

УДК 551.468

© Д. И. Глуховец<sup>1,2</sup>, О. В. Копелевич<sup>1,2</sup>, С. В. Шеберстов<sup>1</sup>, И. В. Салинг<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный  
glukhovets@ocean.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ

Статья поступила в редакцию 31.07.2019, после доработки 25.10.2019

Представлены обобщённые результаты исследований биооптических характеристик поверхностного слоя вод Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых, полученные по судовым и спутниковым данным, и интерпретация наблюдаемых явлений. Выполнен совместный анализ данных измерений о пространственном распределении биооптических характеристик, полученных в 2018 г. с помощью судового проточного комплекса, и спутниковых наблюдений за период 2003—2017 гг., который позволил выявить роль основных процессов, определяющих это распределение, его сезонные и межгодовые изменения. Показано, что пространственные распределения интенсивности флуоресценции окрашенного растворенного органического вещества и хлорофилла хорошо соответствуют гидрофизическим характеристикам в области влияния речного стока; пространственные распределения показателя ослабления хорошо с ними согласуются. Полученные данные позволили определить положение арктических и атлантических вод и кокколитофоридных цветений в Баренцевом море, выделить границы распространения опресненного слоя в морях Карском и Лаптевых. Представлены статистические оценки связи между биооптическими характеристиками Баренцева и Карского морей по спутниковым данным.

**Ключевые слова:** биооптические характеристики, поверхностный слой вод, Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, непрерывные судовые измерения, спутниковые данные.

*D. I. Glukhovets<sup>1,2</sup>, O. V. Kopelevich<sup>1,2</sup>, S. V. Sheberstov<sup>1</sup>, I. V. Sahling<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

## RESEARCH OF THE BIO-OPTICAL CHARACTERISTICS OF THE SURFACE LAYER WATERS OF THE RUSSIAN ARCTIC SEAS

Received 31.07.2019, in final form 25.10.2019

The paper presents the generalized results of studies of the water surface layer bio-optical characteristics of the Barents, Kara and Laptev Seas and the interpretation of the observed phenomena. A joint analysis of the data on the bio-optical characteristics spatial distribution obtained in 2018 using a shipboard flow-through measuring complex and satellite observations for the period 2003—2017 was performed. The analysis allowed us to identify the role of the main processes that determine this distribution, its seasonal and interannual changes. It is shown that the spatial distribution of the fluorescence intensity of the colored dissolved organic matter and chlorophyll is in good agreement with the hydrophysical characteristics in the area of river runoff influence; the spatial distributions of the attenuation coefficient are in good agreement with them. The data obtained made it possible to determine the position of the Arctic and Atlantic waters and coccolithophore blooms in the Barents Sea, to identify the distribution boundaries of the surface desalinated layer in the Kara and Laptev Seas. Statistical estimates of the relationship between the bio-optical characteristics of the Barents and Kara Seas from satellite data are presented.

**Key words:** bio-optical characteristics, water surface layer, Barents Sea, Kara Sea, Laptev Sea, underway shipboard measurements, satellite data.

Ссылка для цитирования: Глуховец Д.И., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Салинг И.В. Исследование биооптических характеристик вод поверхностного слоя арктических морей России // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2019. Т. 12, № 4. С. 59—65.

For citation: *Glukhovets D.I., Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Sahling I.V.* Research of the bio-optical characteristics of the surface layer waters of the Russian Arctic Seas. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2019, 12, 4, 59—65.

DOI: 10.7868/S2073667319040075

## 1. Введение

Биооптические характеристики морской воды зависят от количественного и качественного состава растворенного и взвешенного вещества, содержащегося в ней. Этот состав чрезвычайно изменчив и разнообразен: окрашенные органические соединения, фитопланктон, бактерии, детрит, взвешенные частицы, выносимые в море реками и ветром. Содержание и вариативность этих компонентов морской воды позволяет оценивать состояние экосистемы и осуществлять мониторинг. Эти задачи могут быть успешно решены с помощью контактных и дистанционных оптических методов.

В работе обсуждаются пространственные распределения биооптических и гидрофизических характеристик поверхностного слоя вод Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых, полученные с помощью проточного измерительного комплекса в 2018 г., а также пространственные и временные распределения биооптических характеристик этих морей, полученные по спутниковым данным с 2003 по 2017 гг.

