

Оценка глубины перемешанного слоя (MLD) по спутниковым и судовым данным и его влияние на кокколитофоридное цветение в Баренцевом море в летний сезон



Муравья Валерия Олеговна
muravya.vo@ocean.ru

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
Московский физико-технический институт (государственный университет), МО, г.Долгопрудный



Взвешенный неорганический углерод продуцируется в Мировом океане повсеместно в процессе жизненных циклов рифовых биосистем, макрофитов или планктонных сообществ. Основным продуцентом взвешенного неорганического углерода в морских биосистемах являются кокколитофориды. В этой планктонной группе выделяется *Emiliania huxleyi* – микроводоросль, влияющая на важные физические и биогеохимические процессы, в частности, «окисление» (acidification) поверхностного слоя вод. Она также является сильным продуцентом CoCO_2 , и оказывает существенное влияние на обмен углекислым газом между океаном и атмосферой, что обуславливает действие «карбонатного биологического насоса». Вследствие сильного светорассеяния, а также продуцирования диметилсульфида, которое приводит к усилению облачности, *Emiliania huxleyi* может существенно увеличивать альбедо океана и тем самым влиять на баланс солнечного излучения и тепловой баланс океана.

Баренцево море (БМ) является самым западным окраинным морем, относящимся к арктическому российскому бассейну Северного Ледовитого океана. За последние 20 лет, при помощи дистанционного зондирования Земли была выявлена возрастающая концентрация кокколитофоридов в летнее время, что приписывается большому вкладу атлантических вод. Один из основных факторов, влияющих на возникновение и интенсивность кокколитофоридного цветения (КЦ) в Баренцевом море — глубина верхнего перемешанного слоя (MLD).

Цели и задачи

Цель работы: оценка влияния глубины перемешанного слоя (MLD) на кокколитофоридное цветение в Баренцевом море (внимание было уделено как спутниковым, так и судовым данным)

Задачи исследования

- нахождение наиболее точного способа расчёта глубины перемешанного слоя по спутниковым данным, что позволит получить гораздо больший объем информации о влиянии MLD на КЦ (Для решения этой задачи была выполнена оценка точности выбранного алгоритма, используя значения, полученные по данным натурных измерений в качестве эталонных);
- сопоставить распределение клеток кокколитофорид и MLD.

Материалы

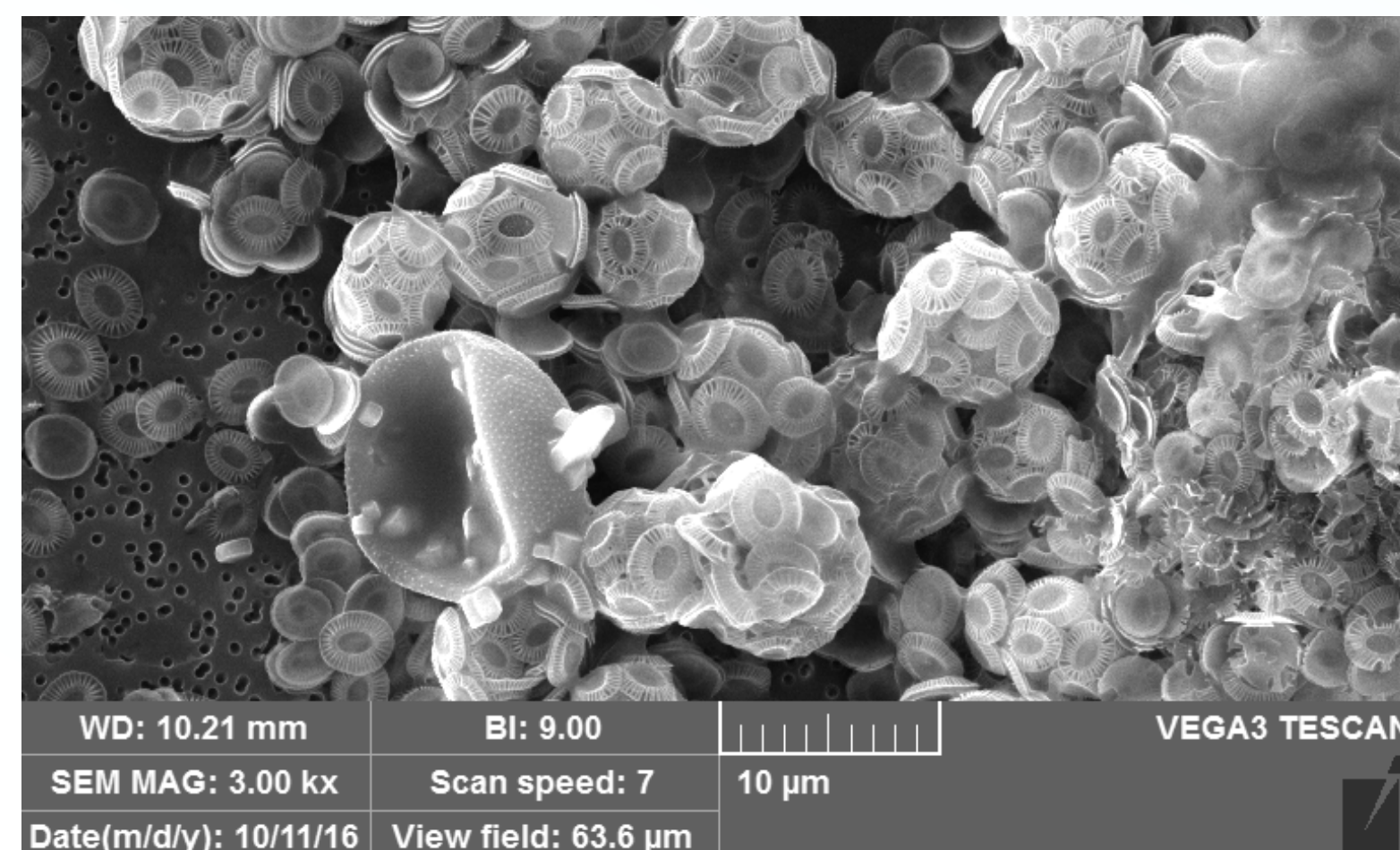
Концентрации клеток кокколитофорид N_{coc}

