Региональные алгоритмы количественной оценки цветений цианобактерий в восточной части Финского залива по данным спутниковых сканеров цвета

Вазюля С.В.[1], Копелевич О.В.[1], Кочеткова Е.С.[2], Ланге Е.К.[3], Шеберстов С.В.[1], Еремина Т.Р.[2], Храпко А.Н.[1]

(1) Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Москва

(2) Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

(3) Атлантическое отделение Института Океанологии РАН им.П.П.Ширшова, Калининград

Введение

В восточной части Финского залива из года в год происходят цветения сине-зеленых водорослей (цианобактерий), которые в безоблачную погоду хорошо видны со спутников. Однако проблема количественной оценки наблюдаемых цветений еще требует своего решения. В нашей работе делается попытка разработки регионального алгоритма для оценки биомассы цианобактерий в восточной части Финского залива по данным экспедиционных измерений, проведенных в июле-августе 2012-2014 гг. Набор включает данные прямых определений общей биомассы фитопланктона (BPhyto) и цианобактерий (BCyan) в поверхностном слое, концентрации хлорофилла (Chl) и взвешенного вещества (TSM), биооптические параметры, рассчитанные по данным измерений плавающим спектрорадиометром (Vazyulya et al., 2014).

Данные натурных измерений

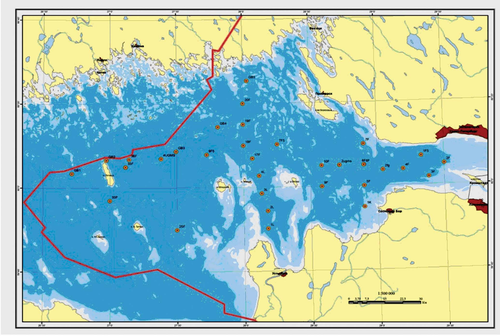
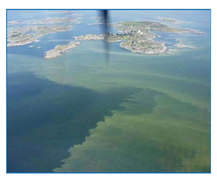


Схема станций многолетнего мониторинга восточной части Финского залива



Экспедиции 2012-2014 гг.

Получен комплекс данных измерений биооптических характеристик морской среды, включая факторы, влияющие на цветение сине-зеленых водорослей (гидрофизические, гидрохимические и оптические характеристики, концентрации хлорофилла, взвешенного вещества, видового состава фитопланктона).

При выполнении наблюдений фиксировались гидрометеорологические характеристики: прозрачность воды по диску Секки, атмосферное давление, температура воздуха, скорость и направление ветра, количество общей облачности и нижнего яруса в баллах, формы облаков, высота и период ветровых волн и волн зыби.

Оптические измерения проводились на дрейфовых станциях посредством плавающего спектрорадиометра «ПРО-1» с непрерывной регистрацией координат при помощи GPS приёмника и поверхностной облучённости на длине волны 554,4 нм.

Максимов и др., 2014 «Режимная перестройка экосистемы восточной части Финского залива вследствие инвазии полихет Marenzelleria arctia»

Экспедиции проводились в восточной части Финского залива в 2004-2011 гг. Пробы для биологических исследований (концентрация хлорофилла, количественный и видовой состав фитопланктона, зоопланктон) были отобраны на 20 станциях.

Таблица 3. Некоторые характеристики (±стандартная ошибка) планктонных сообществ восточной части Финского залива в 2004–2011 гг.

