 м измерялись с помощью штатного оборудования платформы, которое периодически калибровалось с помощью образцовых ртутных термометров.

Для измерений в удаленных от платформы точках была разработана и создана специализированная малогабаритная автономная буйковая станция (АБС-7). Подробное описание станции и результаты ее рабочих испытаний приведены в работе [6]. Состав приборов и их расположение на бую поясняется рис. 1. Измерение скорости ветра на станции выполнялось чашечным анемометром на высоте 2,7 м, температуры воздуха — на высоте 1,5 м, температуры воды — на глубине 1,5 м, волнограмма регистрировалась струнным волнографом с частотой 10 Гц. Струна разворачивалась навстречу ветровым волнам с помощью флюгера. Вертикальное положение бую стабилизировалось гидродинамическим демпфером. Однако в зависимости от скорости ветра и вертикального сдвига скорости течения мачта бую иногда отклонялась от вертикали на постоянный в течение записи угол, не превышающий  $15^\circ$ . Для проведения соответствующей коррекции горизонтов измерений скорости ветра и температуры воздуха, а также сигнала волнографа величина угла измерялась с катера с помощью прозрачного транспорта. Согласно экспериментальному исследованию характеристик чашечного анемометра [7], наклон его оси в пределах  $15^\circ$  от вертикали не влияет на измерения.

Аппаратурные погрешности измерений для всех термометров были ниже  $0,1^\circ\text{C}$ , а для анемометров — ниже  $0,2\text{ м/с}$  (погрешности анемометров определены при их интеркалибровке и сравнении с прецизионным анемометром).



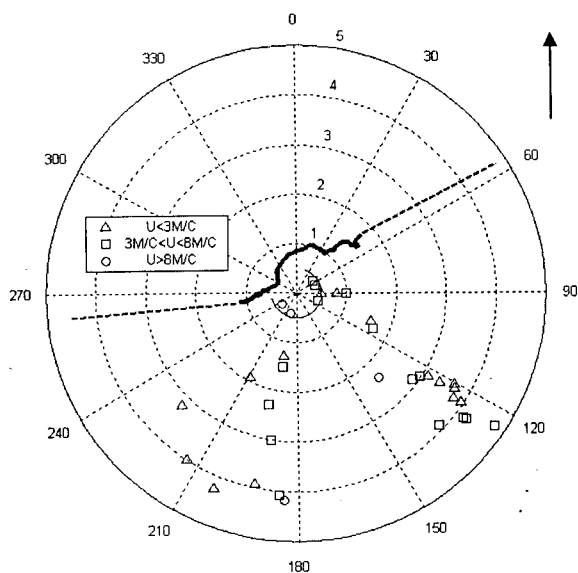
**Рис. 1.** Схема и внешний вид автономной буйковой станции: 1 — анемометр; 2 — контейнер с термометром; 3 — управляющий модуль; 4 — флюгер; 5 — струна волнографа; 6 — стабилизирующие плавучести; 7 — термометр; 8 — гидродинамический демпфер; 9 — балласт (~ 8 кг)

Станция доставлялась в заданные точки на катере, имеющем радиосвязь с платформой. Предварительно выполнялась синхронизация таймера станции с часами компьютера, на котором осуществлялась непрерывная регистрация измеряемых с платформы характеристик. Цикл измерений начинался через пять минут после запуска буйа, чтобы катер успел отойти и не искажал измерения. Записи длились 20 мин, после чего начинал работать радиомаяк, позволяющий найти буй для его подъема. Горизонтальные координаты катера в моменты запуска и подъема АБС определялись с платформы с помощью лазерного дальномера с азимутальным кругом (точность определения координат относительно платформы составляет 10 м), что позволяло найти векторы смещения и скорости буйа. Ресурс станции позволяет выполнять подряд до 14 запусков. После выполнения работ в море управляющий модуль отстыковывается от АБС и полученные данные «скачиваются» в стационарный компьютер.

