



Валидация алгоритма оценки по спутниковым данным показателя диффузного ослабления солнечного излучения в водах Белого моря

Вазюля С.В., Копелевич О.В., Григорьев А.В., Храпко А.Н.

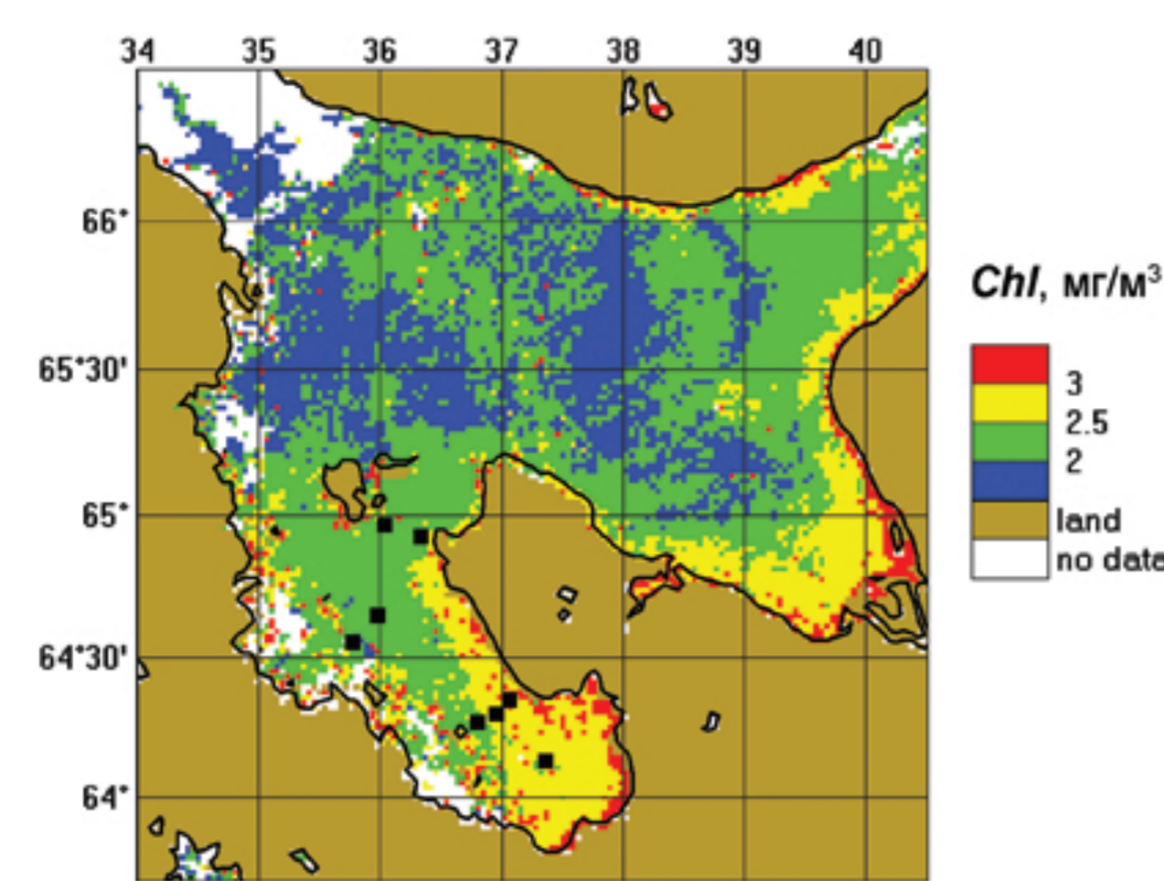
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Введение

Показатель диффузного ослабления подводной облученности K_d определяет проникновение солнечного излучения в водную толщу, его значение можно оценить по спутниковым данным и использовать для оценки величины фотосинтетически активной радиации (ФАР) в приповерхностном слое (Вазюля, Копелевич, 2012). В настоящее время величина $K_d(490)$ для 490 нм входит в число стандартных продуктов обработки данных спутниковых сканеров цвета, однако стандартный алгоритм не всегда позволяет получить корректные оценки для внутренних морей, таких как Белое море.

В Лаборатории оптики океана ИО РАН разработан алгоритм оценки по спутниковым данным показателей поглощения окрашенного органического вещества и диффузного ослабления солнечного излучения в водах Белого и Карского морей (Вазюля и др., 2014). Для создания алгоритма в основном использовались данные для Карского моря. Для Белого моря были использованы данные только для одной станции вблизи Терского берега. Косвенная проверка алгоритма для вод Белого моря проводилась по данным натурных измерений концентрации взвеси.

В докладе представлены результаты валидации алгоритма расчета спектрального показателя K_d по спутниковым данным на основе данных натурных измерений в Белом море на НИС «Эколог» в июне 2015 г.



