

Особенности использования навигационной РЛС X-диапазона в условиях Таманского залива для определения высоты ветрового волнения

Телегин В.А.¹, Гарбацевич В.А.¹, Ивонин Д.В.², Ермошкин А.В.³, Мысленков С.А.⁴, Зацепин А.Г.²

¹ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, Москва, Троицк

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия

³ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

⁴ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва
ivonin@ocean.ru

НАЧАЛО РЛ МОНИТОГИНГА ВОЛНЕНИЯ В ТАМАНСКОМ ЗАЛИВЕ:

В 2009 г. в Таманском заливе начался проект по дистанционному радиолокационному (РЛ) мониторингу морского волнения с помощью радаров X-диапазона. В качестве стартового оборудования был выбран навигационный радар кругового обзора «FURUNO 1715», доработанный под океанографические задачи. В ходе испытаний радара в 2009-2011 гг. выяснилось, что для условий Таманского залива характерно наличие в 90% случаев небольших по высоте волн, с высотой менее 1 м. Это объясняется короткими разгонами волн в заливе. В условиях наблюдения волнения с высотой менее 1 м радиолокационные спектральные методы восстановления высоты волнения (Young, Rosenthal, Ziemer, 1985) стандартно применяемые в океанографических некогерентных радарах (Dankert, Horstmann, Rosenthal, 2005) перестают работать (Nieto-Borge et al., 2008; Ивонин Д.В. и др., 2016).

"РАДИОЯРКОСТНЫЙ" ПОДХОД:

По этой причине пришлось обратиться к другим средствам обработки радиолокационного сигнала, в частности, к так называемому "радиояркостному" подходу определения высоты волнения, который известен большей чувствительностью к скорости ветра, чем к высоте волнения. Были выделены наблюдения с ветром, дующим на берег. В этих условиях удалось обнаружить высокую степень корреляции ветра с высотой волнения, что подтвердили соответствующие расчеты по ветро-волновой модели SWAN для Таманского залива. Для ситуаций с ветром, дующим на берег, были определены калибровочные передаточные функции радара для определения высоты волнения. Использовались линейная, степенная, и полиномиальная передаточные функции. Для выбора порядка полинома использовался критерий Акаике – окончательная ошибка предсказания (Marple, 1987).

