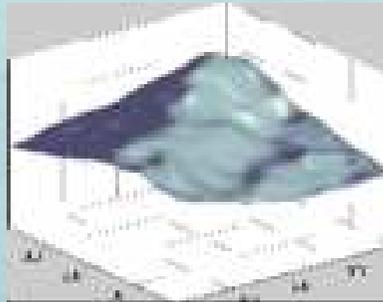




Методы оценки характеристик морской поверхности на основе анализа временного ряда ее изображений

Четвертая открытая всероссийская конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Москва 13_17 ноября. 2006 г.



*Константинов О.Г .
olegkon@poi.dvo.ru*

Тихоокеанский океанологический институт им.В.И. Ильичева ДВО РАН
690041, Владивосток, ул. Балтийская , 43. Тел.: (423-2) 31-1400



Характеристики морских волн являются одним из определяющих факторов, влияющих на формирование спутникового изображения, особенно в радиодиапазоне.

Стандартные океанологические приборы и устройства обычно измеряют только высоты волн и требуют использования специализированных судов, что связано с большими затратами.

Разработанные в ТОИ ДВО РАН устройства и способы измерений основаны на регистрации и анализе временного ряда изображений морской поверхности и предназначены для оценки:

- ❖ Уклонов и высот морских волн*
- ❖ Дисперсии уклонов*
- ❖ Пространственных и временных спектров уклонов и высот*
- ❖ Углового распределения этих характеристик*

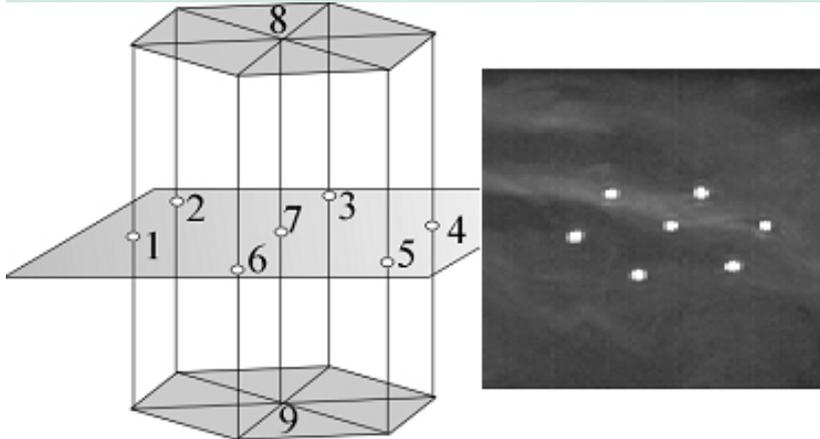
Их реализация не требует применения специализированной аппаратуры съемочной аппаратуры.



Измерения высот по сферическим поплавкам

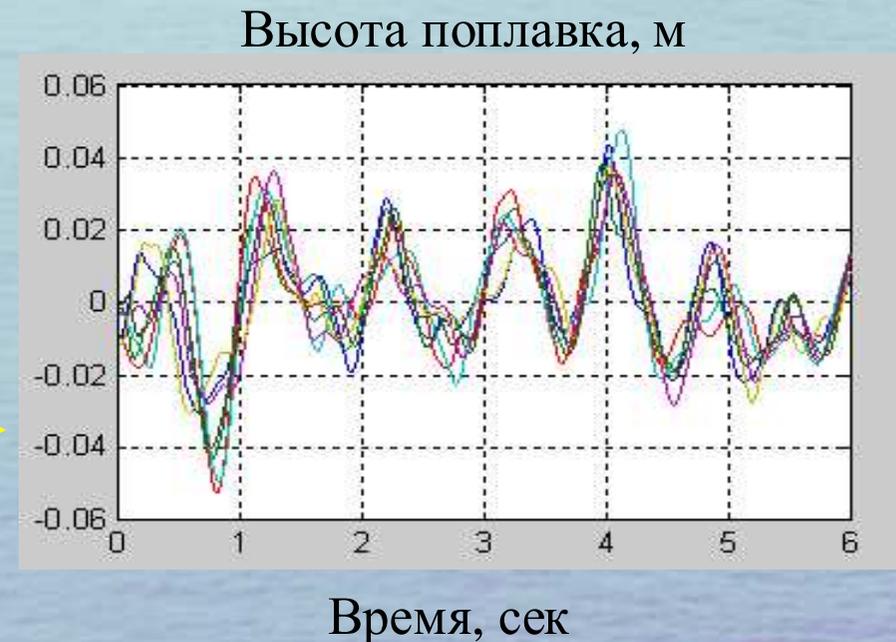
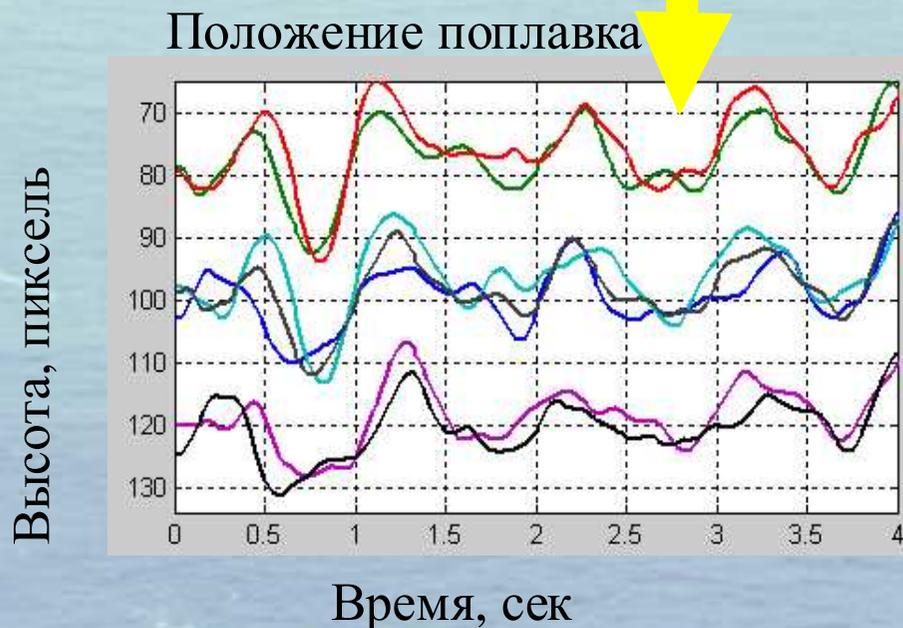
Сферические поплавки 1 -7 расположены на вертикальных направляющих. Изменение пиксельных координат поплавков определяется только изменением высоты поплавка. С помощью современных методов анализа изображений легко