Скорость ветра на буйковой станции измерялась в движущейся системе координат, но вектор средней скорости движения буйа был известен по измерениям с платформы (средняя по всем измерениям величина скорости дрейфа буйа составила 18 см/с). Если принять, что направление ветра в точке положения буйа совпадает с направлением ветра в точке платформы, то скорректированная скорость ветра, измеренная с буйа, вычисляется по формуле

$$U = V \cos \phi + \sqrt{U_0^2 - (V \sin \phi)^2},$$

где  $V$  — скорость движения буйа;  $U_0$  — скорость ветра в движущейся системе координат;  $\phi$  — угол между направлением движения буйа и направлением ветра.



**Рис. 2.** Средние положения буйковой станции и диапазоны скорости ветра ( $U$ ). Расстояния от платформы указаны в километрах, сплошной круг дальности соответствует 500 м. Фрагмент береговой линии вблизи платформы показан сплошной линией, генеральные направления береговой линии вдали от платформы — прерывистыми линиями

За время эксперимента было выполнено 34 цикла измерений на удалениях от платформы от 350 до 4780 м при устойчивой, нейтральной и неустойчивой стратификации атмосферы. Для работы выбирались условия стабильного ветра, не искаженного влиянием берега (восточный, юго-восточный, юго-западный и западный ветер). 3 станции выполнены в условиях апвеллинга. В процессе работ были сделаны «калибровочные» станции (измерения на расстояниях, не превышающих 500 м) — 4 станции в начале работ и 2 станции при окончании. Средние положения буйковой станции при измерениях приведены на рис. 2 в полярной сис-

теме координат с платформой в ее центре. Там же различными символами показаны станции, выполненные при слабых, умеренных и умеренно-сильных ветрах.

## Результаты

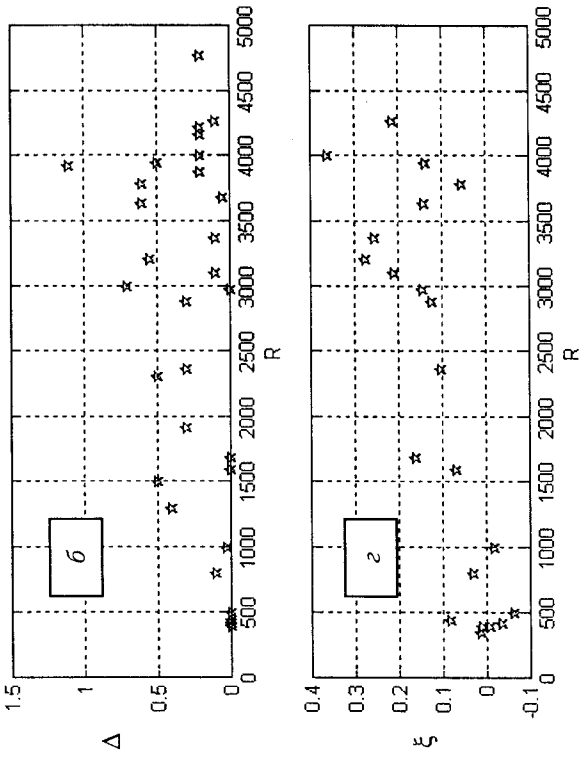
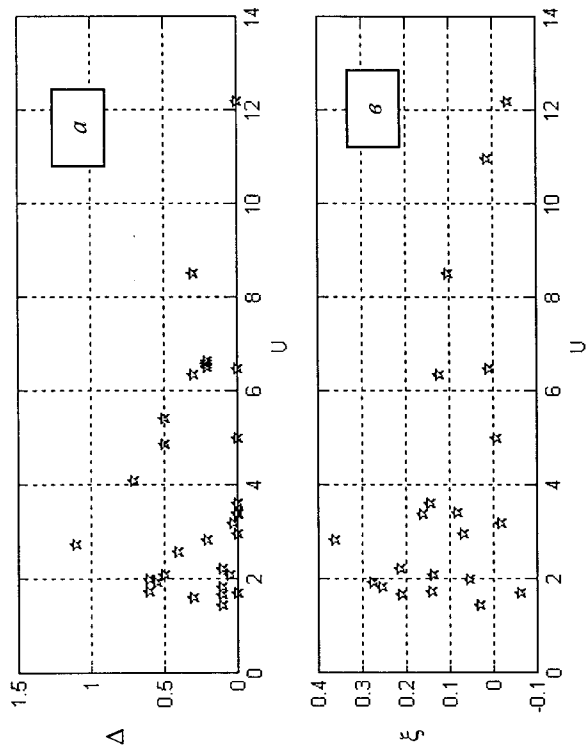
*Температура воды.* В пяти из шести калибровочных станций результаты измерений температуры воды с буя и платформы совпали в пределах погрешности приборов. Шестая станция относится к группе из трех серий измерений, выполненных 12 июля в условиях апвеллинга. При этом средняя температура воды в точке платформы равнялась  $13,7^{\circ}\text{C}$ , в то время как на расстоянии от нее 4 080, 4 180 и 350 м она была равна соответственно 21,7; 21,6 и  $15,8^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 3 показаны расхождения между измерениями температуры воды с буя и с платформы (точки, соответствующие апвеллингу, не анализировались). Расхождения увеличиваются с ростом удаления от платформы (рис. 3, а) и падают с ростом скорости ветра (рис. 3, б). Их средняя абсолютная величина для удаления свыше 2 км равна  $0,34^{\circ}\text{C}$  (по 19 точкам), а на том же удалении, но для скоростей ветра свыше 5 м/с она составила  $0,23^{\circ}\text{C}$  (по 6 точкам).