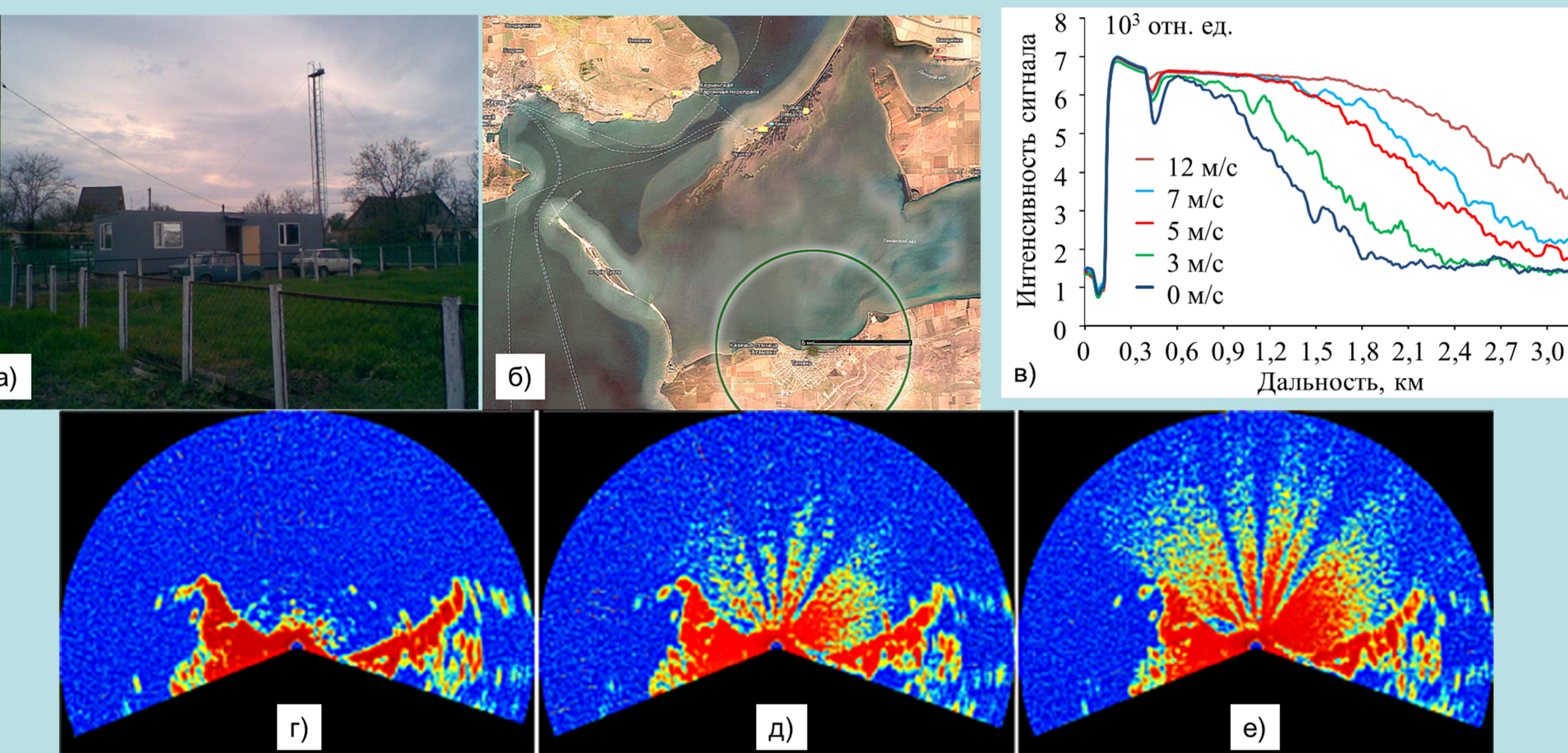


Рис. 1. (а) Внешний вид территории метеостанции в станице Тамань; (б) схема расположения и покрытия радара в Таманском заливе; (в) зависимость интенсивности (квадрата амплитуды) радиолокационного сигнала от дальности для скорости ветра в диапазоне 1-12 м/с; РЛ изображения, соответствующие различным метеосостояниям, высоте волны, силе и направлению ветра: г) – 0,1 м, 1 м/с и 310°; д) – 0,6 м, 8 м/с и 70°; е) – 1,3 м, 18 м/с и 70°, соответственно.