Год	*S*, м	*Chl_a*, мкг/л	*B*Cyan,мг/м3	*B*фитопл.,мг/м3
2004	2.4 ± 0.17	9.7 ± 1.09	1274 ± 213	1736 ± 240
2005	2.4 ± 0.24	8.9 ± 1.18	1355 ± 261	1671 ± 295
2006	3.2 ± 0.17	4.7 ± 0.77	1178 ± 253	1496 ± 29
2007	3.0 ± 0.18	5.4 ± 0.52	262 ± 64	545 ± 77
Средняя 2004–2007 гг.	**2.8 ± 0.10**	**7.2 ± 0.46**	**1017 ± 106**	**1362 ± 120**
2008	**2.5 ± 0.24**	**7.9 ± 1.08**	**849 ± 184**	**1137 ± 223**
2009	3.4 ± 0.19	3.3 ± 0.74	67 ± 24	347 ± 51
2010	2.7 ± 0.14	3.8 ± 0.45	121 ± 12	504 ± 88
2011	2.9 ± 0.14	3.8 ± 0.43	231 ± 39	421 ± 58
Средняя 2009–2011 гг.	**3.0 ± 0.09**	**3.7 ± 0.32**	**140 ± 16**	**424 ± 39**

Примечание. S, м – прозрачность воды; *Chl_a*, мкг/л – концентрация хлорофилла "а"; *B*Cyan, мг/м3 – биомасса сине-зеленых водорослей; *B*фитопл., мг/м3 – общая биомасса фитопланктона. Жирным шрифтом выделены данные для года вселения *Marenzelleria arctia* (2008 г.), а также средние для до (2004–2007 гг.) и постинвазионного (2009–2011 гг.) периодов.

Коэффициент корреляции между биомассой сине-зеленых BCyan и концентрацией хлорофилла *Chl* оказался равным 0.81 (т.е R^2 = 0.656).

Возможности количественной оценки цветения цианобактерий

Использование спутниковых значений R_{rs} для каналов 670 и 555 нм

Алгоритм Kahru et al. (2007) для оценки площадей цветения в Балтийском море основан на использовании спутниковых значений R_{rs} для каналов 670 и 555 нм – если в рассматриваемом пикселе указанные значения превышают пороговое значение, пиксель считается «цветущим».

Недостатки:

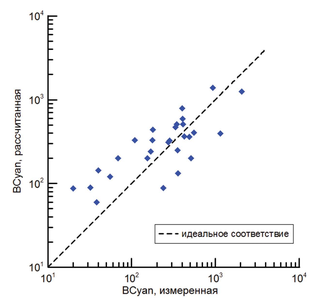
- Отсутствие количественной оценки биомассы – определяется только площадь цветения;
- Из-за повышенного поглощения окрашенным органическим веществом (ОРОВ) в Финском заливе алгоритм «не срабатывает» для 555 нм. Надо корректировать значение $R_{rs}(555)$ на поглощение ОРОВ (нами разработан алгоритм такой коррекции).

Оценки биомассы цианобактерий

Сравнение результатов расчета биомассы сине-зеленых по разным алгоритмам

Алгоритм	R^2	Ошибка регрессии, мг/м^3	Коэффициент вариации
Через b_{bp} BCyan = 64.6 b_{bp} 10^3-263	0.55	0.28	0.75
Через *Chl* BCyan = 92 *Chl* + 6	0.50	0.54	1.44
Множественная регрессия BCyan = 45 b_{bp} 10^3+38.5 *Chl* – 227	0.61	0.27	0.72

Уравнения выведены по данным для 28 станций в экспедициях 2012-2014 гг., где BCyan > 20 мг/м^3