Для расчёта концентрации клеток кокколитофорид N_{coc} в период кокколитофоридных цветений в Баренцевом море по данным дистанционных измерений, в том числе спутниковых, применялся региональный алгоритм (Копелевич и др., 2012):

$$N_{\text{coc}} = 152 * \text{bbp} / (1 + 0.02 \alpha) = K * \text{bbp}$$

где bbp — показатель рассеяния назад, $\alpha = \text{Nir}/N_{\text{coc}}$, N_{coc} и Nir — концентрации клеток кокколитофорид и отделившихся кокколитофидов, соответственно.

Вышеописанным методом были рассчитаны концентрации клеток кокколитофорид N_{coc} в период кокколитофоридных цветений в Баренцевом море по ежедневным данным спутникового сканера уровня L2 MODIS Aqua, полученных с сайта <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>



Методология

Глубина перемешанного слоя (MLD)

Алгоритм расчёта по натурным данным.

- Критерий разности температур: изменение температуры с поверхности океана должно соответствовать $T = 0,5^\circ\text{C}$

$$T = T_{(z=0)} - T_{(z=\text{MLD})}$$

- Критерий фиксированной плотности: изменение условной плотности с поверхности океана должно соответствовать $\sigma = 0,03 \text{ у.е.}$

$$\sigma = (\rho(\text{г}/\text{см}^3) - 1) * 103 = \rho(\text{кг}/\text{м}^3) - 1000$$