Схема измерения



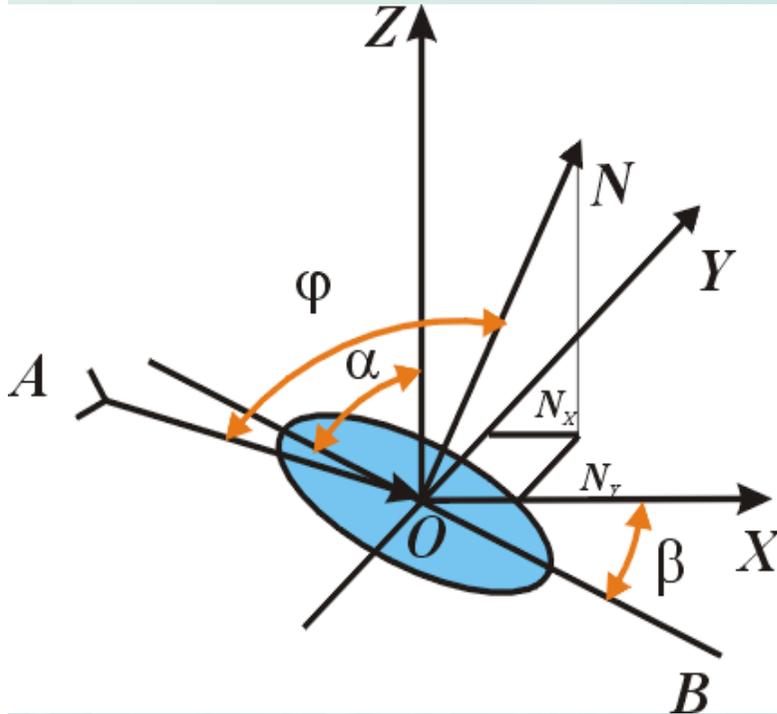
определять положение поплавков на каждом изображении временной последовательности с субпиксельной точностью, а следовательно высоты этих участков поверхности в реальном масштабе времени. По сути это аналог многострунного волнографа.

Расстояние между поплавками - 90 мм, $\alpha = 60^\circ$, частота кадров - 50 Гц.





Измерения уклонов с использованием поплавка в форме диска



Угол визирования φ определяется из соотношений:

$$\cos \varphi = S_{\varphi} / S_0 = L_{MIN} / L_{MAX},$$

где S_{φ} , L_{MAX} , L_{MIN} - площадь изображения диска и длина большой и малой осей эллипса при угле визирования φ

S_0 - видимая площадь диска при $\varphi = 0^{\circ}$

$\alpha = AOZ$ - угол визирования камеры

$\varphi = AON$ - угол визирования диска.

$\beta = XOY$ - угол наклона диска

N_X N_Y - проекции уклонов диска на оси X и Y.

$$N_X = \sin \varphi * \sin \beta;$$

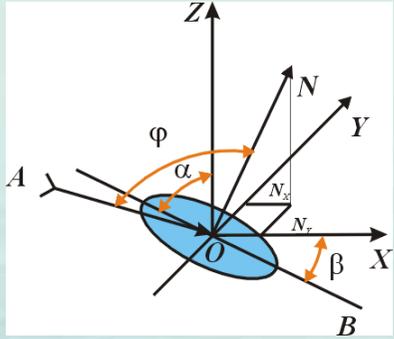
$$N_Y = \sin \varphi * \cos \alpha * \cos \beta - \cos \varphi * \sin \alpha;$$