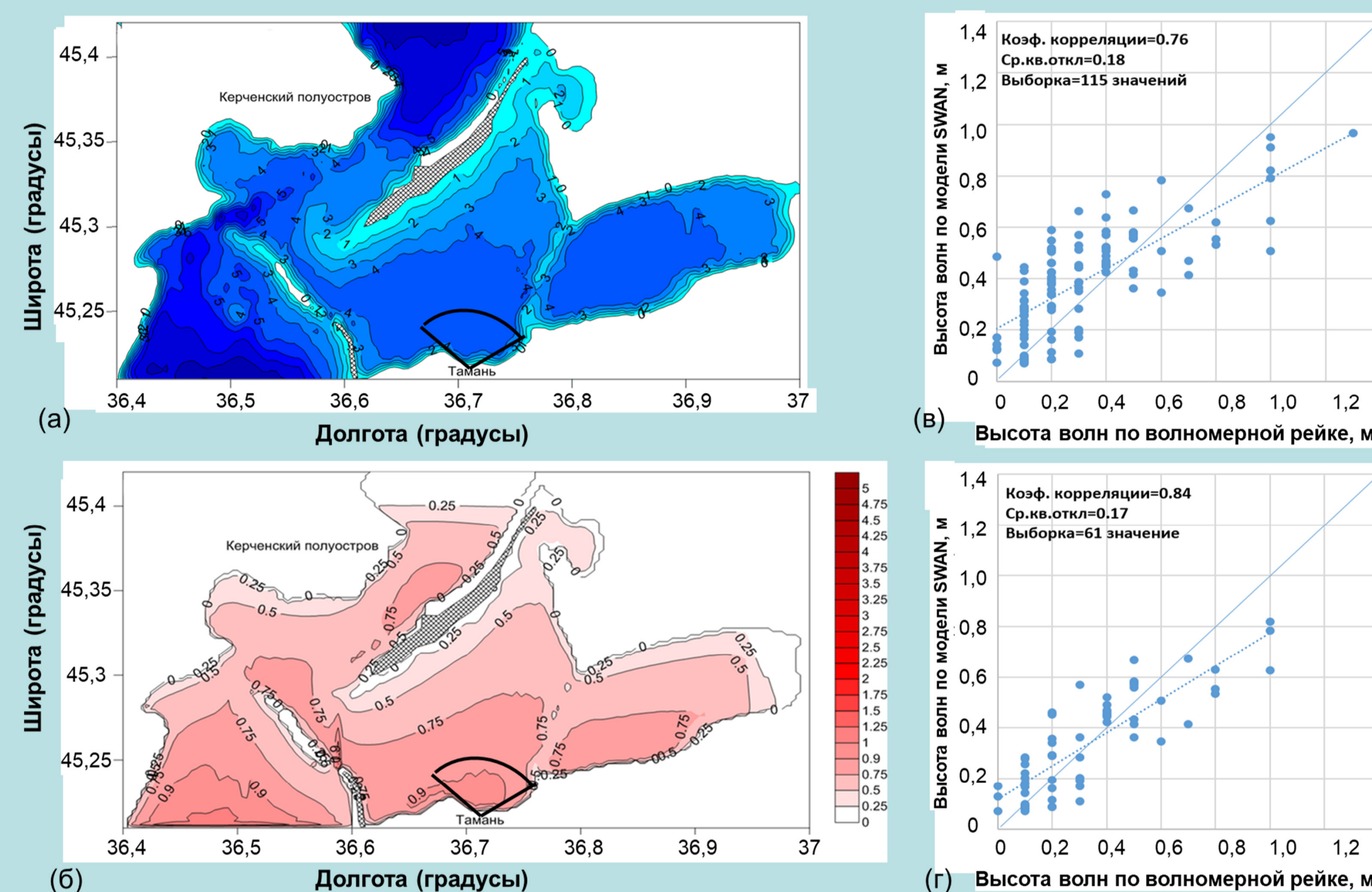


Рис. 2. (а) Карта глубин Таманского залива, линией показан сектор обзора радара (б) Высота значительных волн по результатам моделирования при 4-х часовом воздействии северного ветра со скоростью 15 м/с. (в-г) Сопоставление данных волномерной рейки и моделирования для направления ветра 315°–45°. в)-для всех данных реанализа, г) - при ошибке скорости ветра реанализа менее 2 м/с. Пунктирная линия - линейная аппроксимация, сплошная - биссектриса угла.