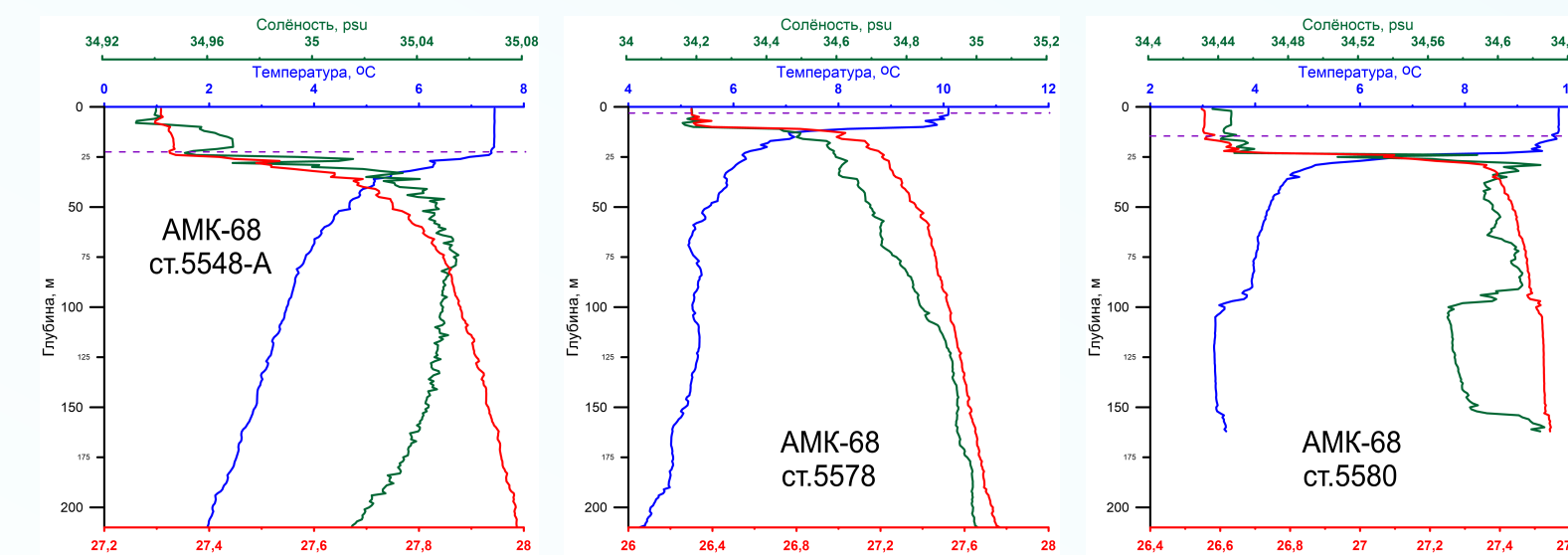
где ρ — потенциальная плотность, вычисленная по температуре и солености, через международное уравнение состояния морской воды.

- Критерий разности переменной плотности: изменение переменной плотности с поверхности океана, соответствующее изменению температуры на $0,5^\circ\text{C}$

$$S_{10\text{m}} = 35 \text{ psu}, \theta_{10\text{m}} = 25^\circ\text{C}: \Delta\sigma_0 = 0.060 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$S_{10\text{m}} = 35 \text{ psu}, \theta_{10\text{m}} = 15^\circ\text{C}: \Delta\sigma_0 = 0.044 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$S_{10\text{m}} = 35 \text{ psu}, \theta_{10\text{m}} = 5^\circ\text{C}: \Delta\sigma_0 = 0.023 \text{ кг}/\text{м}^3$$



Алгоритм расчёта по спутниковым данным

Swain J. et al. в 2003 году сформулировали простую статистическую модель для прогнозирования вариации MLD из-за вынужденного перемешивания с использованием скорости ветра (U), периода (Ts) и значительной высоты волны (Hs). Перед формулировкой были протестированы две простые эмпирические модели и в итоге получили уравнение для расчёта:

$$\text{MLD} = 12,5 * H_s + 0,2 * (U * T_s)$$

Термическая инерция включает в себя «температурный отклик» поверхности, подверженной изменяющейся во времени потоку тепловой энергии. Понятие тепловой инерции очень похоже на понятие теплоёмкости в твёрдых телах. Это означает, что, если вещество имеет большую теплоёмкость, оно обычно имеет большую тепловую инерцию и небольшой диапазон температурных изменений. Для океана формула термического отклика будет выглядеть вот так (Xiao-Hai Yan et al, 1990):

$$\delta T = 2Q / \omega^{1/2} * \delta \text{SST}$$

где Q — это поверхностный тепловой поток, ω — частота измерений, δSST — градиент поверхностной температуры за определенный момент времени.

