

Электронный атлас «Биооптические характеристики морей России по данным спутниковых сканеров цвета 1998–2014 гг.»

О.В. Копелевич, С.В. Вазюля, И.В. Салинг, С.В. Шеберстов, В.И. Буренков

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия
E-mail: oleg@ocean.ru*

В Лаборатории оптики океана ИО РАН, начиная с 2002 г., каждые два года выпускается пополняемый электронный атлас биооптических характеристик морей России, содержащий данные для исследования сезонных и межгодовых изменений этих характеристик в поверхностном слое вод различных регионов. Новый, 8-й выпуск Атласа, подготовленный в этом году (<http://optics.ocean.ru>), содержит цветные карты среднемесячных распределений биооптических параметров вод Баренцева, Белого, Черного и Каспийского морей и диаграммы, показывающие изменчивость их среднемесячных значений для разных регионов. Представлены таблицы параметров межгодовой изменчивости различных характеристик. В число характеристик входят концентрация хлорофилла, показатели обратного рассеяния взвешенными частицами и поглощения окрашенным органическим веществом, концентрация взвешенного вещества, характеристики кокколитофоридных цветений в Баренцевом и Черном морях. Для расчетов использовались региональные алгоритмы, разработанные на основе данных натурных измерений в рассматриваемых морях. В новом выпуске Атласа дано сравнение двух версий расчетов, различающихся по требованиям к полноте и качеству используемых спутниковых данных, что важно для решения проблемы оптимизации таких требований. Специальное внимание уделено результатам 2013–2014 гг., впервые представленным в Атласе.

Ключевые слова: спутниковые данные, сканеры цвета, моря России, биооптические характеристики, сезонная и межгодовая изменчивость, полнота и качество данных

Введение

В статье рассматриваются проблемы и возможности использования данных спутниковых сканеров цвета для построения долговременных серий наблюдений больших акваторий и использования этих данных для исследования сезонных и межгодовых изменений биооптических характеристик вод поверхностного слоя различных регионов. В Лаборатории оптики океана ИОРАН, начиная с 2002 г., выпускаются построенные по данным спутниковых сканеров цвета электронные атласы биооптических характеристик морей России (Копелевич и др., 2015). Первый выпуск Атласа был на русском языке, последующие – на английском. Они издаются каждые два года с добавлением данных за прошедшие годы. Новый, 8-й выпуск, подготовленный в этом году (<http://optics.ocean.ru>), содержит карты среднемесячных распределений биооптических параметров Баренцева, Белого, Черного и Каспийского морей, диаграммы, показывающие изменчивость среднемесячных значений для различных регионов, таблицы с параметрами межгодовой изменчивости различных характеристик. Основной набор биооптических параметров включает концентрацию хлорофилла, показатель обратного рассеяния взвешенными частицами и показатель поглощения окрашенного органического вещества. Эти характеристики дают возможность исследовать по спутниковым данным пространственную и временную изменчивость трех важнейших компонентов содержащегося в морской воде вещества – фитопланктона, взвеси и окрашенного органического вещества. Для сопоставления с климатическими изменениями в Атлас включены данные о сезонных и межгодовых изменениях температуры поверхности моря.

Рассматриваемые моря находятся под сильным влиянием речного стока и относятся к типу вод 2, где стандартные алгоритмы обработки данных спутниковых сканеров цвета могут давать большие ошибки (Копелевич и др., 2006). Поэтому для расчетов биооптических характеристик по спутниковым данным в вышеперечисленных морях в основном используются региональные алгоритмы, разработанные на основе данных натурных измерений в этих морях.

В новом выпуске рассматривается одна из важнейших проблем работы со спутниковыми данными – оптимизация требований к их полноте и качеству данных при расчетах биооптических характеристик. Новый выпуск Атласа предоставляет пользователю возможность сравнить две версии: использование спутниковых данных с более жесткими ограничениями, что обеспечивает большую надежность, но меньшую полноту полученных результатов; другая версия рассчитана аналогично предыдущим выпускам – в ней представлены более полные, но менее надежные результаты.

Используемые данные и алгоритмы

Для расчета биооптических характеристик использовались доступные на сайте НАСА (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) ежедневные данные второго уровня сканеров цвета SeaWiFS (январь 1998 – июнь 2002 гг.) и MODIS-Aqua (июль 2002 – декабрь 2014 гг.); «сшивка» данных SeaWiFS и MODIS-Aqua выполнялась по совместным данным этих сканеров в период с июля 2002 г. по 2007 г. (Копелевич и др., 2015).

Новый выпуск включает данные 2013–2014 гг., которые были рассчитаны с помощью новой версии SeaDAS l2gen 6.7.0 (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>). Прямое сравнение значений коэффициентов яркости R_{rs} для Баренцева, Черного и Каспийского морей, полученных с помощью новой и предыдущей версий, показало, что различия между ними (за исключением канала 412 нм, данные которого не используются в биооптических алгоритмах) незначительны, и нет необходимости пересчитывать прежние данные. Рассчитанные по данным 2-го уровня значения параметров усреднялись за каждый месяц на сетке 3×3 км.

Используемые для расчетов региональные алгоритмы разработаны по данным проведенных в рассматриваемых морях натурных измерений (<http://optics.ocean.ru>).