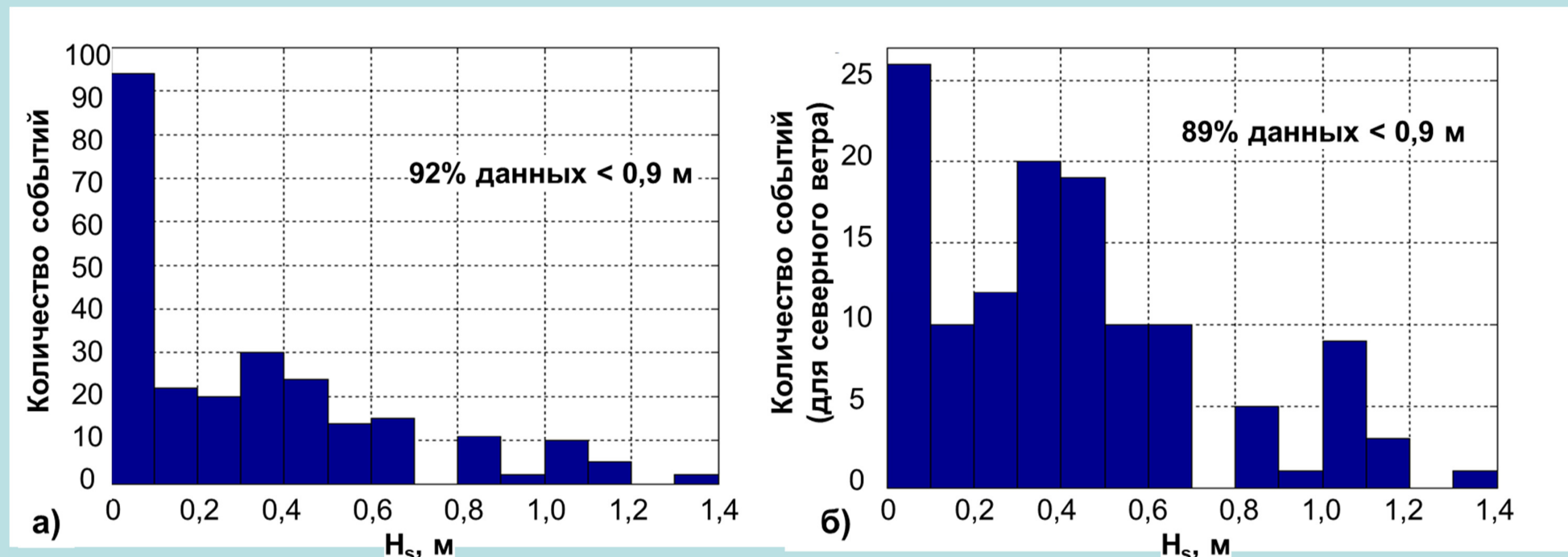


Рис. 3. (а) Гистограмма распределения количества дней от наблюдаемой высоты волнения за период 01.10.2010-30.06.2011; (б) то же для волнения, приходящего с севера из сектора от -60° до 80°

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнение результатов радиолокационных измерений высоты волн с данными волновой рейки показало их хорошее соответствие друг другу для ветра, дующего на берег в секторе углов от -60° до 80°. Коэффициент корреляции между радиолокационными и in situ данными составил 0.85, среднеквадратичное отклонение – 0.14 м. Это свидетельствует о хороших возможностях "радиояркостного" подхода определения высоты волнения высотой менее 1 м при использовании его в соответствующем диапазоне погодных условий в Таманском заливе и ему подобных.

