Черновик статьи

Моделирование спутникового измерения удельного сечения обратного рассеяния для модели заостренной морской поверхности

Понур К.А.

14 января 2021 г.

Орбитальные скорости

Рассмотрим задачу нахождения орбитальных скоростей частиц на морской поверхности.

Поле возвышений ζ представим в виде

$$\zeta(\vec{r}_0, t) = \sum_{n=1}^{N} \sum_{m=1}^{M} A_n(\vec{\kappa}_{nm}) \cos(\omega_{nm} t + \vec{\kappa}_{nm} \vec{r}_0 + \psi_{nm}),$$

где $\vec{\kappa}$ – двумерный волновой вектор, $\vec{r}_0 = (x_0, y_0)$, $\vec{r} = (x, y)$, ψ_{nm} – случайная фаза равномерно распределенная в интервале от 0 до 2π,

$A_n(\vec{\kappa}_n)$ – комплексная амплитуда гармоники с волновым вектором, вычисляемая по известному спектру волнения [1], $\vec{\kappa}_n$ и временной частотой $\omega_n(\kappa_{nm})$ [2].

Известно что в глубоком море поверхностные частицы на волнах описывают окружность (см. [3]). Следовательно саму волну правильнее описывать параметрическим уравнением трохоиды (см. [4])

$$
\begin{aligned}
x(\vec{r},t) &= x_0 - \sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} A_n(\vec{\kappa}_{nm})\frac{\vec{\kappa}_x}{\kappa}\sin(\omega_{nm}t + \vec{\kappa}_{nm}\vec{r}_0 + \psi_{nm}) \\
y(\vec{r},t) &= y_0 - \sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} A_n(\vec{\kappa}_{nm})\frac{\vec{\kappa}_y}{\kappa}\sin(\omega_{nm}t + \vec{\kappa}_{nm}\vec{r}_0 + \psi_{nm}) \\
z(\vec{r},t) &= \sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} A_n(\vec{\kappa}_{nm}) \cdot \cos(\omega_{nm}t + \vec{\kappa}_{nm}\vec{r}_0 + \psi_{nm})
\end{aligned} \tag{1}
$$

Дифференцируя (1) получаем выражения для проекций орбитальных скоростей

$$
\begin{aligned}
v_x(\vec{r},t) &= \frac{\partial x}{\partial t} = -\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} \omega_n(\kappa_{nm})A_n(\vec{\kappa}_{nm})\frac{\vec{\kappa}_x}{\kappa}\cos(\omega_{nm}t + \vec{\kappa}_{nm}\vec{r}_0 + \psi_{nm}) \\
v_y(\vec{r},t) &= \frac{\partial y}{\partial t} = -\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} \omega_n(\kappa_{nm})A_n(\vec{\kappa}_{nm})\frac{\vec{\kappa}_y}{\kappa}\cos(\omega_{nm}t + \vec{\kappa}_{nm}\vec{r}_0 + \psi_{nm}) \\
v_z(\vec{r},t) &= \frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} \omega_n(\kappa_{nm})A_n(\vec{\kappa}_{nm})\sin(\omega_{nm}t + \vec{\kappa}_{nm}\vec{r}_0 + \psi_{nm})
\end{aligned}
$$