Измерения уклонов с использованием поплавка в форме диска

Результаты *модельных* экспериментов

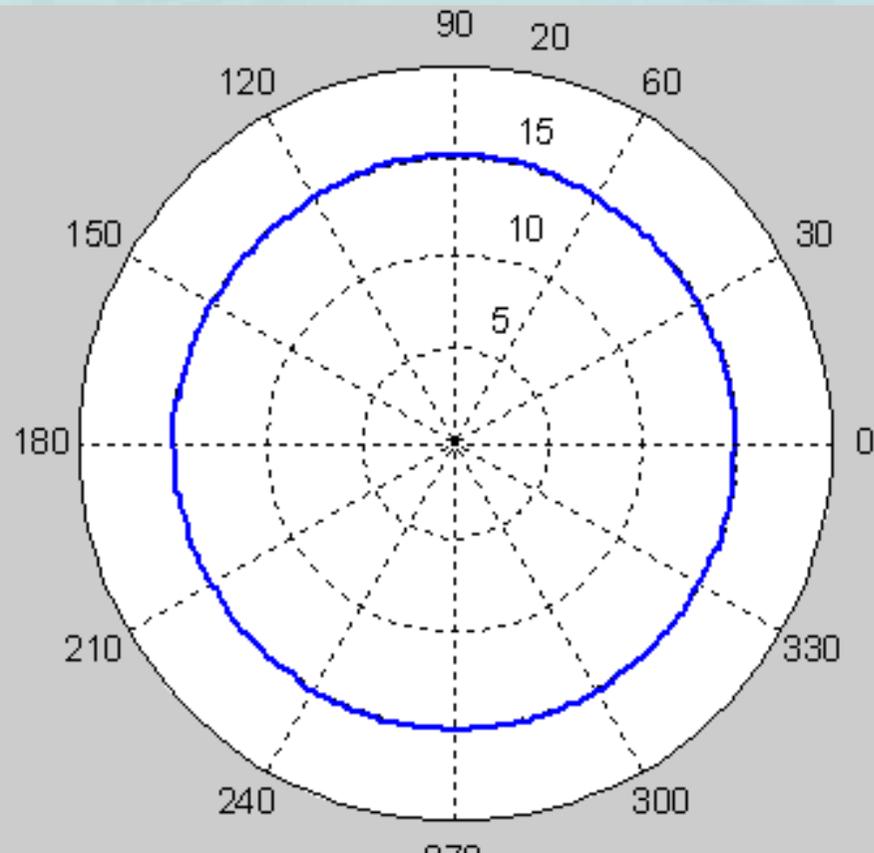
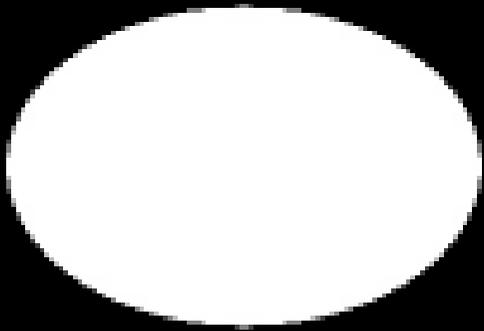


Оценивалась погрешность определения ориентации эллипса в зависимости от размера его большой оси на изображении

$L_{MAX} = 10 - 300$ пикселей, $\beta = -20^\circ - +20^\circ$, $\varphi = 40^\circ - 80^\circ$

Модельная видеопоследовательность

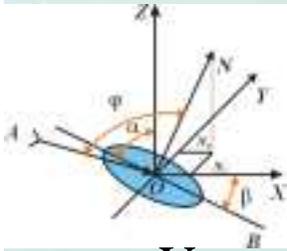
Восстановленное распределение уклонов





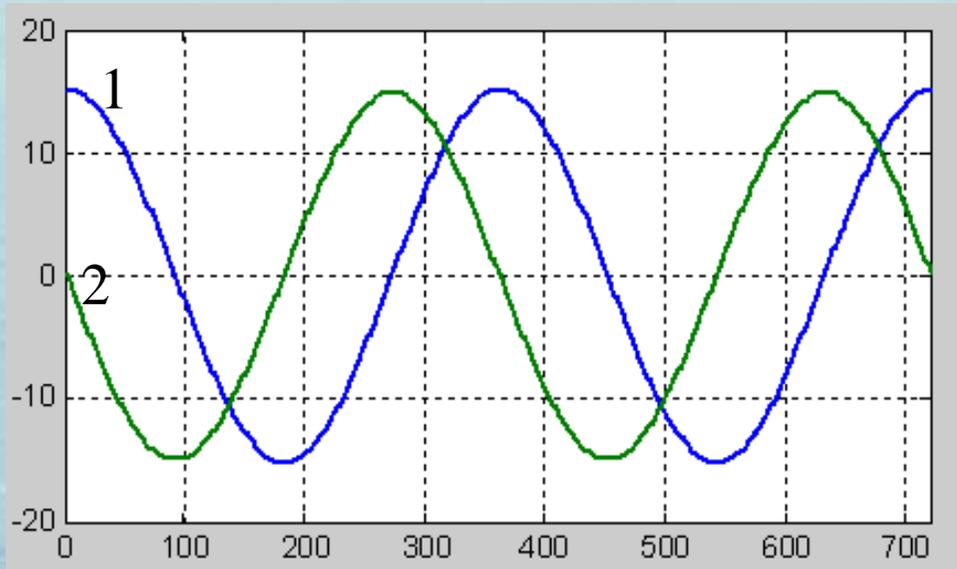
Измерения уклонов с использованием поплавка в форме диска