Проблема оптимизации требований к полноте и качеству используемых данных

Качество используемых данных и полнота покрытия исследуемых регионов спутниковыми данными оказывают существенное влияние на получаемые оценки средних значений. В частности, изменчивость покрытия может приводить к тому, что расчет сред-

них значений происходит по разным площадям, и при анализе межгодовых изменений и оценки трендов фактически сравниваются средние, рассчитанные для разных акваторий (Копелевич, Шеберстов, 2010). Однако ужесточение требований к качеству данных неминуемо приводит к сокращению полноты получаемой информации о сезонных и межгодовых изменениях исследуемых характеристик. Оптимальный выбор требований зависит от условий, в которых проводятся спутниковые наблюдения, в частности, от изменчивости облачности, которая исключает возможность получения спутниковых данных в видимом и инфракрасном диапазонах.

В предыдущих выпусках Атласа расчеты среднемесячных распределений и средних значений по рассматриваемому региону проводились с «предельно мягкими» требованиями: бин (ячейка сетки) считался заполненным, если в него попадал хотя бы один пиксел с данными; никаких требований к покрытию рассматриваемого региона заполненными бинами не предъявлялось. В новом выпуске Атласа, наряду с вышеуказанной версией, проведены расчеты с более жесткими требованиями.

Во-первых, количество дней с данными на каждый бин должно быть не меньше трех для Черного и Каспийского морей и не меньше двух для Баренцева и Белого морей. Во-вторых, доля покрытия выбранного субрегиона должна быть не менее 70%. В Атлас включены только те месяцы, для которых есть приемлемые данные за весь период наблюдений: для Каспийского и Черного морей – с марта по октябрь, для Баренцева и Белого морей – с мая по сентябрь. Из-за отсутствия данных, удовлетворяющих вышеуказанным ограничениям, северный субрегион Каспийского моря сокращен по площади вблизи устья Волги; исключен из рассмотрения субрегион № 3 Черного моря (<http://optics.ocean.ru>), поскольку он слишком мал, чтобы сокращать его размеры.

На *рис. 1* показано изменение доли среднемесячного покрытия данными спутниковых сканеров цвета SeaWiFS и MODIS-Aqua (с мая по сентябрь) трех субрегионов Баренцева моря: северного, среднего и южного (граница между северным и средним субрегионами проходит по 75° с.ш., южный ограничен Чешской губой и Печорским морем (<http://optics.ocean.ru>)). Мы видим, что «жестким» требованиям в северном субрегионе удовлетворяют только 1–2 месяца в году – июль – август, исключение составляет 2013 г., когда покрытие составляло более 70% с июня по август.

Гораздо лучше ситуация в среднем и южном субрегионах, но и здесь из-за облачности почти во все годы выпадает сентябрь, а в Среднем Баренце в 2006, 2010 и 2014 гг. выпадал август – очень важный месяц для наблюдения за кокколитофоридными цветениями (<http://optics.ocean.ru>).

На *рис. 2* сравниваются изменения среднемесячных значений показателя обратного рассеяния взвешенными частицами b_{bp} и концентрации хлорофилла Chl в Среднем Баренце, рассчитанные с «жесткими» и «мягкими» ограничениями. Черная кривая показывает сезонные изменения, рассчитанные по осредненным («средне-климатическим») значениям за период 1998–2011 гг. Можно видеть, что при «мягких» ограничениях пропуски на диаграммах отсутствуют, а значения b_{bp} и Chl достаточно хорошо совпадают со значениями,

рассчитанными при «жестких» ограничениях, когда таковые имеются. Сравнение со «средне-климатическими» значениями дает основание предполагать, что максимумы b_{bp} в августе реально наблюдались, хотя их величина по данным с «мягкими» ограничениями вряд ли оценивается с высокой точностью.