В 2018 г. судовой проточный измерительный комплекс Лаборатории оптики океана ИО РАН (ЛОО ИО РАН) впервые использовался в наиболее полном виде – непрерывные измерения флуоресценции, температуры и солёности морской воды были дополнены измерениями показателя ослабления, разработана и применена методика калибровки проточного флуориметра, позволившая получать данные в абсолютных рамановских единицах.

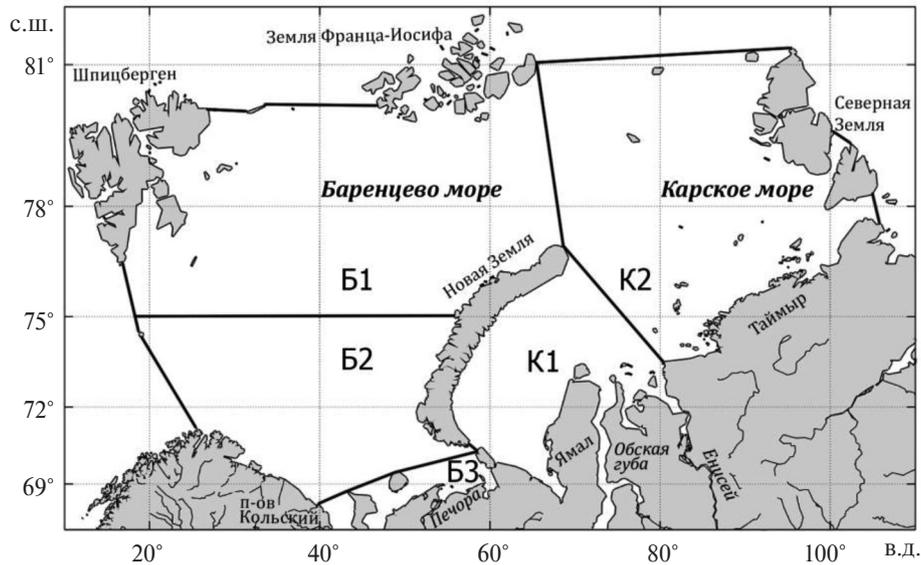
К сожалению, из-за частой плотной облачности над исследуемыми морями не удалось получить данные спутниковых сканеров цвета, близкие по времени к судовым измерениям, и провести прямое сравнение судовых и спутниковых данных. Однако показано хорошее соответствие между данными судовых измерений в 2018 г. и «средне-климатическими» пространственными распределениями биооптических характеристик и температуры поверхности моря (2003–2012 гг.) и результатами их статистического анализа (2003–2017 гг.) по спутниковым данным. Это согласие определяется, в первую очередь, сезонным ходом процессов в исследуемых арктических морях, обуславливающих пространственные и временные распределения биооптических характеристик вод поверхностного слоя.

## 2. Аппаратура и методика

С помощью проточной системы [1], посредством двухканального проточного флуориметра [2], прозрачномера [3, 4] и термосалинографа, непрерывно измерялись интенсивности флуоресценции хлорофилла *a* (Хл) и окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), показатель ослабления морской воды (*c*), а также температура и солёность морской воды в приповерхностном слое (порядка 1–2 м) по маршруту судна. В качестве источника возбуждающего излучения в проточном флуориметре использованы сверхъяркие светодиоды (373 нм и 521 нм для каналов ОРОВ и Хл, соответственно), работающие в непрерывном режиме. Полосы регистрации излучения формируются с помощью светофильтров из цветного оптического стекла (максимумы пропускания: 480 нм и 685 нм для каналов ОРОВ и Хл, соответственно). Прибор обеспечивает измерения  $I_{\text{fl}}$  в относительных единицах. Для абсолютной калибровки данных измерений проточного флуориметра используется двухканальный лазерный спектрометр ЛС-2 [2]. При используемой комбинации длин волн возбуждения и регистрации в канале ОРОВ прибор регистрирует в основном флуоресценцию гуминовых веществ терригенного происхождения [5]. Показатель ослабления морской воды измеряется на длине волны 530 нм. Величина *c* в значительной степени определяется содержанием взвешенного вещества [3].