Результаты модельных экспериментов

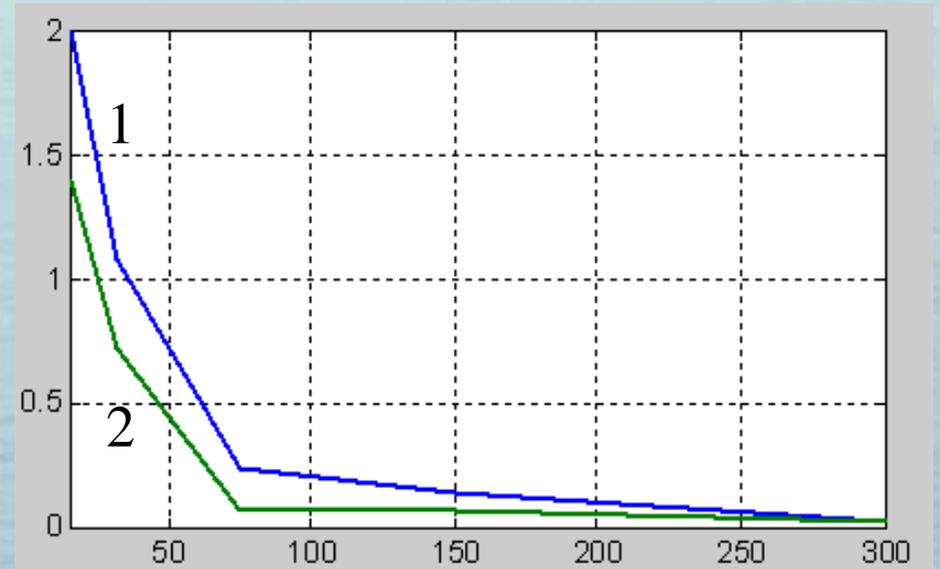


Углы наклона диска в плоскостях ОХ – 1 и ОУ – 2, полученные из анализа временного ряда модельных изображений при наклоне 15°

Погрешность определения углов наклона диска в плоскостях ОХ – 1 и ОУ – 2 (в градусах), в зависимости от размера большой оси эллипса. Наклон нормали к вертикали 20°



Номер изображения



Большая ось L_{MAX} , пиксели

При $L_{MAX} > 50$ пикселей погрешность определения ориентации диска не превышает $0,5^\circ$



Измерения уклонов с использованием поплавка в форме диска

Размер большой оси эллипса изображения диска одинаков при любой ориентации диска поэтому масштаб изображения легко определить из простых соотношений:

$$M = D/L_{MAX}$$

где D – диаметр диска в метрах

M – масштаб изображения (м/пиксель).

Поскольку в среднем поверхность горизонтальна

Средний угол наблюдения диска

$$\alpha \sim \varphi = \arccos(\overline{L}_{MIN} / \overline{L}_{MAX})$$

где \overline{L}_{MIN} – среднее по реализации,

\overline{L}_{MAX} – среднее по реализации.

Средний угол наклона диска $\beta \sim$ угол наклона камеры

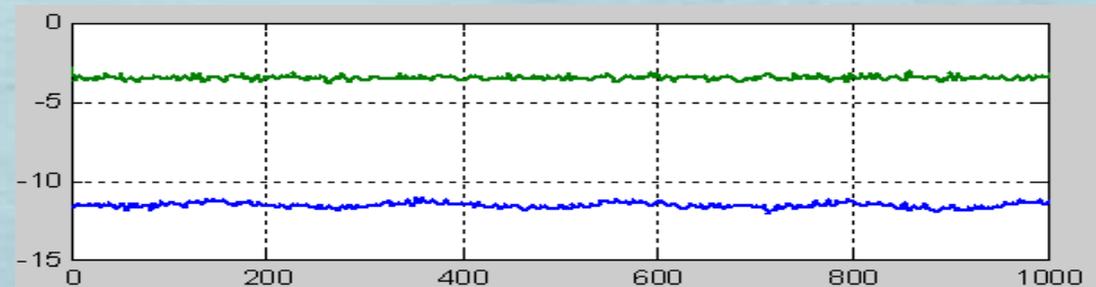


Погрешность определения ориентации камеры по средним значениям уклонов оценивалась в лабораторных экспериментах. Для этого диск снимался под разными углами визирования и наклонами камеры относительно вертикальной плоскости. Камера АСЕ –360 ч/б, матрица 1/3'', 25 кадр/сек, $\alpha=60^0$. Погрешность определения ориентации при $\varphi = 40^0 - 80^0$ $L_{MAX} > 50$ пикселей не превышала 0.2 градуса. Погрешность определения пиксельных координат центра эллипса не превышала 0.02 пикселя по обеим осям.

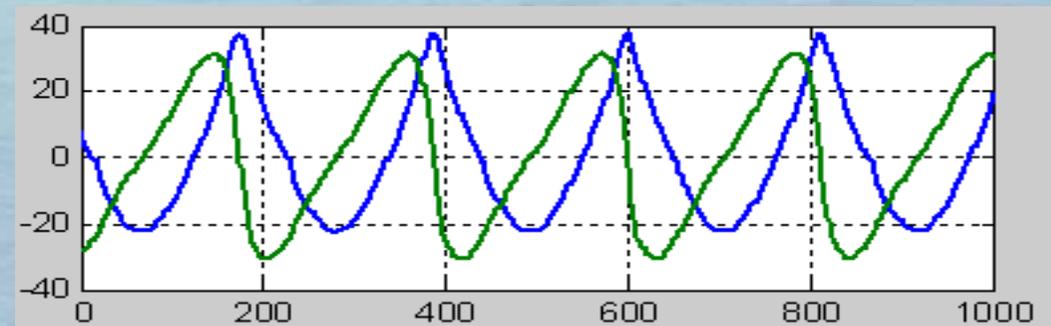
Видеопоследовательность



Проекции уклонов диск 1



Проекции уклонов диск 2



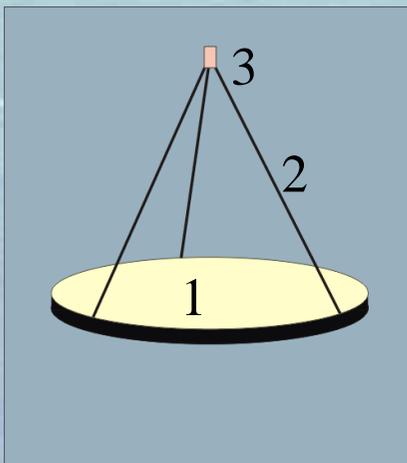


Размеры диска определяют параметры пространственного низкочастотного фильтра и могут быть выбраны в зависимости от диапазона пространственных частот, которые необходимо анализировать.