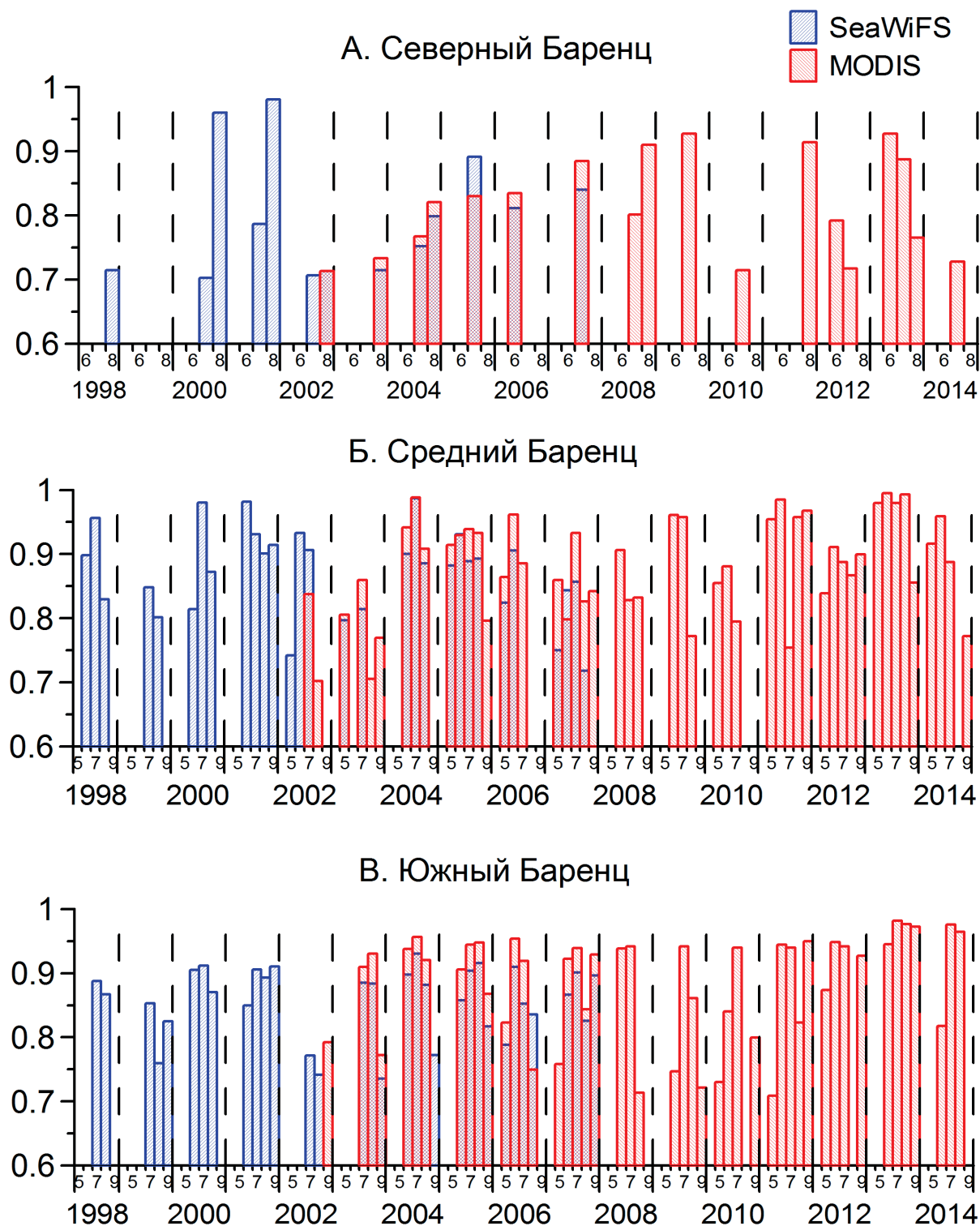


Рис. 1. Изменение доли среднемесячного покрытия данными спутниковых сканеров цвета SeaWiFS и MODIS-Aqua с мая по сентябрь трех субрегионов Баренцева моря: А – Северный Баренц; Б – Средний; В – Южный («жесткие» требования к полноте и качеству используемых данных)

