



## ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ СКАТТЕРОМЕТРОВ OCEANSAT-2 И ASCAT НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА НА СТАЦИОНАРНОЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

- А.В. Гармашов,** кандидат географических наук, младший научный сотрудник Морского гидрофизического института (МГИ) НАН Украины, г. Севастополь
- А.А. Кубряков,** кандидат физико-математических наук, научный сотрудник МГИ НАН Украины, г. Севастополь
- А.И. Коровушкин,** ведущий инженер МГИ НАН Украины, г. Севастополь
- А.Б. Полонский,** доктор географических наук, профессор, член-корреспондент НАН Украины, заместитель директора МГИ НАН Украины по научной работе, г. Севастополь
- С.В. Станичный,** старший научный сотрудник, заведующий отделом МГИ НАН Украины, г. Севастополь
- Ю.Н. Толочков,** младший научный сотрудник МГИ НАН Украины, г. Севастополь



А.В. Гармашов

А.А. Кубряков

А.И. Коровушкин

А.Б. Полонский

С.В. Станичный

Ю.Н. Толочков

*Приводится сравнение натурных измерений скорости и направления ветра, выполненных на стационарной океанографической платформе, с ветровыми данными скаттерометров Oceansat-2 и ASCAT. Сопоставление скорости ветра по спутниковым и контактными измерениям показало, что с наибольшей точностью реальную изменчивость ветра описывает скаттерометр Oceansat-2, несколько хуже – скаттерометр ASCAT.*

*In the work the comparison of field measurements of the wind direction and speed, carried out on the stationary oceanographic platform, with wind data of the scattermeters Oceansat-2 and ASCAT is given. Correlation of the wind speed as per satellite and contact measurements showed that the real wind changeability is described with the highest accuracy by Oceansat-2, and a little worse by the scattermeter ASCAT.*

**Введение.** Скорость ветра является важнейшей характеристикой, необходимой для решения большого количества задач метеорологии и океанологии. Знание скорости ветра над морской поверхностью необходимо для изучения климатических процессов в регионе, исследования взаимодействия океана и атмосферы, расчета и прогнозирования динамики течений и волн в морской среде и для решения ряда прикладных задач: обеспечения безопасности судоходства, прогнозирования распространения химических загрязнений и многих других.

В последнее время активно развиваются спутниковые скаттерометрические методы определения ветра, которые позволяют получать долговременные квазинепрерывные ряды наблюдений над всей морской акваторией по измерениям эффективной площади рассеяния микроволнового сигнала короткими волнами. Эти данные неоднократно были использованы для исследования динамики атмосферы в Черном море (например, [1, 2]). Однако они имеют определенные ограничения и требуют проведения верификации с помощью данных натурных измерений. В то же время получение долговременных рядов контактных наблюдений характеристик ветра над морской акваторией является достаточно сложной задачей. До недавнего времени такие данные, необходимые для сопоставления, практически отсутствовали.

С июня 2012 г. на стационарной океанографической платформе, расположенной в пгт Качивели, Экспериментального отделения Морского гидрофизического института НАН Украины проводится гидрометеорологический мониторинг с использованием автоматизированного комплекса сбора и хранения измеренных гидрометеорологических параметров. В настоящей работе на основе этих измерений впервые проводится верификация двух недавно появившихся массивов ветровых данных, полученных по измерениям скаттерометров ASCAT и Oceansat-2.

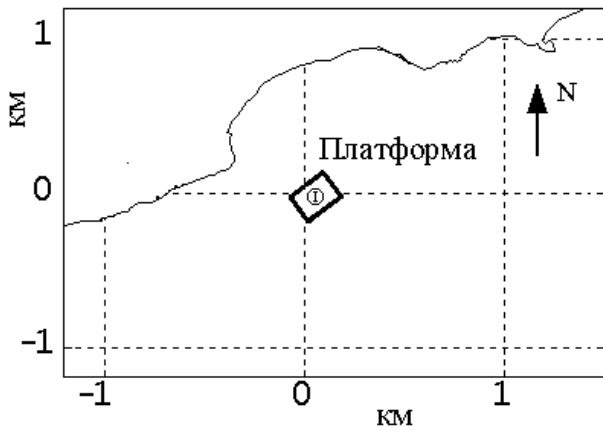


Рис. 1. Положение платформы и места установки измерительных датчиков

**Район измерений.** Измерения проводились на исследовательской стационарной океанографической платформе, расположенной в прибрежной части Черного моря пгт Кацевели (рис. 1). Платформа представляет собой свайную прямоугольную конструкцию размером 20 м × 20 м, которая оборудована для проведения океанографических исследований. Глубина моря в этой точке – 30 м, высота верхней палубы – около 12 м над поверхностью, высота палубных надстроек – 3 м. Для измерений используется в основном морская часть платформы, ориентированная примерно 50...230° относительно севера. В точке 1 (рис. 1) на высоте 21 м был расположен датчик скорости и направления ветра.

