

УДК 551.463.5

© О. В. Копелевич, С. В. Шеберстов, И. В. Салинг, С. В. Вазюля, В. И. Буренков
 Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва
 oleg@ocean.ru

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ БАРЕНЦЕВА, БЕЛОГО, ЧЕРНОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Рассматриваются основные особенности сезонных и межгодовых изменений биооптических характеристик поверхностного слоя вод Баренцева, Белого, Черного и Каспийского морей по данным нового выпуска электронного атласа «Bio-optical characteristics of the Russian seas from satellite ocean color data». Атлас 2013 г. содержит цветные карты среднемесячных распределений биооптических характеристик за 1998 по 2012 гг., рассчитанные по данным спутниковых сканеров SeaWiFS и MODIS-Aqua; диаграммы и таблицы, показывающие сезонную и межгодовую изменчивость характеристик в различных регионах. Приведены наиболее интересные примеры из Атласа: для Баренцева и Черного морей — это проявления кокколитофоридных цветений; для Белого моря — изменения концентрации хлорофилла Chl и показателя рассеяния b_{bp} в Двинском заливе и центральной части моря в мае-июне, связанные с весенним половодьем Двины. В Северном Каспии зарегистрированы рекордно высокие, по сравнению со всеми другими регионами, значения b_{bp} — они объясняются интенсивным выносом взвеси Волгой и взмучиванием донных осадков на мелководном шельфе Северного Каспия вследствие ветрового перемешивания. Отмечено, что в 8 из 10 рассмотренных регионов средние значения Chl и b_{bp} в 2012 г. превышали соответствующие среднеклиматические значения за 1998–2011 гг.

Ключевые слова: спутниковые сканеры, моря России, сезонные, межгодовые изменения.

O. V. Kopelevich, S. V. Sheberstov, I. V. Saling, S. V. Vazyulya, V. I. Burenkov
 P. P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow, Russia
 oleg@ocean.ru

SEASONAL AND INTER-ANNUAL CHANGEABILITY OF BIO-OPTICAL CHARACTERISTICS IN THE SURFACE LAYER OF THE BARENTS, WHITE, BLACK AND CASPIAN SEAS FROM SATELLITE DATA

The main features of seasonal and inter-annual variations of bio-optical characteristics in the surface layer of the Barents, White, Black and Caspian Seas, according to a new issue of e-atlas “Bio-optical characteristics of the Russian seas from satellite ocean color data” (<http://optics.ocean.ru>) are discussed. The bio-optical parameters in the Atlas were computed by means of the regional algorithms, derived from in situ measured data in given regions; they provided much better results than the NASA standard algorithms (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>). The article includes Introduction, Results and Discussion, Conclusion and References. The Introduction gives a brief information about the new issue as compared with the previous ones. Atlas’2013 presents the bio-optical characteristics, calculated from data of satellite scanners SeaWiFS and MODIS-Aqua from 1998 to 2012; the color maps of their mean monthly distributions, diagrams and tables demonstrating their seasonal and inter-annual variability are given. As examples, the coccolithophore blooms in the Barents and Black Seas and the seasonal changes of chlorophyll concentration (Chl) and the particle backscattering (b_{bp}) in the Dvina Bay and the central part of the White Sea under the influence of Dvina river runoff are considered. It is noted that the highest b_{bp} values, as compared with the other regions, were observed in the shallow Northern Caspian owing to the intense river runoff from Volga and the stirring of bottom sediment by wind mixing. Interestingly, that the mean values of Chl and b_{bp} in 2012 were higher than their average climatic values over 1998–2011 in eight from ten regions under consideration.

Key words: satellite scanners, Russian Seas, seasonal, inter-annual variations.

Одно из главных достоинств данных спутниковых сканеров цвета — возможность их использования для исследования сезонных и межгодовых изменений биооптических характеристик вод поверхностного слоя различных регионов и субрегионов. В лаборатории оптики океана Института океанологии им. П. П. Ширшова такие исследования проводятся применительно к морям России — первое обобщение полученных результатов было выполнено в 2002 г. в виде электронного атласа (на русском языке), включающего среднемесячные распределения биооптических характеристик вод поверхностного слоя Баренцева, Белого, Черного, Каспийского и Японского морей, рассчитанные по данным спутникового сканера цвета SeaWiFS с 1998 по 2001 г. Последующие выпуски издавались на английском языке каждые два года (2003–2011 гг.) с добавлением данных за прошедшие годы [1]. Главное отличие материалов, представленных в Атласе, от соответствующих данных на сайте НАСА [2] в том, что они рассчитаны по региональным алгоритмам, выведенным на основе данных натурных измерений в исследуемых регионах и учитывающих их региональные особенности; стандартные алгоритмы НАСА в рассматриваемых морях могут давать большие ошибки.

С июля 2002 г. доступны данные спутникового сканера MODIS-Aqua, которые, начиная с выпуска 2007 г., используются для расчета биооптических характеристик Белого моря (в предыдущих выпусках Атласа Белое море рассматривалось вместе с Баренцевым, и расчеты проводились по данным SeaWiFS). Из-за отсутствия новых экспедиционных данных с 2007 г. в Атлас не включается Японское море.

В 2008 г. возникли перебои в работе сканера SeaWiFS, и для продолжения долговременной серии спутниковых данных о биооптических характеристиках морей России пришлось решать проблему стыковки данных сканеров SeaWiFS и MODIS-Aqua [3]. Еще более остро эта проблема встала перед выпуском Атласа 2011 г. в связи с прекращением работы сканера SeaWiFS в конце 2010 г. При подготовке Атласа 2011 г. данные SeaWiFS с января 1998 г. по июнь 2002 г. были пересчитаны в «MODIS-подобные» данные (по уравнениям регрессии, рассчитанным по совместным данным этих сканеров в период с июля 2002 г. по сентябрь 2007 г.); с июля 2002 г. используются данные MODIS-Aqua.