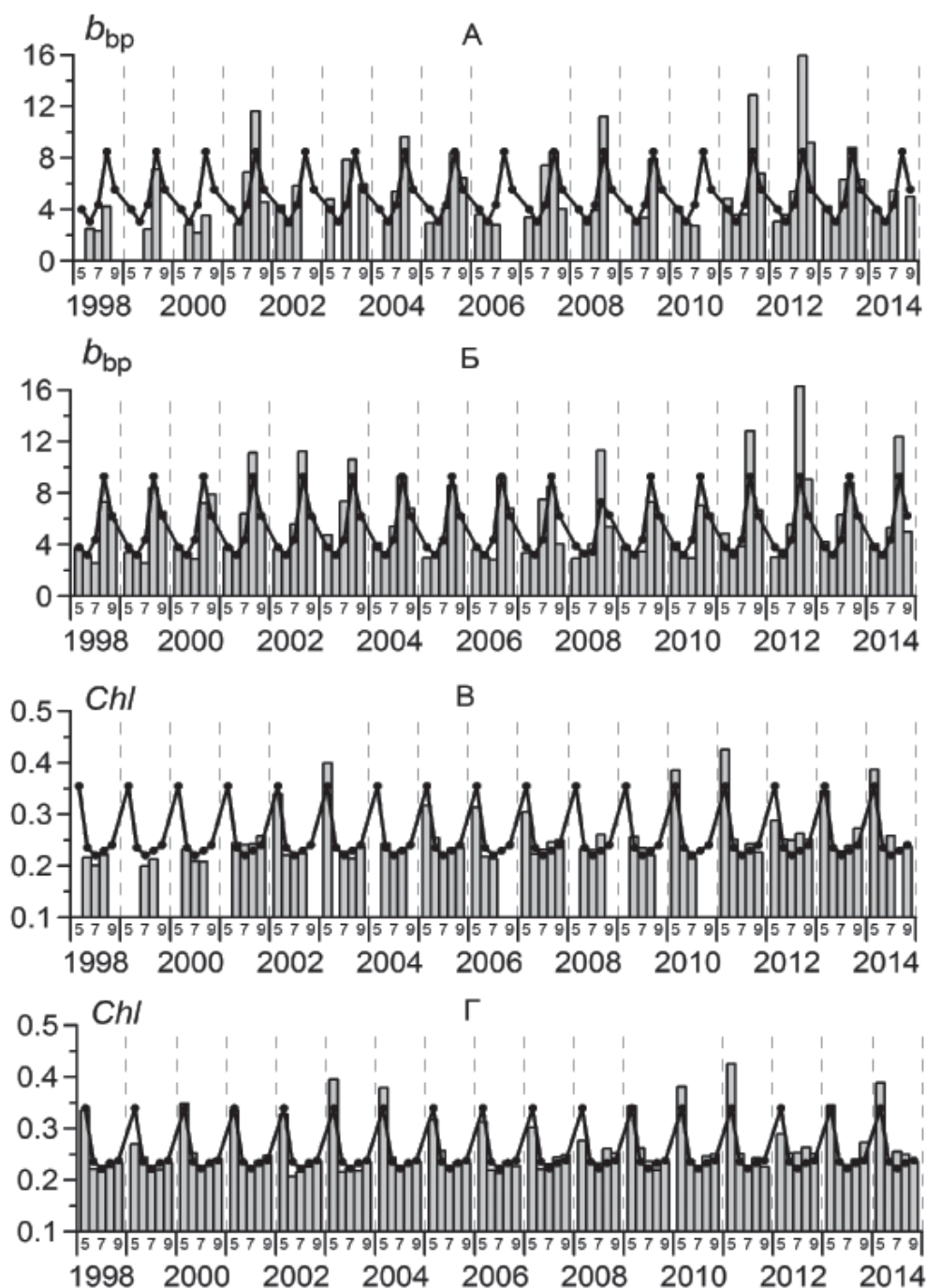


Рис. 2. Изменение среднемесячных значений показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} (А, Б) и концентрации хлорофилла (В, Г) в Среднем Баренце с «жесткими» (А, В) и «мягкими» ограничениями (Б, Г). Черная кривая показывает сезонные изменения, рассчитанные по осредненным («средне-климатическим») значениям за период 1998–2011 гг.

Анализ межгодовых изменений

Одно из главных предназначений Атласа – обеспечение данных для оценки межгодовых изменений биооптических характеристик в разных регионах. Такая оценка обычно проводится относительно средне-климатических значений; в Атласе для этой цели предлагаются данные, осредненные за период 1998–2011 гг. (Копелевич и др., 2015). На рис. 3–6 показаны эти

распределения для показателя обратного рассеяния взвешенными частицами b_{bp} и концентрации хлорофилла. Мы видим, что для всех регионов, за исключением Северного Каспия, в рассматриваемые месяцы наблюдается практически полное покрытие спутниковыми данными, а сравнение «средне-климатических» средних, рассчитанных с «жесткими» и «мягкими» ограничениями, показывает, что они практически не различаются (рис. 2).

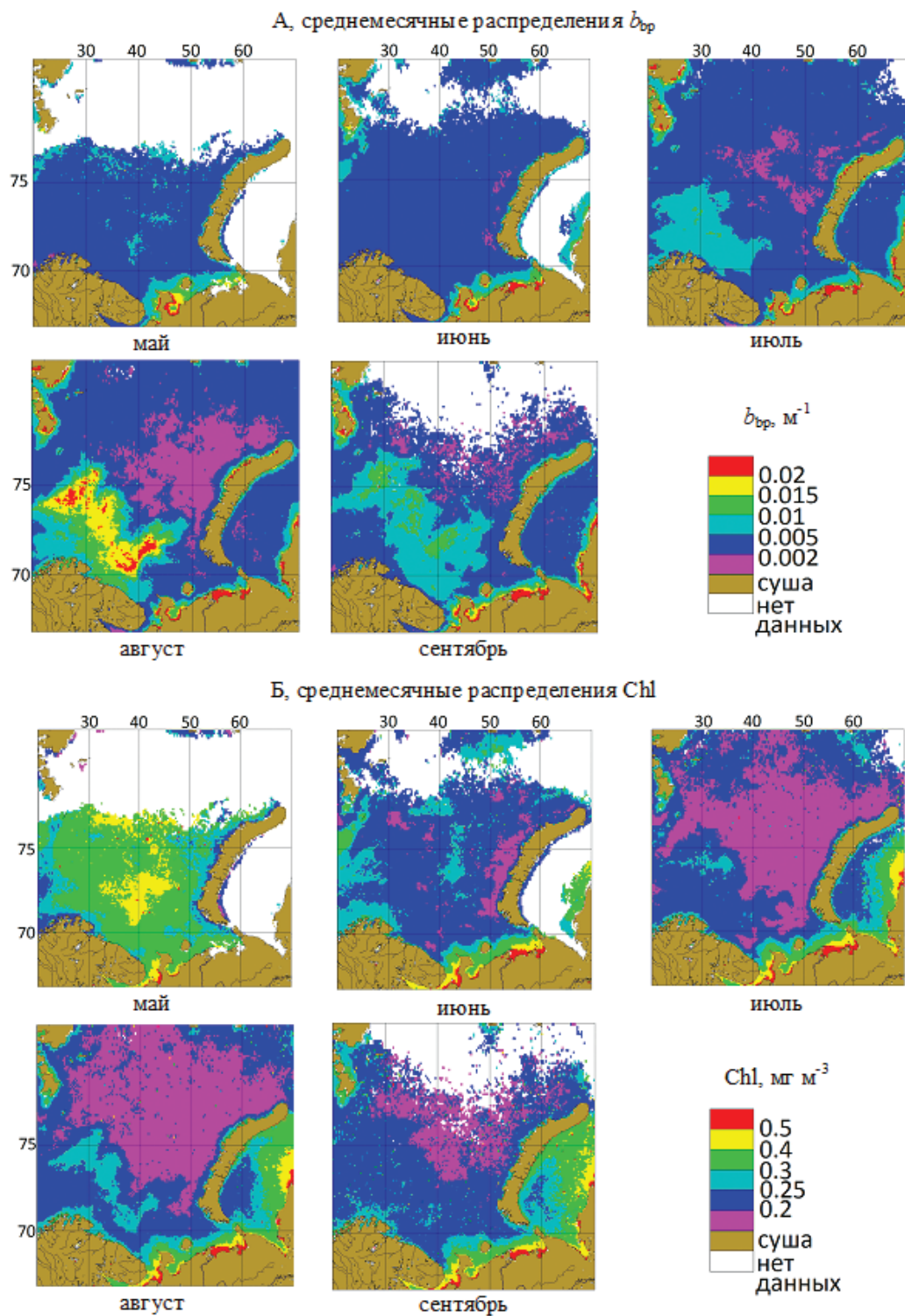


Рис. 3. Среднемесячные распределения показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} (А) и концентрации хлорофилла Chl (Б) в Баренцевом море с мая по сентябрь, осредненные за период 1998–2011гг.