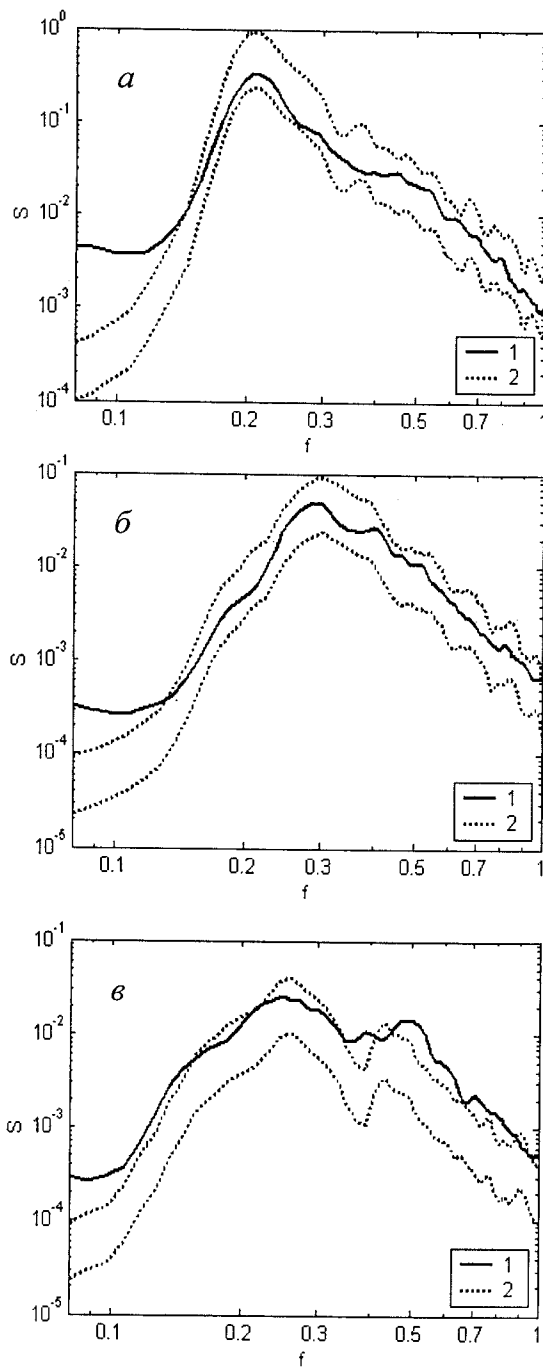
*Волновые измерения.* Решетка волнографов на платформе позволяла определять направление распространения энергонесущих волн. В удаленных от платформы точках направление распространения энергонесущих волн определялось с катера визуально и в пределах точности этих оценок ( $\sim 30^{\circ}$ ) совпадало с направлением волн, измеренным с платформы.

