Двухканальный подводный акустический волнограф

Докладчик: Мария Рябкова, аспирант 4-го года обучения, Института прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Научная группа: В.Ю. Караев, Ю.А. Титченко, М.А. Панфилова, Е.М. Мешков, В.Л. Вебер

Мотивация



линия подспутникового пути Скаттерометр «СКАТ-3М» для космического аппарата «Метеор-М» №3 Космического эксперимента «Радиолокатор» на российском модуле МКС



положения пятная облучения

 Амплитудные характеристики и направление энергонесущих волн
 Состояние приводного слоя атмосферы (давление, скорость ветра и пр.)

Расположение буев NDBC

www.ndbc.noaa.gov Более 1200 морских буев

Полигон «Геленджик» ЮО ИО РАН



Зеленые звездочки – донные станции в составе ADCP и термокосы

зеленый кружок – станция профилографа "Аквалог"

зеленый квадрат – морская метеостанция

Непрерывные измерения с октября 2019 года (первые эксперименты в декабре 2017 года) красные молнии – радиолокационные измерения

Гидроакустический волнограф «Кальмар»



- Высотомер импульсный, ориентирован в надир, частота 200 кГц (длина волны 7.5 мм), частота повторения импульсов 2 Гц, диаграмма направленности 15х15°. Длина импульса: 5, 10, 20, 40 мкс
- Доплеровский гидролокатор – непрерывное излучение, частота 200 кГц, наклон 5 градусов от надира, диаграмма направленности 15х15°

Океанографическая платформа

Ялта /

Кацивели





+ метеостанция

Август-октябрь 2019 Планируется продолжение с апреля 2020

Goog

Акустический волнограф

Струнный волнограф



Акустический волнограф «Трезубец» оснащен импульсным каналом, доплеровским каналом и датчиком давления

Горьковское водохранилище





Волнограф «Стрела» оснащен импульсным гидролокатором и датчиком давления

28.02.-24.04.2019, декабрь 2019 – наст. вр. – измерение толщины льда и высот волн

Импульсный канал: принцип



$$H_0 = c \tau / 2$$

c=1500 м/с – скорость звука в воде
 т – время с момента излучения
 импульса до момента приема
 отраженного импульса



время, сек

Отраженный импульс



Спектр волнения





SWH





скорость ветра на высоте 10 м, м/с

СЕЧЕНИЕ РАССЕЯНИЯ ВБЛИЗИ НАДИРА



Задний склон импульса



Моделируем импульс
50 мкс, 30 м

$$\sigma_{xx} = 0.012$$

 $\sigma_{yy} = 0.018$
 $\sigma_{tot} = 0.03$
 $RCS = RCS / G^4$
 H_0
 H_0
 t_0
 H_0
 H_0

Определение наклонов







Доплеровский спектр

Зондирование вблизи надира



0,006



Угол падения $\theta_0 = 10^{\circ}$

$$\Delta f = \sqrt{\frac{\int f^2 DS(f) df}{\int DS(f) df}} - f_{sh}^2$$

ДС (МАЛЫЕ УГЛЫ ПАДЕНИЯ)

$$\Delta f \propto \frac{\cos \theta_0}{\lambda} \sqrt{\sigma_u^2} \frac{11.04 \cdot (K_{xt})^2}{\delta_x^2 + 11.04 \cdot \sigma_{xx}^2} \frac{11.04 \cdot \cos^2 \theta \cdot (K_{yt})^2}{\delta_y^2 + 11.04 \sigma_{yy}^2}$$

$$f_{sh} = -\frac{2 \cdot \sin \theta_0}{\lambda} \cdot \frac{11.04 \cdot K_{xt}}{\delta_x^2 + 11.04 \cdot \sigma_{xx}^2}$$

$$Y. A. Titchenko and V. Y. Karaev, Radiophysics and Quantum Electronics, vol. 55, pp. 493-501, 2013.$$

$$\Delta f \propto \frac{|R_{eff}(U_{10})|^2 \exp\left[-\frac{tg^2 \theta_0}{2} \left(\frac{\delta_y^2}{11.04 \cdot \sigma_{xx}^2}\right)\right]}{2\cos^4 \theta_0} \sqrt{\left(\frac{\delta_x^2}{11.04 \cdot \sigma_{xx}^2}\right)\left(\frac{\delta_y^2}{11.04 \cdot \sigma_{xx}^2} + \sigma_{yy}^2\right)}}$$

Статистические моменты второго порядка

$$\sigma_{xx}^{2} = \int_{0}^{2\pi} \int_{0}^{\kappa_{b}} W(\kappa, \phi) \kappa^{3} \cos^{2}(\phi) \, d\phi \, d\kappa,$$

$$\sigma_{yy}^{2} = \int_{0}^{2\pi} \int_{0}^{\kappa_{b}} W(\kappa, \phi) \kappa^{3} \sin^{2}(\phi) \, d\phi \, d\kappa,$$

$$\sigma_{tt}^{2} = \int_{0}^{2\pi} \int_{0}^{\kappa_{b}} W(\kappa, \phi) \kappa \omega^{2}(\kappa) \, d\phi \, d\kappa,$$

$$K_{xt} = \int_{0}^{2\pi} \int_{0}^{\kappa_{b}} W(\kappa, \phi) \kappa^{2} \omega(\kappa) \cos(\phi) \, d\phi \, d\kappa,$$

$$K_{yt} = \int_{0}^{2\pi} \int_{0}^{\kappa_{b}} W(\kappa, \phi) \kappa^{2} \omega(\kappa) \sin(\phi) \, d\phi \, d\kappa,$$

where κ and $\omega(\kappa)$ are the wavenumber and the angular frequency of sea waves connected by the dispersion relation, ϕ is the azimuth angle of wave propagation relative to the axis x, $W(\kappa, \phi)$ is the sea wave spectrum in polar coordinates, and κ_b is the boundary wavenumber

W(к, φ) – модельный спектр (Ryabkova et al., JGR, 2019)

Ширина и смещение ДС



ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВОЛНЕНИЯ



M. Panfilova, M. Ryabkova, V. Karaev and E. Skiba, TGRS, vol. 58, no. 3, pp. 2225-2231, March 2020.

АЗИМУТАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ



• Импульсный канал акустического волнографа позволяет восстанавливать высоту волн, спектр волнения и дисперсию наклонов крупномасштабного волнения. • Доплеровский канал акустического волнографа позволяет проводить измерения ДС отраженного взволнованной поверхностью сигнала. Смещение ДС можно использовать для определения направления волнения.

Спасибо за внимание!

Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 18-35-20057 мол_а_вед).

Если вы заинтересованы в экспериментальных данных, свяжитесь со мной: m.rjabkova@gmail.com (Мария Рябкова)

или с моими коллегами: yuriy@ipfran.ru (Юрий Титченко) volody@ipfran.ru (Владимир Караев) marygo@mail.ru (Мария Панфилова)

DUAL-FREQUENCY PRECIPITATION RADAR



Raw data (RCS)



"near nadir" RCS

mss (large-scale waves for Ku band)



Результаты



WAVE DIRECTION DETERMINATION



Radar data wave propagation direction: 203°-215° with respect to North String wave gauge: 217°±7°