**Используемые данные.** Для измерения характеристик ветра был использован разработанный в МГИ НАНУ комплекс сбора гидрометеорологических данных (КСГД). Подробную информацию о комплексе КСГД можно получить в работе [3]. В работе используются данные измерений с 06.06.2012 г. по 23.04.2013 г. В статье анализируется модуль скорости ветра, осредненный за 10 мин и приведенный к стандартной высоте наблюдения (табл. 1).

Приведение скорости ветра с 21 м к стандартной высоте наблюдения производилось по следующей формуле, предполагающей наличие логарифмического подслоя [4, 5]:

$$U_{10} = U_{21} \frac{\ln \frac{10 + z_0}{z_0}}{\ln \frac{21 + z_0}{z_0}},$$

где  $z_0$  – параметр шероховатости. Экспериментально установлено [5], что величина  $z_0$  для морской по-

верхности в рассматриваемом регионе находится в пределах  $10^{-4} \dots 10^{-3}$  м, в нашей работе было взято среднее значение  $z_0 = 5 \cdot 10^{-4}$  м.

В работе использовались данные спутниковых скаттерометров Oceansat-2 и ASCAT. По измерениям скаттерометров определяется эффективная площадь рассеяния сигнала короткими волнами, которая связывается с характеристиками приводного ветра на высоте 10 м. Для данных массивов связь определялась с помощью геофизической модельной функции Ku-2011 [6].

Спутник Oceansat-2, разработанный в Indian Space Research Organization (ISRO), запущен в работу в сентябре 2009 г. Данные прибора ASCAT (Advanced Scatterometer) со спутника MetOp-A также доступны с 2009 г. Оба массива представляют собой продукт Level 2B, полученный в Jet Propulsion Laboratory (JPL) с разрешением 12,5 км (<http://rodaac.jpl.nasa.gov/>). Для Черного моря ветровые данные со спутника Oceansat-2 доступны 1 раз в сутки примерно в 21:00 UTC, а со спутника ASCAT – 1 раз в два дня около 19:00 UTC. Валидация продукта Oceansat-2 Level 2B проводилась в работе [7], ASCAT Level 2B – в работе [8]. Заявленная точность определения скорости ветра составила ~ 2м/с, направления ~ 20° [7, 8].

Для проведения сопоставления выбирались ближайшие по времени и по пространству спутниковые и контактные измерения. Интервал по времени для выбранных измерений не превышал 10 мин в соответствии с разрешением контактных данных. Пространственный разброс измерений составляет от 20 до 30 км. Это связано с тем, что данные скаттерометров недоступны в прибрежной зоне, поскольку здесь на форму отраженного импульса значительно влияет суша. Безусловно, такое несоответствие по пространству и, кроме того, близость горных массивов к платформе будут оказывать влияние на результаты сопоставления. В частности, можно ожидать, что некоторые прибрежные эффекты, например, кататические, бризовые ветра, обтекание гор воздушным потоком, образование вихрей за горами могут приводить к несоответствию в амплитуде и направлении.

**Результаты.** Сопоставление проводилось для неосредненных и сглаженных рядов (осреднение по 4-дневному и 10-дневному интервалу) для уменьшения вклада несоответствий, связанных с мелкомасштабными особенностями полей ветра. Для всех рядов были рассчитаны стандартное отклонение между контактными и спутниковыми

Таблица 1

Параметры измеряемых величин (КСГД)

Измеряемые параметры	Диапазон измерений	Погрешность	Дискретность опроса, с
Скорость ветра	1,5...60 м/с	±0,5 + 0,1 V	5
Направление ветра	0...360°	±5°	1