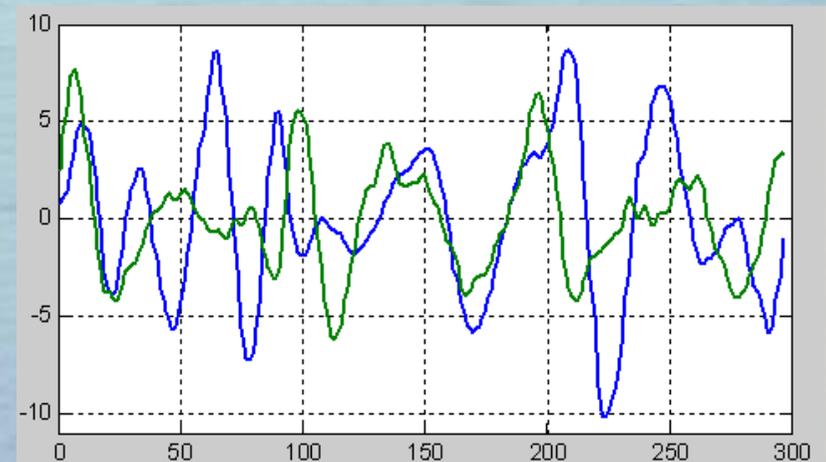
Благодаря тому, что уровенная поверхность моря горизонтальна, средний уклон при достаточной длине реализации нулевой, а средняя высота диска совпадает с высотой уровенной поверхности. Это позволяет измерять колебания поверхности моря, ориентацию камеры и пространственные масштабы изображения морской поверхности из результатов измерений. Для измерений в темное время суток можно использован диск с подсветкой

Видеопоследовательность Проекции уклонов волн градусы.

