## БИООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОД БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ И СУДОВЫМ ДАННЫМ ЛЕТОМ 2016 г. В УСЛОВИЯХ РАННЕГО КОККОЛИТОФОРИДНОГО ЦВЕТЕНИЯ

#### П.Г. Каралли

- 1.Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Москва, Россия.
- 2. Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, Россия.

#### Основные задачи исследований

- 1. Сравнительные оценки спектральных характеристик излучения, выходящего из водной толщи, по данным спутниковых измерений и с борта судна.
- 2. Оценка параметров кокколитофоридного цветения в Баренцевом море по данным дистанционного зондирования и прямых определений.

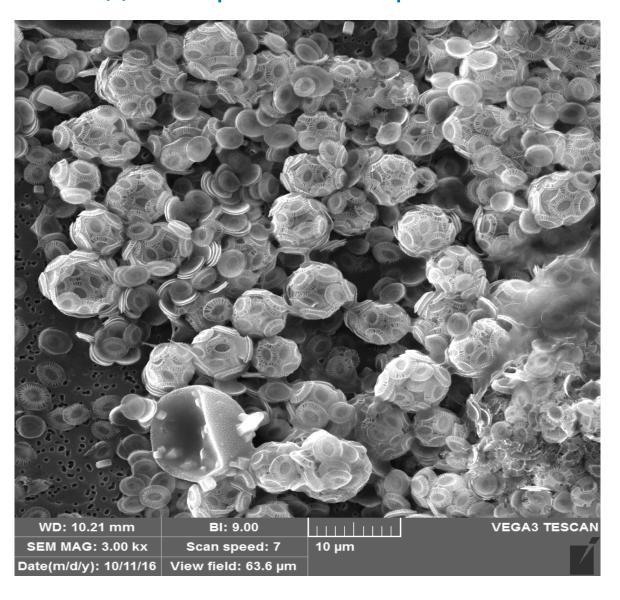
### Маршрут 65-го рейса «Академик Мстислав Келдыш» по маршруту Калининград — Архангельск



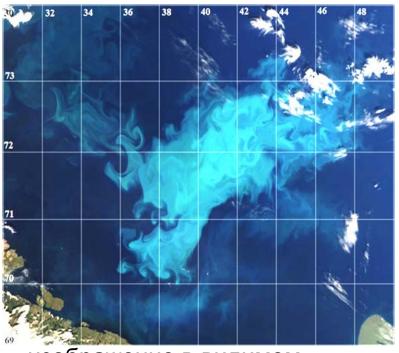
## Точки отбора проб (6524-6532) и дрейфовые станции (6533-6535) в Баренцевом море



### Клетки кокколитофорид и отделившиеся кокколиты под электронным микроскопом

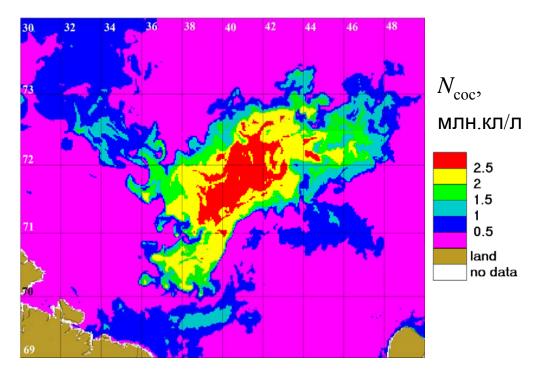


# Спутниковые изображения кокколитофоридного цветения в Баренцевом море. Сканер MODIS-Aqua. 6 июля 2016 г.



изображение в видимом цвете

(true color)



распределение концентрации клеток кокколитофорид, рассчитанное посредством регионального алгоритма

Спектрофотометры для измерений спектральных особенностей коэффициента яркости моря являются одними из основных гидрооптических приборов при проведении океанологических подспутниковых экспериментов для опорной калибровки космических сканеров цвета нового поколения.