В 2013 г. подготовлен новый, 7-й выпуск Атласа [4], который как и предыдущие, содержит цветные карты среднемесячных распределений концентраций хлорофилла и взвеси, показателей рассеяния назад взвешенными частицами и поглощения окрашенным органическим веществом, а также температуру поверхности моря; диаграммы, показывающие изменчивость вышеназванных характеристик в различных регионах и субрегионах; таблицы параметров межгодовой изменчивости этих характеристик. Атлас свободно доступен на сайте [1].

Представленные материалы дают возможность получить представление о сезонной и межгодовой изменчивости биооптических характеристик в исследованных морях, которую реально можно изучить только с помощью спутниковых данных, и о причинах, обуславливающих эту изменчивость. Главное отличие биооптических характеристик, представленных в Атласе, от соответствующих данных на сайте НАСА [2] в том, что в Атласе они рассчитаны с использованием региональных алгоритмов, выведенных на основе данных натурных измерений в исследуемых регионах, которые учитывают их региональную специфику. Стандартные алгоритмы НАСА выведены, в основном, по данным измерений в океанских водах и в рассматриваемых морях могут давать большие ошибки.

Основные изменения в новом выпуске, по сравнению с предыдущим, следующие.

1) Включены данные 2011–2012 гг.

В связи с репроцессингом, который время от времени проводит НАСА, почти перед каждым новым выпуском приходится решать проблему стыковки добавляемых данных с предыдущими. Полный пересчет пришлось провести для выпуска 2011 г. из-за репроцессинга 2009 г. [5] и 2010 г. [6].

В новом выпуске Атласа данные 2011–2012 гг. рассчитаны по версии программного обеспечения SeaDAS 6.4; данные 1998–2010 гг., рассчитанные с прежней версией, не пересчитывались, поскольку прямая проверка показала, что значения коэффициентов яркости $R_{rs}(\lambda_i)$, рассчитанные с новой и старой версиями, различаются незначительно.

2) Характеристики кокколитофоридных цветений в Баренцевом и Черном морях рассчитаны с помощью новых региональных алгоритмов.

3) Биооптические характеристики вод Белого моря представлены для периода 1998–2012 гг., благодаря использованию данных сканера SeaWiFS, пересчитанных в «MODIS-подобные» данные (в предыдущем выпуске использовались только данные MODIS-Aqua, начиная с 2003 г.).

4) Новый дизайн, более удобный для пользователей.

Ниже даны примеры сезонных и межгодовых изменений основных характеристик рассматриваемых морей.

Результаты и их обсуждение

Баренцево море

Подробное описание используемых спутниковых данных, методы и алгоритмы их обработки, карты районирования рассматриваемых морей, полные данные проведенных расчетов и цветные карты распределений биооптических характеристик доступны на сайте [1].

На рис. 1 представлены диаграммы изменения среднемесячных величин концентрации хлорофилла Chl , показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} и температуры поверхности моря SST в северном и среднем субрегионах Баренцева моря.

Граница между северным и средним субрегионами проведена по 75° с.ш.; южная граница среднего субрегиона — через северные точки островов Вайгач, Колгуев, мыс Канин Нос к мысу Святой Нос [1]. Диаграммы показаны с мая по сентябрь; осреднение проводилось по площади, свободной ото льда. Для хлорофилла и показателя b_{bp} изменения показаны для периода 1998–2012 гг., для SST — 2003–2012 гг. (данные MODIS-Aqua).

Как видно, изменения концентрации хлорофилла в обоих субрегионах примерно одинаковы, как относительные, так и по абсолютной величине. Резко выраженный максимум, связанный с майским цветением фитопланктона, наблюдается почти ежегодно; причем в северном субрегионе он выражен даже более резко, чем в среднем, несмотря на то, что в этом субрегионе в мае средняя температура SST во все годы была ниже нуля (рис. 1, а).

Показатель b_{bp} в обоих субрегионах также имеет максимум в мае, но еще более резкий максимум наблюдается в августе (в среднем субрегионе) и сентябре (в северном). Этот максимум связан с цветением кокколитофорид, которое происходит в Баренцевом море из года в год, при этом значительно варьируя и по занимаемой площади, и по местоположению [4]. В Атласе представлены цветные карты среднемесячных распределений числовой концентрации клеток кокколитофорид (N_{coc}) для июля, августа и сентября, рассчитанные с использованием нового регионального алгоритма [7].

На рис. 2 показаны августовские среднемесячные распределения Chl и b_{bp} , осредненные за период 1998–2011 гг., и температуры поверхности моря SST за 2003–2011 гг. (сканер MODIS-Aqua), а также отклонения этих характеристик от средних климатических распределений в 2012 г. В восточной части среднего субрегиона в 2012 г. наблюдалось возрастание всех рассматриваемых параметров относительно среднеклиматических распределений; для b_{bp} это возрастание привело к резкому увеличению среднего значения b_{bp} в августе для всего среднего субрегиона (рис. 1, б). Наблюдаемые изменения связаны с цветением кокколитофорид, которое, во-первых, сместилось на восток примерно на 10° , по сравнению со среднеклиматическим распределением (рис. 2, б, д), а во-вторых, возросло по интенсивности (суммарное содержание клеток кокколитофорид в метровом слое по площади кокколитофоридного цветения в августе увеличилось от $\sim 5 \cdot 10^{20}$ кл/м в 2011 г. до более $6 \cdot 10^{20}$ кл/м в 2012 г. [1]).

В табл. 1 представлены среднесезонные (май–сентябрь) значения концентрации хлорофилла Chl и показателя рассеяния b_{bp} в разных субрегионах Баренцева моря — диапазоны их изменения в период с 1998 по 2012 гг., средние значения за период 1998–2011 гг. и в 2012 г. Существенные изменения рассматриваемых параметров в указанный период не наблюдались — отклонения крайних значений от средних почти везде находились в пределах 13 %. Исключение составляет лишь увеличение показателя b_{bp} в среднем субрегионе в 2012 г. — около 40 % от среднего.