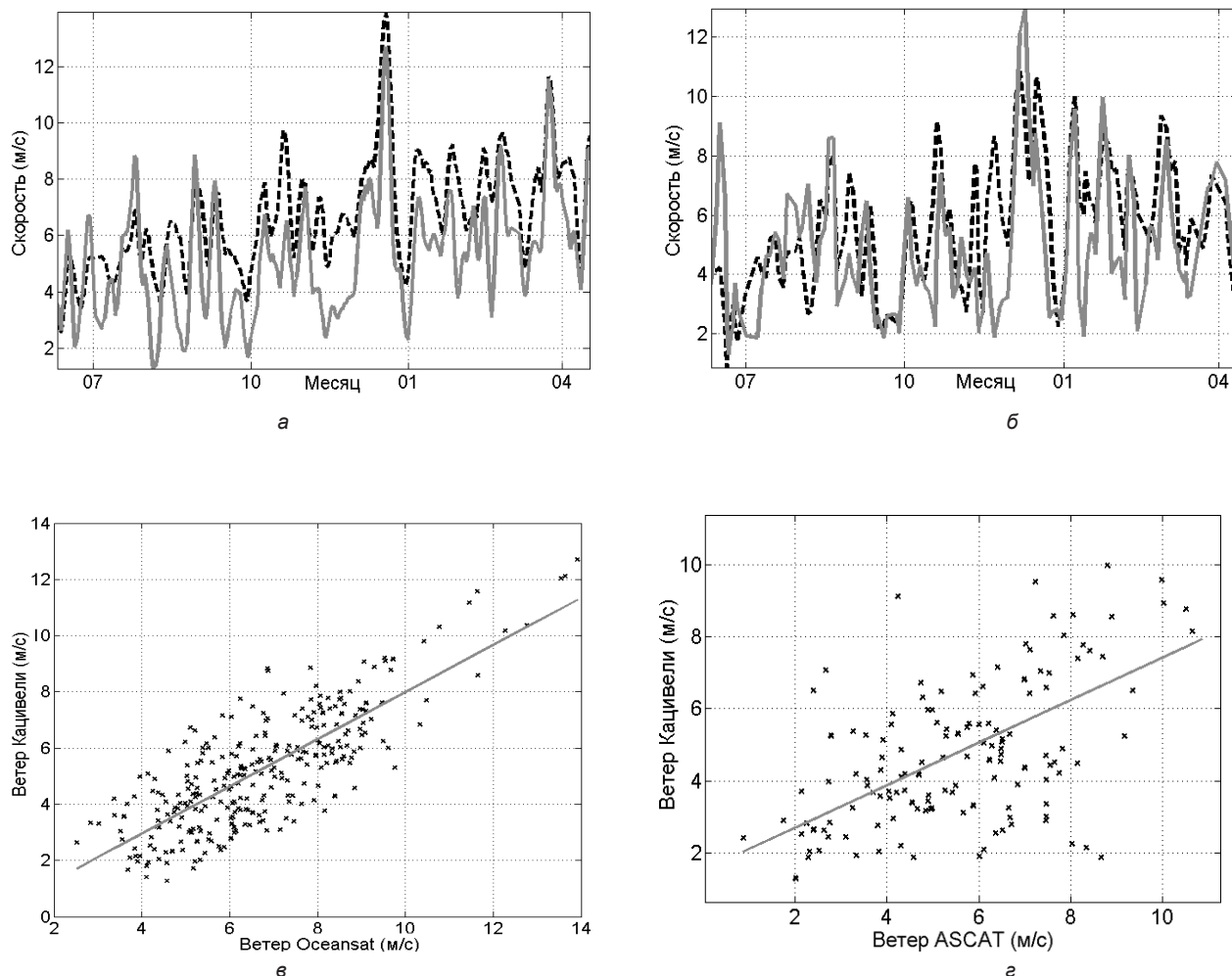


Рис. 2. Временной ход амплитуды скорости ветра (а, б) и диаграммы рассеяния (в, е) на платформе Кацивели (сплошная линия) и в ближайшей точке по данным скаттерометров (пунктирная линия) Oceansat-2 (а) и ASCAT (б) для рядов, осредненных по 4 дням

измерениями  $S$ , коэффициент корреляции  $K$ , коэффициент регрессии  $R$ , разница средних значений  $b$ .

