

# Комплексные натурные эксперименты по наблюдению динамических процессов в верхнем слое океана

Баханов В.В., Ермошкин А.В., Титов В.И.

1) ИПФ РАН, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46.

В натурной экспедиции 2021г. на океанографической платформе МГИ РАН в п. Кацивели проведены с помощью радиолокационных и оптических средств комплексные натурные эксперименты по наблюдению динамических процессов в верхнем слое океана и измерении их параметров. Программа экспериментов включала наблюдение естественных и искусственных сликов, обусловленных поверхностью – активными веществами (ПАВ). Искусственные слики создавались путем разлива ПАВ с лодки.

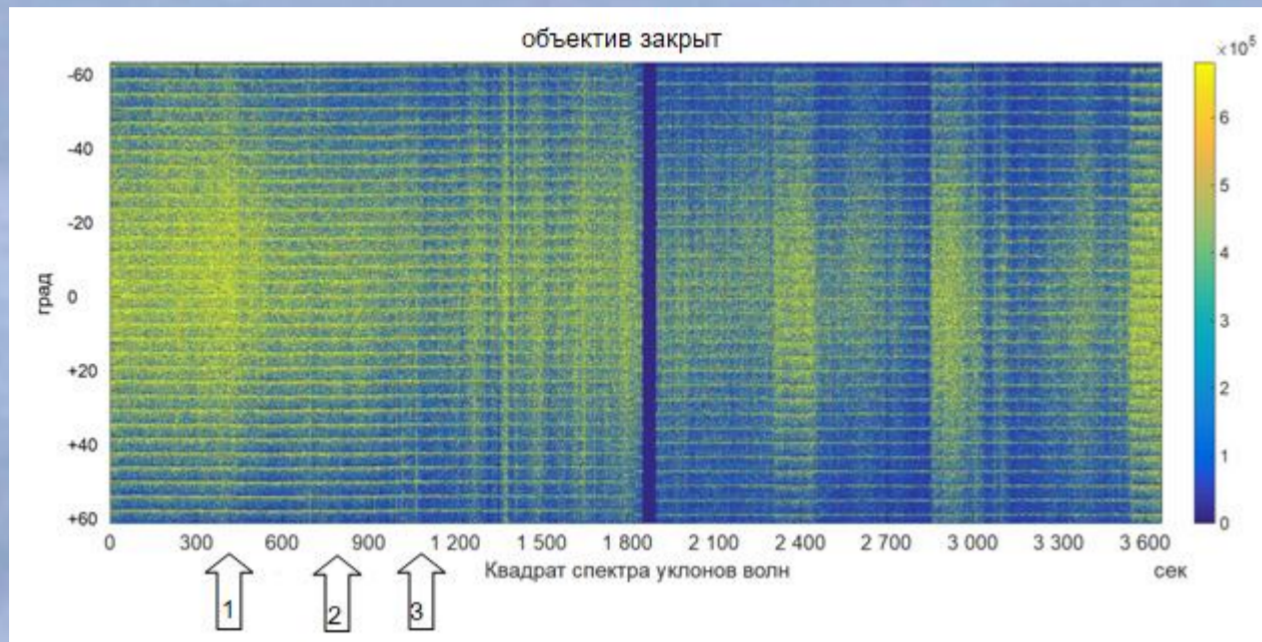
В экспедиции использовался оптический комплекс в составе:

- оптический двумерный спектроанализатор (ДОСА) для регистрации пространственных спектров волнения моря в диапазоне длин волн от сантиметров до метра,
- оптический спектроанализатор (ОСА) для регистрации пространственно – временных спектров волн метрового диапазона,
- набор оптических ПЗС линеек для регистрации оптических панорам поверхности моря в различных частях оптического спектра от видимого диапазона до ближнего инфракрасного света.
- фотоаппарат типа GO PRO для непрерывной регистрации изображения поверхности моря и приповерхностного слоя атмосферы в R, G, B оптических диапазонах.