Как видно из таблицы, среднесезонные значения Chl в северном и среднем субрегионах примерно одинаковы, а показателя b_{bp} заметно выше в среднем, что связано с кокколитофоридными цветениями. Оба параметра существенно выше в южном субрегионе — концентрация хлорофилла примерно в 1.5 раза, показатель b_{bp} — в 2–3 раза. Это связано со стоком реки Печора в Печорское море.

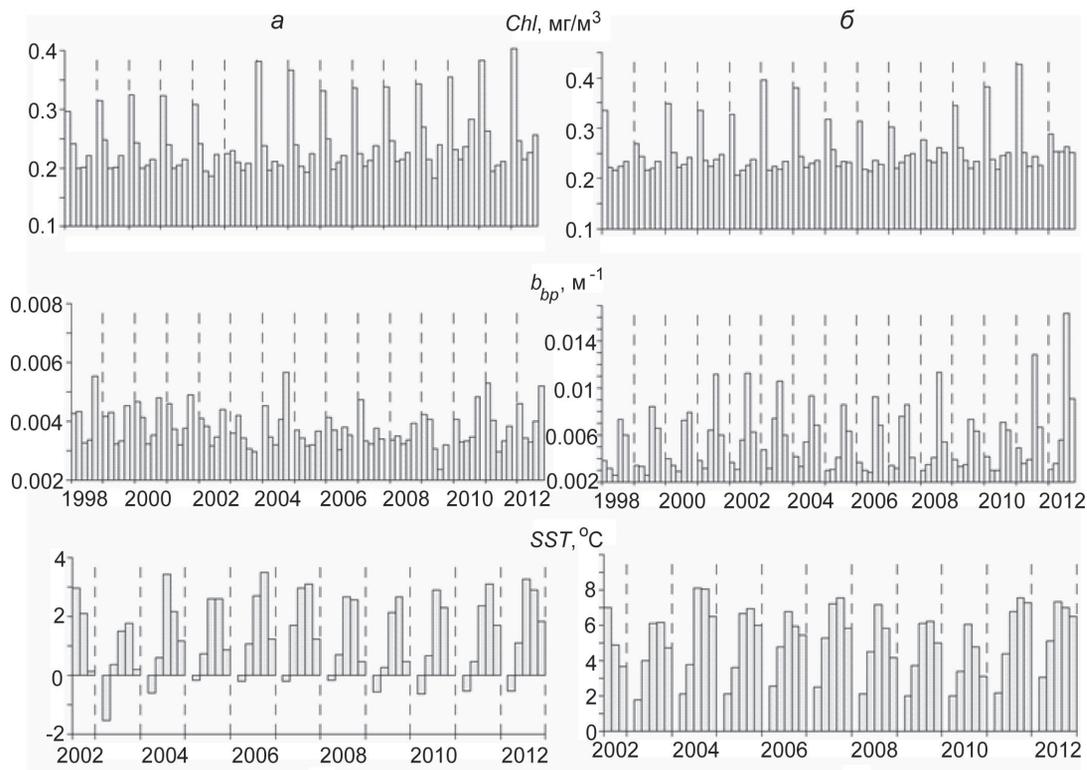


Рис. 1. Диаграммы изменения среднемесячных величин концентрации хлорофилла Chl , показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} и температуры поверхности моря SST в северном (а) и среднем (б) субрегионах Баренцева моря (май–сентябрь).

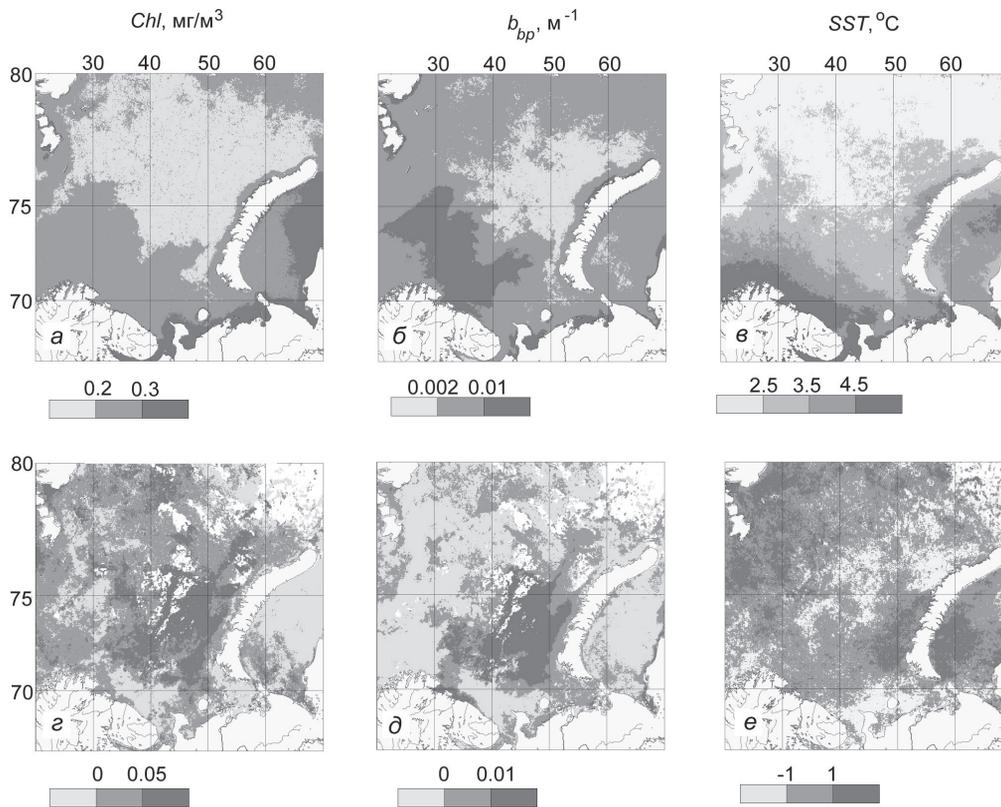


Рис. 2 Среднемесячные распределения концентрации хлорофилла Chl (а), показателя рассеяния b_{bp} (б), температуры поверхности Баренцева моря SST (в) в августе, осредненные за период 1998–2011 гг. (SST — 2003–2011 гг.), и отклонения этих характеристик от средних климатических распределений в 2012 г. (з, д, е). Белый цвет — суша; нет данных.