Временной ход амплитуды скорости ветра на платформе Кацивели и в ближайшей точке по данным скаттерометров Oceansat-2 и ASCAT и соответствующие диаграммы рассеяния для рядов, осредненных по 4 дням, представлены на рис. 2. Несмотря на существенную пространственную разнесенность измерений, спутниковые и контактные данные достаточно хорошо согласуются между собой. Статистические характеристики сопоставления представлены в табл. 2. Максимумы и минимумы скорости ветра хорошо совпадают между собой, в частности, наибольшие величины модуля скорос-

ти ветра (более 12 м/с), наблюдавшиеся 8–9 декабря 2012 г.

Ветер в более мористых точках, соответствующих спутниковым измерениям, выше, чем на платформе, что связано, в первую очередь, с разгоном ветра над морем. Скорость ветра  $\sim$  в 1,2 раза выше для спутника Oceansat-2 (для точки на расстоянии  $\sim$  20 км) и в 1,5 для спутника ASCAT (для точки на расстоянии  $\sim$  30 км). Сопоставление показало (табл. 2), что все статистические характеристики лучше для спутника Oceansat-2, что может быть частично объяснено более близким расположением измерений. Коэффициент корреляции растет с увеличением интервала осреднения (0, 4, 10 дней) и составляет 0,65; 0,80; 0,87 для спутника

Таблица 2

Статистические характеристики сопоставления амплитуд скорости ветра

Осреднение	0 дней	4 дня	10 дней
Oceansat-2	$K = 0,65$ ; $R = 0,84$ ; $s = 3,0$ м/с; $b = -1,2$ м/с	$K = 0,80$ ; $R = 0,83$ ; $s = 1,2$ м/с; $b = -1,2$ м/с	$K = 0,87$ ; $R = 0,83$ ; $s = 0,7$ м/с; $b = -1,5$ м/с
ASCAT	$K = 0,55$ ; $R = 0,63$ ; $s = 3,0$ м/с; $b = -0,8$ м/с	$K = 0,57$ ; $R = 0,59$ ; $s = 2,0$ м/с; $b = -0,8$ м/с	$K = 0,66$ ; $R = 0,59$ ; $s = 1,2$ м/с; $b = -1,2$ м/с

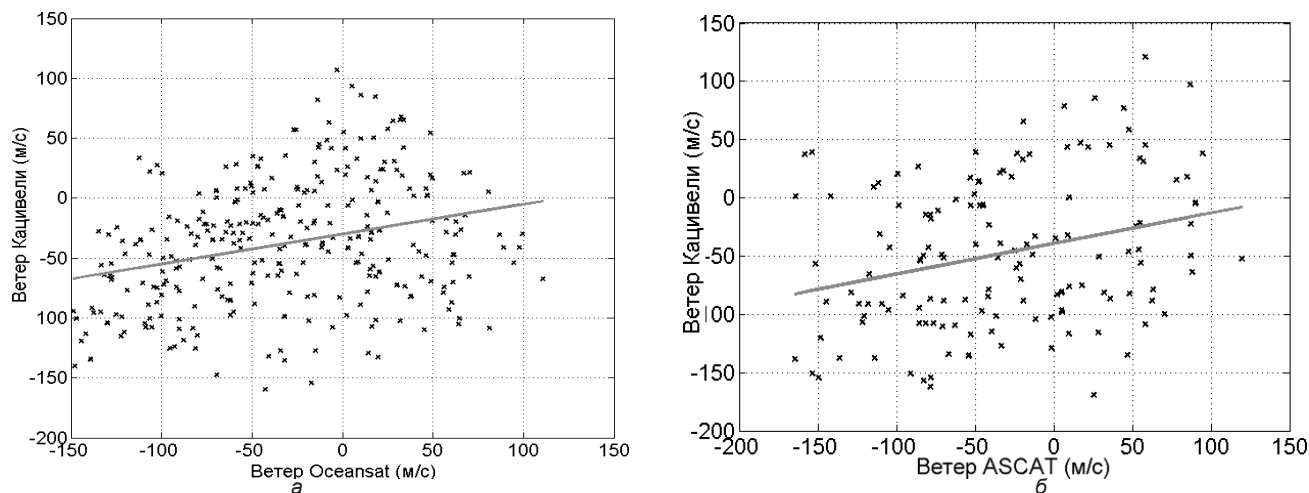


Рис. 3. Диаграммы рассеяния между измерениями направления ветра на платформе Кацивели и по данным скаттерометров Oceansat-2 (а) и ASCAT (б)

Oceansat-2 и 0,55; 0,57; 0,66 для прибора ASCAT. Стандартное отклонение соответственно составляет 3,0; 1,2; 0,7 м/с для Oceansat-2 и 3,0; 2,0; 1,2 м/с для ASCAT.