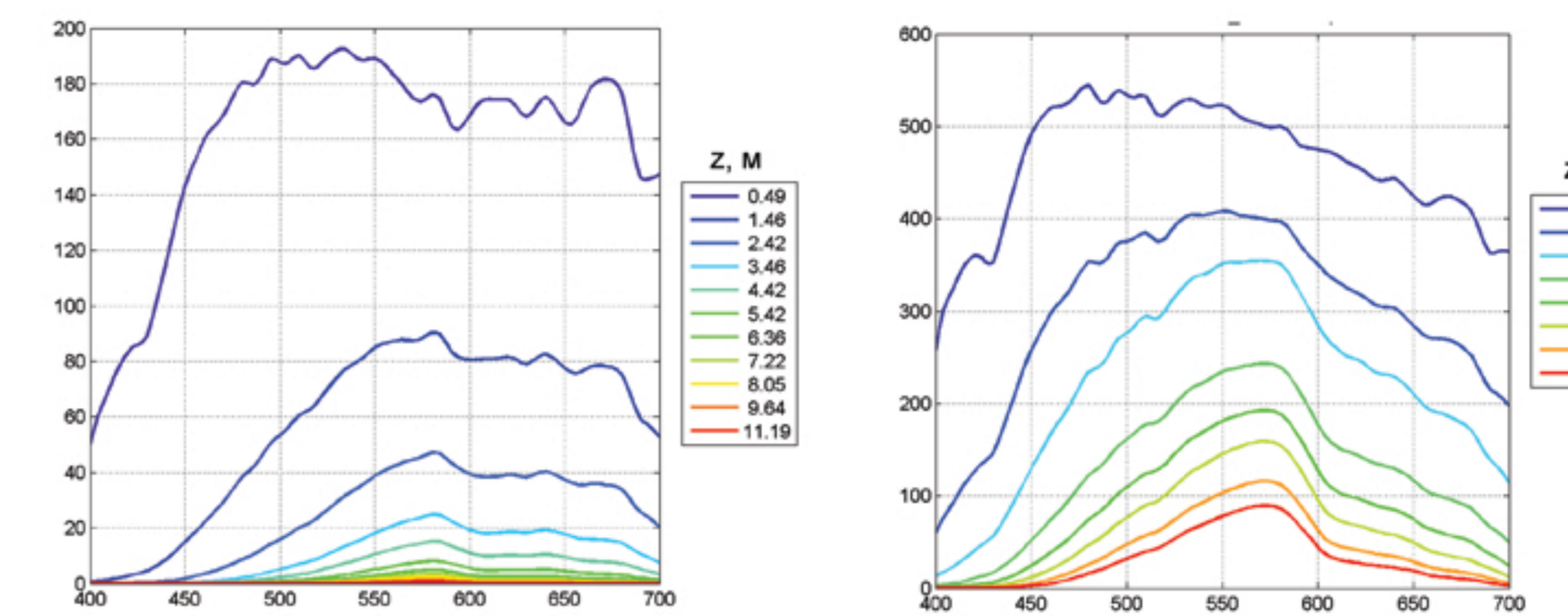
Распределение концентрации хлорофила Chl в Белом море по данным MODIS Aqua (региональный алгоритм), осредненное за 24-26 июня 2015 г. Квадратиками показано положение подспутниковых станций.

Натурные измерения

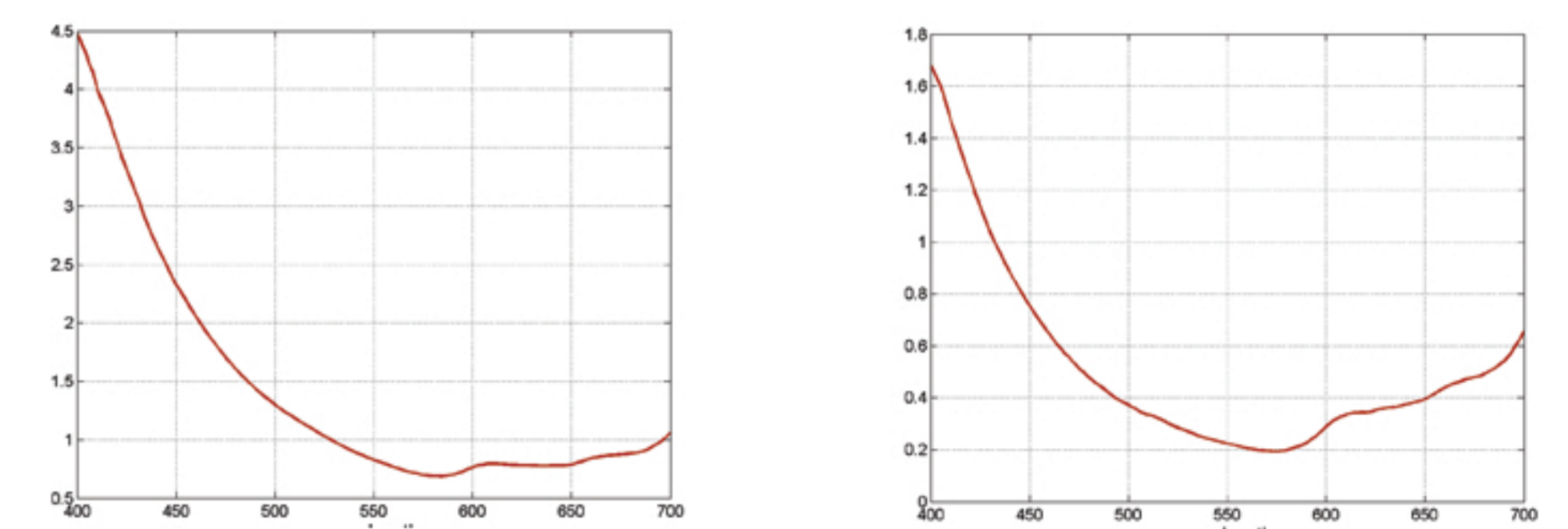
Значения K_d в приповерхностном слое определялись по данным натурных измерений спектров подводной облученности $E_d(z, \lambda)$ гиперспектральным радиометром RAMSES (Вазюля, Шеберстов, 2017). Радиометр RAMSES (модель ACC-VIS производства компании TriOS Optical Sensors, Германия) предназначен для мгновенного измерения спектральных величин облученности в диапазоне длин волн 320-950 нм с разрешением 3 нм до глубины 100 м. Динамический диапазон: канала облученности 3 – 0.003 Вт м⁻² нм⁻¹.



