

Алгоритм вычисления зависимости мощности
отраженного излучения от угла падения
без изменения пространственной ориентации
антенны по форме отраженного импульса

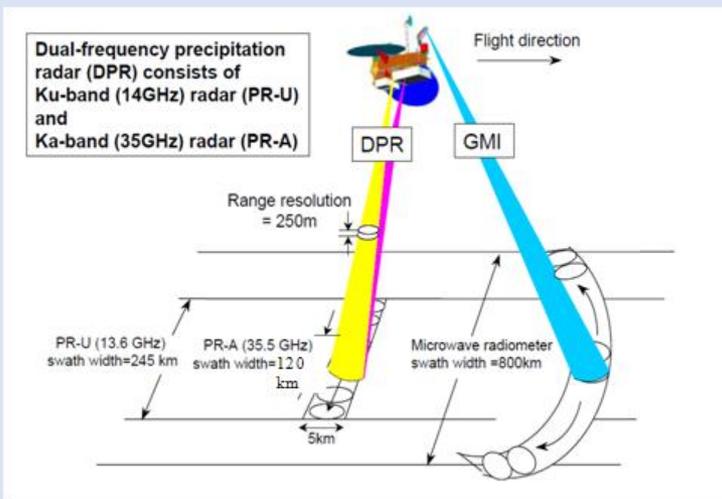
***Титченко Ю.А., Караев В.Ю., Рябкова М. С.,
Мешков Е. М., Беляев Р.В.***

Институт прикладной физики РАН, Нижний
Новгород, Россия

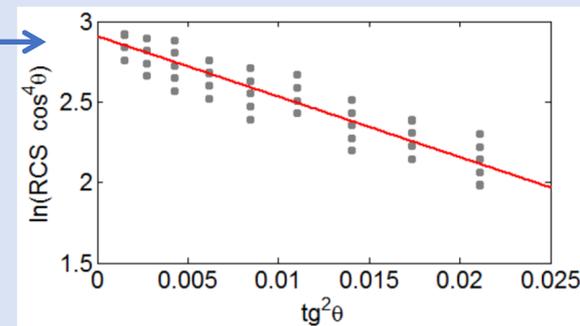
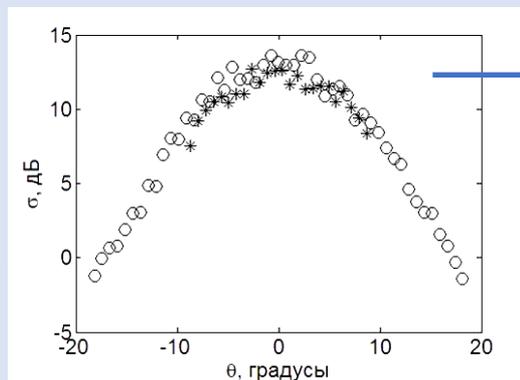
yuriy@ipfran.ru

- Для изучения и использования коротковолновой части спектра волнения в модельных построениях необходимо научиться их измерять. Однако в морских условиях измерение коротковолновой части спектра волнения является сложной задачей.
- Морские буи и ADCP могут измерять характеристики только длинных волн (длина волны >6 м для буюв и >30 м для ADCP)
- Лазерные волнографы хорошо измеряют уклоны коротких волн, однако могут работать только в лабораторных условиях или при отсутствии высоких волн.
- Наиболее «широкополосным» является струнный волнограф, например, волнограф установленный на океанографической платформе в Черном море (пос. Кацивели) способен измерять спектр волнения до длины волны 1-1,5 м.
- В связи с этим разработка новых приборов для измерения «шероховатости» коротковолновой части спектра волнения (длина волны до 2 см) является крайне актуальной и важной. Эта информация востребована специалистами, изучающими взаимодействие атмосферы и океана, развивающими численные модели ветрового волнения.

- Предлагается для измерения уклонов с помощью радиолокаторов и гидролокаторов на небольшой высоте (глубине) использовать подход из спутниковой радиолокации для обработки данных радиолокатора DPR (Dual-frequency precipitation radar). Дисперсия уклонов определяется по зависимости сечения обратного рассеяния от угла падения.



M. A. Panfilova, V. Y. Karaev, and J. Guo, "Oil Slick Observation at Low Incidence Angles in Ku-Band," Journal of Geophysical Research: Oceans, vol. 123, pp. 1924-1936, 2018.