Приведенные в Атласе данные позволяют рассчитать для выбранного года отклонения от «средне-климатических» значений и оценить статистическую значимость обнаруженных отклонений (принимался уровень значимости 0,05). Но надо отметить, что значимые изменения больших масштабов в 2013–2014 гг. наблюдались редко. Пример таких изменений для температуры поверхности моря SST , наблюдавшихся в 2013 г., показан на *рис. 7А*. Видны значительные положительные аномалии SST с мая по сентябрь, которые в августе превышали 3°C на большей части акватории Баренцева моря. Конечно, такие большие отклонения являлись статистически значимыми.

Для показателя b_{bp} (*рис. 7Б*) подобных аномалий не наблюдается. Хотя максимальные отклонения превышают $0,004 \text{ м}^{-1}$, статистически значимыми они являются только местами.

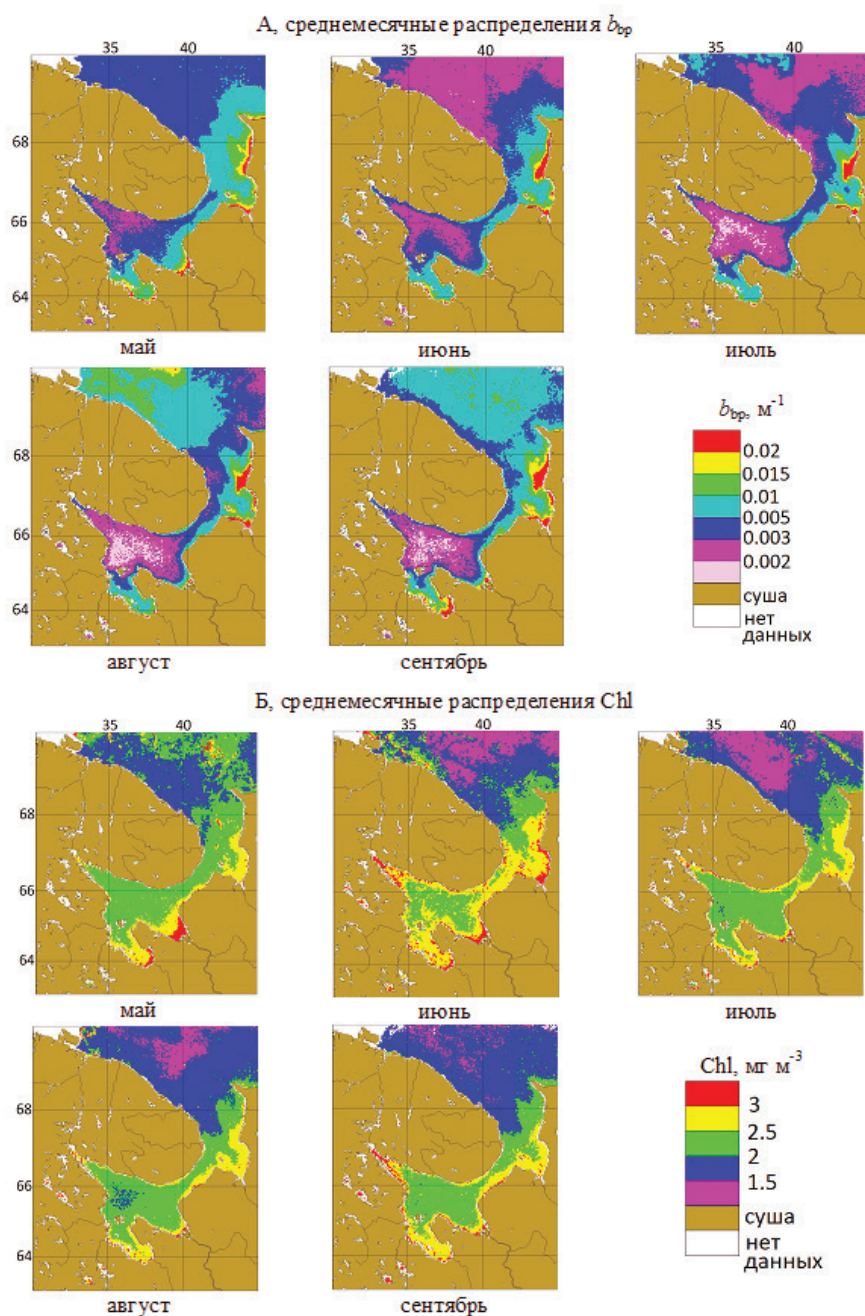


Рис. 4. Среднемесячные распределения показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} (А) и концентрации хлорофилла Chl (Б) в Белом море с мая по сентябрь, осредненные за период 1998–2011гг.