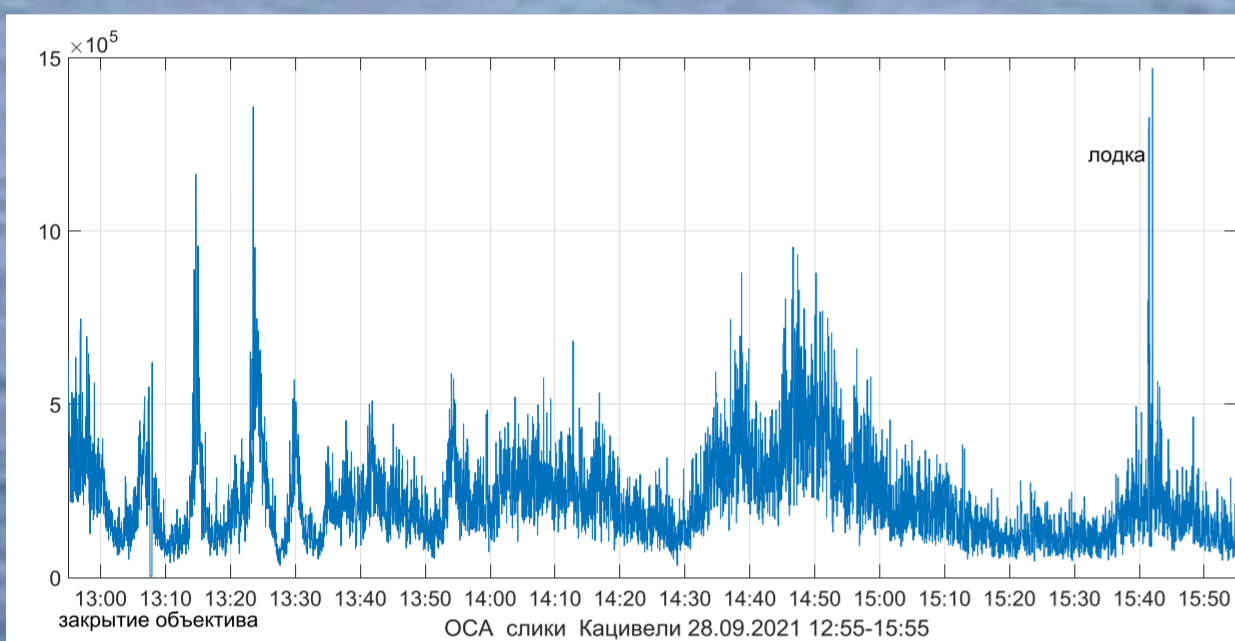
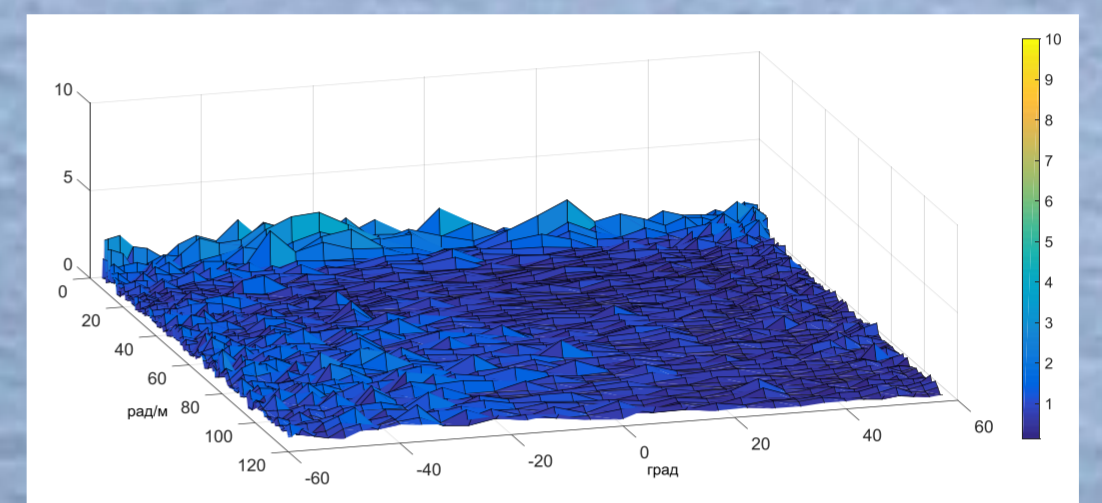
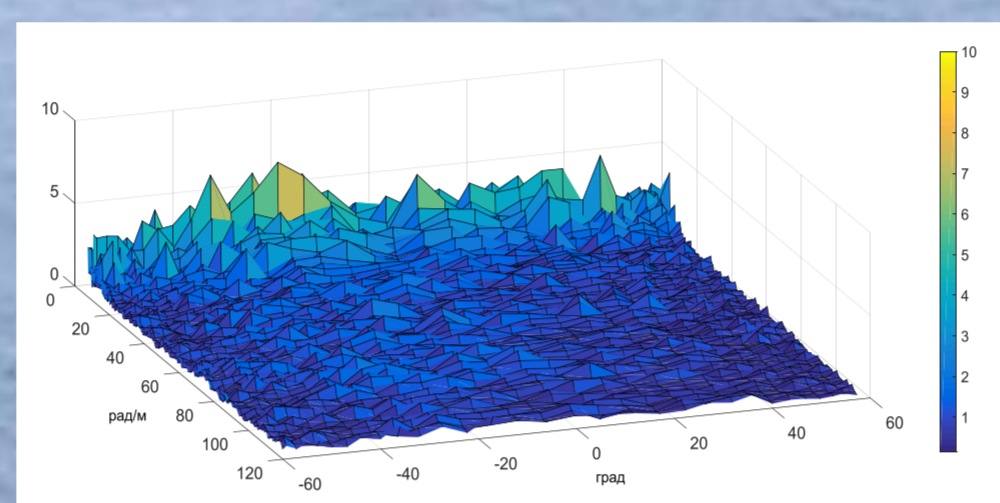
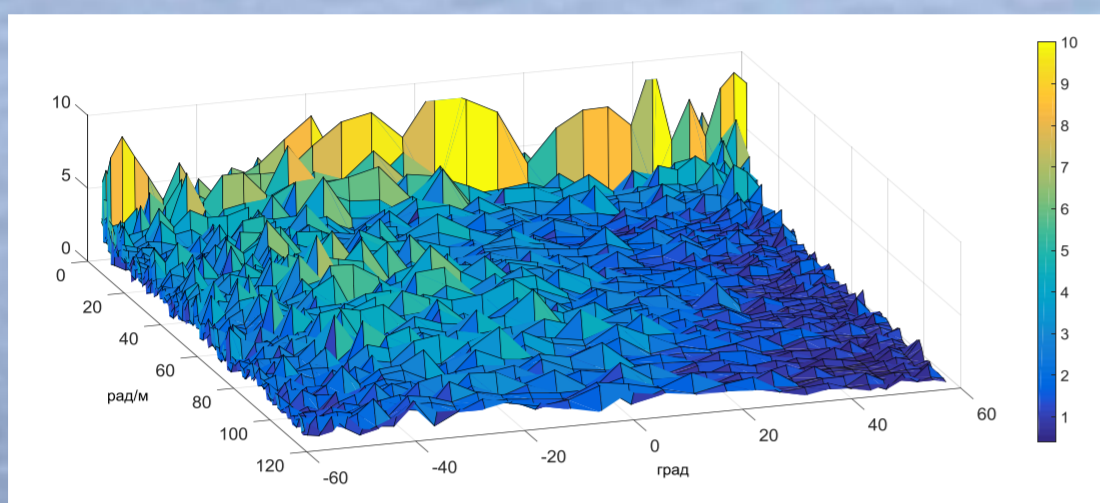
На основе сопоставления данных о поверхностном волнении, полученных радиолокационными и оптическими приборами развит метод восстановления направленных пространственно-временных спектров ветрового волнения по данным комплекса когерентных радиофизических средств дистанционного зондирования.