#### Плавающий спектрорадиометр







ошибки могут возникать из-за затенения корпусом судна или самого прибора, попадание прямых солнечных бликов, необходимость вычитать из измеренной яркости восходящего излучения составляющей, связанной с отраженными излучением небосвода

### Технические характеристики плавающего спектрорадиометра

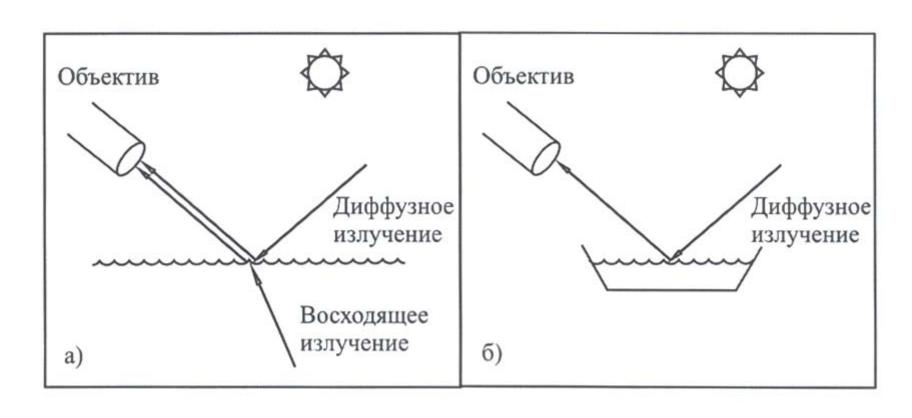
- Динамический диапазон канала облученности 3 ÷0,003 *Bm/м*<sup>2</sup> ∗*нм*;
- Канала яркости 2<sub>∗</sub>10<sup>7</sup> ÷ 2<sub>∗</sub>10<sup>4</sup> Bm/м<sup>3</sup><sub>∗</sub>ср;
- Спектральный диапазон измерений 390-700 *нм*;
- Разрешение по спектру 2,0 нм;
- Время сканирования по спектру 15 секунд.
- Абсолютная погрешность измерения яркости и облученности 5%.

# Палубный спектрофотометр, его характеристики

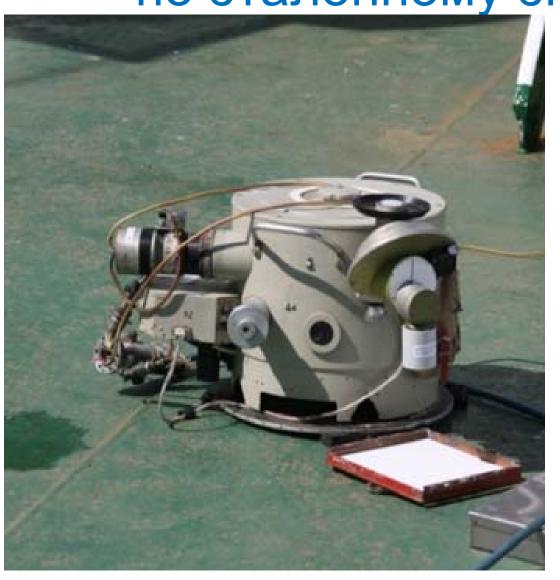


- Спектральный диапазон измерений 360-780 нм;
- Разрешение по спектру 10 *нм*;
- Время сканирования по спектру – 40-180 с.
- Абсолютная погрешность измерения яркости и облученности – 5%.

## Схема измерения коэффициента яркости излучения, вышедшего из водной толщи, (а) и отраженного от поверхности моря (б)



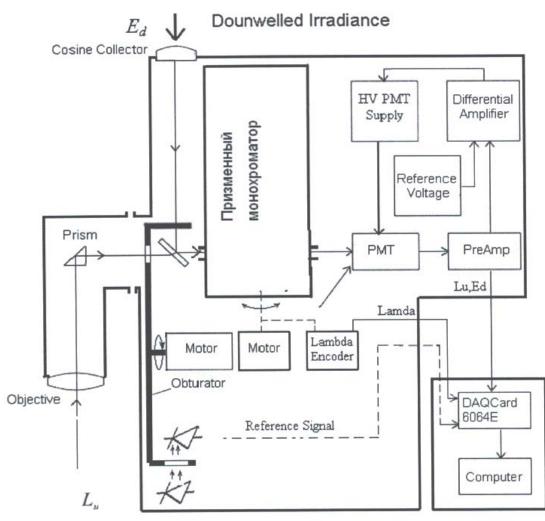
# Калибровка спектрофотометра по эталонному экрану



$$R_{rs}(\lambda) = \frac{S_{sea}(\lambda)}{\frac{5.655 * S_{ser}(\lambda)}{R_{ser}(\lambda)}}$$