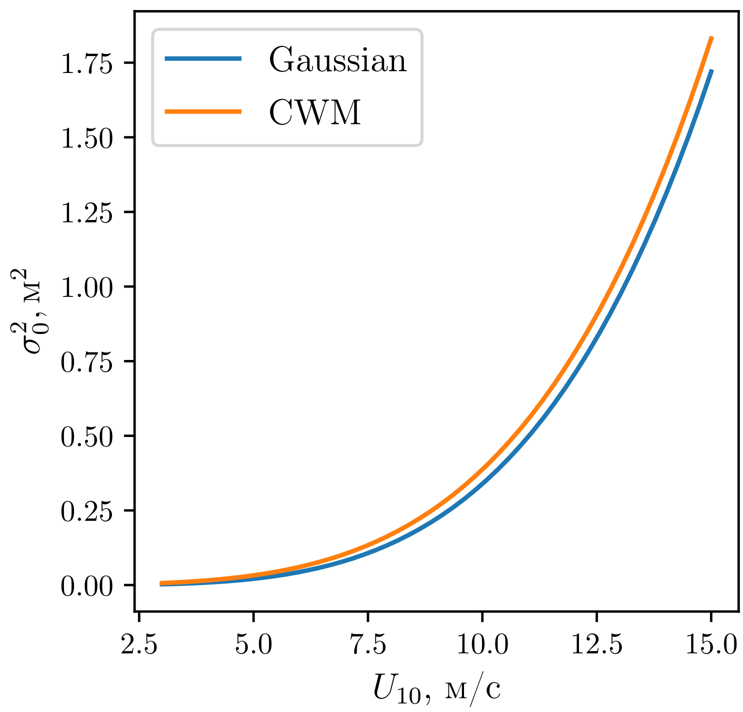

Рис. 1

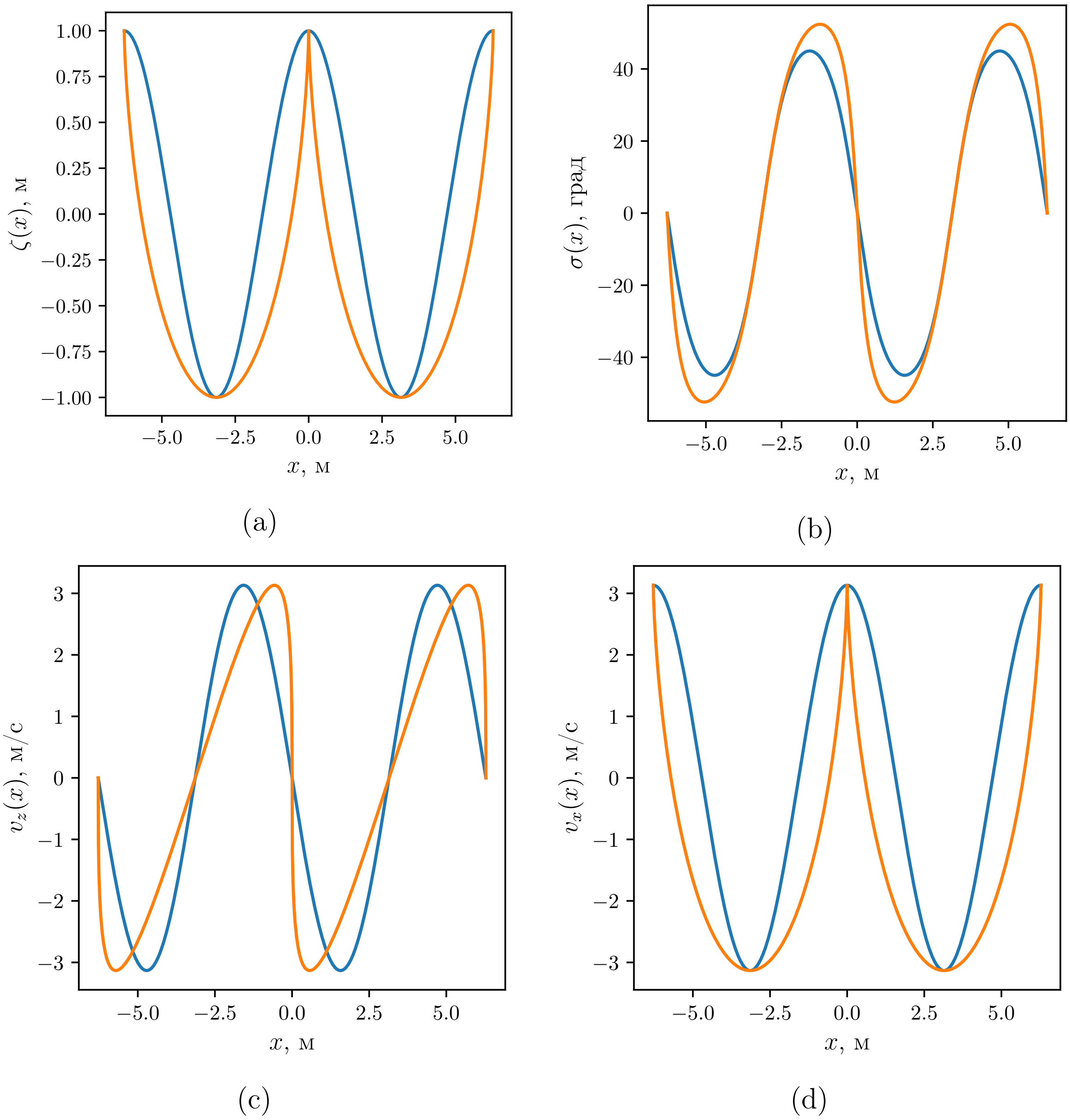

Рис. 2: Сравнение характеристик заостренной и обычной поверхностей на примере одной синусоиды (эффект заострения усилен для наглядности): (a) поле высот; (b) поле полных наклонов; (c) поле вертикальных орбитальных скоростей; (d) поле горизонтальных орбитальных скоростей; Синей линией отмечена синусоида, оранжевой – трохоида.