Таблица 1

Среднесезонные (май–сентябрь) значения концентрации хлорофилла Chl и показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} в разных субрегионах Баренцева моря

Субрегион	Chl , мг/м ³			$b_{bp} \cdot 10^3$, м ⁻¹		
	1998–2012 гг.	Среднее за 1998–2011 гг.	2012 г.	1998–2012 гг.	Среднее за 1998–2011 гг.	2012 г.
Северный	0.21–0.27	0.24	0.27	3.4–4.2	3.8	4.1
Средний	0.24–0.27	0.25	0.26	4.5–7.5	5.4	7.5
Южный	0.35–0.37	0.36	0.37	9.9–12.7	11.4	11.6

Белое море

Диаграммы изменения среднемесячных величин Chl , b_{bp} и SST для двух субрегионов Белого моря — Двинского залива и центральной части (без заливов и Горла) — представлены на рис. 3 (май–сентябрь). На рисунке также показана «стыковка» данных сканеров SeaWiFS и MODIS-Aqua (обозначены разной штриховкой) для Chl и b_{bp} , о которой говорилось выше. Систематические ошибки стыковки не превышают 1.5 %, статистические — в среднем для сезона май–сентябрь — для Chl составляют 9 % для Двинского залива и 6 % для центральной части, для b_{bp} , соответственно, 17 и 13 %.

Из рис. 3 видно, что сезонная изменчивость показателя рассеяния b_{bp} выражена гораздо более резко, чем концентрации хлорофилла, особенно в Двинском заливе. Наибольшие значения b_{bp} наблюдаются в мае, что связано с весенним половодьем Двины. Концентрация хлорофилла в Двинском заливе также максимальна в мае, в центральной части моря — в июне.

На рис. 4 показаны среднемесячные распределения концентрации хлорофилла Chl , показателя рассеяния b_{bp} и температуры поверхности Белого моря SST в июне, осредненные за период 1998–2011 гг. (SST — 2003–2011 гг.) и отклонения этих характеристик от средних климатических в 2012 г. Последние заметны для Chl и SST и пренебрежимо малы для b_{bp} .

В табл. 2 представлены среднесезонные (май–сентябрь) значения Chl и b_{bp} — диапазоны их изменения в период с 1998 по 2012 гг., средние значения за период 1998–2011 гг. и в 2012 г. Видно, что резких изменений рассматриваемых характеристик в Белом море в период 1998–2012 г. не происходило.

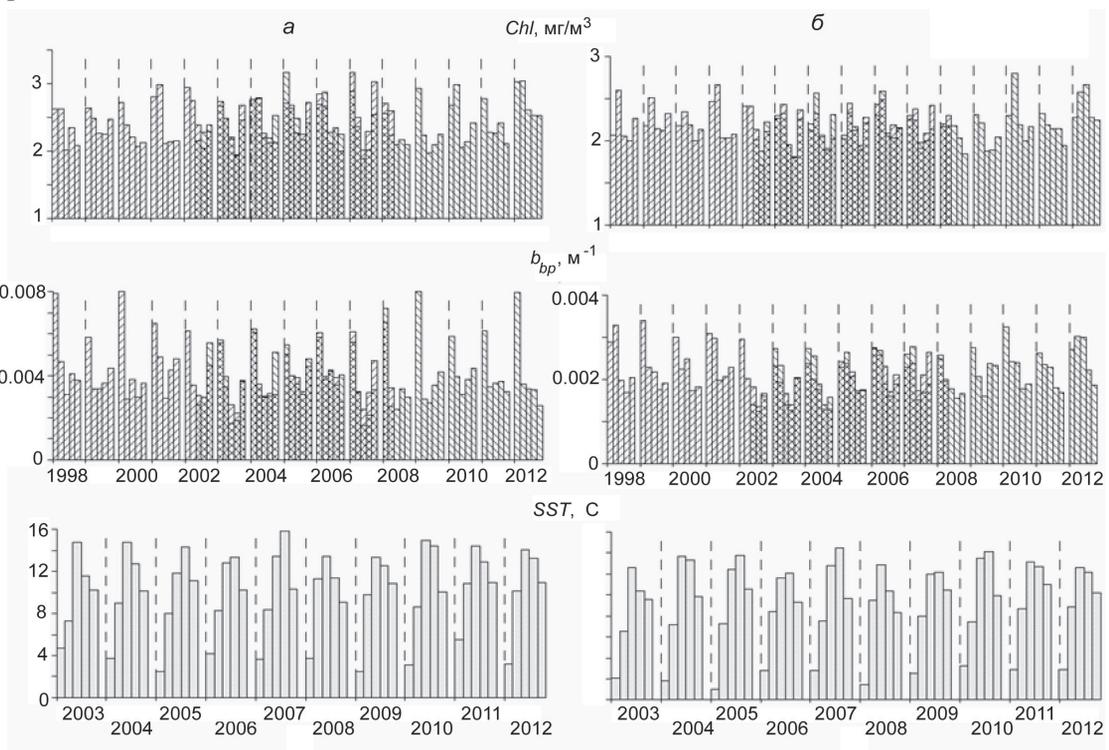


Рис. 3. Диаграммы изменения среднемесячных величин концентрации хлорофилла Chl , показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} и температуры поверхности моря SST для Двинского залива (а) и центральной части Белого моря (б).