При калибровочных станциях высоты волн 33%-ной обеспеченности ( $H_S$ ), измеренные с платформы и буя, имели расхождение, не превышающее 5 см. Это связано со стохастическим характером волнового поля и характеризует предельную точность нашего метода измерений. Расхождения увеличиваются с удалением от платформы (см. рис. 3, в) и падают с ростом скорости ветра (см. рис. 3, г). Для удаления  $< 2$  км высота волн выше в среднем на 18% (по 11 точкам), а на том же удалении, но для скоростей ветра  $< 3$  м/с она выше на 12% (по 3 точкам).

Сравнивая частотные спектры волн, измеренные с платформы и буя, мы встретились с проблемой оценки степени их соответствия. Из-за случайного характера волнового поля оценки спектров одного и того же процесса могут расходиться в пределах доверительных интервалов (см., напр., [8]). Величины доверительных интервалов при заданной длительности записи зависят от частотного разрешения спектра. Например, отказавшись от спектрального описания и рассматривая только дисперсию волн, мы получим наименьший доверительный интервал. Поэтому естественно ожидать, что расхождение оценок спектральных плотностей будет превышать расхождение по высотам волн 33%-ной обеспеченности.



Р и с. 3. Расхождение между температурой воды и высотой волн в точках платформы и буйковой станции в зависимости от дальности от дальности ( $R$ , м) и скорости ветра ( $U$ , м/с):  $a, б$  — модуль разности температур воды ( $\Delta$ , °С);  $a, г$  — относительное расхождение высоты волн 33%-ной обеспеченности ( $\xi = (H_{51} - H_{52}) / H_{51}$ , где индекс 1 относится к бую, индекс 2 — к платформе)



**Р и с. 4.** Спектральная плотность волн ( $S$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ) в зависимости от частоты ( $f$ , Гц): 1 — спектры, измеренные с буйковой станции; 2 — 90%-ные доверительные интервалы для спектров, измеренных с платформы

Для определенности мы выполнили сравнение спектров с разрешением 0,01 Гц, которое дает содержательную информацию о положении спектрального пика, поскольку его частота в районе работ обычно составляет 0,2 — 0,3 Гц. Для анализа соответствия на график со спектром, измеренным с буя, наносились доверительные интервалы для спектров, измеренных с платформы (рис. 4) и рассчитанных согласно  $\chi^2$ -подходу (см., напр., [8]). Все спектры для калибровочных станций совпали в пределах 90%-ных доверительных интервалов, причем для скоростей ветра выше 3 м/с (5 калибровочных станций) совпадение было в пределах 60%-ных доверительных интервалов.

На рис. 4, а приведен пример совпадения спектров для калибровочной серии при скорости ветра 12 м/с. Рисунок также демонстрирует работоспособность примененной системы стабилизации вертикального положения буйковой станции при относительно сильном волнении ( $H_S = 0,78$  м). На частотах  $\sim 0,1$  Гц и ниже спектры, полученные с буя, искажены

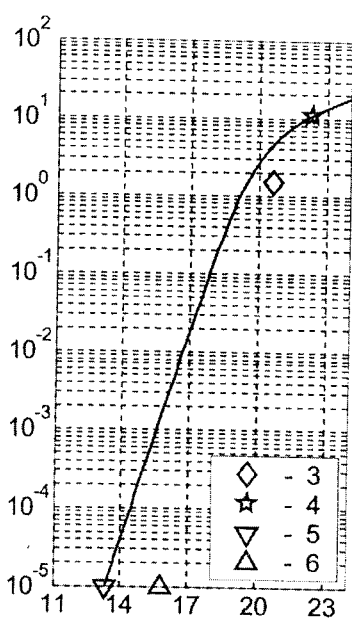
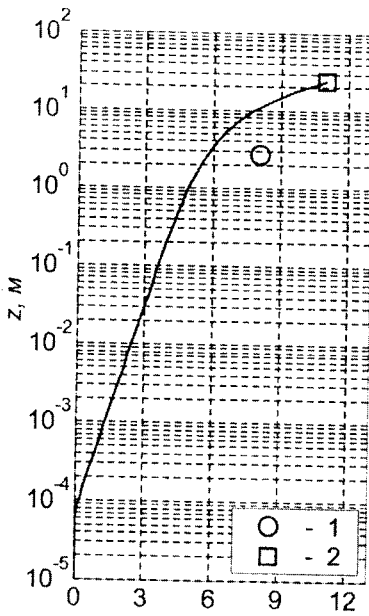
собственными движениями системы, но на более высоких частотах, соответствующих волнению, собственные движения подавлены гидродинамическим демпфером.