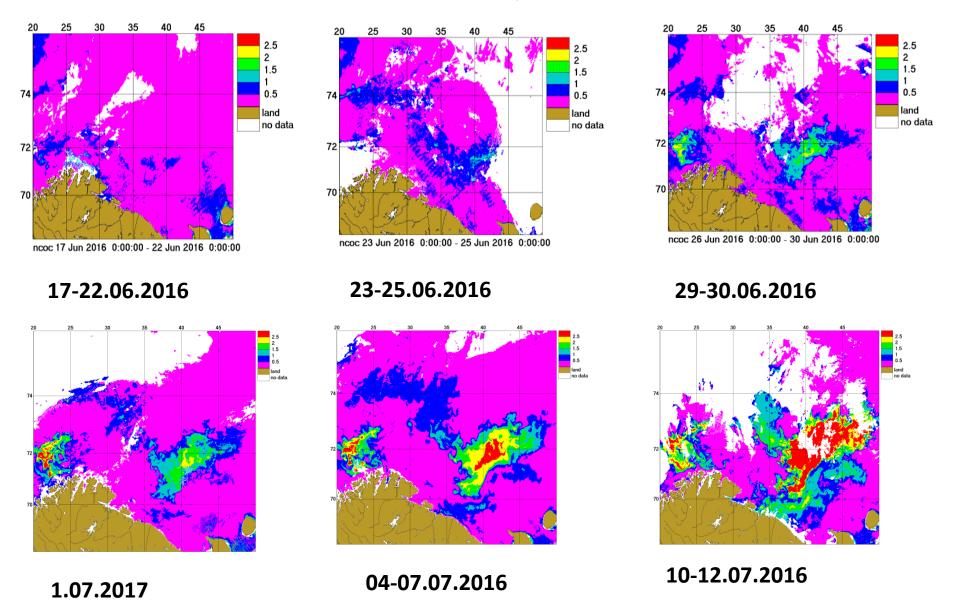
Где Ssea - сигнал при измерениях моря, Sscr - сигнал при измерениях экрана с насадкой, 5.655 — ослабление насадки, Rrs - коэффициент яркости моря умноженный на рі, Rscr - коэффициент яркости экрана.

### Функциональная схема палубного спектрофотометра для измерения коэффициента яркости водной толщи



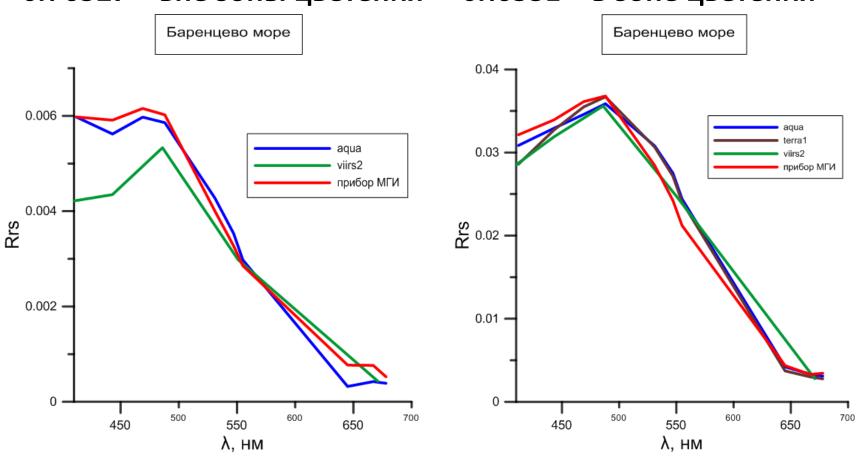
Upwelled radiance

Зарождение и развитие КЦ в Баренцевом море с 17.06 по 12.07.2016 по данным MODIS-Aqua (даны распределения концентрации клеток кокколитофорид,  $N_{\rm coc}$ , млн.кл./л)