По результатам измерений, выполненных в 71-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (июнь–август 2018 г.), разработана и внедрена методика оперативной калибровки данных судовых флуоресцентных измерений, необходимая для сравнительного исследования пространственных распределений интенсивностей флуоресценции вод разных морей [6]. Из-за значительных различий содержания желтого вещества в исследуемых морях для морей Карского и Лаптевых использовались другие коэффициенты нежели для Баренцева. Для получения этих коэффициентов в 72-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (август–сентябрь 2018 г.) производилась аналогичная процедура калибровки.

Биооптические характеристики Баренцева и Карского морей за период 2003–2017 гг. были проанализированы по данным, представленным в электронной версии Атласа Лаборатории оптики океана Института океанологии РАН (<https://optics.ocean.ru>). Для анализа использовались карты, диаграммы



**Рис. 1.** Выделенные субрегионы в морях Баренцевом: B1 – северный, B2 – средний, B3 – южный; и Карском: K1 – юго-западный, K2 – северо-восточный.

**Fig. 1.** Selected subregions in the Barents Sea: B1 – Northern, B2 – Medium, B3 – Southern; and in the Kara: K1 – Southwest, K2 – Northeast.

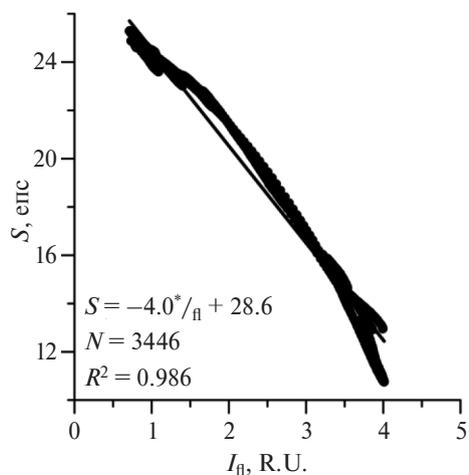
и таблицы среднемесячных распределений концентраций хлорофилла и взвешенного вещества, показателя поглощения окрашенным растворенным органическим веществом в различных субрегионах морей (рис. 1), полученные с помощью региональных алгоритмов ЛОО ИО РАН [7] по данным спутникового сканера цвета MODIS-Aqua. Для обработки данных MODIS была использована программа SMCS [8, 9].

### 3. Результаты и обсуждение

По результатам измерений, выполненных с помощью проточного измерительного комплекса в Баренцевом море (71-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», 7-15 августа 2018 г.) и морях Карском и Лаптевых (72-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», с 19 августа по 17 сентября 2018 г.), построены пространственные распределения интенсивностей флуоресценции ( $I_f$ ) ОРОВ и Хл, показателя ослабления ( $c$ ), а также температуры ( $T$ ) и солёности ( $S$ ) (рис. 2, см. вклейку). Значения интенсивностей флуоресценции даны в абсолютных (рамановских) единицах. Описанные ниже сходства и различия пространственных распределений рассматриваемых морей относятся только к тем акваториям, где выполнялись судовые измерения 2018 г.

Распределение температуры позволяет определить положение Полярного фронта в Баренцевом море, разделяющего арктические и атлантические воды. В Карском море наиболее высокие температуры ( $T > 7^\circ\text{C}$ ) имеют воды, попадающие в его юго-западную часть из Баренцева через пролив Карские ворота, а также опресненные речным стоком в центральной части моря [11]. В море Лаптевых измерения в 2018 г. выполнялись только в северо-западной части. Там температура вод поверхностного слоя не превышала  $5^\circ\text{C}$ .

Атлантические воды в поверхностном слое Баренцева моря имеют несколько большую солёность ( $S \sim 35$  епс), чем арктические ( $S \sim 34$  епс). Более существенные изменения, вызванные влиянием речного стока, наблюдаются в морях, расположенных восточнее. Из-за особенностей маршрута экспедиции, который пролегал существенно ближе к эстуариям Оби и Енисея, чем к дельте Лены, это влияние наиболее ярко проявилось в Карском море. Там изменчивость между областью влияния поверхностного опресненного слоя и открытой частью моря превышала 10 епс. В море Лаптевых она составляла около 5 епс. Положение наиболее опресненных участков разреза в Карском море совпадает с положением более теплых вод. Вынесенные с более теплого материка, эти воды к моменту измерений не успели остыть, как это произошло в северо-западной части моря Лаптевых. В области сформированного речным стоком поверхностного опресненного слоя (ПОС) зарегистрированы высокие значения



**Рис. 3.** Диаграмма рассеяния между  $S$  и  $I_{\text{П}}$  ОРОВ для участка разреза между  $75^\circ$  в.д. и  $95^\circ$  в.д., Карское море, 22–23 августа 2018 г.

