



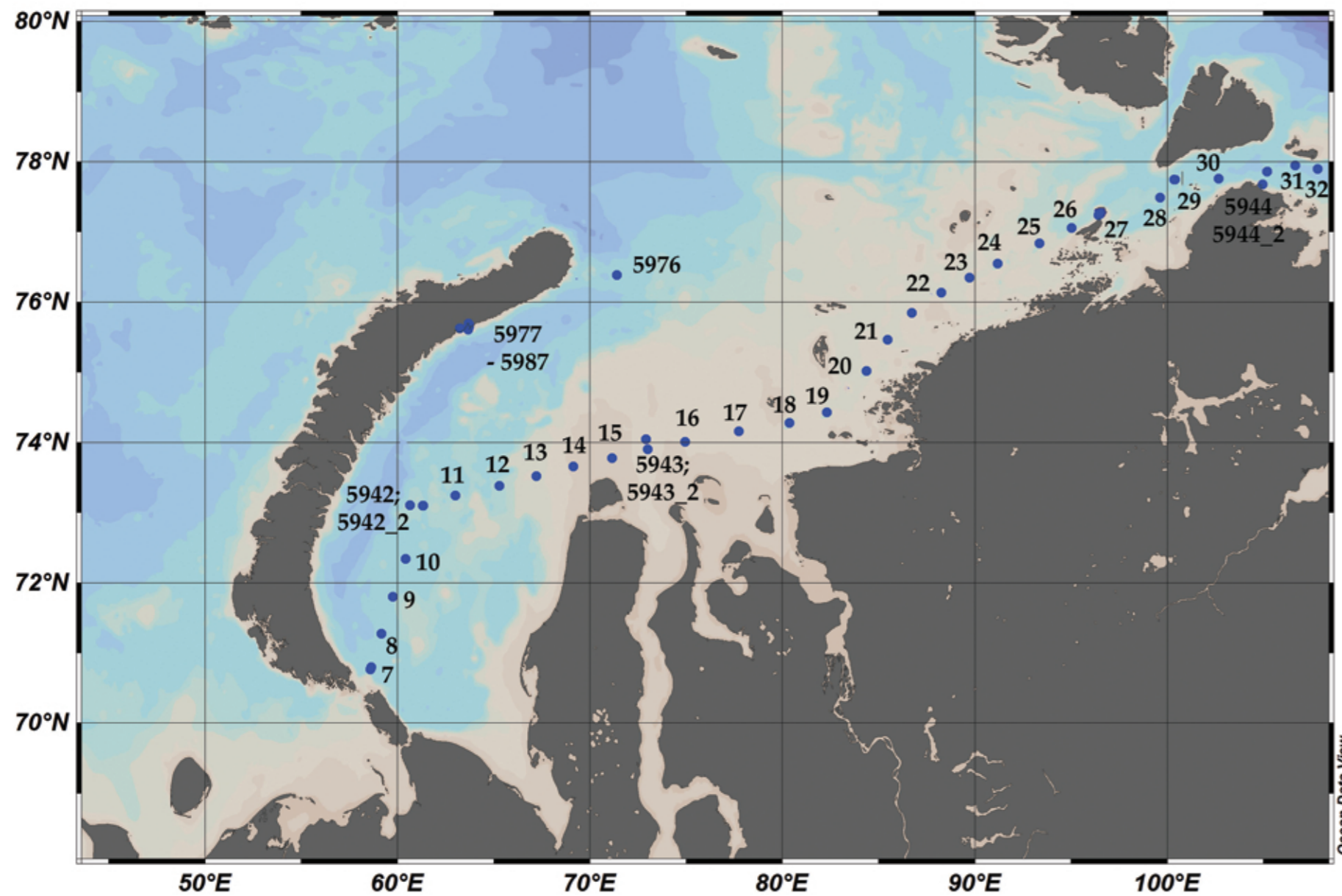
# Валидация алгоритмов оценки концентрации хлорофилла по спутниковым данным в Карском море

С.В. Вазюля

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

## 1. Используемые данные

Представлены результаты валидации региональных алгоритмов оценки концентрации хлорофилла *Chl* по спутниковым данным на основе натурных измерений в Карском море в 72 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе-сентябре 2018 г. Для валидации использовались данные сканера цвета MODIS-Aqua с временным интервалом между спутниковыми и натурными измерениями меньше 48 часов (69 пар), так как более строгое условие (меньше 24 часов) не позволяет получить достаточное количество спутниковых данных (только 18 пар).