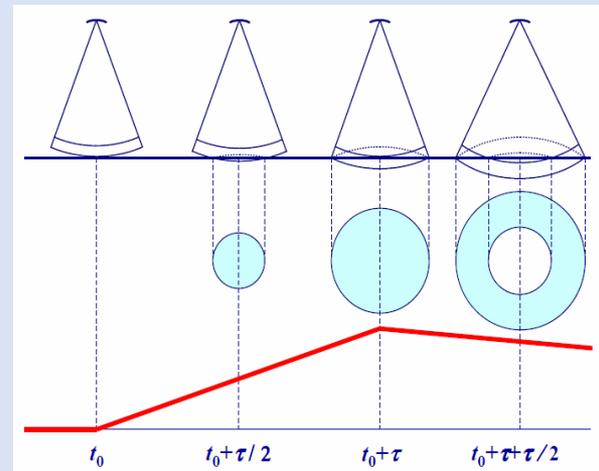
Пример проведения регрессии

$$\sigma(\theta) = \frac{|R_{eff}(0)|^2}{2\sqrt{\sigma_{xx}^2 \sigma_{yy}^2}} \frac{\exp\left[-\frac{tg^2 \theta}{2\sigma_{xx}^2}\right]}{\cos^4 \theta} \rightarrow \ln(\sigma \cos^4 \theta) = a - b tg^2 \theta.$$

$$a = \ln(\sigma(0)),$$

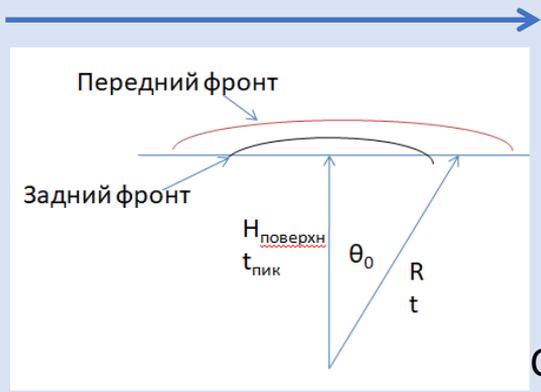
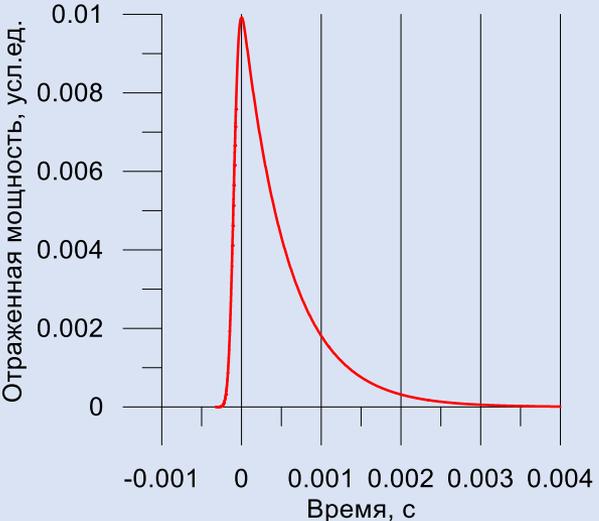
$$\sigma(0) = \frac{|R_{eff}(0)|^2}{2\sqrt{\sigma_{xx}^2 \sigma_{yy}^2}}, \quad b = 1/\sigma_{xx}^2$$

- Однако для получения зависимости сечения обратного рассеяния от угла падения (угловая зависимость) не всегда удобно качать антенну или на это не хватает времени.
- Предлагается алгоритм вычисления зависимости мощности отраженного излучения от угла падения без изменения пространственной ориентации антенны по форме отраженного импульса.
- Этот алгоритм будет справедлив как для радиолокационного так и для акустического импульса.
- В рамках алгоритма предлагается ориентировать антенну (ширина диаграммы $>15^\circ$) строго вертикально на морскую поверхность и записывать отраженный импульс.
- В основе нового метода лежит геометрия взаимодействия излученного акустического импульса с морской поверхностью. На начальной стадии приема, отраженный импульс формируется отражениями от гребней морской поверхности, находящихся максимально близко к перпендикуляру из точки излучения к морской поверхности, затем область, вносящая вклад в отраженный сигнал, начинает представлять из себя круг с увеличивающимся во времени радиусом. Так как длина импульса ограничена, то с некоторого момента отраженный сигнал начинает формироваться кольцом, внешний радиус которого определяется передним фронтом импульса, а внутренний радиус определяется задним фронтом излученного импульса. С этого момента мощность отраженного сигнала определяется участком морской поверхности, наблюдаемым под увеличивающимся углом падения. В результате анализируя задний фронт отраженного импульса можно построить зависимость отраженной мощности от угла падения.