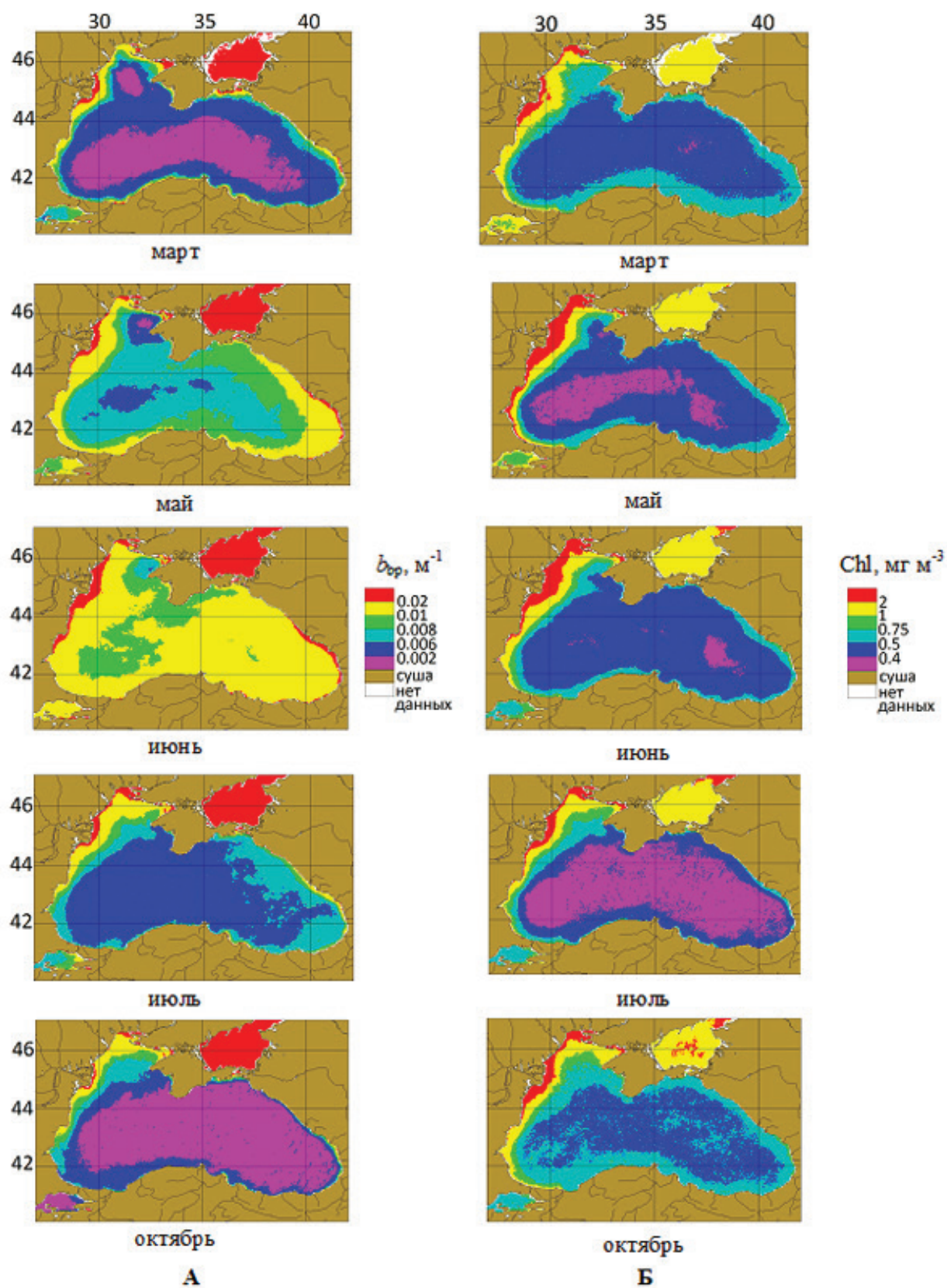


Рис. 5. Среднемесячные распределения показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} (А) и концентрации хлорофилла Chl (Б) в Черном море с марта по октябрь, осредненные за период 1998–2011гг.