Всего была выполнена 21 серия измерений, при которых можно было сравнить спектры. Из них в 16 сериях спектры совпали в пределах 90%-ных доверительных интервалов. Совпадения наблюдались как при умеренных, так и при низких скоростях ветра. Несовпадения спектров наблюдались только при слабом ветре со скоростью меньше 3 м/с и при удалении от платформы 3 км и более. На рис. 4, б, в приведены примеры совпадения и несовпадения спектров, измеренных на больших расстояниях (соответственно 3 640 и 4 000 м) и при низких скоростях ветра (1,7 и 2,8 м/с).

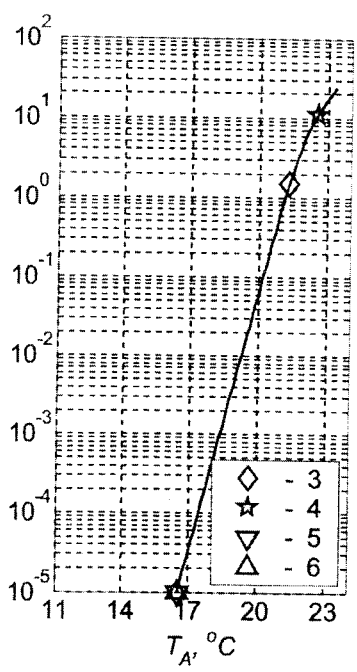
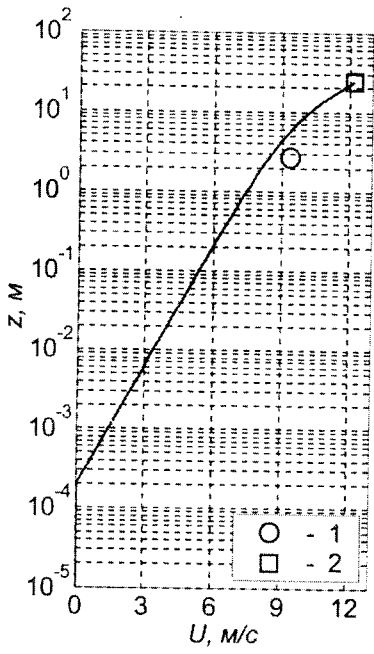
*Атмосферный погранслои.* Скорость ветра и температура воздуха на платформе и буе измерялись на различных горизонтах. Чтобы сравнить данные, были рассчитаны профили скорости ветра и температуры воздуха согласно теории подобия Мони́на — Обухова с использованием принятых корректирующих функций (см., напр., [9]) и формулы Чарнока для параметра шероховатости.

При слабом ветре, как правило, были велики относительные флуктуации его скорости и направления, сопровождающиеся флуктуациями температуры воздуха (до 1 °С). Такие нестационарные ситуации не должны описываться теорией подобия. В соответствии с этим при скоростях ветра, не превышающих 3 м/с, мы наблюдали существенные расхождения как по температурам воздуха, так и по скоростям ветра, приведенным к одному горизонту. Неудивительно также расхождения, наблюдавшиеся для условий апвеллинга, когда атмосферный погранслой эволюционировал над подстилающей водной поверхностью с неоднородной температурой (трактовка такого рода явлений дана, например, в работе [10]). Для примера на рис. 5, а показано сопоставление данных с платформы и буя для калибровочной станции (дальность 350 м), сделанной при апвеллинге. На графике приведены вертикальные профили скорости ветра и температуры воздуха, рассчитанные по измерениям с платформы, а символами показаны величины, измеренные с буя.