▨ — SeaWiFS; ▩ — MODIS.

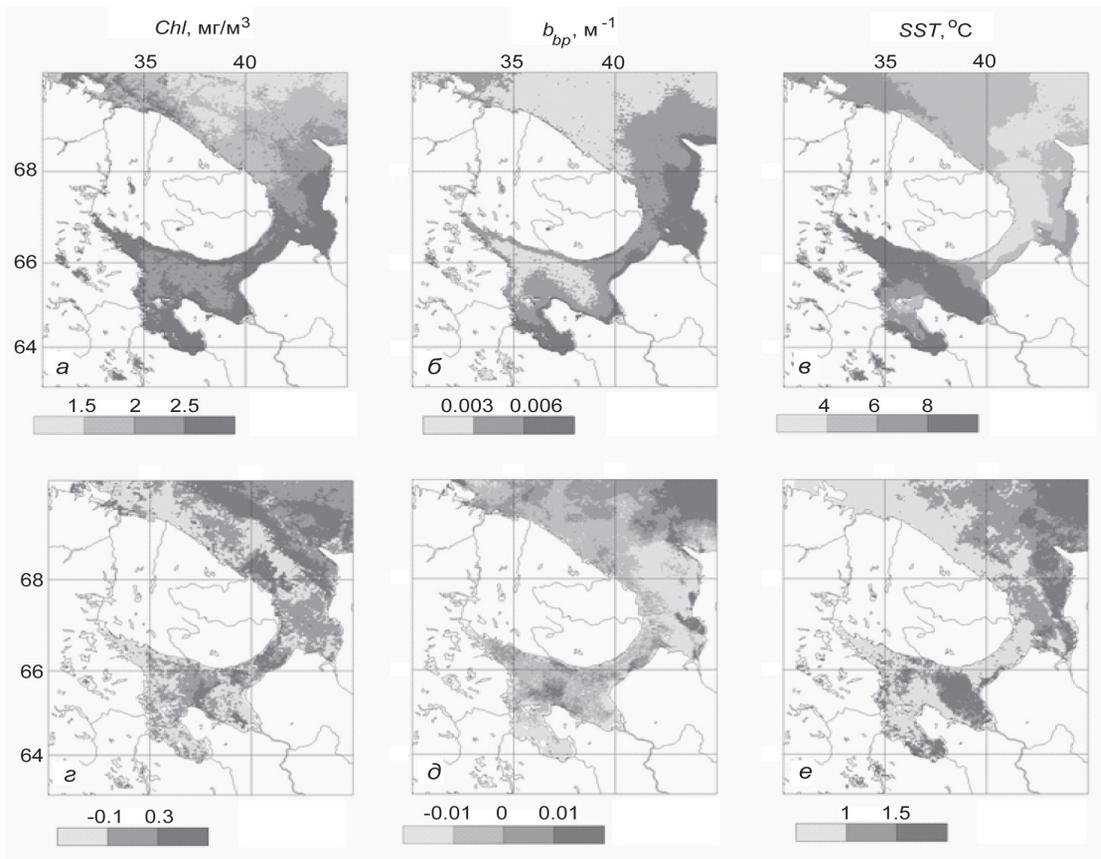


Рис. 4. Среднемесячные распределения концентрации хлорофилла Chl (а), показателя рассеяния b_{bp} (б), температуры поверхности Белого моря SST (в) в июне, осредненные за период 1998–2011 гг. (SST — 2003–2011 гг.), и отклонения этих характеристик от средних климатических распределений в 2012 г. (г, д, е). Белый цвет — суша; нет данных.

Таблица 2

Среднесезонные (май–сентябрь) значения концентрации хлорофилла Chl и показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} в разных субрегионах Белого моря

Субрегион	$Chl, \text{мг/м}^3$			$b_{bp} \cdot 10^3, \text{м}^{-1}$		
	1998–2012 гг.	Среднее за 1998–2011 гг.	2012 г.	1998–2012 гг.	Среднее за 1998–2011 гг.	2012 г.
Двинский залив	2.23–2.75	2.40	2.75	3.2–4.7	4.1	4.2
Центральная часть	2.07–2.41	2.15	2.41	1.8–2.6	2.2	2.6

Черное море

Сезонные изменения рассмотрим для субрегионов восточной части моря, где в последнее десятилетие регулярно проводятся экспедиционные исследования ИО РАН.

На рис. 5 показаны диаграммы изменения среднемесячных величин Chl , b_{bp} и SST для восточной глубоководной части Черного моря и восточного шельфа.

Видно, что изменения рассматриваемых параметров в обоих субрегионах подобны. Концентрация Chl обычно имеет два максимума — весенний (март–май) и осенний (октябрь–ноябрь), часто еще и июнь. Показатель b_{bp} во все годы имеет четко выраженный максимум в июне, связанный с цветением кокколитофорид и речным стоком [8].

На рис. 6 показаны июньские среднемесячные распределения Chl и b_{bp} в Черном море, осредненные за период 1998–2011 гг., и отклонения этих характеристик от средних климатических распределений в 2012 г. Как видно, область высоких значений b_{bp} ($> 0.01 \text{ м}^{-1}$) в июне охватывает почти все Черное море, а в 2012 г. в восточной глубоководной части эти значения на большей площади возросли еще более чем на 0.015 м^{-1} . При этом заметное увеличение концентрации хлорофилла наблюдалось лишь на южной окраине этой зоны.