В целом, можно заключить, что скорости ветра по спутниковым и контактными измерениям достаточно хорошо соответствуют, в первую очередь, для прибора Oceansat-2. Несоответствие скоростей при 4-дневной фильтрации не превышает 1,2 м/с и  $K = 0,80$ , несмотря на существенную пространственную рассогласованность. Хуже воспроизводится по скаттерометрическим измерениям направление ветра (рис. 3).

Стандартное отклонение для рядов, осредненных по 4 дням, соответственно составляет  $70^\circ$  и  $80^\circ$  для спутников Oceansat-2 и ASCAT, для осредненных по 10 дням  $\sim 35^\circ$ . Таким образом, разнесенность измерений более существенно влияет на определение направления ветра. Действительно, можно ожидать, что ветер будет разворачиваться в береговой зоне из-за влияния орографических препятствий и бризовых эффектов.

Как демонстрируют графики на рис. 4, различия в направлении ветра по спутниковым и контактными данным уменьшаются при увеличении интенсивности ветров. Действительно, сильные ветра в основном занимают обширную акваторию и направление должно быть одинаковым и для прибрежных, и для более мористых точек.

**Заключение.** Анализ показал, что спутниковые измерения способны с достаточно хорошей точностью определять характеристики ветра для Черного моря. Сопоставление скорости ветра по спутниковым и контактными измерениям показало, что с наибольшей точностью реальную изменчивость ветра описывает скаттерометр Oceansat-2, несколько хуже – скаттерометр ASCAT. Направление ветра воспроизводится по скаттерометрическим измерениям значительно хуже ( $S \sim 70^\circ$  для рядов, осредненных по 4 дням, и  $S \sim 35^\circ$  для рядов, осредненных по 10 дням). Такое несоответствие в направлениях ветра вызывается, главным образом, близостью горных массивов к платформе.

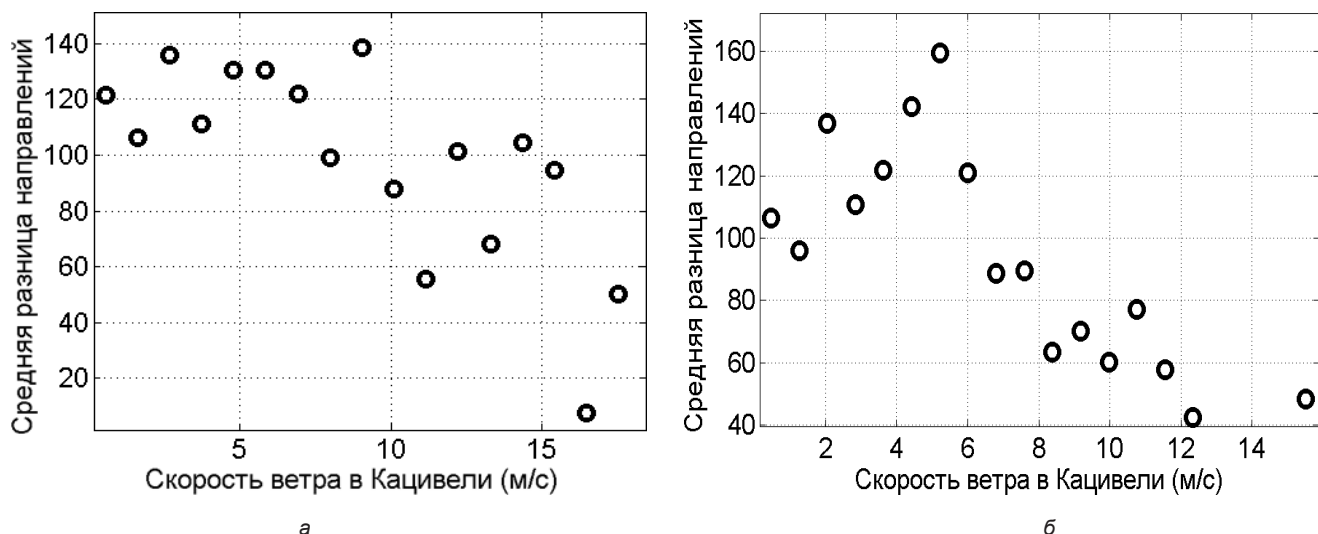


Рис. 4. Зависимость разницы направлений между контактными и спутниковыми измерениями от интенсивности ветра на платформе для спутника Oceansat-2 (а) и ASCAT (б)