Спектры подводной облученности $E_d(z, \lambda)$, мВт м⁻² нм⁻¹



Спектры $K_d(\lambda)$, м⁻¹ в приповерхностном слое



Ст. 24_4 (24.06.2015)

Ст. 25_1 (25.06.2015)

Алгоритм расчета показателя диффузного ослабления

В качестве исходных данных для расчета K_d использовались величины коэффициента яркости моря $\rho(\lambda)$, измеренные спутниковым сканером цвета MODIS-Aqua. Алгоритм ИО РАН (Вазюля и др., 2014) включает две итерации. В первой итерации параметры полуаналитической модели (a_g и b_{sp}) рассчитываются при фиксированной величине S_1 наклона спектральной зависимости поглощения желтым веществом.

Формулы полуаналитической модели

Формула Morel, Gentili (1993): $\rho(\lambda) = 0.0922 \pi b_b(\lambda) / a(\lambda)$

$\lambda = 488, 531, 547, 555, 645, 667, 678$ нм

Показатель рассеяния назад: $b_b(\lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda)$

$b_{bp}(\lambda) = b_{bp}(\lambda/555)^{0.5}$

Показатель поглощения: $a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_g(\lambda) + a_{ph}(\lambda)$

Поглощение желтым веществом: $a_g(\lambda) = a_g \exp[-S(\lambda - \lambda_0)]$

$S = S_1, \lambda \leq 500$ нм; $S = S_2 = 0.011, \lambda > 500$ нм

Поглощение пигментами фитопланктона:

$a_{ph}(\lambda)$ - Bricaud et al. (1995), Chl – региональный регрессионный алгоритм (<http://optics.ocean.ru>)

Показатель диффузного ослабления (Gordon, 1989):