Карта расположения станций 72 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море в августе-сентябре 2018 г.

## 2. Региональные алгоритмы

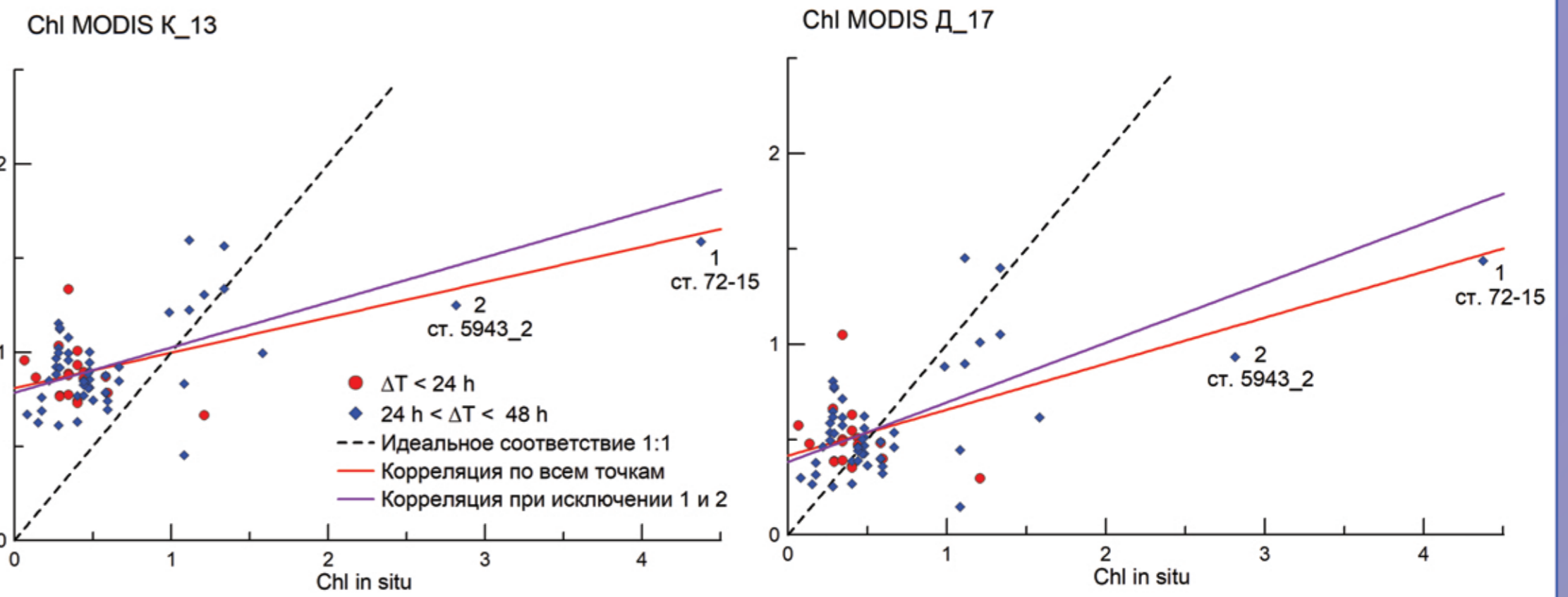
В Лаборатории оптики океана ИО РАН на основе данных измерений в 2007 и 2011 гг. был разработан и верифицирован региональный алгоритм **К\_13** оценки концентрации хлорофилла *Chl* в Карском море по спутниковым данным (Кузнецова и др., 2013).

$$K_{13}: \ln(Chl) = -3.66 \ln [R_{rs}(531) / R_{rs}(547)] + 0.116$$

Однако валидация алгоритма **К\_13** по большому массиву данных измерений (Demidov et al., 2017) показала, что этот алгоритм дает завышенные оценки для станций с низким содержанием хлорофилла ( $Chl < 1 \text{ мг м}^{-3}$ ). Поэтому была получена новая формула **Д\_17** (Demidov et al., 2017), лучше подходящая для менее продуктивных вод.