Сопоставление данных спутниковых измерений спектрального коэффициента яркости моря Rrs с данными судовых измерений палубным спектрорадиометром (розовые кривые) на двух станциях в Баренцевом море

ст. 6527 – вне зоны цветения ст.6531 – в зоне цветения



#### Расчет bbp

$$b_{bp} = b_{cf}^{*} N_{cf} + b_{bc}^{*} N_{c}$$

 $\Gamma$ де  $N_{cf}$  — концентрация клеток кокколитофорид,

 $N_c$  - концентрация клеток кокколит,

 $b_{bcf}$  — коэффициент рассеяния клетки и примерно равен 6,6 \*  $10^{-12}$  ,

 $b_{bc}$  — коэффициент рассеяния кокколита, который равен 1,6 \*  $10^{-13}$ .

	bbp, м-1			
№ станции	рассчитанное	спутниковые	прибор МГИ	
	по ф-ле	данные		
6527	0,0042	0,0041	0,0040	
6528	0,0018	0,0038	0,0045	
6530	0,0556	0,0300	0,0304	
6531	0,0832	0,0322	0,0258	
6532	0,0286	0,0130	0,0118	
6533	0,0350	0,0104	0,0196	

### Расчет концентрации клеток кокколитофорид Ncf

$$N_{cf} = \frac{152*b_{cf}^*}{(1+0,024\alpha)} = K*b_{bp}$$
 Где параметр  $\alpha = {N_c}/{N_{cf}}$ 

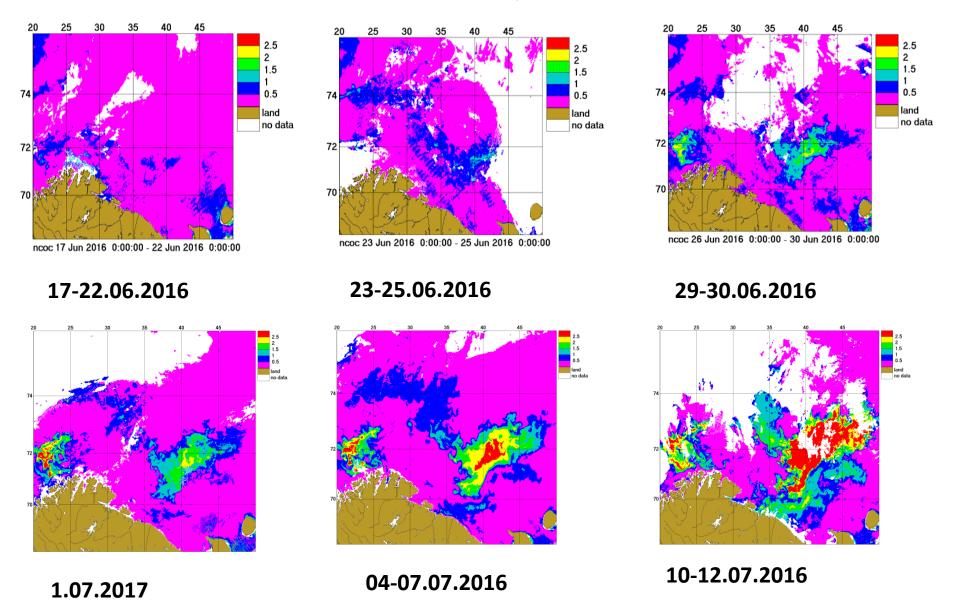
 $K\sim3$ 

Упрощенная формула для расчетов концентрации кокколитофорид:

$$N_{cf} = b_{bp} * 66$$
 [106 KЛ/л]

	Ncf			
№станции	спутниковые	прибор	прямые	
	данные	МГИ	определения	
27	0,27	0,26	0,61	
28	0,25	0,30	0,17	
30	1,98	2,01	7,51	
31	2,13	1,70	12,00	
32	0,86	0,78	4,15	
33	0,69	1,29	5,09	

Зарождение и развитие КЦ в Баренцевом море с 17.06 по 12.07.2016 по данным MODIS-Aqua (даны распределения концентрации клеток кокколитофорид,  $N_{\rm coc}$ , млн.кл./л)