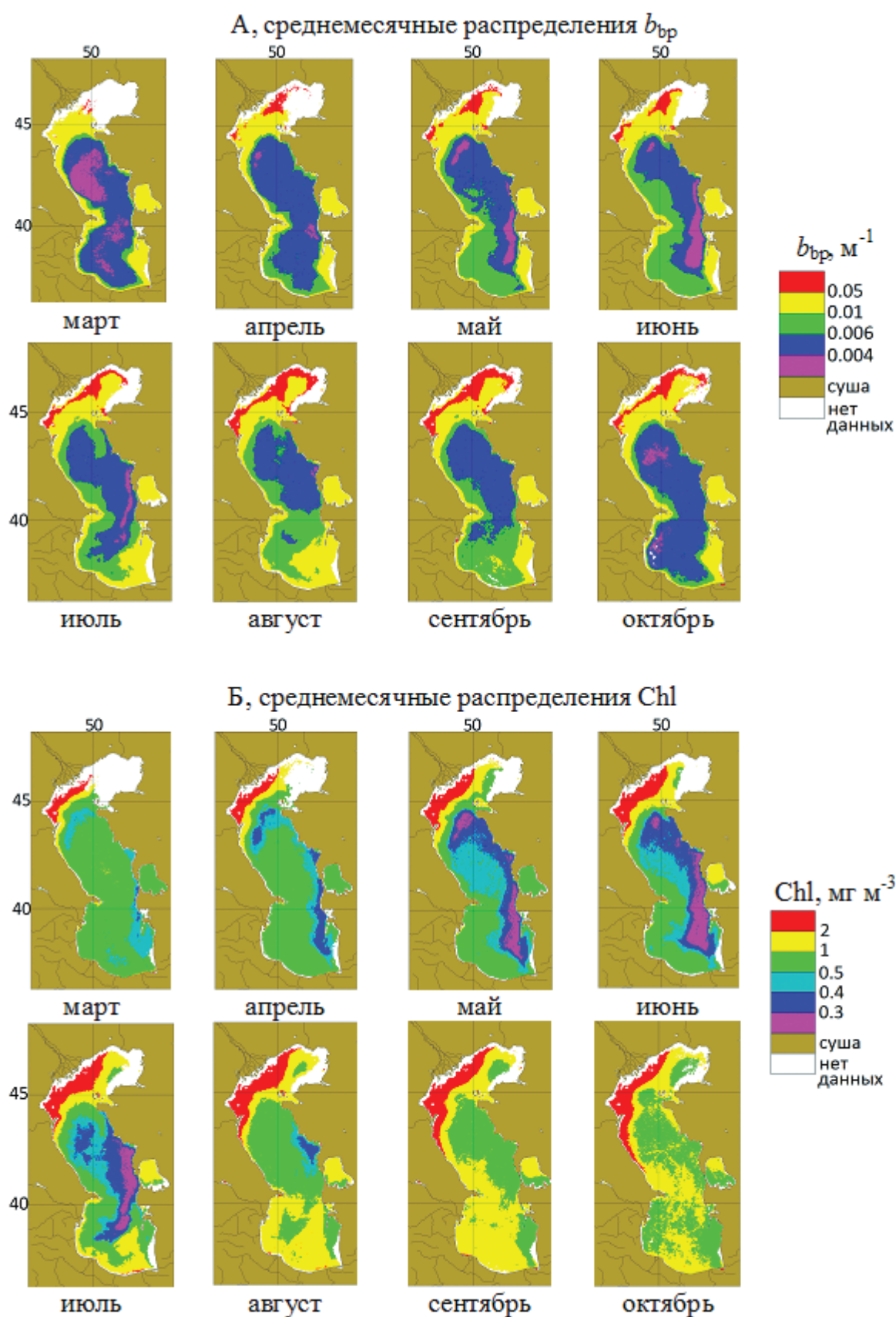


Рис. 6. Среднемесячные распределения показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp} (А) и концентрации хлорофилла Chl (Б) в Каспийском море с марта по октябрь, осредненные за период 1998–2011гг.