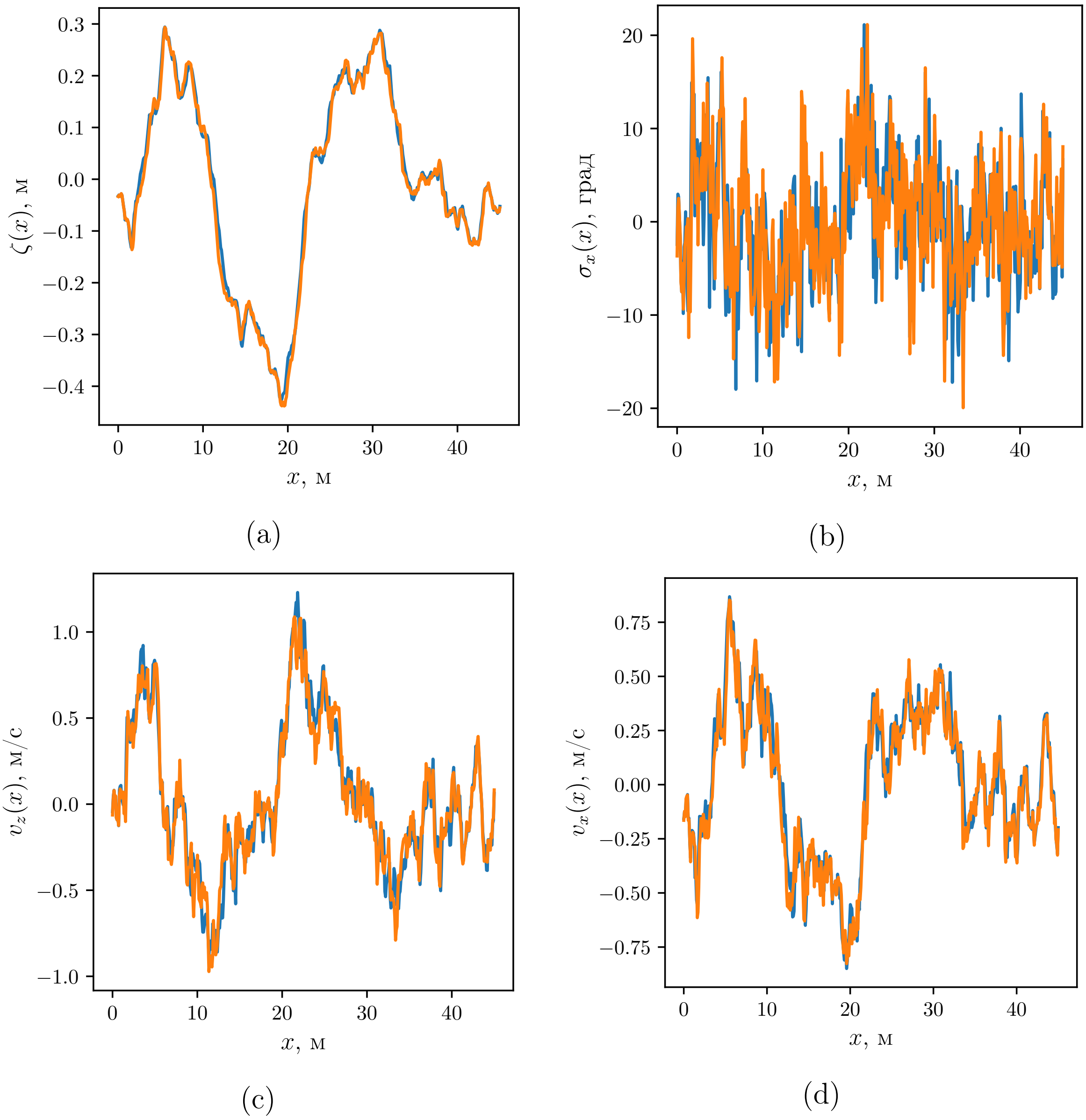

Рис. 3: Сравнение основных характеристик реализаций заостренной и обычной морских поверхностей:
(a) поле высот; (b) поле наклонов вдоль направления распространения; (c) поле вертикальных орбитальных скоростей; (d) поле горизонтальных орбитальных скоростей; Синей линией отмечена обычная поверхность, оранжевой – заостренная.

Список литературы

[1] M. Ryabkova и др. «A Review of Wave Spectrum Models as Applied to the Problem of Radar Probing of the Sea Surface». В: *Journal of Geophysical Research: Oceans* 124.10 (2019), с. 7104—7134.

[2] В. Пустовойтенко и А. Запевалов. *Оперативная океанография: современное состояние перспективы и проблемы спутниковой альтиметрии.* Севастополь, 2012, с. 218.

[3] В.В. Шулекин. *Физика моря.* Москва: Наука, 1962. ISBN: 978-5-9710-6208-0.

[4] Frédéric Nouguier, C-A Guérin и Chapron Bertrand. «"Choppy wave"model for nonlinear gravity waves». Англ. В: *Journal of Geophysical Research (JGR) - Oceans (0148-0227) (American Geophysical Union), 2009-09 , Vol. 114 , N. C09012 , P. 1-16* 114 (сент. 2009). DOI: 10.1029/2008JC004984.