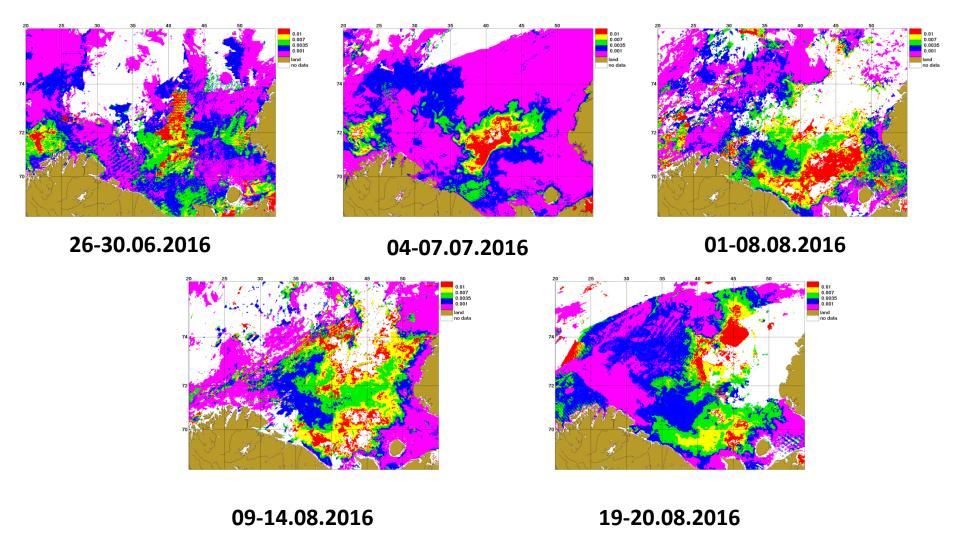


Расчеты PIC
Концентрация взвешенного неорганического углерода
(Particulate Inorganic Carbon - PIC)

$$PIC = 2 * (15 * N_{cf} + N_C) * 10^{-3}$$

	PIC			
	Упрощенная	Упрощенная ф-ла	NASA,	
№ станции	ф-ла(спутниковое)	(прибор МГИ)	мг/л	
6527	0,0025	0,0025	0,0020	
6528	0,0023	0,0028	0,0006	
6530	0,0184	0,0187	0,0301	
6531	0,0198	0,0158	0,0409	
6532	0,0080	0,0072	0,0139	
6533	0,0064	0,0120	0,0170	

Изменение пространственных распределений концентрации взвешенного неорганического углерода (Particulate Inorganic Carbon – PIC), рассчитанного по стандартному алгоритму НАСА в период кокколитофоридных цветений в 2016 г.



#### Заключение

- По спутниковым данным было обнаружено необычно раннее и интенсивное кокколитофоридное цветение (КЦ) в Баренцевом море. Обычно КЦ происходят в августе, редко в июле и сентябре; в 2016 г. интенсивное КЦ наблюдалось уже в первой декаде июля.
- Сопоставление спектральных характеристик излучения, выходящего из водной толщи, по данным спутниковых и судовых измерений показало их хорошее соответствие при благоприятных погодных условиях.
- По данным дистанционных измерений были рассчитаны параметры кокколитофоридных цветений. Сопоставление рассчитанных числовых концентраций клеток кокколитофорид с данными прямых определений показало их значительное различие. Главная причина меньшие размеры клеток, по сравнению с теми, которые были при разработке алгоритмов.
- Учет этого фактора, также как и изменение соотношения между количеством отделившихся кокколитов и полноценных клеток, требует дальнейших исследований.

Автор выражают признательность заведующему Отделом оптики и биофизики моря МГИ РАН (Севастополь) проф. М.Е. Ли

за предоставленную возможность использовать в рейсе палубный спектрофотометр МГИ, а также ст. научному сотруднику ИО РАН к. б. н. Л.А. Паутовой и зав. Лабораторией экологии ЮО ИО РАН д.б.н. В.А. Силкину за предоставленные данные по количественному и видовому составу фитопланктона.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00800), предоставленного через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

### Спасибо за внимание!