Диск с подсветкой



- 1 - диск диаметром 30 мм
- 2 - стойки
- 3 – светодиодный осветитель

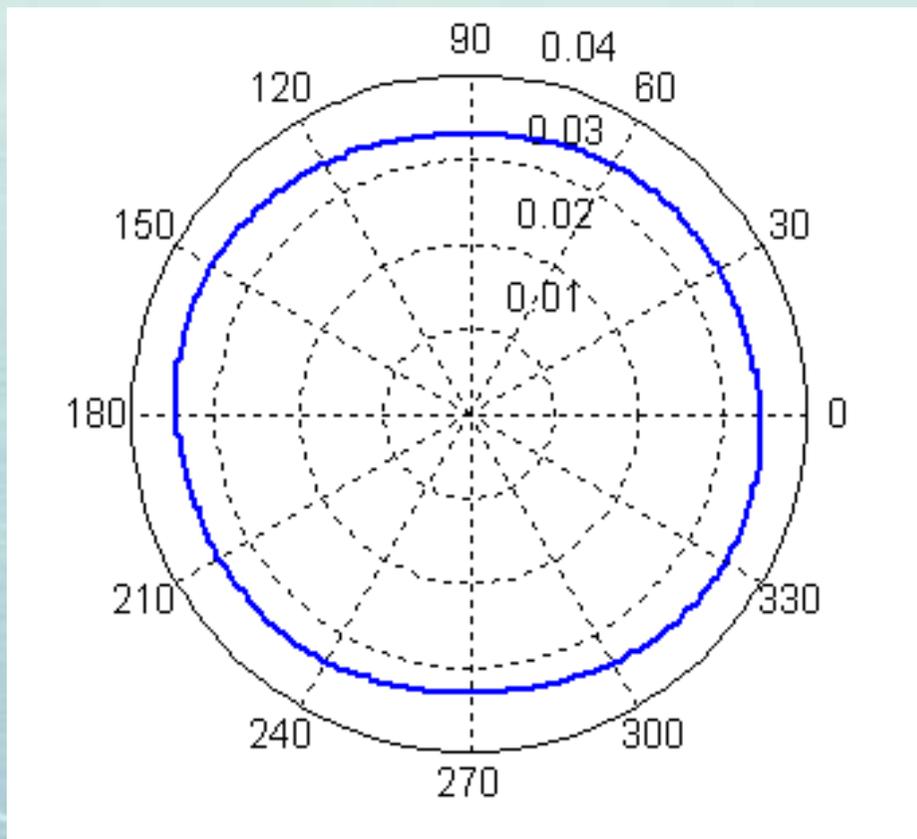


Номер кадра

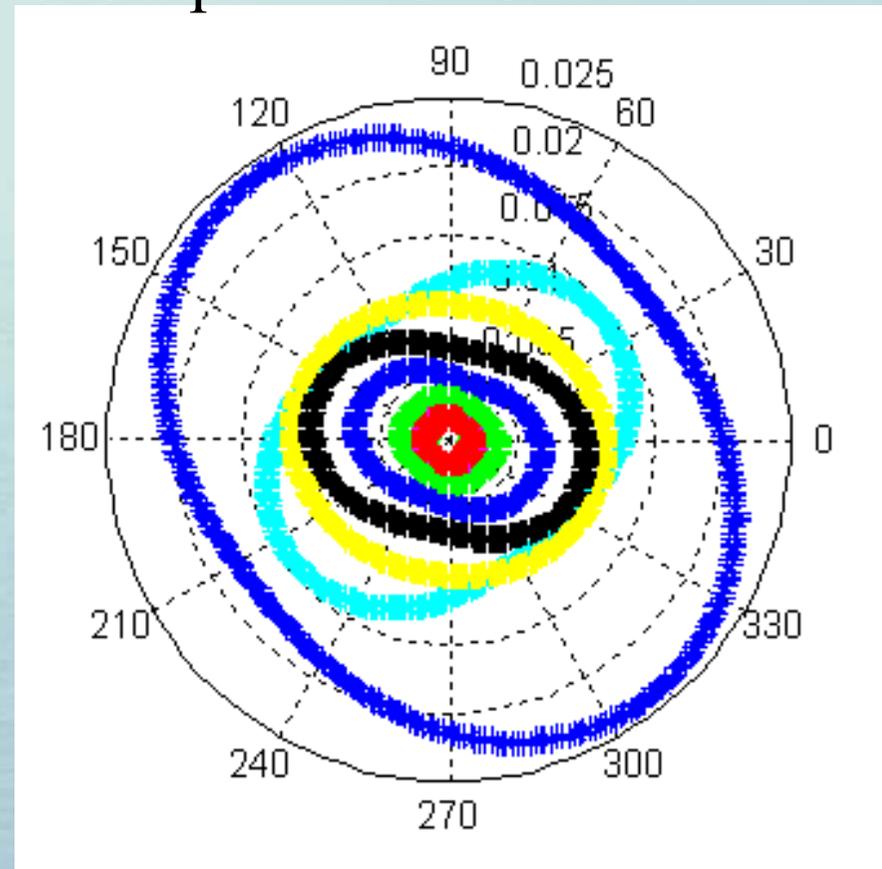


31.08.2006 01:00:43 б. "Витязь", длина временного ряда - 7740 изображений, частота кадров 8 Гц, угол визирования - 78° , высота установки камеры 90 м, расстояние до диска 420 м, камера PCO Pixelfly VGA 640x480

Дисперсия уклонов



спектральные компоненты

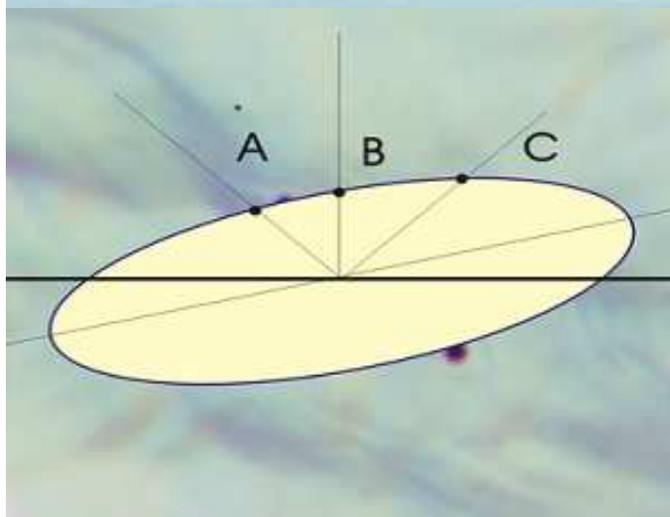


Применение этого метода позволяет следить за изменениями характеристик поверхности при проведении подспутниковых экспериментов.