Получен пространственно-временной спектр ветрового волнения в широком диапазоне волновых чисел и исследована динамика спектра в сликах на морской поверхности, обусловленных ПАВ. Зарегистрирован приповерхностный слой повышенной мутности атмосферы над морем. На основе данных оптических ПЗС линеек сделан вывод о молекулярной природе слоя, обусловленного испарением воды. На основе приближения однократного рассеяния света предложена оптическая модель приповерхностного молекулярного слоя.

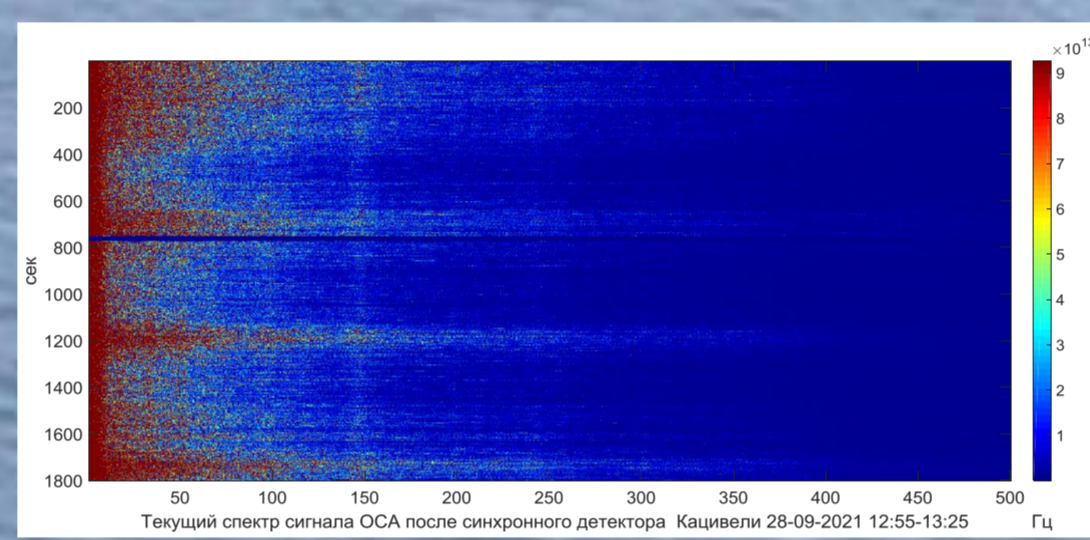
## Спектральный анализ изображения морской поверхности



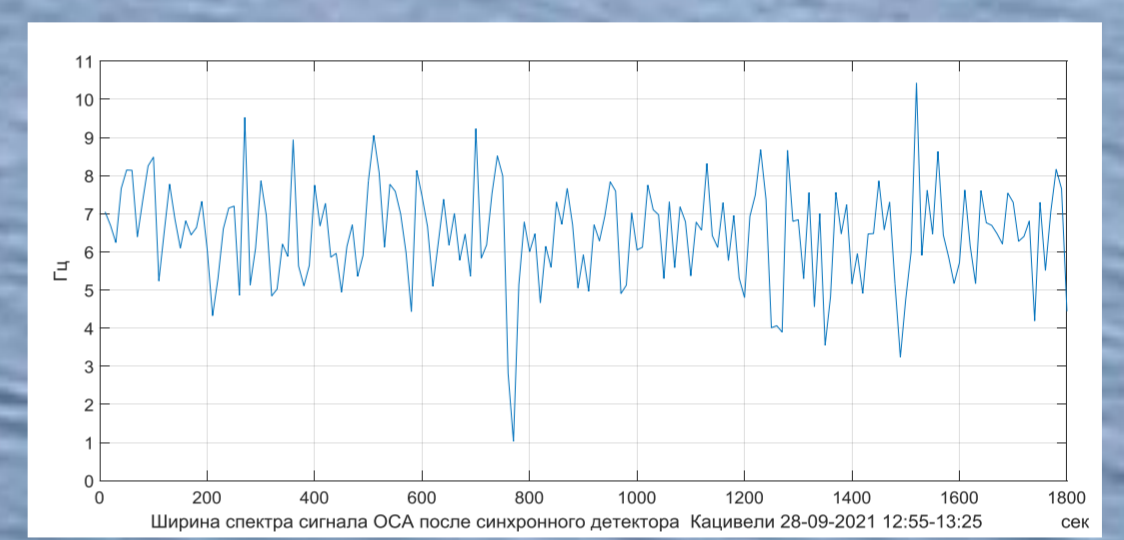
Текущие двумерные спектры волн длиной от 5см до 1 м в сликах, полученные с помощью ДОСА. Высота ДОСА над уровнем моря  $h=14$  м. Разработано представление текущих двумерных спектров, позволяющее видеть динамику спектров в сликах. Спектры «вытянуты» в линию. По вертикали сверху вниз расположены спектры волн с различным направлением распространения от -60 град. до +60 град. относительно направления визирования ДОСА. Ниже представлены три двумерных спектра, соответствующих разным моментам времени, обозначенных цифрами 1, 2 и 3. Спектры получены усреднением 20 мгновенных спектров ДОСА, то есть время усреднения составило 20 сек. На рисунках видна динамика спектров в фоне и в сликах, обусловленных ПАВ.