**Fig. 3.** Scattering diagram between  $S$  and  $I_{\text{П}}$  CDOM for the part of the transect between  $75^\circ$  E and  $95^\circ$  E, Kara Sea, August 22–23, 2018.

$I_{\text{П}}$  ОРОВ. В результате происходящего при распространении речных вод процесса разбавления по мере удаления от устьевой зоны рек соленость в ПОС растет, а концентрация ОРОВ убывает. Вследствие этих процессов в области ПОС наблюдается ярко выраженная отрицательная корреляция интенсивности флуоресценции ОРОВ и солености [12]. Диаграмма рассеяния между соленостью и интенсивностью флуоресценции ОРОВ для данных, полученных в области ПОС в Карском море (участок разреза между  $75^\circ$  в.д. и  $95^\circ$  в.д.), показана на рис. 3. Высокое значение коэффициента детерминации  $R^2 = 0.986$  в широком диапазоне изменчивости солености ( $10.5 < S < 25.5$  eps) говорит об устойчивости отрицательной корреляции, вызванной процессом разбавления.

Измеренные пространственные распределения показателя ослабления в области речного стока соответствуют распределениям интенсивностей флуоресценции ОРОВ и Хл (для участка разреза между  $75^\circ$  в.д. и  $95^\circ$  в.д.  $R^2 = 0.56$  и  $R^2 = 0.53$ , соответственно). Эти данные позволяют определить положение арктических и атлантических вод и кокколитофоридных цветений в Баренцевом море, выделить границы распростра-

нения опресненного слоя в морях Карском и Лаптевых. В Баренцевом море зарегистрированное распределение  $I_{\text{П}}$  Хл подобно температурному, то есть в более теплых атлантических водах концентрация Хл выше, чем в арктических. Этот результат совпадает с результатами, полученными разными научными группами на основании спутниковых данных [7, 13]. Изменчивость  $I_{\text{П}}$  ОРОВ в северной и центральной частях Баренцева моря незначительна на фоне других рассматриваемых морей ( $I_{\text{П}}$  ОРОВ  $\sim 0.1$  R.U.). В 2018 г. к югу от Полярного фронта было зарегистрировано массовое кокколитофоридное цветение – область со значениями  $c > 1 \text{ м}^{-1}$ . В северо-западной части моря Лаптевых можно выделить два типа вод: к северу от материкового склона зарегистрированы более холодные ( $T < 3^\circ \text{C}$ ) и солёные ( $S > 25$  eps) воды с низкими значениями  $I_{\text{П}}$  ОРОВ ( $< 0.25$  R.U.), соответствующие водам Северного Ледовитого океана; к югу – более теплые ( $T > 3^\circ \text{C}$ ) опресненные ( $S < 25$  eps) со значениями  $I_{\text{П}}$  ОРОВ, превосходящими  $0.25$  R.U. Эти воды сформировались под влиянием речного стока.

Обобщить результаты можно с помощью анализа спутниковых данных, полученных за несколько лет. На рис. 4 (см. вклейку) показаны карты среднеклиматических (2003–2012 гг.) пространственных распределений концентраций хлорофилла ( $Chl$ ), взвеси ( $TSM$ ) и температуры поверхностного слоя ( $SST$ ) в августе для Баренцева и Карского морей. В Баренцевом море наблюдаются мощные кокколитофоридные цветения. Эти цветения играют важную роль в углеродном цикле океана [14] и благодаря влиянию на тепловой баланс моря могут рассматриваться как климатически значимый фактор [15]. Они не влияют на концентрацию хлорофилла (рис. 4, а), их присутствие выражено в существенном увеличении значений концентрации взвешенного вещества (рис. 4, б). Положение кокколитофоридных цветений ограничено с севера полярным фронтом, разделяющим более теплые атлантические воды от холодных арктических (рис. 4, в). Несмотря на то, что среднеклиматическое положение полярного фронта близко к широтному, его реальное положение имеет сложную форму и сильно изменчиво [16]. В Карском море, речные воды Оби и Енисея вызывают увеличение концентрации хлорофилла (рис. 4, г), увеличенные значения концентрации взвешенного вещества у берегов Северной Земли и северного острова Новой Земли связаны с поступлением частиц взвеси с тальми ледниковыми водами (рис. 4, д). Пространственное распределение температуры поверхности Карского моря в августе широтное (рис. 4, е). Оно не влияет на биооптические характеристики его вод.