По методике эксперимента «калибровочные» измерения на расстояниях менее 500 м выполнялись для того, чтобы при дальнейшем анализе можно было допустить, что все интересующие нас величины на таких расстояниях совпадают, а обнаруженные расхождения отнести к ошибкам примененной методики. На рис. 5, б приведены данные для калибровочной станции, выполненной в условиях стабильного юго-западного ветра и однородной температуры воды, когда нет оснований ожидать расхождений. Действительно, значения температуры воздуха в этих случаях совпадают. Однако скорости ветра рассогласованы на величину, заметно превышающую аппаратные ошибки измерений. Вероятная причина этого — недостатки принятой методики расчета профилей атмосферных характеристик над морем [11, 12]. Этим, по-видимому, и определяется основная погрешность наших измерений величины  $U_{N10}$ .

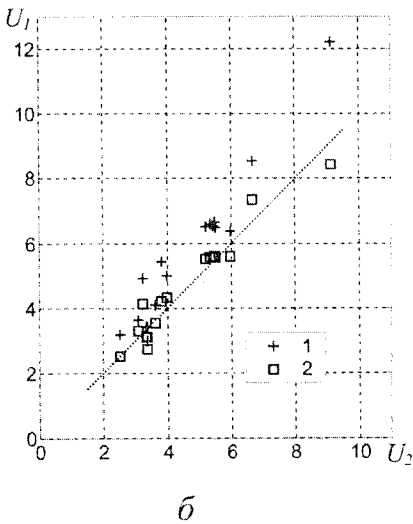
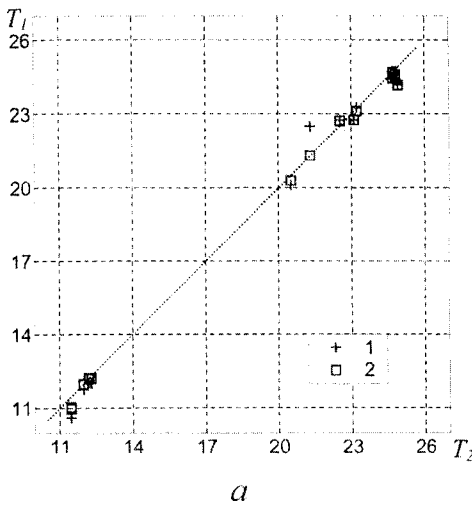


a



б

**Рис. 5.** Скорость ветра ( $U$ , м/с) и температура воздуха ( $T_A$ , °C) в зависимости от высоты ( $z$ , м). Сплошные линии — результаты расчета, символами показаны измеренные величины: скорость ветра (1 — платформа, 2 — буй); температура воздуха (4 — платформа, 3 — буй); температура воды (5 — платформа, б — буй)



**Р и с. 6.** Температура воздуха ( $T_1$ , °C) на горизонте 1,5 м, рассчитанная по измерениям с платформы, в зависимости от температуры воздуха ( $T_2$ , °C) на том же горизонте, измеренной с буйа (а), и скорость ветра ( $U_1$ , м/с) на горизонте 2,7 м, рассчитанная по измерениям с платформы, в зависимости от скорости ветра ( $U_2$ , м/с) на том же горизонте, измеренной с буйа (б)

и могут быть результатом как пространственной неоднородности полей, так и неточности методики расчета профилей. Тот факт, что нам не удалось обнаружить зависимость расхождений от расстояния до буйа и от скорости ветра, а также наблюдавшиеся расхождения на калибровочной станции (см. рис. 5, б), дают возможность предположить, что основной вклад в расхождения дала методика расчета профилей. Это позволяет ожидать, что характеристики про-