$K_d = 1.04 D_0(a + b)$,

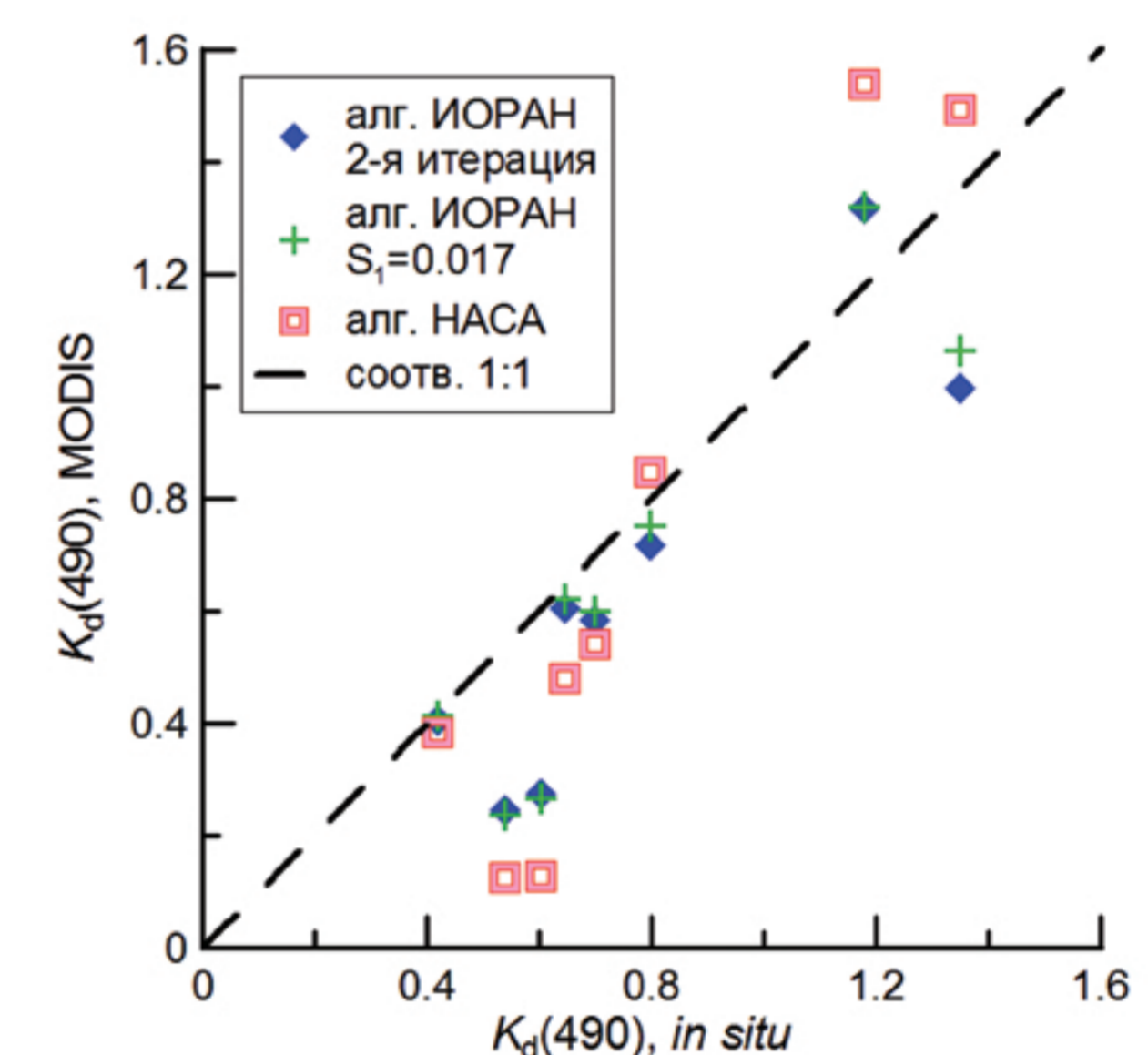
Во второй итерации алгоритма (Вазюля и др., 2014) величина наклона S_1 уточняется, используя статистику для базы данных измерений K_d (Khrapko et al., 2007).