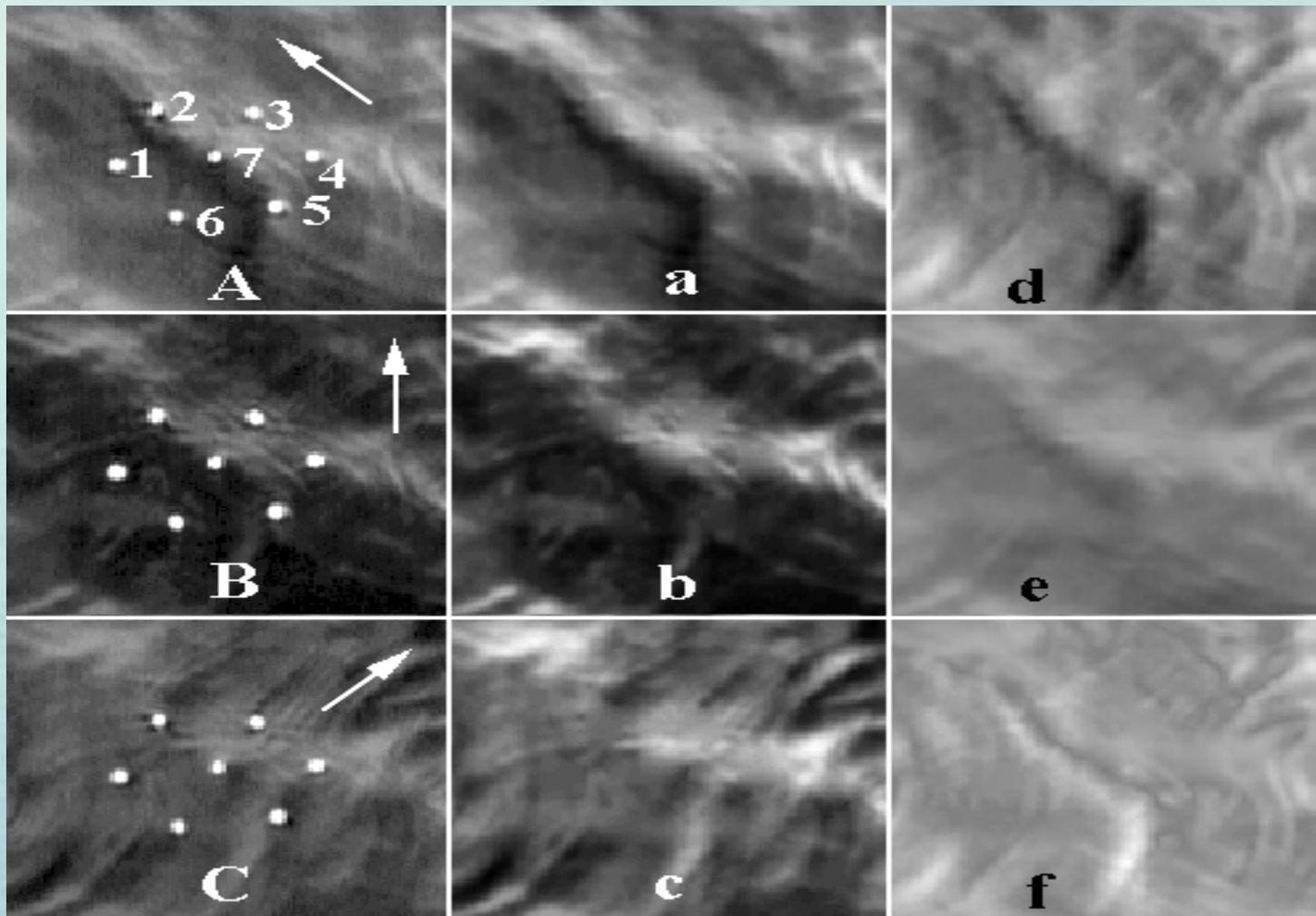
Метод поляризационной видео съемки морской поверхности при трех и более угловых положениях поляроида-анализатора основанный на изменении поляризации света при отражении от водной поверхности и анализе этих изменений.

Степень поляризации отраженного света, формирующего пиксель изображения, согласно закону Френеля определяется углом отражения φ , а ориентация плоскости поляризации β определяется плоскостью отражения, в которой находится нормаль отражающего элемента поверхности. По интенсивностям поляризационных компонент А(45⁰), В (0⁰), и С (-45⁰), определяется ориентация эллипса поляризации, его осей и далее, по аналогии с дисковым поплавком, ориентация нормали отражающего элемента



поверхности и проекции уклонов на горизонтальную плоскость. Интегрирование этих величин по полю изображения позволяет получить форму поверхности, а поплавки расположенные в поле зрения оценить точность её восстановления.