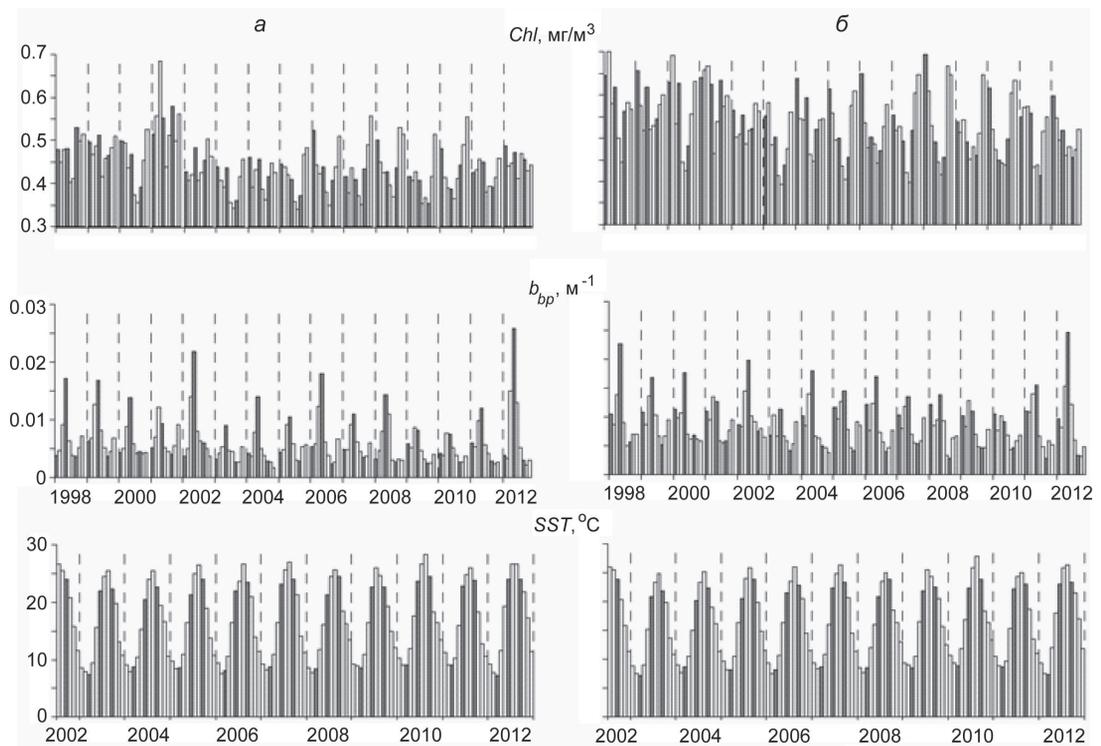


Рис. 5. Диаграммы изменения среднемесячных величин концентрации хлорофилла Chl , показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} и температуры поверхности Черного моря SST для восточной глубоководной части (а) и восточного шельфа (б) [1].

Для Chl и b_{bp} изменения показаны с марта по ноябрь, для SST — с января по декабрь. Черными столбиками выделены март, июнь и сентябрь.

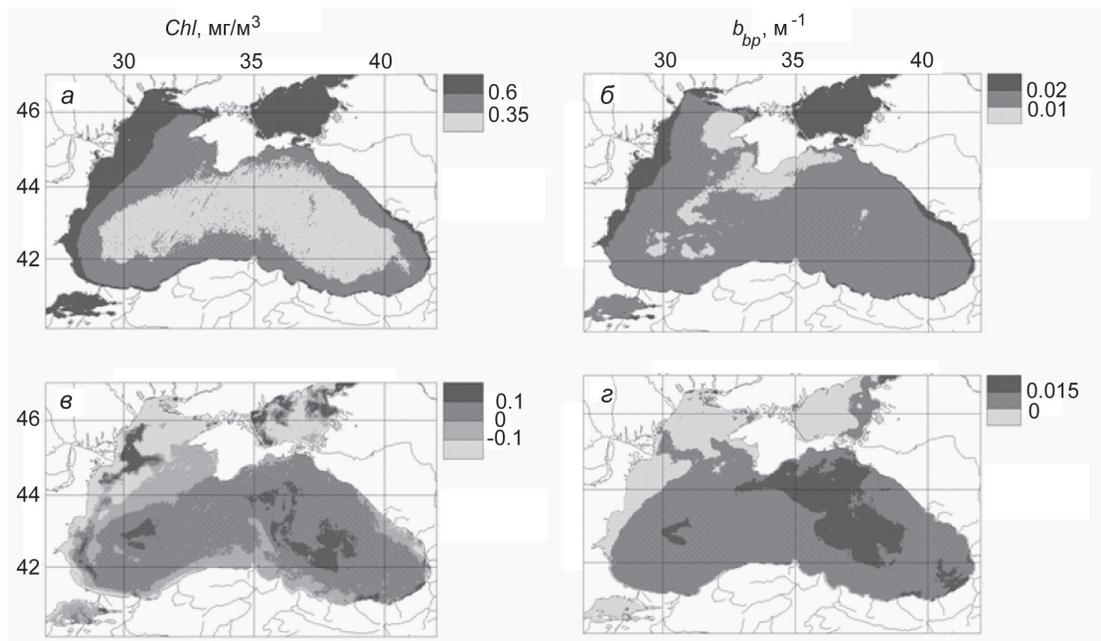


Рис. 6. Среднемесячные распределения концентрации хлорофилла Chl (а) и показателя рассеяния b_{bp} (б) в Черном море в июне, осредненные за период 1998–2011 гг., и отклонения этих характеристик от средних климатических распределений в 2012 г. (в, з). Белый цвет — суша; нет данных.

В табл. 3 представлены среднесезонные (май–сентябрь) значения Chl и b_{bp} в восточных субрегионах — диапазоны их изменения в период с 1998 по 2012 гг., средние значения за период 1998–2011 гг. и в 2012 г. Можно отметить, что 2012 г. по Chl примерно соответствовал среднелиматическим значениям, но, вследствие интенсивного цветения кокколитофторид, заметно превысил эти значения по b_{bp} — в глубоководной части моря почти на 70 %, в шельфовой зоне — более чем на 30 %.