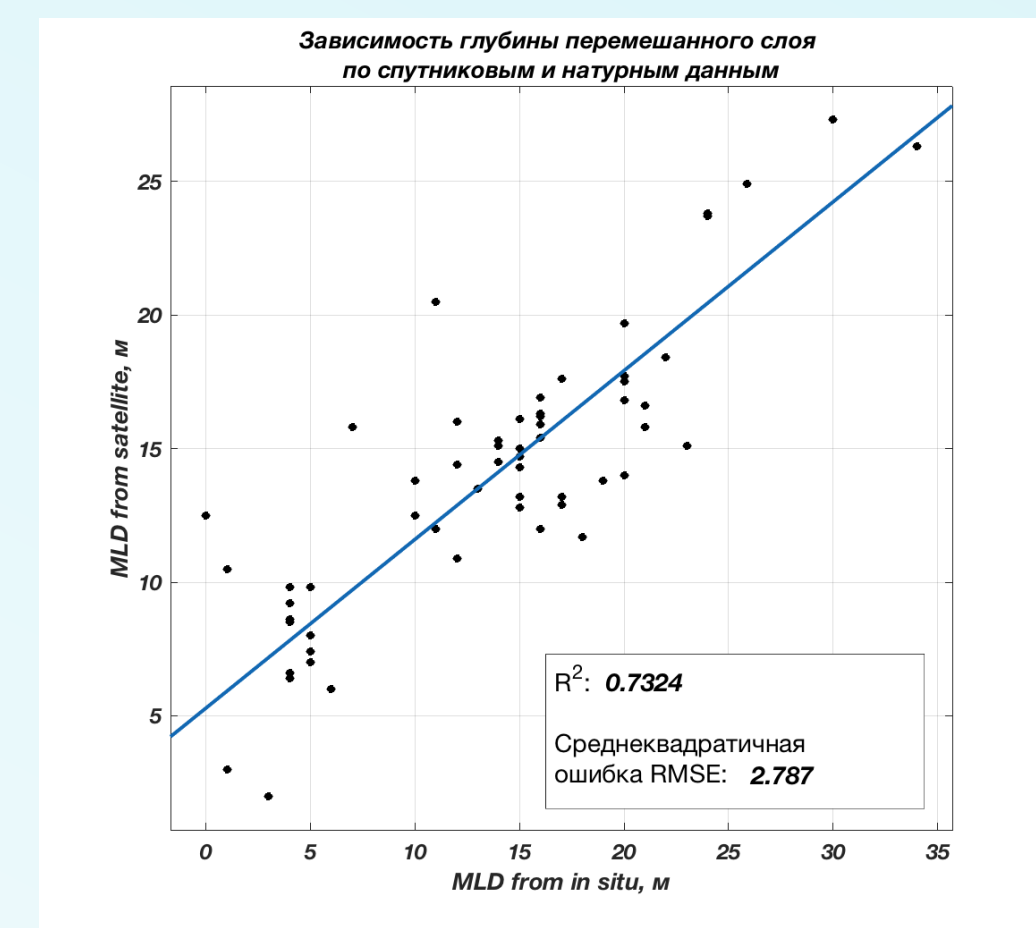
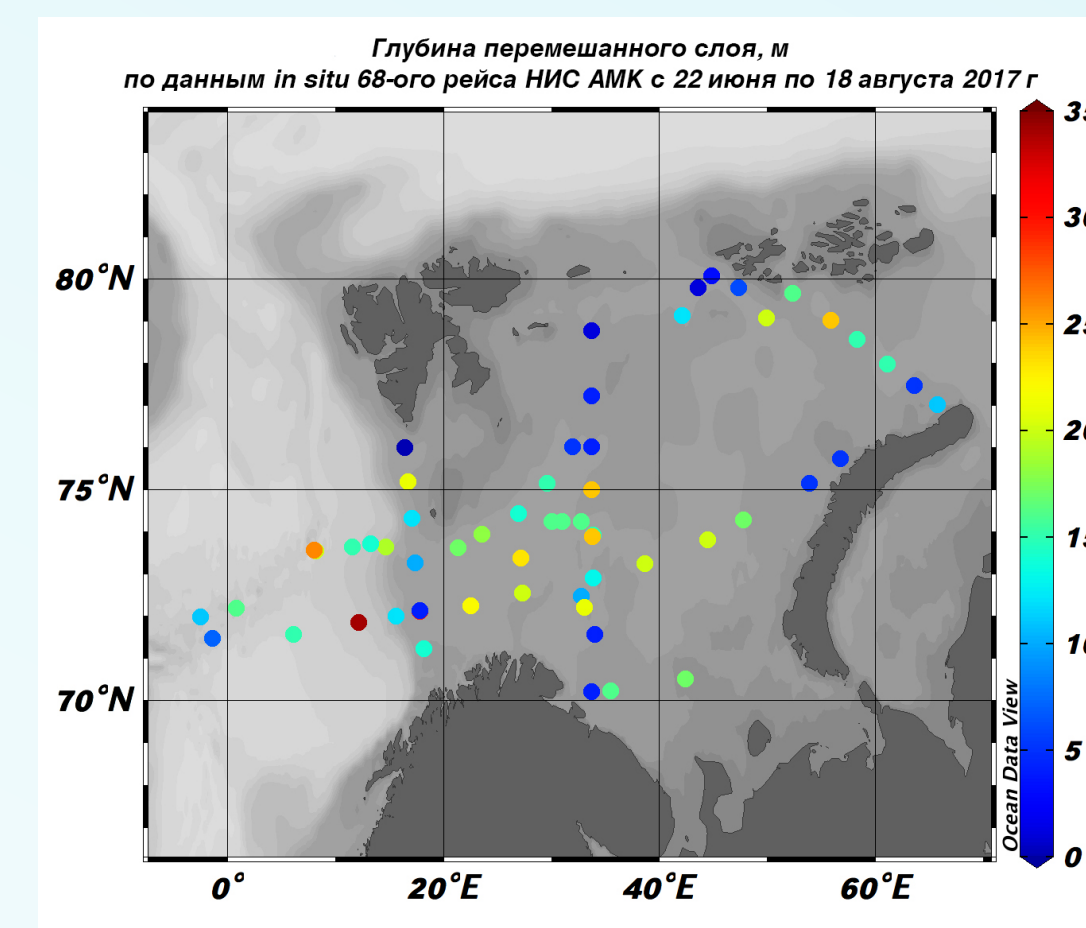
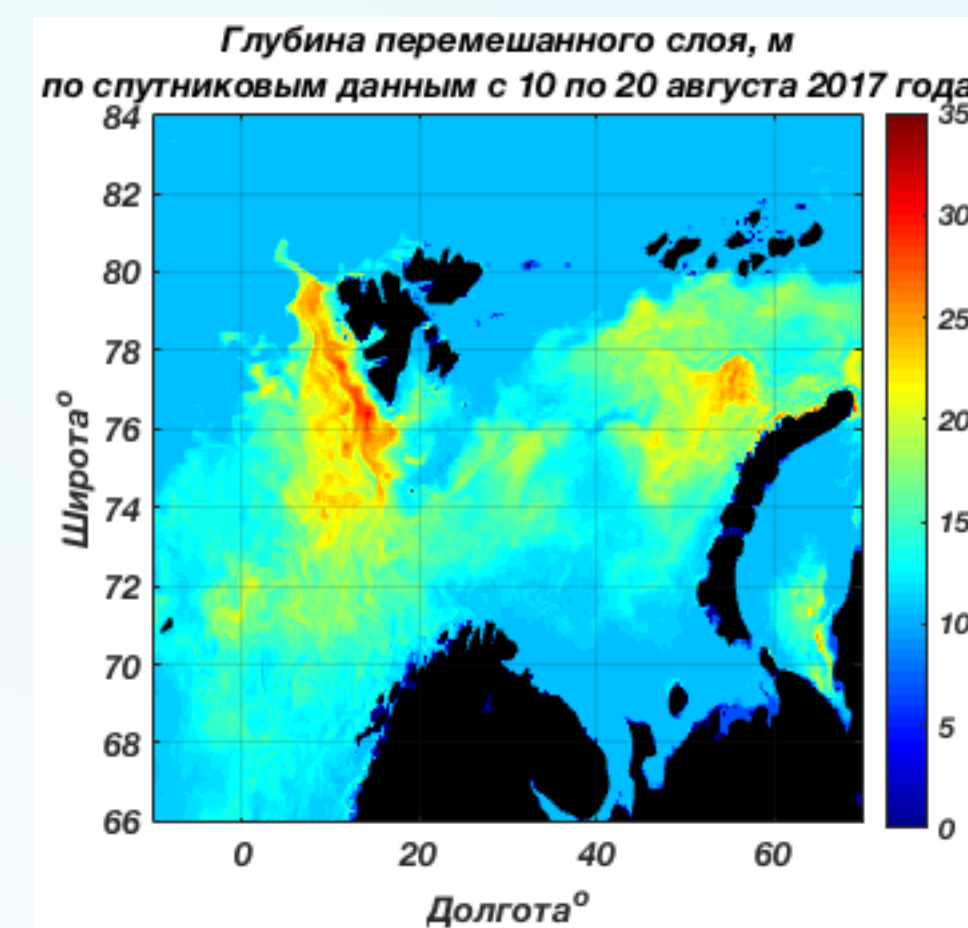
При расчёте MLD по спутниковым данным на первом этапе использовались средние за 10 дней