Изменчивость пространственного спектра поверхностных волн длиной 1,3 м в искусственных сликах. Спектр получен с помощью ОСА.

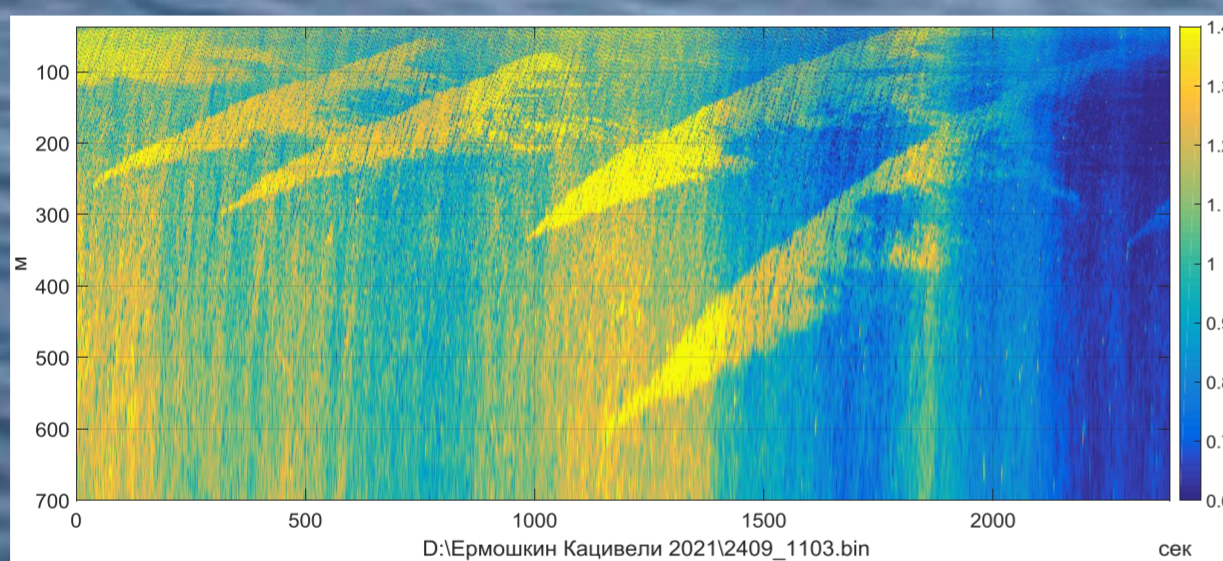


Текущие пространственно – временные спектры поверхностных волн длиной 1,3 м в сликах.