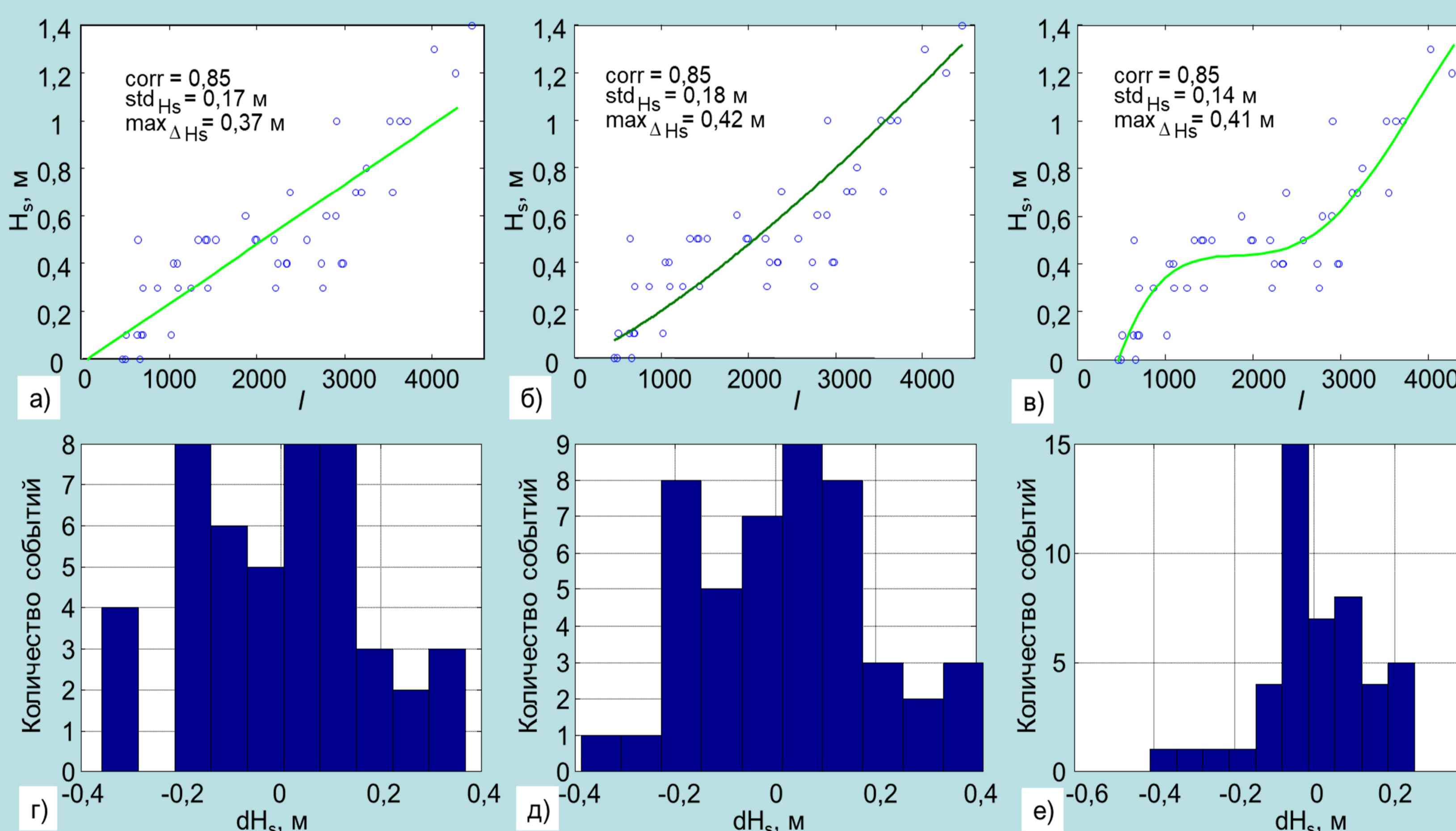


Рис. 4. (а) Экспериментальные точки и линейная аппроксимация зависимости H_s от средней интенсивности РЛИ, ; (б) аналогично для степенной аппроксимации . (в) для полиномиальной аппроксимации ($p=4$) зависимости H_s от средней интенсивности РЛИ; (г-е) соответствующие гистограммы отклонений H_s от корреляций, показанных на верхних графиках

Полезные ссылки:

- Ивонин Д.В., Телегин В.А., Чернышов П.В., Мысленков С.А., Куклев С.Б. Возможности радиолокационных навигационных систем X-диапазона для мониторинга прибрежного ветрового волнения // Океанология. 2016а. Т. 56. № 4. С. 647–658.
- Dankert H., Horstmann J., Rosenthal W. Wind – and wave – field measurements using marine X-band radar-image sequences // IEEE Journal of oceanic engineering. July 2005. Vol. 30. no. 3. P. 534–542.
- Marple S.L. Digital spectral analysis: with applications (Vol. 5). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1987. 584 p.
- Nieto-Borge J.C., Hessner K., Jarabo-Amores P., De La Mata-Moya D. Signal-to-noise ratio analysis to estimate ocean wave height from X-band marine radar image time series // IET Radar, Sonar, and Navigation. 2008. Vol. 2. no. 1. P. 35–41.
- Young I., Rosenthal W., Ziemer F. A three-dimensional analysis of marine radar images for the determination of ocean wave directionality and surface currents // Journal of Geophysical Research. 1985. Vol. 90. no. C1. P. 1049–1059.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-50-00095 (касается части, относящейся к радиолокационным наблюдениям). Моделирование волнения в Керченском проливе выполнено при поддержке гранта РФФИ № 16-08-00829.