Среднесезонные (май–сентябрь) значения концентрации хлорофилла Chl и показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} в восточных субрегионах Черного моря

Субрегион	Chl , мг/м ³			$b_{bp} \cdot 10^3$, м ⁻¹		
	1998–2012 гг.	Среднее за 1998–2011 гг.	2012 г.	1998–2012 гг.	Среднее за 1998–2011 гг.	2012 г.
Восточная глубоководная часть	0.38–0.55	0.42	0.45	5.3–12.4	7.3	12.4
Восточный шельф	0.45–0.59	0.50	0.48	7.0–12.3	9.2	12.3

Каспийское море

На рис. 7 показаны диаграммы изменения среднемесячных величин Chl , b_{bp} и SST для Северного и Среднего Каспия [1].

Видно, что в Северном Каспии изменения Chl и b_{bp} достаточно хорошо коррелируют друг с другом — это объясняется действием общего фактора — стока Волги, которая выносит и взвешенные частицы, и клетки фитопланктона, и питательные элементы, способствующие росту первичной продукции, а стало быть и концентрации хлорофилла. В Среднем Каспии выделяются максимумы Chl и b_{bp} в августе–сентябре 2001 г., связанные с влиянием на экосистему вселенца — гребневика *Mnemiopsis leidyi* [1].

Августовские среднемесячные распределения Chl , b_{bp} и SST , осредненные за период 1998–2011 гг. (SST — 2003–2011 гг.), и отклонения этих характеристик от средних климатических распределений в 2012 г. показаны на рис. 8.

В табл. 4 представлены среднесезонные (май–сентябрь) значения Chl и b_{bp} в разных субрегионах — диапазоны их изменения в период 1998–2012 гг., средние значения за период 1998–2011 гг. и в 2012 г.

Отметим рекордно высокие по сравнению со всеми другими рассмотренными регионами значения b_{bp} в Северном Каспии — они объясняются интенсивным выносом взвеси Волгой и взмучиванием донных осадков на мелководном шельфе Северного Каспия вследствие ветрового перемешивания.

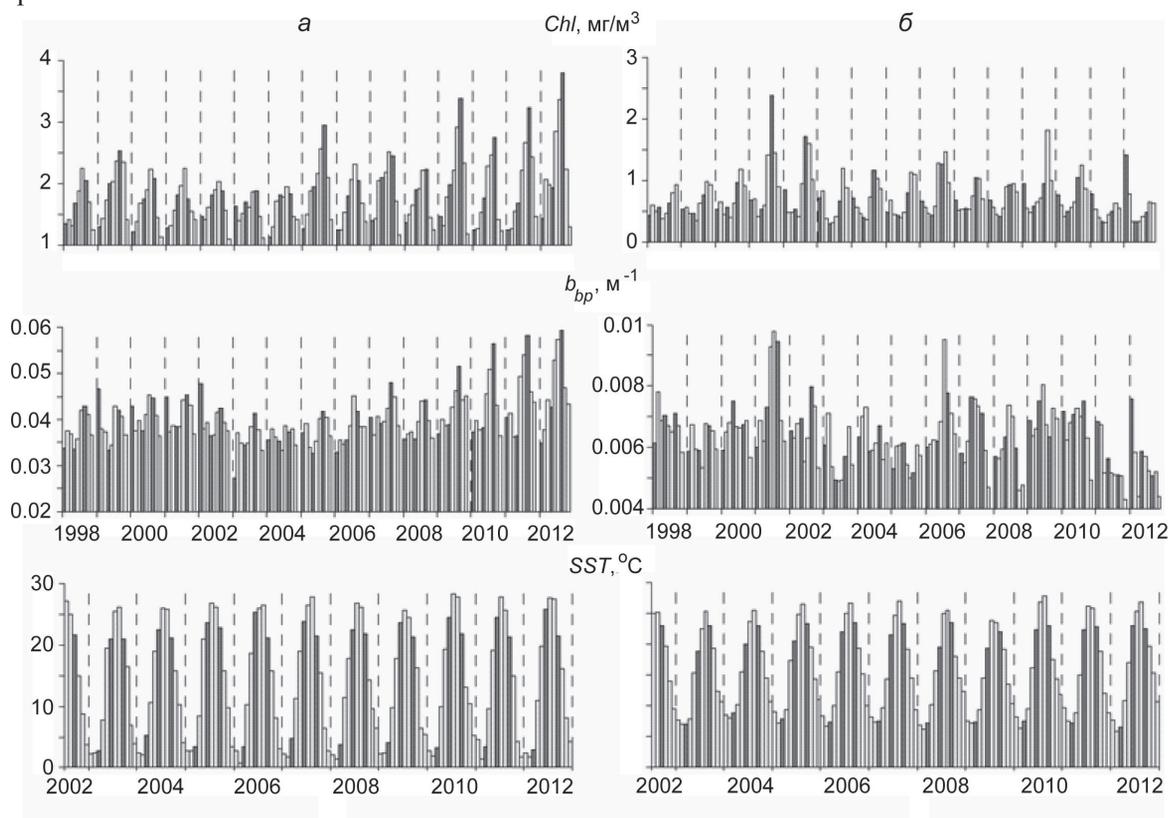


Рис. 7. Диаграммы изменения среднемесячных величин концентрации хлорофилла Chl , показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} , и температуры поверхности Каспийского моря SST для Северного (а) и Среднего (б) Каспия [1]. Черными столбиками выделены март, июнь и сентябрь.