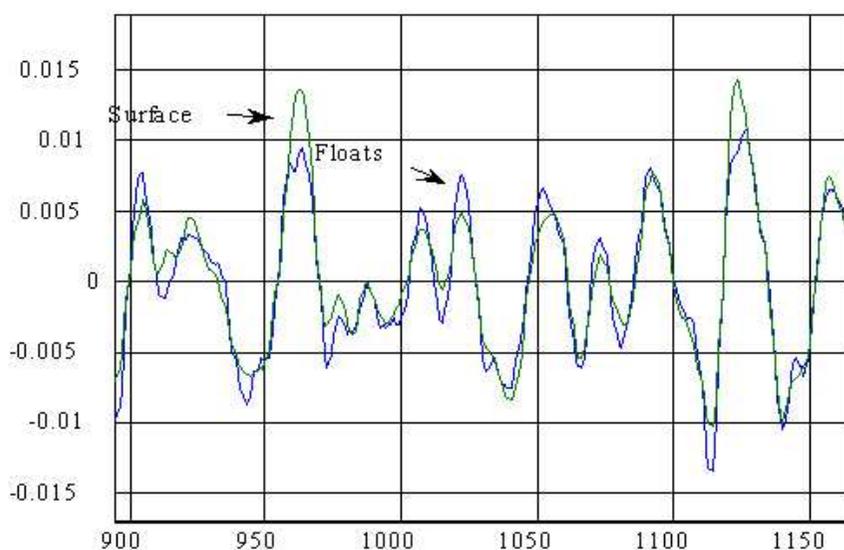
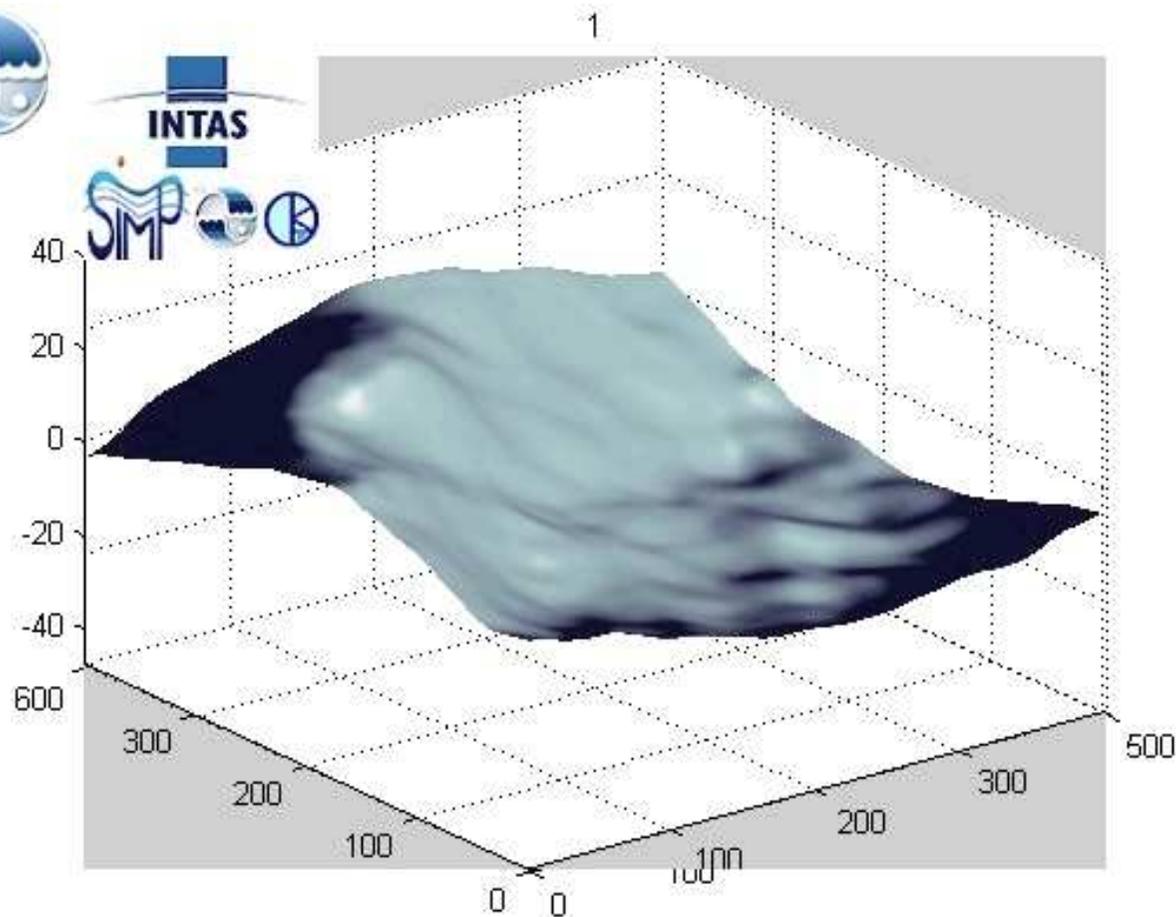
Фрагменты поляризационных изображений



А,В,С - фрагменты поляризационных изображений с поправками;
а,б,с - поправки вырезаны;
d,e - проекции уклонов на оси X и Y;
f - уклоны.(Стрелки - плоскость поляризации анализатора)



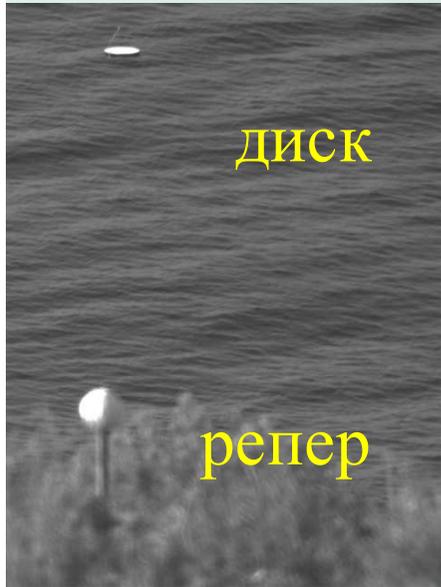
INTAS



Разница высот, элементов, полученная по координатам поплавков и по результатам поляризационной съемки не превышала 5 мм. Условия съемки такие же как на слайде 2. Идеальные условия измерений – сплошная облачность



Для учета влияния неизбежных флуктуаций ориентации
съемочной камеры полезно использовать реперы



Динамика снимков 12 09 2006 13:50 - 18:34; ветер 2.5 - 4 м/с



Динамика снимков 14 09 2006 18:30 - 20:46; ветер 2 м/с





*Возможные области применения аппаратуры, и способов **оценки характеристик морской поверхности на основе анализа временного ряда ее изображений, разработанные в ТОИ ДВО РАН:***

- мониторинг реакции характеристик морской поверхности на меняющееся поле ветра,
- бризовая циркуляция,
- влияние аэрографии,
- воздействие дождя дождь с ветром, без ветра,
- акустика: влияние поверхности на спектр шумов.

В экспериментах 2007 года часть из них будет реализована в системе контроля состояния морской поверхности ТОИ.

Работа выполнена в рамках проекта SIMP: Slicks as Indicators for Marine Processes INTAS 03-51-4987, гранта ДВО РАН 2006
«Исследования контрастных характеристик и динамики сликов»



Съемочные камеры



Pixelfly

- динамический диапазон
12 бит
- Высокое разрешение
(1280 x 1024
пикселя)
- Температурная
компенсация
- Время экспозиции 10
мкс - 10 сек



Бескорпусная TV камера
ACE-360E
32x32 мм
Разрешение 420 TV линий

Спасибо за внимание