Для анализа связи пространственных распределений и временных изменений абсолютных значений концентраций хлорофилла и взвешенного вещества в поверхностном слое вод субрегионов Баренцева и Карского морей, а также температуры поверхности моря произведены статистические расчеты. Расчеты выполнены для среднемесячных значений, полученных с помощью региональных алгоритмов за период 2003–2017 гг. Разделение исследуемых морей на субрегионы основано на различиях основных условий, формирующих биооптические характеристики вод: в субрегионе Б1 это

арктические воды, в Б2 – атлантические воды, в Б3 – речной сток; в К1 – речной сток и баренцево-морские воды, в К2 – речной сток и арктические воды (рис. 1).

Рассматриваемый временной период включает в себя наборы из 15 пар сопоставляемых значений, что соответствует 13 степеням свободы. Коэффициенты корреляции рассчитывались для среднемесячных значений исследуемых параметров внутри субрегионов для каждой комбинации месяцев и субрегионов. Для вывода о наличии корреляционной связи между исследуемыми параметрами при уровне значимости  $p = 0.05$  критическое значение коэффициента корреляции  $r$  составляет 0.51, при  $p = 0.01$  значение  $r$  должно превышать 0.64 [17].

Следует сделать важное замечание относительно погрешности рассчитанных коэффициентов корреляции. Для расчетов использовались «мягкие» требования к спутниковым данным: бин (ячейка сетки) считался заполненным, если за месяц в него попадал хотя бы один пиксел с данными [18]. Такой подход позволяет располагать существенно большим количеством данных, однако точность оценок абсолютных значений концентраций хлорофилла и взвешенного вещества становится ниже, чем при выполнении «жестких» требований [18]. Из-за использования «мягких» требований близкие к критическим значения  $r$  могут быть незначимыми в самые неблагоприятные для спутниковых наблюдений месяцы: в мае и сентябре – в северном субрегионе Баренцева моря, в июне и сентябре – в субрегионах Карского моря.

Результаты статистического анализа пространственных распределений и временных изменений абсолютных значений среднемесячных концентраций хлорофилла и взвешенного вещества в поверхностном слое вод субрегионов Баренцева и Карского морей показали, что: высокие значения коэффициентов корреляции для среднего и северного субрегионов Баренцева моря с июня по сентябрь ( $r = 0.71–0.80$ ) связаны с весенним цветением фитопланктона; высокие значения коэффициентов корреляции для субрегионов Карского моря между августом и сентябрем ( $r = 0.61–0.81$ ) объясняются влиянием речного стока; связи концентраций Хл между субрегионами Баренцева и Карского морей получились статистически незначимы по уровню 0.05, что связано с различием процессов, формирующих пространственные распределения и временные изменения этой характеристики.

Самые высокие значения коэффициентов корреляции между районами Баренцева и Карского морей ( $r = 0.76$ ) получены в июле в субрегионах Б3 и К1, наиболее подверженных влиянию речного стока. По всей видимости, это связано с крупномасштабным изменением объемов речного стока с этой части материка. По данным архива <http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu> связь объемов стока Печоры (гидрологический пост 7568) и Оби (гидрологический пост 7142) в июне (во время половодий) за период 1932–1998 гг. имела коэффициент корреляции  $r = 0.47$ . Дополнительным влияющим фактором может быть поступление несущих высокие концентрации взвешенного вещества баренцевоморских вод из региона в юго-западный субрегион Карского моря. Связи между регионами Б2 и К1, разделенными Новой Землей, ( $r = 0.69$  – Б2 июль, К1 август;  $r = 0.59$  – Б2 август, К1 август;  $r = 0.57$  – Б2 август, К1 сентябрь) могут возникать из-за таяния ледников и поступления в акватории морей талых ледниковых вод, содержащих высокие значения концентрации взвеси (рис. 4, д). Связи между большинством оставшихся комбинаций незначимы.