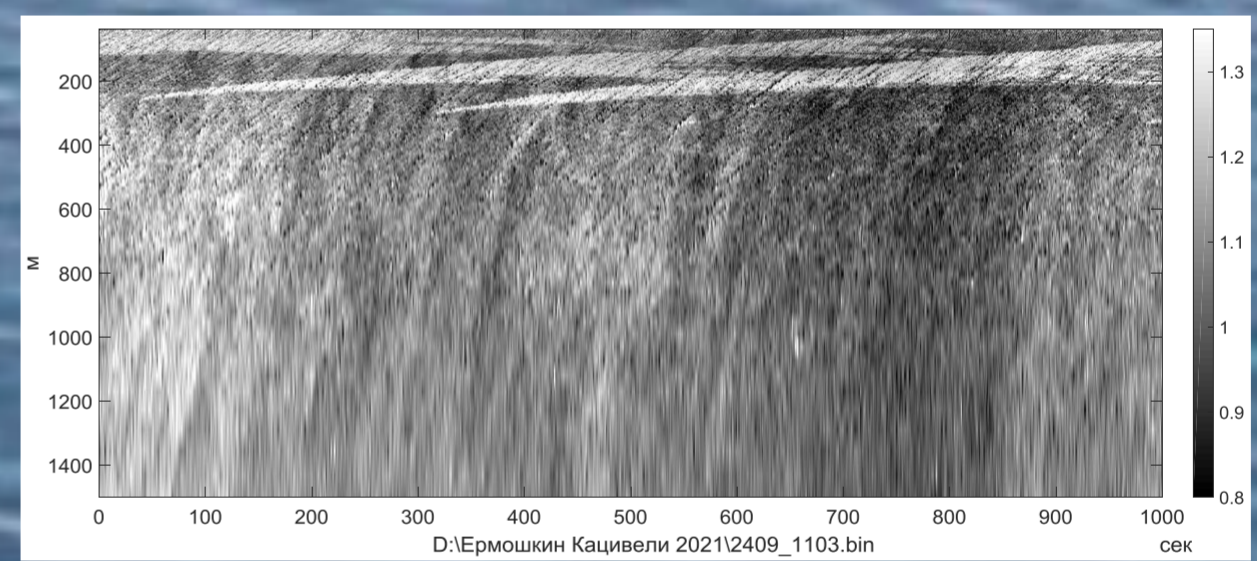


Ширина текущих пространственно – временных спектров поверхностных волн длиной 1,3 м в сликах. Ширина спектров по временной частоте не меняется в сликах, в отличие от пространственных спектров. Этот факт подтверждает разработанную ранее нами модель спектров, в которой ширина спектра по временной частоте определяется амплитудой длинных энергонесущих волн.