- Проверим данный подход с помощью моделирования. Смоделируем отраженный импульс по формуле из работы: V.Karaev, E.Meshkov, Yu.Titchenko, «Underwater acoustic altimeter», Radiophysics and Quantum Electronics, v. 57, N 7, 2014, pp. 488-497.
- Результат преобразования формы импульса в угловую зависимость сравним с формулой:

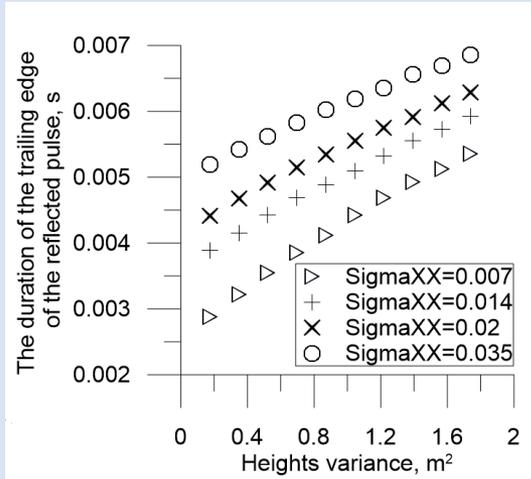
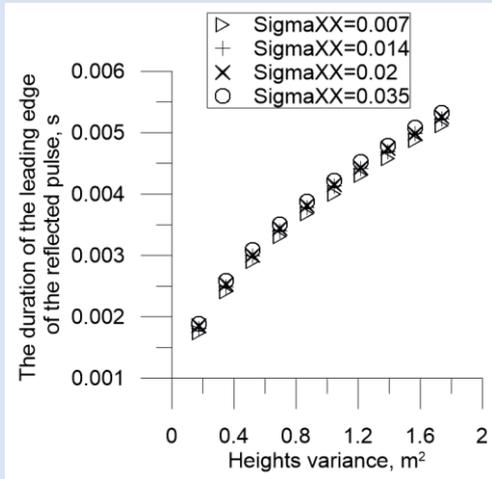
$$\sigma_0 \cong \frac{|R_{eff}(U_{10})|^2}{2 \cos^4 \theta_0 \sqrt{\sigma_{xx}^2 \sigma_{yy}^2}} \exp\left[-\frac{\text{tg}^2 \theta_0}{2 \sigma_{xx}^2}\right]$$



Смоделированный отраженный импульс. Скорость ветра 5 м/с, развивающееся волнение (разгон 1440), глубина 100 м, длительность импульса 50 мкс. Время 0 с, соответствует максимальной площади засветки.

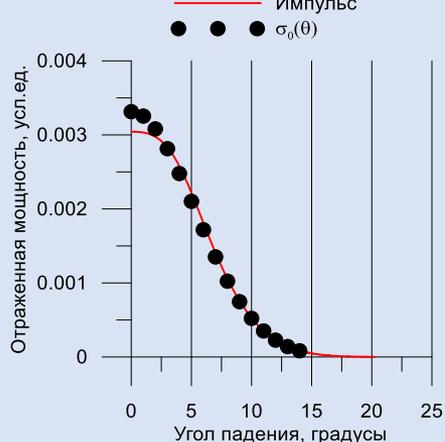
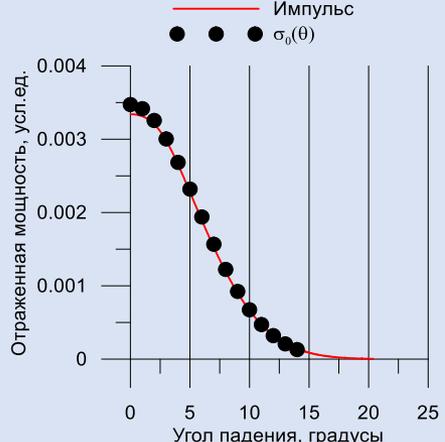
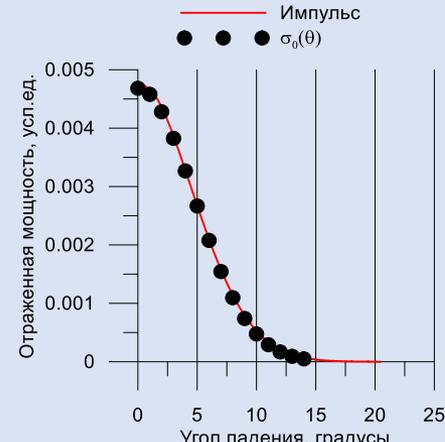
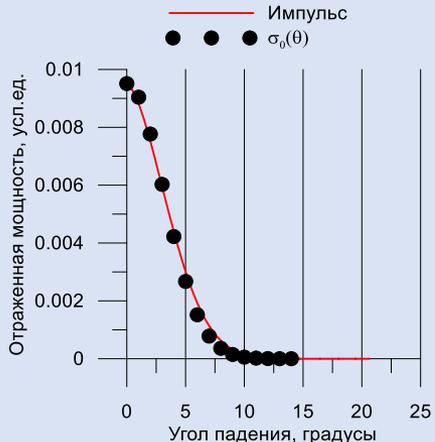
Сравнение формулы для угловой зависимости при тех же условиях формирования волнения с зависимостью полученной из отраженного импульса у которого угол падения вычислен для среднего радиуса кругов на поверхности воды образованных передним и задним фронтом импульса