Значения коэффициентов корреляции для среднемесячных распределений температуры поверхности моря в субрегионах Баренцева и Карского морей за период 2003–2017 гг. в большинстве случаев значимы.

#### 4. Выводы

Полученные по судовым и спутниковым данным результаты подтвердили, что пространственные распределения и временные изменения биооптических характеристик поверхностного слоя вод арктических морей обусловлены различными физическими и биологическими механизмами: в Баренцевом море – это смешение атлантических и арктических вод, а также цветение фитопланктона; в Карском море – это распространение речного стока. Влияние этих механизмов подтверждено результатами статистического анализа пространственных распределений и временных изменений абсолютных значений среднемесячных концентраций хлорофилла и взвешенного вещества в поверхностном слое вод субрегионов Баренцева и Карского морей, выполненного по спутниковым данным.

Пространственное распределение показателя ослабления, измеренное с помощью судового проточного комплекса, связано с особенностями распределений  $I_{fl}$  ОРОВ и Хл. Данные об этом распределении дают информацию о распределении взвешенных частиц, что позволило, в частности, обнаруживать положение кокколитофоридных цветений в Баренцевом море: в области цветения значения с резко возрастают ( $c > 1 \text{ м}^{-1}$ ). Эта информация оказывается важной в облачную погоду, когда получение данных о концентрации кокколитофорид со спутниковых сканеров цвета становится невозможным.

Экспедиционные исследования и анализ судовых данных были проведены в рамках государственного задания (темы № 0149-2018-0002 и 0149-2019-0003) и за счет средств РНФ (проект № 14-50-00095). Обработка спутниковых данных выполнена за счет средств РНФ (проект № 14-50-00095). Статистические расчеты выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00525. Гранты предоставлены через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Авторы выражают благодарность к.т.н. Б.А. Гурееву за помощь в подготовке проточного измерительного комплекса и А.В. Шатравину за помощь в проведении измерений.

## Литература

1. Гольдин Ю.А., Глуховец Д.И., Гуреев Б.А., Григорьев А.В., Артемьев В.А. Судовой проточный измерительный комплекс // Труды X Международной конференции «Современные проблемы оптики естественных вод». СПб., 2019. С. 270—277.
2. Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А., Венцукт Ю.И., Гуреев Б.А., Копелевич О.В. Исследование пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 7, № 1. С. 17—26.
3. Артемьев В.А., Таскаев В.Р., Буренков В.И., Григорьев А.В. Универсальный малогабаритный измеритель вертикального распределения показателя ослабления света // Комплексные исследования Мирового океана: Проект «Меридиан». Ч. 1. Атлантический океан. М.: Наука, 2008. 165 с.
4. Артемьев В.А., Григорьев А.В., Глуховец Д.И. Непрерывные измерения показателя ослабления света морской водой на ходу судна — новые возможности использования прозрачномера ПУМ-А // Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ-2017»: Современные методы и средства океанологических исследований. ИО РАН. М.: АПР, 2017. Т. 2. С. 55—58.
5. Coble P.G. Marine optical biogeochemistry: the chemistry of ocean color // Chemical reviews. 2007. V. 107, № 2. P. 402—418.
6. Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А., Гуреев Б.А. Калибровка проточного флуориметра ПФД-2 // Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2019). Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции. Том II. М.: ИД Академии Жуковского, 2019. С. 45—49.
7. Копелевич О.В., Салинг И.В., Вазюля С.В., Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Буренков В.И., Каралли П.Г., Юшманова А.В. Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998—2017 гг. М.: ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2018. 140 с.
8. Шеберстов С.В. Система пакетной обработки океанологических спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12, № 6. С. 154—161.
9. Sheberstov S.V., Lukyanova E.A. A system for acquisition, processing, and storage of satellite and field biooptical data // Proceedings of IV international conference «Current problems in optics of natural waters». Nizhny Novgorod. 2007. P. 179—183.
10. Schlitzer R. Ocean Data View. URL: <https://odv.awi.de>. 2017 (дата обращения: 11.11.19).
11. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поярко С.Г., Соловьев Д.М. Поверхностный опресненный слой в Карском море // Океанология. 2010. Т. 50, № 5. С. 698—708.
12. Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А. Исследование связи солёности и флуоресценции желтого вещества в Карском море // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2018. Т. 11, № 3. С. 34—39.
13. Qu B., Gabric A.J., Matrai P.A. The satellite-derived distribution of chlorophyll-a and its relation to ice cover, radiation and sea surface temperature in the Barents Sea // Polar Biology. 2006. V. 29, № 3. P. 196—210.
14. Rost B., Riebesell U. Coccolithophores and the biological pump: responses to environmental changes // Coccolithophores. Springer, Berlin, Heidelberg. 2004. P. 99—125.
15. Копелевич О.В., Вазюля С.В., Григорьев А.В., Храпко А.Н., Шеберстов С.В., Салинг И.В. Проникновение солнечной радиации видимого диапазона в воды Баренцева моря в зависимости от облачности и кокколитофоридных цветений // Океанология. 2017. Т. 57, № 3. С. 445—453.
16. Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea // Polar research. 1991. V. 10, №1. P. 5—18.
17. Fisher R.A., Yates F. Statistical tables for biological, agricultural and medical research. London: Oliver and Boyd Ltd., 1943. 105 p.