## Пространственно – временные изображения (ПВИ) поверхности моря



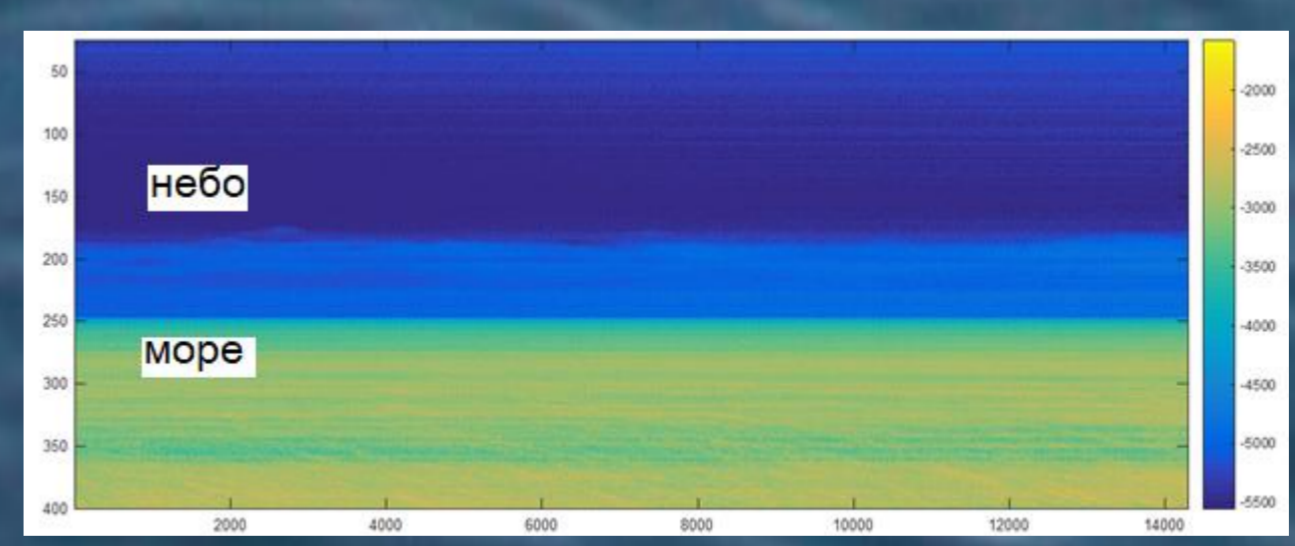
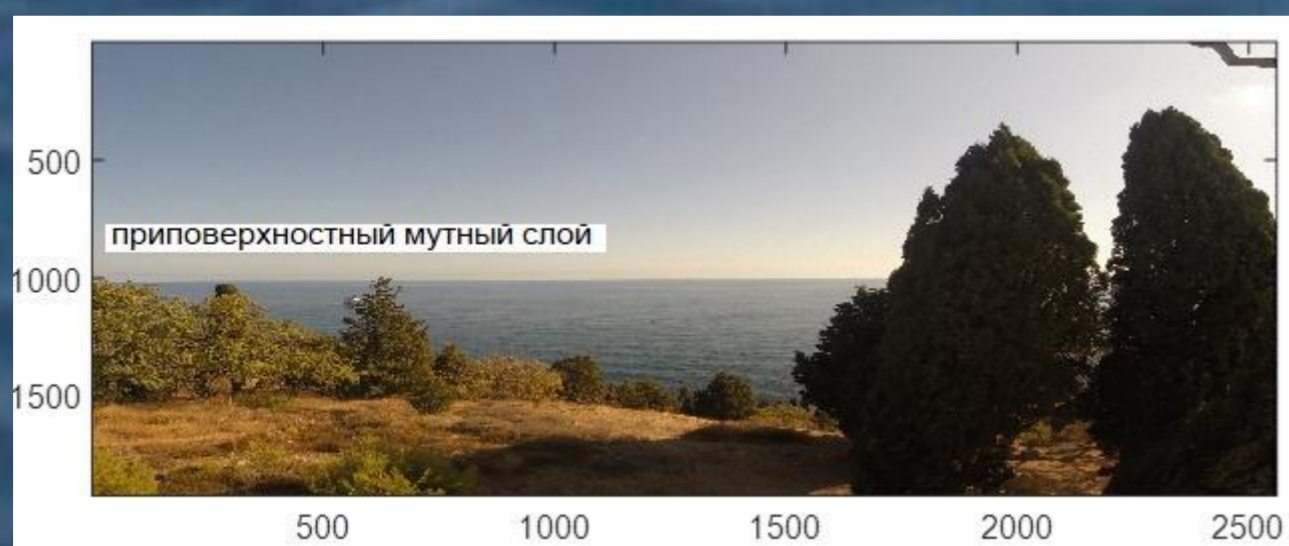
ПВИ изображение сликов, обусловленных ПАВ. Платформа в Кацивели. Высота ПЗС линейки над поверхностью моря 14 м. По вертикали – расстояние от платформы в м, по горизонтали – время. Лучевая скорость сликов примерно 0,3 м/с. Слик движется к наблюдателю. Разработан метод определения дисперсии уклонов волн и ее изменчивости в сликах по оптическим пространственно – временным изображениям (ПВИ).