$$D_{17}: \ln(Chl) = -6.64 \ln [R_{rs}(531) / R_{rs}(547)] - 0.265$$

## 3. Результаты валидации по данным 2018 г.



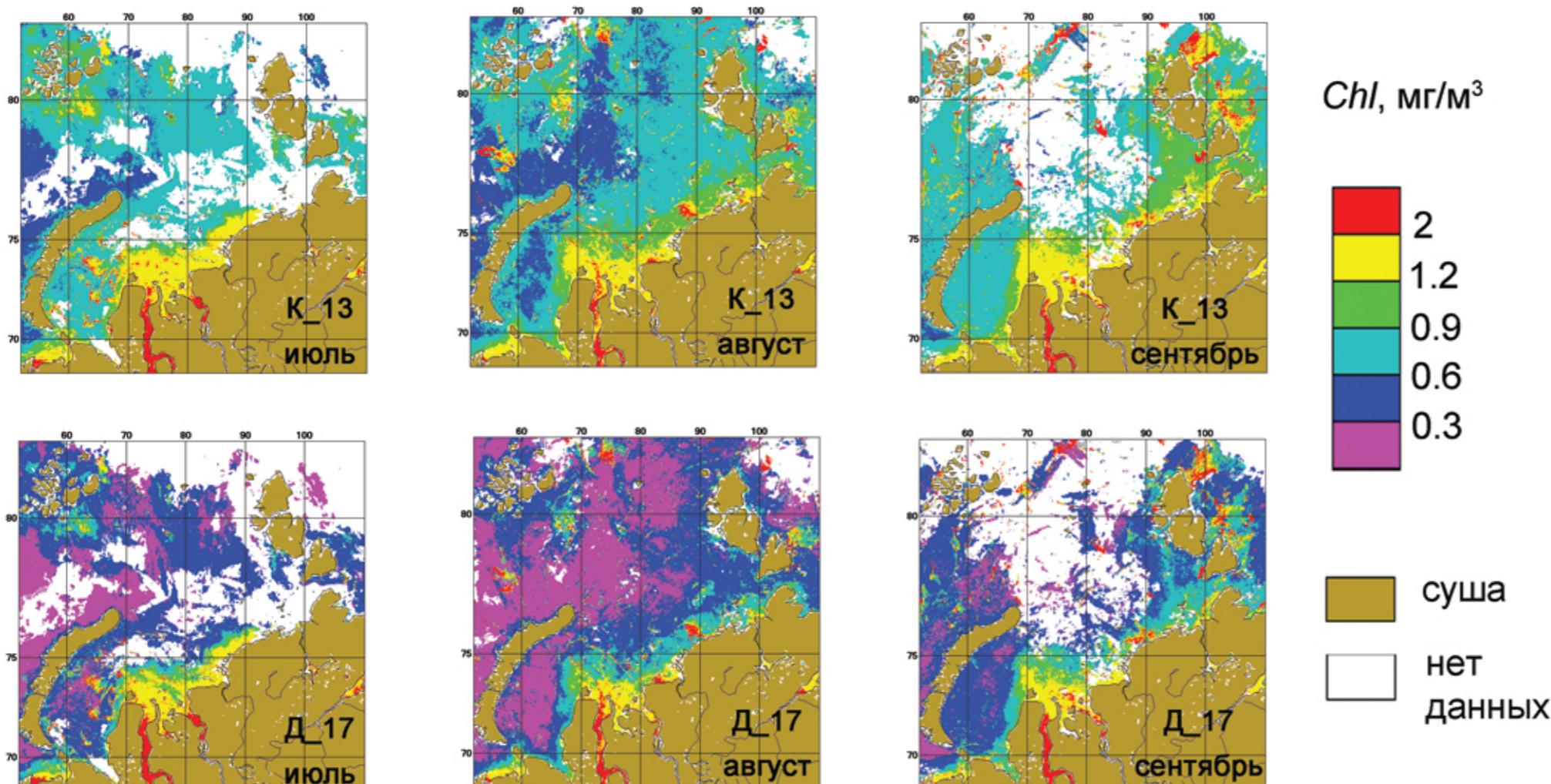
Сопоставление величин концентрации хлорофилла *Chl* ( $\text{мг/м}^3$ ), измеренных *in situ* и рассчитанных по спутниковым данным MODIS при помощи региональных алгоритмов **К\_13** (слева) и **Д\_17** (справа).  $\Delta T$  - временной интервал между спутниковыми и натурными измерениями.