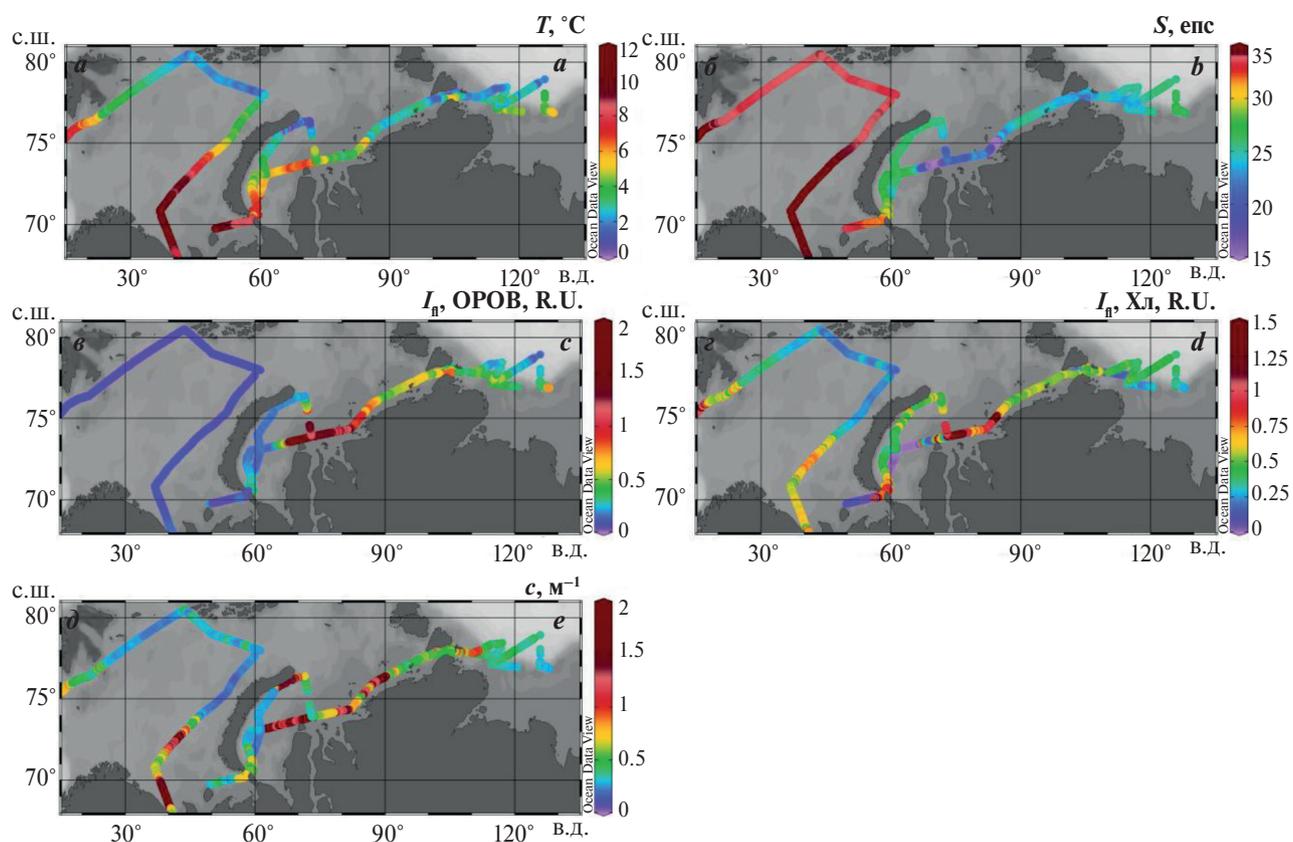
18. Копелевич О.В., Вазюля С.В., Салинг И.В., Шеберстов С.В., Буренков В.И. Электронный атлас «Биооптические характеристики морей России по данным спутниковых сканеров цвета 1998—2014 гг.» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12, № 6. С. 99—110.