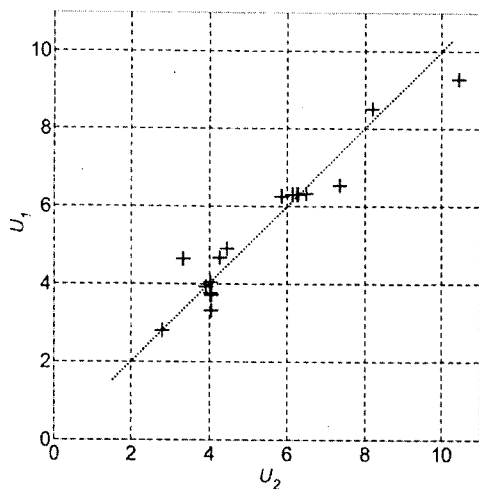
Для анализа выбраны реализации, когда не было апвеллинга и скорость ветра, измеренная с платформы, превышала 3 м/с (17 точек). Эти точки почти равномерно заполняли диапазон изменений параметра стратификации атмосферы  $-1 < z/L < 0,8$  ( $z = 24$  м — горизонт измерения,  $L$  — длина Монины — Обухова). На рис. 6 показаны корреляционные графики для величин, измеренных с платформы и буйа. Приведены как исходные величины для различных горизонтов (1), так и результаты пересчета данных с платформы на горизонты измерений буйковой станции (2). Очевидно улучшение соответствия после пересчета. Средняя величина модуля расхождения по температуре воздуха на горизонте 1,5 м составила 0,25 °C, по скорости ветра на горизонте 2,7 м — 0,32 м/с, по динамической скорости в воздухе — 0,02 м/с. На рис. 7 приведены корреляционные графики для величин  $U_{M10}$ , рассчитанных по измерениям с платформы и буйа. Средняя величина модуля расхождения для  $U_{M10}$  составила 0,37 м/с.

Величины расхождений по температуре и скорости ветра после пересчета на один горизонт оказались не зависящими от расстояния до буйа, от скорости и направления ветра и от параметров волнения. Эти расхождения превышают аппаратурные погрешности измерений (см. рис. 6)

пространственной неоднородности в действительности ниже, чем оцененные нами.

### Резюме

Натурное исследование в акватории, прилегающей к платформе в Качивели со стороны моря, показало частую реализацию условий пространственной однородности метео- и волнографических параметров. Эти условия можно описать следующим образом: стабильный ветер, направленный со стороны моря, скорость ветра выше 3 м/с; отсутствуют апвеллинг, а также внутренние волны и, возможно, другие нестационарные течения. Отметим, что радиолокационные станции могут давать из космоса информацию о приводном ветре только при его скорости выше 3 м/с. В этих условиях результаты синхронных измерений на платформе и на расстоянии 2 — 4 км от нее совпадают в сред-



Р и с. 7. Скорость ветра на горизонте 10 м, приведенная к условиям нейтральной стратификации атмосферы. По оси абсцисс отложены величины, рассчитанные по измерениям с буя, по оси ординат — с платформы, единицы измерений — м/с

нем с точностью:

- 0,23 °С для температуры морской поверхности;
- 0,25 °С для температуры воздуха;
- 0,02 м/с для динамической скорости в воздухе;
- 0,37 м/с для скорости ветра на горизонте 10 м, приведенной к нейтральной стратификации атмосферы ( $U_{N10}$ );
- 12% для высоты волн 33%-ной обеспеченности;
- спектры волн на частотах ниже 1 Гц совпадают в пределах 90%-ных доверительных интервалов при спектральном разрешении 0,01 Гц.

Однородность метео- и волнографических параметров падает с увеличением расстояния между точками измерений и возрастает с ростом скорости ветра.

В условиях пространственной однородности рассчитанные величины  $U_{N10}$  в точках платформы и на удалении от нее на расстоянии 2 — 4 км совпадают с точностью 0,37 м/с, что ниже характерной ошибки 1 м/с для восстановления скорости ветра из космоса. Поэтому измерения с платформы можно использовать для оценки  $U_{N10}$  в акватории, прилегающей к платформе со стороны моря, и для подспутниковых измерений с целью валидации и совершенствования алгоритма восстановления скорости приводного ветра для РЛС БО спутника «Сич-1М». Хотя наши измерения проведены при скоростях ветра, не превышающих 12 м/с, можно ожидать, что вывод работы будет спра-

ведлив и для ситуаций сильного шторма, поскольку пространственная однородность метео- и волнографических параметров, по-видимому, улучшится с повышением скорости ветра.