Наилучшие результаты сравнения как модуля, так и направления ветра следует ожидать при использовании данных измерений, значительно удаленных от берега (от 20 км). Именно таким условиям удовлетворяют измерения, проводимые в настоящее время на морских стационарных газодобывающих платформах, расположенных в Каркинитском заливе. Анализ этих измерений планируется провести в следующих работах.

#### Список литературы

1. Квазитропический циклон над Черным морем: наблюдение и численное моделирование / Д.А. Яровая, В.В. Ефимов, М.В. Шокуров [и др.] // Морской гидрофизический журнал. — 2008. — № 3. — С. 41–55.
2. Температурные контрасты суша–море в Черноморском регионе и их связь с изменчивостью приводного ветра / А.А. Кубряков, М.В. Шокуров, С.В. Станичный, А.Е. Анисимов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. — 2014. — Т. 50. — С. 3–16.
3. Толокнов Ю.Н. Система сбора гидрометеорологической информации / Ю.Н. Толокнов, А.И. Коровушкин // Системы контроля окружающей среды. — Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. — Вып. 10. — С. 50–53.
4. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы / Л.Т. Матвеев. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984. — 751 с.
5. Соловьев Ю.П. Предварительные результаты измерений атмосферной турбулентности над морем / Ю.П. Соловьев, В.А. Иванов // Морской гидрофизический журнал. — 2007. — № 3. — С. 42–61.
6. Ricciardulli L. Reprocessed QuikSCAT (V04) Wind Vectors With Ku-2011 Geophysical Model Function / L. Ricciardulli, F.J. Wentz: Report # 043011, Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA, 2011. — 8 p.
7. Jaruwatanadilok S. Cross calibration between QuikSCAT and OceanSAT-2 / S. Jaruwatanadilok, B.W. Stiles, A.G. Fore // Submitted to IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 2013.
8. Validation and calibration of ASCAT using CMOD5.n / J.A. Verspeek, A. Stoffelen, M. Portabella [et al.] // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 48, 1. — P. 386–395, doi:10.1109/TGRS.2009.2027896.

УДК 551.465.5 + 551.466

## ПОДСПУТНИКОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ АСИММЕТРИИ УКЛОНОВ ВЕТРОВЫХ ВОЛН ГРАВИТАЦИОННОГО ДИАПАЗОНА

**Д.С. Сазонов,** младший научный сотрудник, аспирант Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва

**В.А. Дулов,** доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Морского гидрофизического института (МГИ) НАН Украины, г. Севастополь

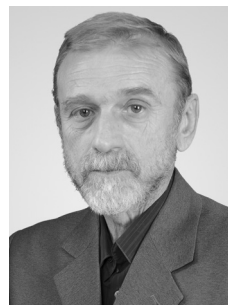
**И.Н. Садовский,** кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ИКИ РАН, г. Москва

**Е.В. Чечина,** ведущий инженер МГИ НАН Украины, г. Севастополь

**А.В. Кузьмин,** заведующий лабораторией ИКИ РАН, г. Москва



Д.С. Сазонов



В.А. Дулов



И.Н. Садовский



Е.В. Чечина



А.В. Кузьмин

Представлена методика подспутниковых измерений статистических характеристик уклонов морской поверхности в различных диапазонах длин волн, основанная на использовании решеток струнных волнографов. Показано, что результаты измерений вектора уклона морской поверхности, выполненных на подспутниковом полигоне МГИ НАН Украины “Кацивели”, согласуются с известными научными представлениями и содержат

новую информацию о статистических характеристиках уклонов. Получены и обсуждены натурные данные о коэффициенте асимметрии уклонов в различных диапазонах длин волн для скоростей ветра от 2 до 13 м/с.

The method of sub-satellite measurements of statistical characteristics of the sea surface slopes in various ranges of wavelengths is presented. It is shown that the results