Результаты валидации

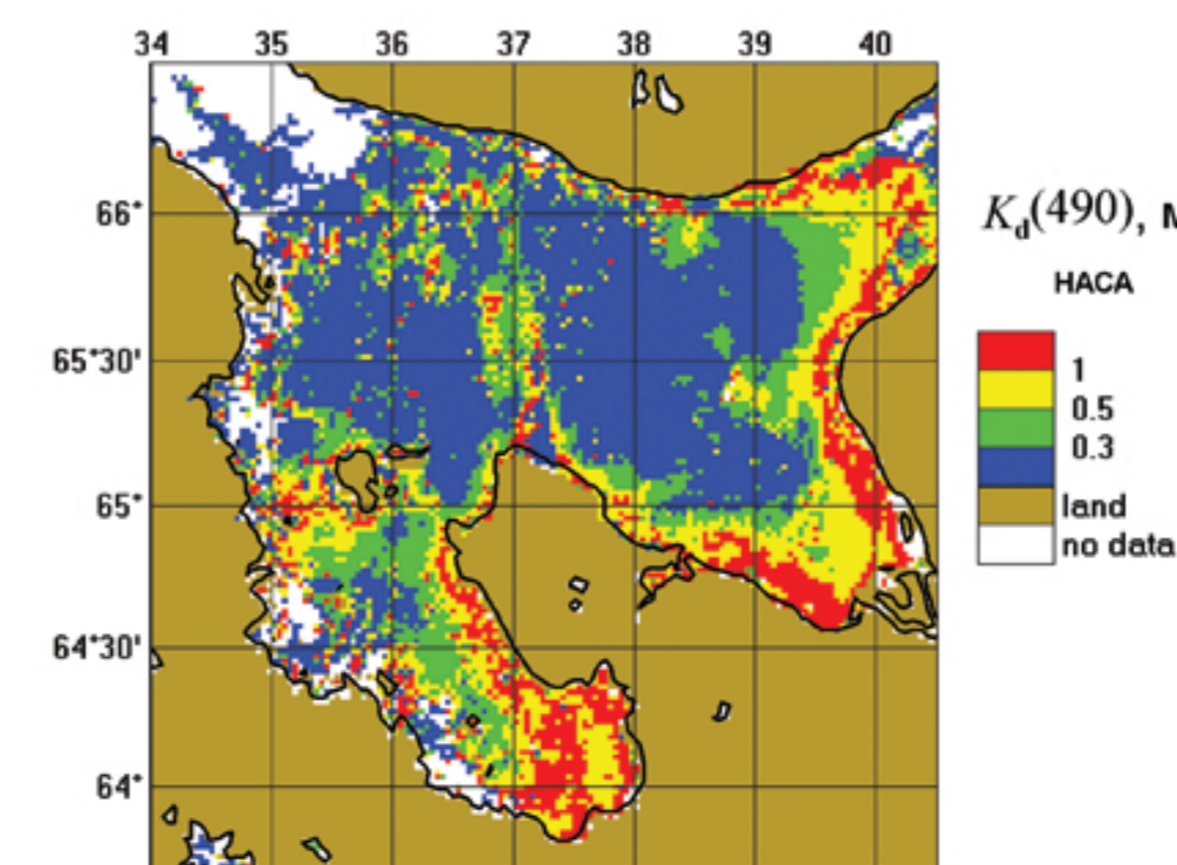
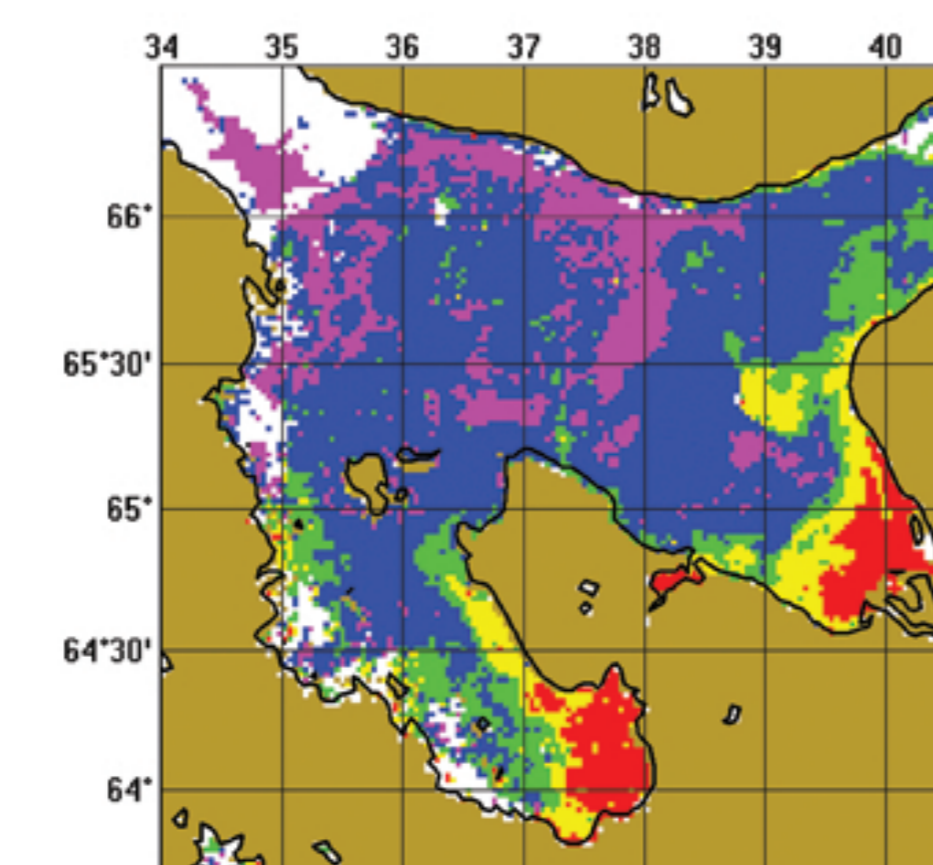
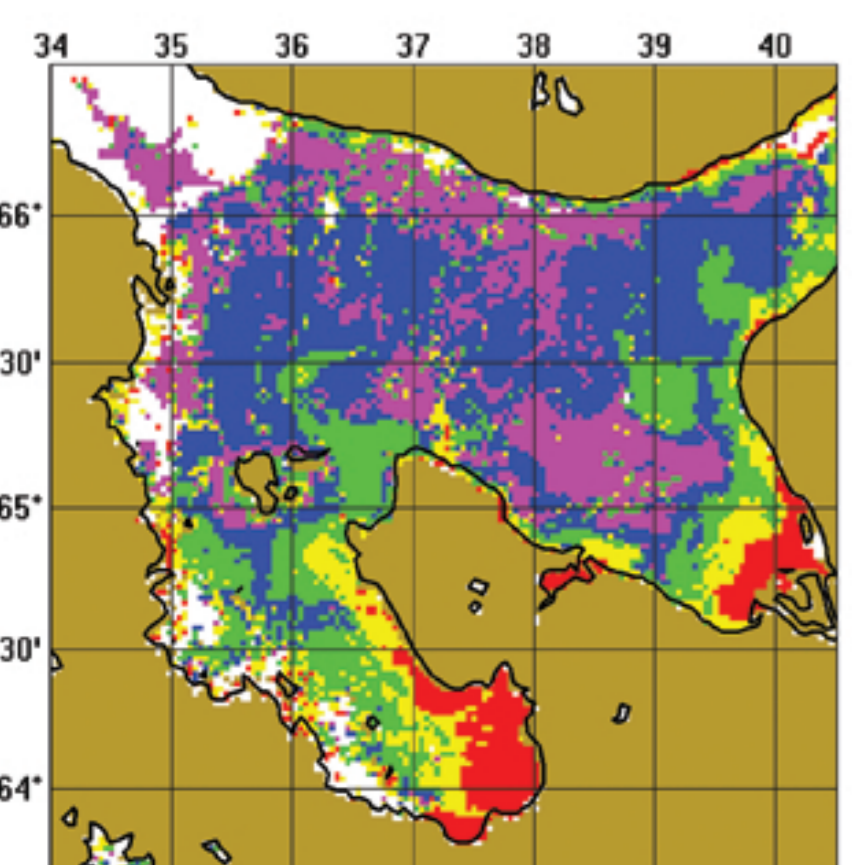
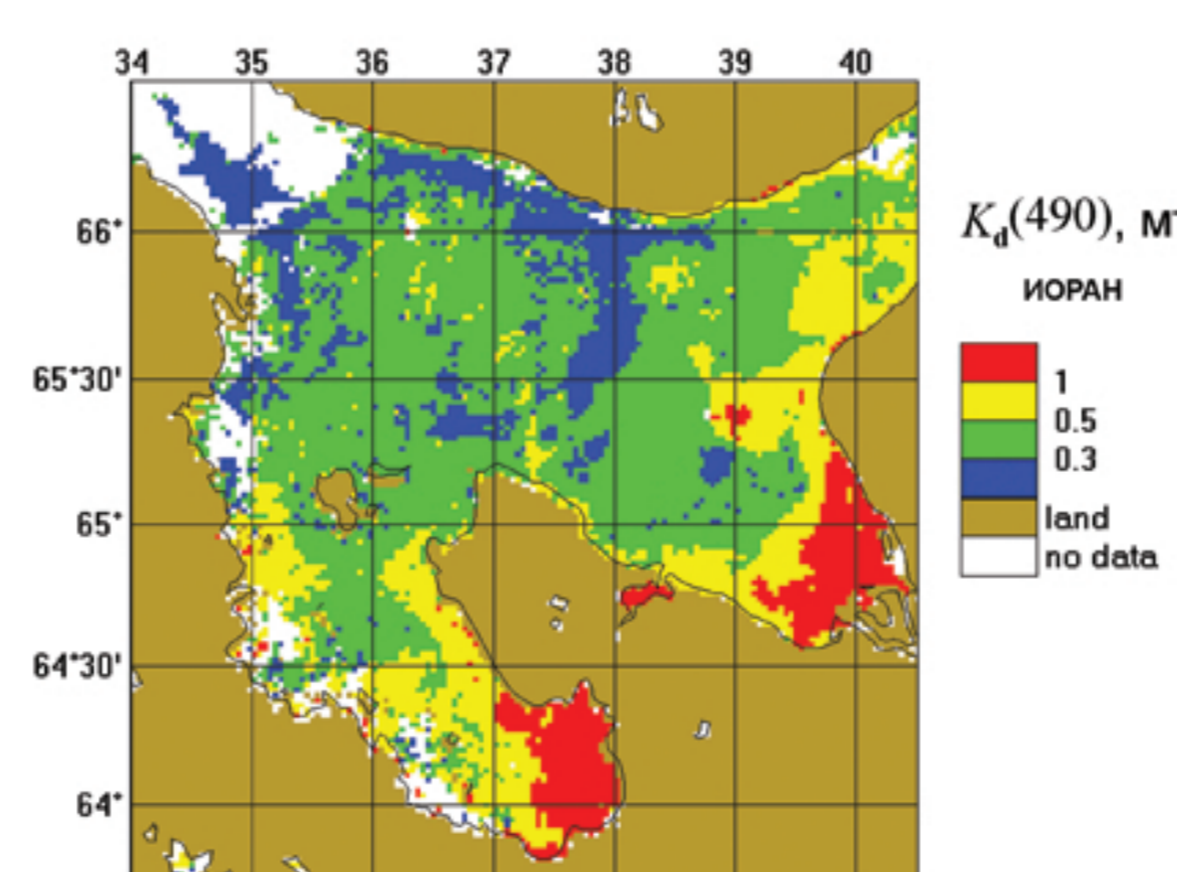
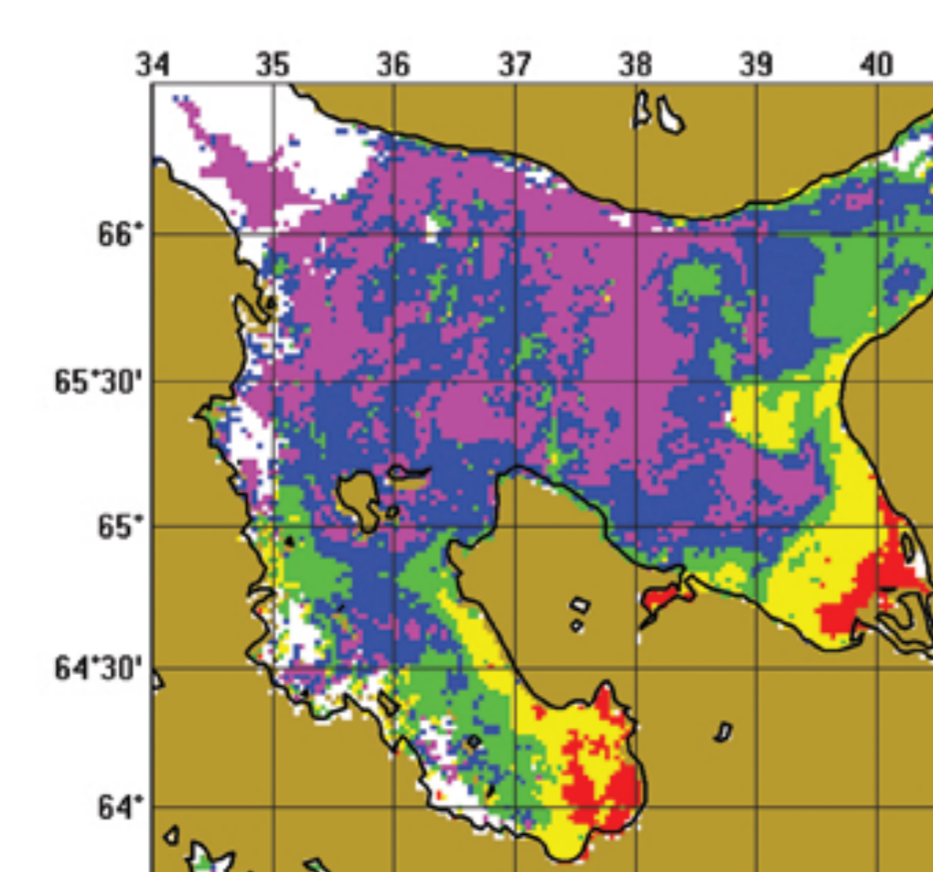