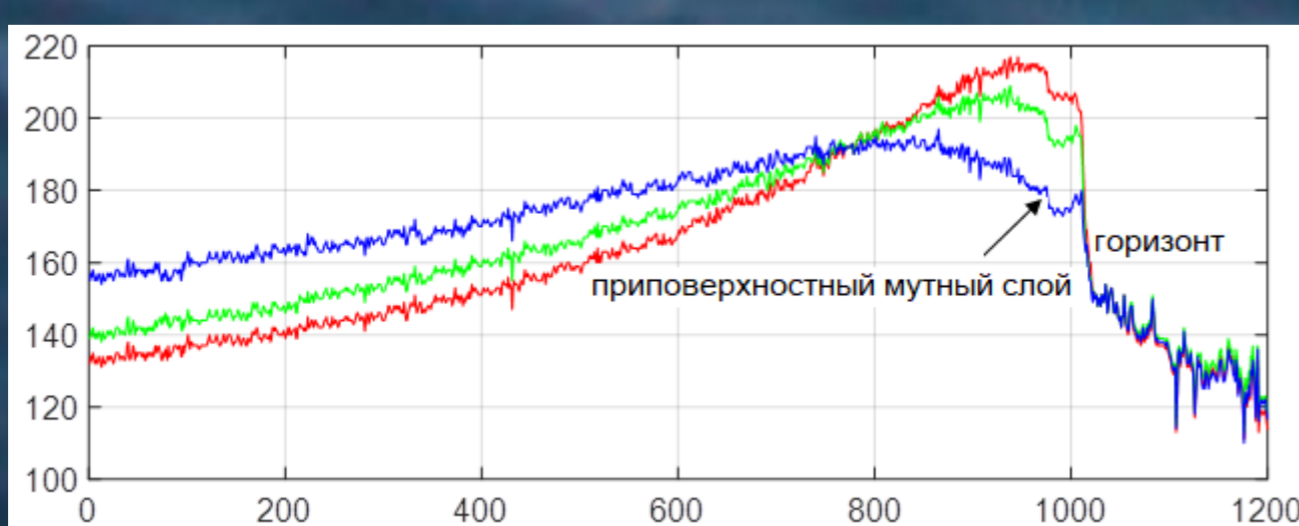
Проявление ветровых порывов, кататика (усиление ветра – ветровой порыв – темные наклонные полосы). Разработан метод определения скорости ветра в порывах по их проявлению на морской поверхности. Лучевая скорость порывов ветра 10 м/с. Наблюдение ПЗС апвинд – против ветра.

## Наблюдение молекулярного приповерхностного слоя атмосферы

Для регистрации углового распределения яркости неба использовался цифровой фотоаппарат (R,G,B изображения), ПЗС линейка в спектральном диапазоне 700нм-800нм и ПЗС ИК в спектральном диапазоне 900нм-1500нм.



Слева фото моря, справа – увеличенное изображение приповерхностного мутного слоя, полученное с помощью оптической ПЗС линейки.



Слева вертикальные оптические R,G,B сечения приповерхностного слоя атмосферы, полученные из фотоснимка моря, иллюстрирующие наличие мутного слоя. Следует отметить, что ПЗС линейка ИК оптического диапазона (900нм-1500нм) «не видела» этого слоя, что свидетельствует о его молекулярной природе (предположительно испарение морской воды). На основе приближения однократного рассеяния света предложена оптическая модель приповерхностного молекулярного слоя.

Работа выполнена при поддержке РНФ проект № 20-77-10081.

## Литература:

- Victor Titov, Victor Bakhanov, Stanislav Ermakov, Aleksandr Luchinin, Irina Repina & Irina Sergievskaya. Remote sensing technique for near surface wind by optical images of rough water surface. International Journal of Remote Sensing. 2014. V. 35, Issue 15. P.5946 – 5957 (ID: 948223 DOI:10.1080/01431161.2014.948223).
- Bakhanov, V.V., Demakova, A.A., Korinenko, A.E., Ryabkova, M.S. and Titov, V.I., 2018. Estimation of the wind wave spectra with centimeters-to-meter lengths by the sea surface images. *Physical Oceanography*, [e-journal] 25(3)
- Bakhanov V. V., Demakova A. A., Titov V. I., 2018. On Near-Horizon Maximum Brightness of Cloudless Sky. *Physical Oceanography*, [e-journal] 25(6), pp. 477- 488. doi:10.22449/1573-160X-2018-5-477-488
- Charles R. Bostater Jr., Jennifer L. Closson, "Remote sensing of water surface small gravity waves characteristics using fixed platform and drone imagery," Proc. SPIE 11150, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2019, 111500D (14 October 2019); doi: 10.1117/12.2533788