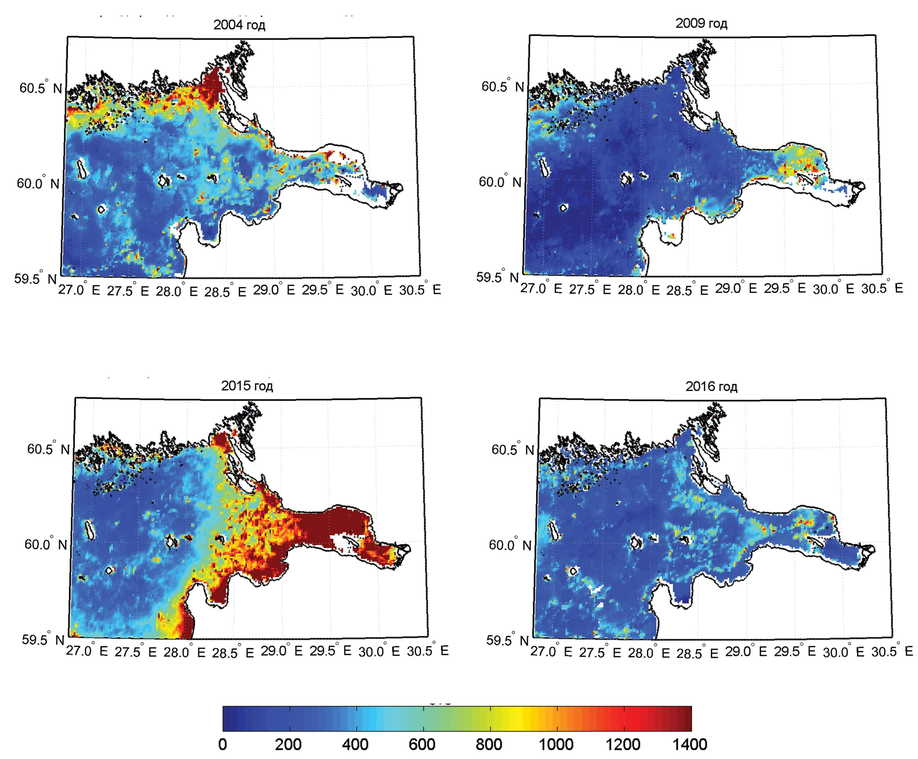


Результат применения множественной регрессии

Применение алгоритма к спутниковым данным MODIS-Aqua 2003-2016 гг.

Как видно из диаграммы, расчеты по спутниковым данным подтверждают результаты работы Максимов и др. (2014) относительно уменьшения биомассы сине-зеленых в 2009-2011 гг., по сравнению с 2004-2007 гг. В 2013 и 2015 гг. биомасса снова выросла.

Среднее значения биомассы сине-зеленых водорослей BCyan (мг/м^3) в период проведения экспедиционных исследований



Спутниковые карты дают возможность не только оценить средние значения биомассы BCyan в разные годы, но и увидеть, как изменялись ее пространственные распределения.

Заключение

- Исследована возможность количественной оценки биомассы сине-зеленых в водах Финского залива по спутниковым данным.
- Показано, что наименьшие ошибки получаются при использовании уравнения множественной регрессии, выведенного на основе данных экспедиционных измерений 2012-2014 гг.
- С использованием выведенного алгоритма проведены расчеты пространственных распределений и средних величин биомассы сине-зеленых в 2003-2016 гг. в восточной части Финского залива. Сравнение полученных величин с данными экспедиционных измерений Максимов и др., 2014 подтвердило вывод указанных авторов об уменьшении биомассы сине-зеленых в 2009-2011 гг., по сравнению с 2004-2007 гг.

Литература

1. Kahru M., Savchuk O. P., Elmgren R. Satellite measurements of cyanobacterial bloom frequency in the Baltic Sea: Interannual and spatial variability // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2007. Vol. 343. P. 15–23.
2. Максимов А.А., Еремина Т.Р., Ланге Е.К., Литвинчук Л.Ф., Максимова О.Б. Режимная перестройка экосистемы восточной части Финского залива вследствие инвазии полихет *Marenzelleria arctia* // Океанология. 2014. Т. 54. №. 1. С. 52-59.
3. Vazyulya S., Khrapko A., Kopelevich O., Burenkov V., Eremina T., Isaev A. Regional algorithms for the estimation of chlorophyll and suspended matter concentration in the Gulf of Finland from MODIS-Aqua satellite data // OCEANOLOGIA. 2014. Vol. 56. No 4. P. 1-19.

Благодарность

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