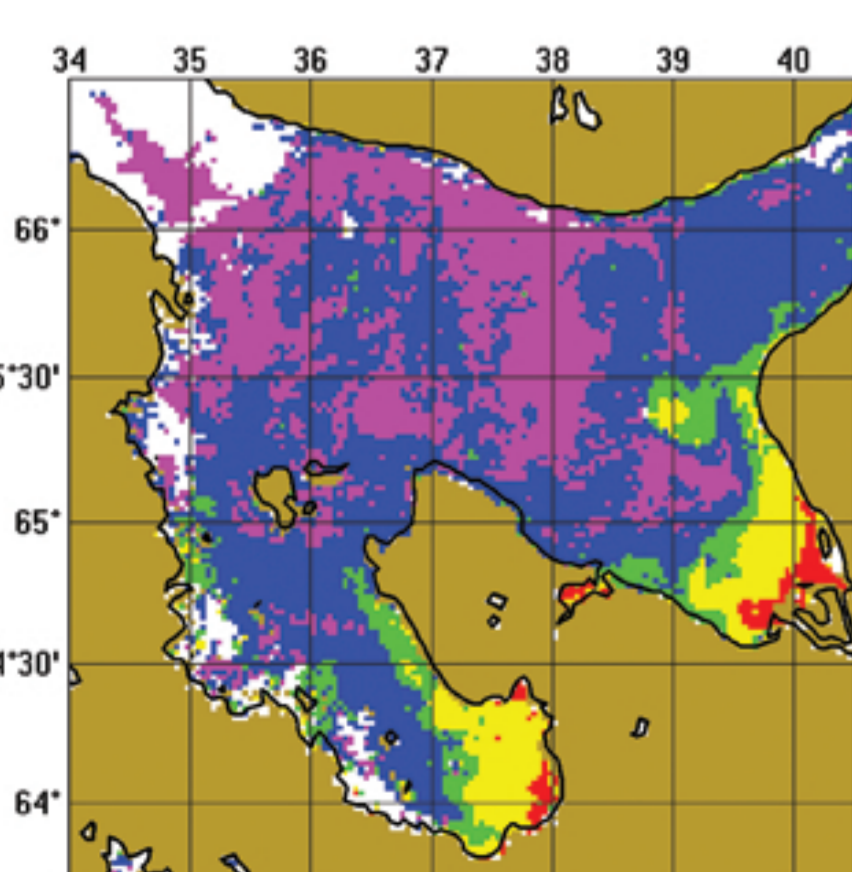
станции	$K_d(443)$, 1/м			Относительные ошибки	
	in situ	MODIS Aqua		алгоритм ИОРАН, 2-я итерация	алгоритм ИОРАН $S_1=0.017$
		алгоритм ИОРАН, 2-я итерация	алгоритм ИОРАН $S_1=0.017$		
24_1	1.24	0.91	1.23	-26%	0%
24_2	1.38	1.13	1.56	-18%	13%
24_3	2.09	2.98	2.79	43%	33%
24_4	2.25	1.55	2.21	-31%	-2%
25_1	0.84	0.63	0.83	-25%	-2%
25_2	1.17	0.94	1.26	-20%	8%
26_2	1.06	0.42	0.51	-60%	-52%
26_3	0.99	0.37	0.44	-62%	-55%