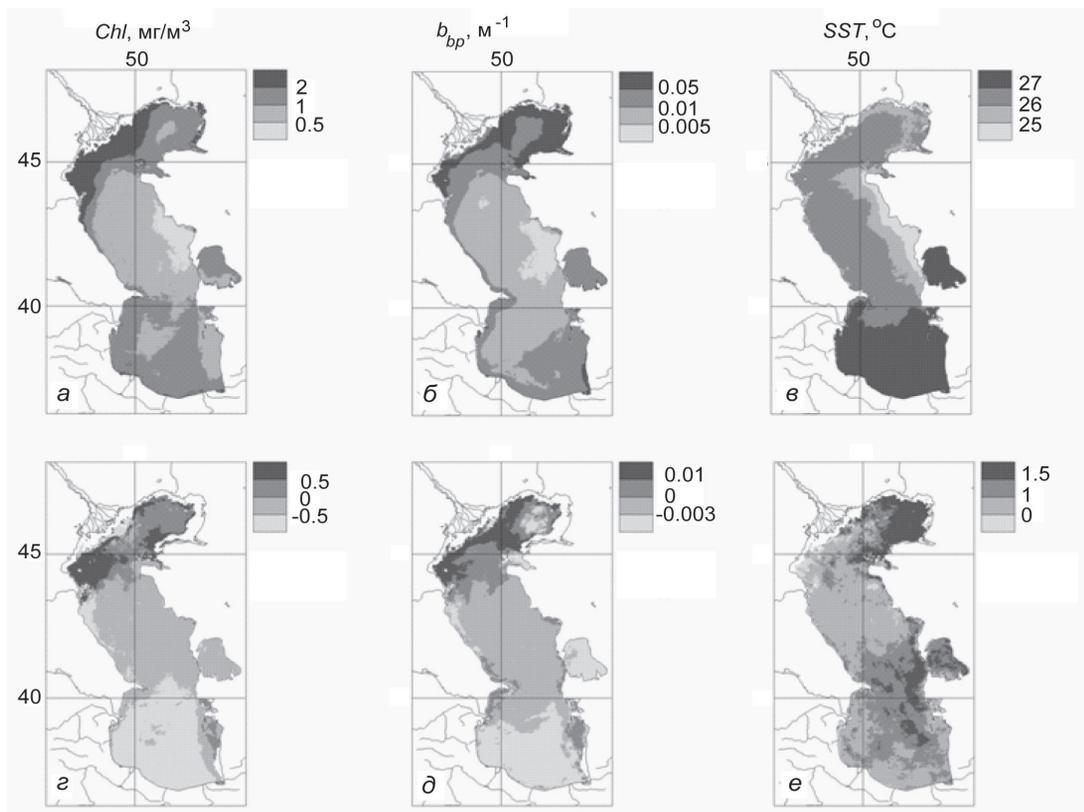


Рис. 8. Среднемесячные распределения концентрации хлорофилла Chl (а), показателя рассеяния b_{bp} (б), температуры поверхности Каспийского моря SST (в) в августе, усредненные за период 1998–2011 гг. (SST — 2003–2011 гг.), и отклонения этих характеристик от средних климатических распределений в 2012 г. (з, д, е).

Белый цвет — суша; нет данных.

Таблица 4

Среднесезонные (май–сентябрь) значения концентрации хлорофилла Chl и показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} в разных субрегионах Каспийского моря

Субрегион	Chl , мг/м ³			$b_{bp} \cdot 10^3$, м ⁻¹		
	1998–2012 гг.	Среднее за 1998–2011 гг.	2012 г.	1998–2012 гг.	Среднее за 1998–2011 гг.	2012 г.
Северный	1.71–2.79	2.03	2.79	36.2–51.3	40.3	51.3
Средний	0.38–1.07	0.64	0.38	5.2–8.3	6.6	5.3
Южный	0.37–2.78	0.90	0.46	8.7–18.2	11.3	9.3

Представлены статистические характеристики сезонной и межгодовой изменчивости биооптических параметров вод Баренцева, Белого, Черного и Каспийского морей, рассчитанные по данным спутниковых сканеров цвета посредством разработанных региональных алгоритмов. Наивысшее среднесезонное (май–сентябрь) значение концентрации хлорофилла зарегистрировано в Двинском заливе Белого моря — 2.4 мг/м³, показателя рассеяния назад взвешенными частицами — в Северном Каспии (> 0.04 м⁻¹, а в 2012 г. даже > 0.05 м⁻¹). В 8 из 10 рассмотренных регионов средние значения Chl и b_{bp} в 2012 г. превышали соответствующие среднеклиматические значения. Причины наблюдаемых изменений требуют отдельного рассмотрения.

Данные спутниковых сканеров SeaWiFS и MODIS-Aqua получены из Центра данных НАСА (Goddard Distributed Active Archive Center).

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований № 23 Президиума РАН.

Литература

1. Bio-optical characteristics of the Russian Seas from satellite ocean color data of 1998–2012. URL: <http://optics.ocean.ru> (дата обращения: 15.08.2014).
2. Ocean Color Web. URL: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 15.08.2014).
3. *Kopelevich O. V.* et al. Monthly distributions of the bio-optical characteristics in the Russian Seas from satellite ocean color data since 1998 to 2008 // Proc. V Int. Conf. «Current problems in Optics of Natural Waters (ONW 2009)». St.-Petersburg: Nauka, 2009. P. 115–120.
4. *Kopelevich O. V.* et al. Bio-optical characteristics of the Russian Seas from satellite ocean color data of 1998-2012 // Proc. VII Int. Conf. «Current problems in Optics of Natural Waters (ONW 2013)». St.-Petersburg: Nauka, 2013. P. 168–171.
5. Ocean Color Reprocessing 2009. URL: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/REPROCESSING/R2009/> (дата обращения: 15.08.2014).
6. Ocean Color Web. MODIS-Aqua Reprocessing 2010. URL: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/WIKI/OCReproc20100MA.html> (дата обращения: 15.08.2014).
7. *Копелевич О. В.* и др. Проблемы индикации кокколитофоридных цветений по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 5. С. 241–250.
8. *Kopelevich O. V.* et al. Satellite monitoring of coccolithophore blooms in the Black Sea from ocean color data // Remote Sensing of Environment. 2014. V. 146. P. 113–123.

Статья поступила в редакцию 08.05.2014 г.