Авторы с признательностью отмечают, что идеология настоящей работы сформировалась в результате ее обсуждений с Г.К. Коротаяевым, В.В. Малиновским и В.В. Пустовойтенко.

Работа выполнена при поддержке Украинского научно-технологического центра, проект № 2241.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Freilich, M.H., Dunbar R.S.* The accuracy of NSCAT1 vector winds: Comparisons with National Data Buoy Center buoys // *J. Geophys. Res.* — 1999 — 104. — P. 11231 – 11246.
2. *Quilfen Y., Chapron B., Vandemark D.* The ERS scatterometer wind measurement accuracy: Evidence of seasonal and regional biases // *J. Phys. Oceanogr.* — 2001. — 18. — P. 1684 – 1697.
3. *Дулов В.А., Запелалов А.С., Большаков А.Н., Смолов В.Е.* Проявление динамики воды в прибрежной зоне в поле обрушений ветровых волн // *Морской гидрофизический журнал.* — 1999. — № 4. — С. 3 — 17.
4. *Малиновский В.В., Пустовойтенко В.В., Кудрявцев В.Н.* Использование информации РЛС БО «Сич-1» для наблюдения Черного и Азовского морей // *Системы контроля окружающей среды.* — Севастополь: МГИ НАН Украины, 1998. — С. 162 – 173.
5. *Kudryavtsev V., Hauser D., Caudal G., Chapron B.* A semiempirical model of the normalized radar cross-section of the sea surface. 1. Background model // *J. Geophys. Res.* — 108 (C3), 8054, doi:10.1029/2001JC001003, 2003.
6. *Смолов В.Е., Большаков А.Н., Дулов В.А., Иванчик М.В.* Малогабаритная автономная буйковая станция для метео- и волнографических измерений // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.* — Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. — Вып. 10. — С. 388 – 394.
7. *Соловьев Ю.П., Коровушкин А.И., Толокнов Ю.Н.* Характеристики чашечного анемометра и методика измерений скорости ветра // *Морской гидрофизический журнал.* — 2004. — № 3. — С. 53 – 66.
8. *Бендат Дж., Пирсол А.* Прикладной анализ случайных данных. — М.: Мир, 1989. — 540 с.
9. *Large W.G., Pond S.* Open ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds // *J. Phys. Oceanogr.* — 1881. — 11. — P. 324 – 336.
10. *Kudryavtsev V.N., Grodsky S.A., Dulov V.A., Malinovsky V.V.* Observation of atmospheric boundary layer evolution above the Gulf Stream frontal zone // *Bound. Layer Meteorol.* — 1996. — 79. — P. 51 – 82.
11. *Yelland M.J., Taylor P.K.* Wind stress measurements from the open ocean // *J. Phys. Oceanogr.* — 1996. — 26. — P. 541 – 558.
12. *Drennan W.M., Graber H.C., Hauser D., Quentin C.* On the wave age dependence of wind stress over pure wind seas // *J. Geophys. Res.* — 108(C3), 8062, doi:10.1029/2000JC000715, 2003.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,  
Севастополь

Материал поступил  
в редакцию 06.02.04  
После доработки 15.03.04

**ABSTRACT** The problem of sub-satellite calibration of a side-looking radar on satellite «Sich-1M» as a mean for estimating the sea wind velocity is considered. A possibility of application of wind/wave parameters measured from the stationary oceanographic platform of the MHI Experimental Department for their evaluation in the removed sea areas is discussed. These areas can be observed by a side-looking radar without coast-induced distortions. To prove such an opportunity experimentally, water and air temperature, wind speed and wave characteristics are synchronously measured from the platform and in the adjacent sea area at the distance up to 4,8 km off the platform. Quantitative estimations of a degree of spatial uniformity of the parameters under study are obtained for stable off-sea wind conditions. It is concluded that the platform can be used for sub-satellite measurements aimed at validating and improving the algorithm of the sea wind velocity reconstruction for a side-looking radar on satellite «Sich-1M».