станции	$K_d(555)$, 1/м			Относительные ошибки	
	in situ	MODIS Aqua		алгоритм ИОРАН, 2-я итерация	алгоритм ИОРАН $S_1=0.017$
		алгоритм ИОРАН, 2-я итерация	алгоритм ИОРАН $S_1=0.017$		
24_1	0.43	0.35	0.35	-18%	-19%
24_2	0.47	0.42	0.42	-9%	-10%
24_3	0.66	0.69	0.70	3%	5%
24_4	0.76	0.57	0.58	-25%	-24%
25_1	0.22	0.26	0.26	22%	19%
25_2	0.37	0.37	0.36	-1%	-3%
26_2	0.36	0.20	0.19	-45%	-47%
26_3	0.32	0.18	0.18	-41%	-44%

станции	$K_d(490)$, 1/м				Относительные ошибки		
	in situ	MODIS Aqua			алгоритм ИОРАН, 2-я итерация	алгоритм ИОРАН $S_1=0.017$	стандартный алгоритм НАСА
		алгоритм ИОРАН, 2-я итерация	алгоритм ИОРАН $S_1=0.017$	стандартный алгоритм НАСА			
24_1	0.70	0.58	0.60	0.54	-16%	-14%	-22%
24_2	0.80	0.72	0.75	0.85	-10%	-6%	6%
24_3	1.18	1.32	1.32	1.54	12%	12%	31%
24_4	1.35	1.00	1.06	1.49	-26%	-21%	11%
25_1	0.42	0.41	0.41	0.38	-3%	-1%	-8%
25_2	0.65	0.61	0.62	0.48	-6%	-4%	-26%
26_2	0.60	0.27	0.27	0.13	-54%	-56%	-79%
26_3	0.54	0.24	0.24	0.12	-55%	-56%	-77%



Результаты применения алгоритма. Осредненные данные 24-26 июня 2015 г.



Заключение

Валидация алгоритма по данным натурных измерений показала, что для $K_d(490)$ обе итерации алгоритма (Вазюля и др., 2014) дают близкие результаты: средний модуль ошибки составляет 21% и 23%, для первой и второй итерации соответственно. Для стандартного алгоритма НАСА средний модуль ошибки $K_d(490)$ равен 32%. Для $K_d(443)$, где влияние поглощения желтым веществом существенно больше, первая итерация даёт значительно меньше ошибки - 21% вместо 36%. Таким образом, для Белого моря достаточно первой итерации алгоритма ИОРАН (Вазюля и др., 2014).

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 14-50-00095, предоставленного Институтом океанологии им. П.П.Ширшова РАН.

Литература

- Вазюля С.В., Копелевич О.В. Сравнительные оценки баланса фотосинтетически активной радиации (ФАР) в Баренцевом, Белом, Карском и Черном морях по данным судовых и спутниковых измерений // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2012. Т.5. № 4. С.50-57.
- Вазюля С.В., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Артемьев В.А. Оценка по спутниковым данным показателей поглощения окрашенного органического вещества и диффузного ослабления солнечного излучения в водах Белого и Карского морей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т.11. № 4. С. 31-41.
- Вазюля С.В., Шеберстов С.В. Вторичная обработка данных натурных измерений спектральной подводной облученности в видимом диапазоне // Труды IX Международной конференции «Современные проблемы оптики естественных вод (ONW'2017)». Санкт-Петербург, 2017.
- Bricaud A., Babin M., Morel A., Claustre H. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization // J. Geophys. Res. 1995. Vol. 100. P. 13321-13332.
- Gordon H.R. Can the Lambert-Beer law be applied to the diffuse attenuation coefficient of ocean water? // Limnol. Oceanogr. 1989. Vol.34. No 8. P. 1389-1409.
- Khrapko A.N., Kopelevich O.V., Burenkov V.L., Grigoriev A.V., Terekhova A.A. New instrument for measuring surface and underwater irradiances // Proceedings of IV International Conference «Current Problems in Optics of Natural Waters» (ONW'2007), 2007. Nizhny-Novgorod. Sep. 2007. P. 271-275.
- Morel A., Gentili B. Diffuse reflectance of oceanic waters. II. Bidirectional aspects // Appl. Opt. 1993. Vol. 32. P. 6864-6879.