Параметры соответствия между величинами концентрации хлорофилла *Chl*, измеренными *in situ* и рассчитанными по данным MODIS стандартным и региональными алгоритмами

алгоритм	N*	R <sup>2</sup>	std, мг м <sup>-3</sup>	S <sub>rel</sub>	<sat>, мг м <sup>-3</sup>	<sat>/<i>in situ</i>
По всем точкам						
<b>К_13</b>	69	0.27	0.63	158%	0.92	1.55
<b>Д_17</b>	69	0.33	0.52	69%	0.56	0.94
<b>chlor_a</b>	69	0.035	6.2	830%	3.9	6.6
При исключении 1 (ст. 72-15) и 2 (ст. 5943_2)						
<b>К_13</b>	67	0.14	0.52	161%	0.91	1.79
<b>Д_17</b>	67	0.18	0.31	69%	0.54	1.07
<b>chlor_a</b>	67	0.08	6.3	850%	3.9	7.7

\*N – объем выборки, R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации, std – среднеквадратичная ошибка, S<sub>rel</sub> – средняя относительная ошибка, <sat> - среднее значение *Chl* по спутниковым данным, <sat>/<i>in situ</i> - отношение средних величин *Chl*, рассчитанных по спутниковым данным, к *Chl*, измеренным *in situ*.

## 4. Среднемесячные распределения



Среднемесячные распределения концентрации хлорофилла в водах Карского моря в 2018 г.

Сравнение среднемесячных и сезонных значений концентрации хлорофилла *Chl* ( $\text{мг/м}^3$ ), полученных для регионов Карского моря (Копелевич и др., 2018) в 2018 г. по двум региональным алгоритмам **К\_13** и **Д\_17**

Интервал осреднения	Западный регион (K1)			Восточный регион (K2)		
	Chl K_13	Chl D_17	различие	Chl K_13	Chl D_17	различие
июнь	1.23	0.93	32%	0.83	0.47	77%
июль	1.31	1.07	22%	0.87	0.53	64%
август	1.05	0.78	35%	0.88	0.54	63%
сентябрь	1.13	0.89	27%	1.15	0.84	37%
<b>Сезон 2018</b>	<b>1.18</b>	<b>0.92</b>	<b>29%</b>	<b>0.93</b>	<b>0.60</b>	<b>60%</b>

## Выводы

Валидация по данным 2018 г. показала, что алгоритм **Д\_17** дает лучшее соответствие с данными натурных измерений: коэффициент детерминации  $R^2=0.33$ , среднеквадратичная ошибка  $std=0.5 \text{ мг м}^{-3}$ . При использовании **К\_13** результаты были хуже:  $R^2=0.27$ ,  $std=0.6 \text{ мг м}^{-3}$ . Причем если исключить две станции вблизи устья Оби, то преимущество **Д\_17** становится ещё более очевидным, так как среднеквадратичная ошибка в этом случае равна 0.3 и 0.5  $\text{мг м}^{-3}$  для **Д\_17** и **К\_13** соответственно.

Стандартный алгоритм НАСА **chlor\_a** (O'Reilly J.E. et al, 1998) для большинства станций 2018 г. дает сильно завышенные оценки *Chl*, в итоге средняя величина *Chl* по спутниковым данным в 7 раз больше, чем по данным натурных измерений.

Сравнение среднемесячных значений *Chl*, полученных для регионов Карского моря (Копелевич и др., 2018) в 2018 г., показало, что алгоритм **К\_13** завышает среднемесячные оценки *Chl* в западном регионе (K1) на 0.24-0.30  $\text{мг м}^{-3}$  (22-35 %), в восточном (K2) – на 0.31-0.36  $\text{мг м}^{-3}$  (37-77 %).

## Литература

- Копелевич О.В., Салинг И.В., Вазюля С.В. и др. Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998-2017 гг. // М.: ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2018. 140 с. ISBN 978-5-907092-47-1.
- Кузнецова О.А., Копелевич О.В., Шеберстов С.В. и др. Оценка концентрации хлорофилла в Карском море по данным спутникового сканера MODIS-Aqua // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 21-31.
- Demidov, A. B., Kopelevich O.V., Mosharov S.A. et al. // Modelling Kara Sea phytoplankton primary production: Development and skill assessment of regional algorithms. Journal of Sea Research. 2017. Vol. 125. P. 1-17.
- O'Reilly J.E., Maritorena S., Mitchell B.G., et al. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS // Journal of Geophysical Research. 1998. V. 103, 24937-24953.

## Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0003). Автор выражает благодарность Демидову А.Б. за предоставленные данные по концентрации хлорофилла.