- данные по температуре с MODIS(Aqua)
- данные реанализа с сайта ECMWF (<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/>) для определения альбедо поверхности.

Результаты

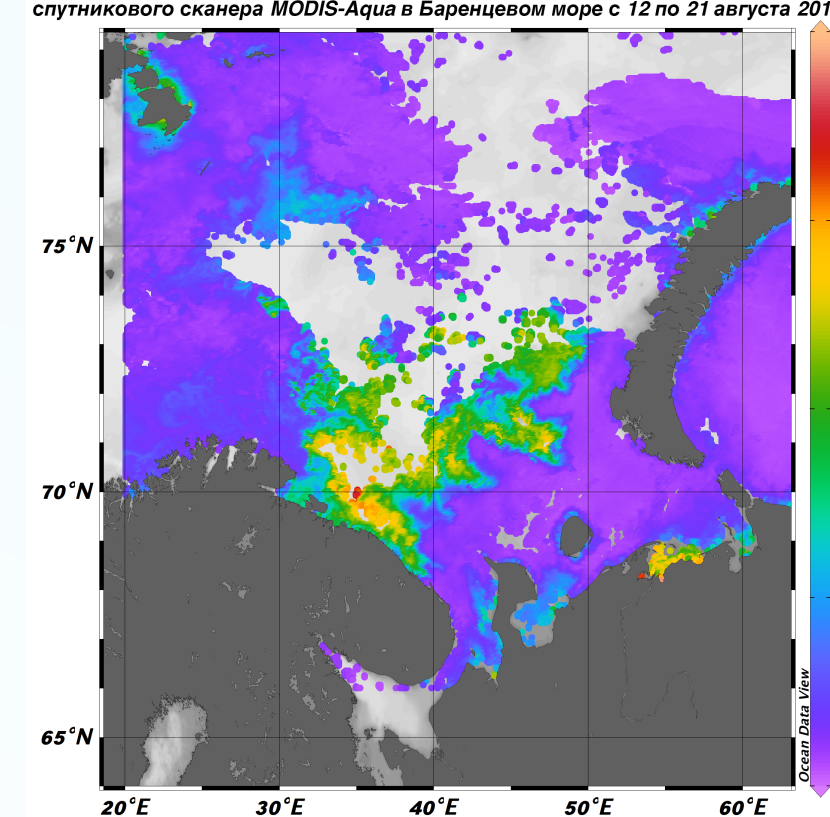
Сравнительный анализ MLD по данным спутниковых и судовых измерений

Выполнена оценка точности выбранного алгоритма, используя значения, полученные по данным натурных измерений в качестве эталонных. Среднее значение глубины перемешанного слоя по натурным данным составляет 13,9 м, по спутниковым 14,2 м, а среднее значение абсолютной ошибки = 0,4 м.



Корреляция между MLD по спутниковым и натурным данным получилась высокая: коэффициент детерминации R^2 равен 0,73 для осредненных данных за весь период рейса, при среднеквадратичной ошибке 2,79.

Концентрация клеток кокколитофорид, N_{coc} , млн.кл./л по данным спутникового сканера MODIS-Aqua в Баренцевом море с 12 по 21 августа 2017 г



Анализ влияния глубины перемешанного слоя на кокколитофоридное цветение.

№ст.	MLD in situ, м	MLD satellite, м	Глубина максимальной концентрации N_{coc} , м	N_{coc} , млн.кл./л	Chl, мкг/л
5544	14,0	15,3	15	6,45	1,8
5548	15,0	14,3	5	1,1	2,6
5576	10,0	12,5	5	6,31	1,061
5577	21,0	16,6	33	4,11	
5578	4,0	8,5	5	3,02	0,64
5579	4,0	6,6	17	2,51	1,33
5580	16,0	12,0	10	5,03	1,75
5581	17,0	12,9	15	1,85	1,49

Выводы

- с помощью алгоритма расчёта глубины перемешанного слоя по спутниковым данным можно получить значения близкие к действительным, рассчитанным по натурным данным.
- КЦ соответствуют значения MLD в диапазоне от 4 до 17 м, тогда как по судовым данным максимальное значение MLD составило 34 м. Глубина максимальной концентрации N_{coc} в большинстве случаев соответствует глубине перемешанного слоя.