- В данном подходе есть ограничение на минимальный угол падения который можно использовать. Это ограничение вызвано размытием импульса высотами волн.



Зависимости длительностей переднего и заднего фронта отраженного импульса от дисперсии высот для различных дисперсий наклонов: 0.007, 0.014, 0.02, 0.035. Глубина погружения 100 м, антенна 30°.

- С другой стороны при увеличении высоты волн, растет и дисперсия уклонов (при том же ветровом разгоне и отсутствии зыби), что приводит к наблюдению большего диапазона углов.



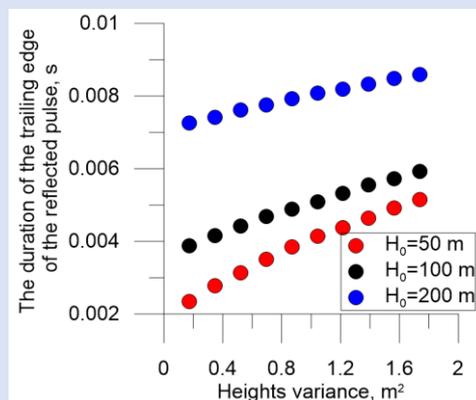
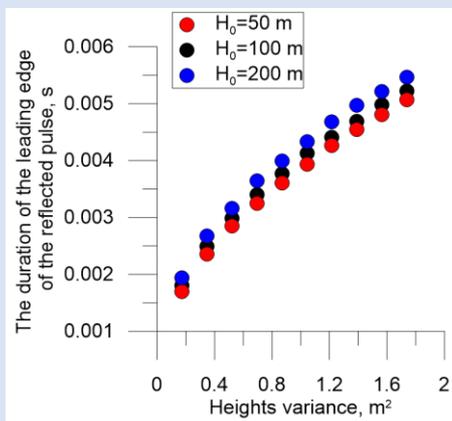
Скорость ветра 5 м/с, развивающееся волнение (разгон 1440),

Скорость ветра 9 м/с, развивающееся волнение (разгон 1440),

Скорость ветра 12 м/с, развивающееся волнение (разгон 1440),

Скорость ветра 8 м/с, развитое волнение (разгон 20170),

- В результате показано, что анализируя задний фронт отраженного импульса можно построить зависимость отраженной мощности от угла падения без изменения пространственной ориентации антенны. Далее эта зависимость может использоваться для восстановления дисперсии уклонов поверхности с помощью известных алгоритмов.
- Следует отметить, что в отличие от механического наклона антенны в предлагаемом методе «угловая» зависимость будет определяться суммарной дисперсией уклонов поверхности, а не только в одном направлении, так как «наклон» идет сразу во всех направлениях.
- Из-за больших высот волн импульс размывается и начальные углы падения нельзя строить.
- При увеличении дальность до отражающей поверхности влияние дисперсии высот поверхности на задний фронт отраженного импульса уменьшается.



Зависимости переднего и заднего фронта отраженного импульса от дисперсии высот для различных глубин погружения. Дисперсия уклонов 0.014, антенна 30°