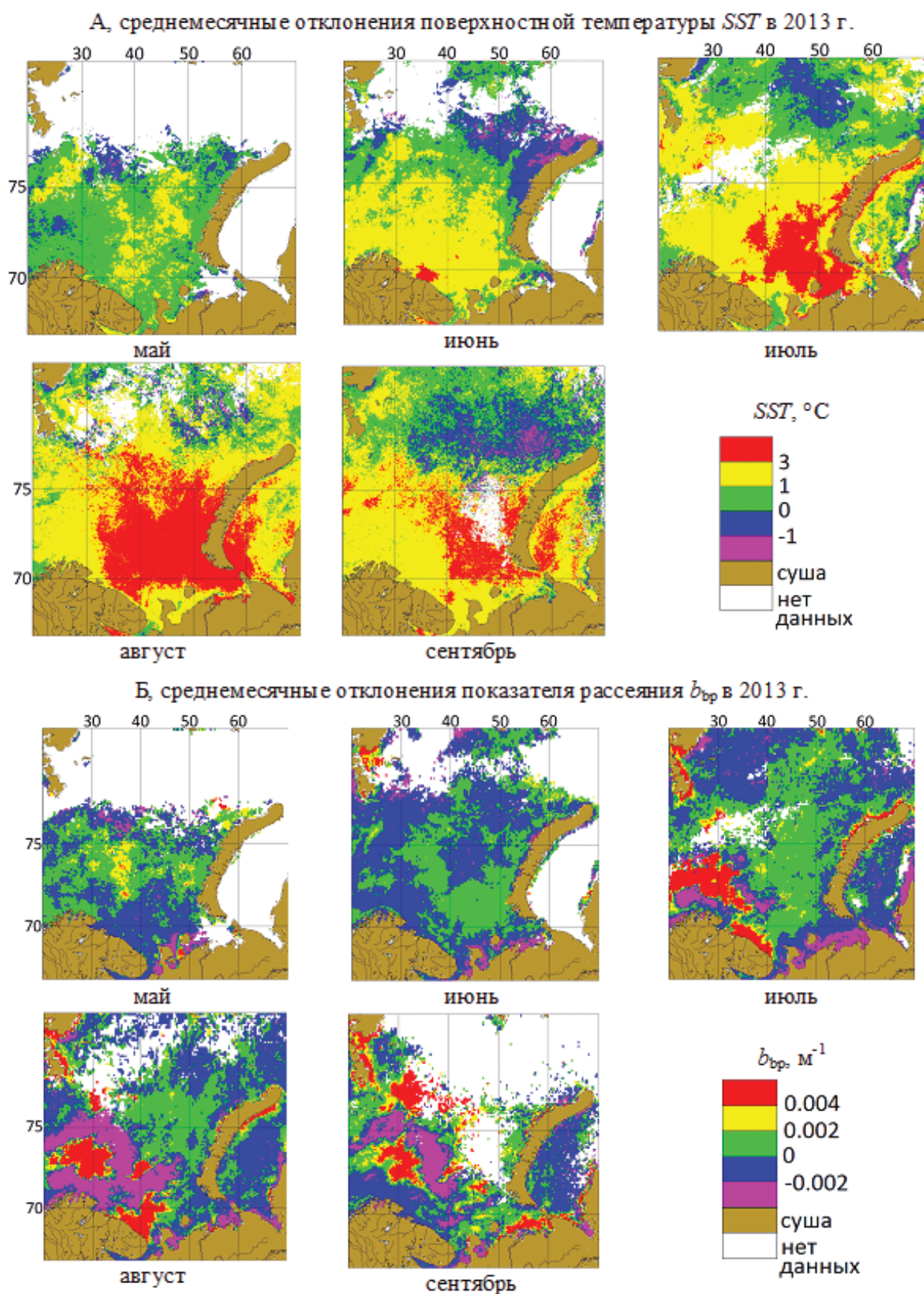


Рис. 7. Среднемесячные отклонения от средних 1998–2011 гг. поверхностной температуры SST (А) и показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{br} (Б) в Баренцевом море с мая по сентябрь в 2013 г.

Заключение

Представлен новый выпуск электронного Атласа биооптических характеристик морей России по данным спутниковых сканеров цвета, в который включены данные 2013–2014 гг. Наряду с традиционными материалами для исследования сезонных и межгодовых изменений биооптических параметров вод Баренцева, Белого, Черного и Каспийского морей, в новом Атласе дано интересное сравнение двух версий расчетов, различающихся по требованиям к полноте и качеству используемых спутниковых данных, что важно для решения проблемы оптимизации таких требований. Очевидно, что эта проблема еще требует дальнейших исследований, и перспективным, на наш взгляд, может оказаться использование предшествующих данных, осредненных за период несколько лет, что частично показано в статье.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00095), предоставленного Институту океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Литература

1. *Копелевич О. В., Буренков В.И., Шеберстов С.В.* Разработка и использование региональных алгоритмов для расчета биооптических характеристик морей России по данным спутниковых сканеров цвета // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Т. 2. № 3. С. 99–105.
2. *Копелевич О.В., Шеберстов С.В.* Оценка по спутниковым данным межгодовых и сезонных изменений температуры поверхности Атлантического океана и концентрации хлорофилла в поверхностном слое в период 1998–2008 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 1. С. 238–247.
3. *Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Салинг И.В., Вазюля С.В., Буренков В.И.* Сезонная и межгодовая изменчивость биооптических характеристик вод поверхностного слоя Баренцева, Белого, Черного и Каспийского морей по спутниковым данным // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 8. № 1. С. 7–16.

Electronic atlas “Biooptical characteristics of the Russian Seas from satellite ocean color data of 1998–2014”

O.V. Kopelevich, S.V. Vazyulya, I.V. Saling, S.V. Sheberstov, V.I. Burenkov

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: oleg@ocean.ru*

Every other year since 2002, the Ocean Optics Laboratory IO RAS produces an electronic replenishable atlas of the bio-optical characteristics of the Russian seas that contains data for the study of seasonal and inter-annual changes of the above characteristics of surface water layer in different regions. A new, 8th issue of the atlas contains color maps of mean monthly distributions of the bio-optical characteristics in the Barents, White, Black, and Caspian Seas and diagrams showing variability of the monthly means for different regions. Tables of inter-annual changeability of different characteristics are given. A set of bio-optical parameters includes chlorophyll concentration, particle backscattering coefficient and absorption coefficient of yellow substance, total suspended matter, parameters of the coccolithophore blooms in the Barents and Black Seas. The calculations were made using regional algorithms developed on the basis of field measurements in these seas. A comparison of two calculation versions differing in the completeness and quality of used satellite data is performed. This is important for solving the problem of data requirements optimization. Results for 2013–2014 presented for the first time in the atlas are highlighted.

Keywords: satellite data, color scanner, Russian Seas, bio-optical characteristics, seasonal and interannual variability, data completeness and quality

References

1. Kopelevich O. V., Burenkov V.I., Sheberstov S.V., Razrabotka i ispol'zovanie regional'nykh algoritmov dlya rascheta bioopticheskikh kharakteristik morei Rossii po dannym sputnikovykh skanerov tsвета (The development and using of the regional algorithms for the calculation of the bio-optical characteristics of Russian seas from ocean color satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2006, Vol. 2, No. 3, pp. 99–105.
2. Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Otsenka po sputnikovym dannym mezhgodovykh i sezonnykh izmenenii temperatury poverkhnosti Atlanticheskogo okeana i kontsentratsii khlorofilla v poverkhnostnom sloe v period 1998–2008 gg. (Assessment of inter-annual and seasonal changes in sea surface temperature and chlorophyll concentration in the Atlantic Ocean in 1998–2008 from satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 1, pp. 238–247.
3. Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Saling I.V., Vazyulya S.V., Burenkov V.I., Sezonnaya i mezhgodovaya izmenchivost' bioopticheskikh kharakteristik vod poverkhnostnogo sloya Barentseva, Belogo, Chernogo i Kaspiiskogo morei po sputnikovym dannym (Seasonal and inter-annual changeability of bio-optical characteristics in the surface layer of the Barents, White, Black and Caspian Seas from satellite data), *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*, 2015, Vol. 8, No. 1, pp. 7–16.