## References

1. Goldin Yu.A., Glukhovets D.I., Gureev B.A., Grigoriev A.V., Artemyev V.A. Shipboard flow-through measuring complex. *Proceedings of International Conference: Current Problems in Optics of Natural Waters. St.-Petersburg, Nauka*, 2019, 270—277.
2. Goldin Y.A., Shatravin A.V., Levchenko V.A., Ventscut Yu.I., Gureev B.A., Kopelevich O.V. Spatial variability of the seawater fluorescence intensity in the western Black Sea. *Proceedings of the VII International Conference “Current Problems in Optics of Natural Waters”*. 2013, 62—66 (in Russian).
3. Artemyev V.A., Taskaev V.R., Burenkov V.I., Grigoriev A.V. Universal small-sized meter of the vertical distribution of the light attenuation coefficient. *Kompleksnyye Issledovaniya Mirovogo Okeana: Proekt “Meridian”*. P. 1. Atlanticheskij Okean. M., Nauka, 2008. 165 p. (in Russian).
4. Artemyev V.A., Grigoriev A.V., Glukhovets D.I. Continuous measurements of the indicator of light attenuation by sea water in the course of the vessel - new possibilities for using the PUM-A transparency meter. *Proceedings of the XV All-Russian Scientific-Technical Conference “MSOI-2017”: Sovremennyye Metody i Sredstva Okeanologicheskikh Issledovaniy. SIO RAS. M., APR*, 2017, 2, 55—58 (in Russian).
5. Coble P.G. Marine optical biogeochemistry: the chemistry of ocean color. *Chemical Reviews*. 2007, 107, 2, 402—418.
6. Glukhovets D.I., Goldin Y.A., Gureev B.A. Calibration of the PFD-2 flow fluorometer. *Proceedings of the XV All-Russian Scientific-Technical Conference “MSOI-2017”: Sovremennyye Metody i Sredstva Okeanologicheskikh Issledovaniy. SIO RAS, V. II, M., Publishing House of the Academy of Zhukovsky*, 2019, 45—49 (in Russian).
7. Kopelevich O.V., Sahling I.V., Vazyulya S.V., Glukhovets D.I., Sheberstov S.V., Burenkov V.I., Karalli P.G., Yushmanova A.V. Bio-optical characteristics of the seas, surrounding the western part of Russia, from data of the satellite ocean color scanners of 1998—2017. M., VASH FORMAT, 2018. 140 p. (in Russian).
8. Sheberstov S.V. System for batch processing of oceanographic satellite data. *Sovremennyye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2015, 12, 6, 154—161 (in Russian).
9. Sheberstov S.V., Lukyanova E.A. A system for acquisition, processing, and storage of satellite and field biooptical data. *Proceedings of IV International Conference “Current problems in optics of natural waters”, Nizhny Novgorod*. 2007, 179—183 (in Russian).
10. Schlitzer R. Ocean Data View. URL: <https://odv.awi.de>. 2017 (date of access: 11.11.19).
11. Zatsepin A.G., Zavalov P.O., Kremetskiy V.V., Poyarkov S.G., Soloviev D.M. The upper desalinated layer in the Kara Sea. *Oceanology*. 2010, 50, 5, 657—667.
12. Glukhovets D.I., Goldin Yu.A. Investigation of the relationship between salinity and fluorescence of the yellow substance in the Kara Sea. *Fundamental'naya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2018, 11, 3, 34—39 (in Russian).
13. Qu B., Gabric A.J., Matrai P.A. The satellite-derived distribution of chlorophyll-a and its relation to ice cover, radiation and sea surface temperature in the Barents Sea. *Polar Biology*. 2006, 29, 3, 196—210.
14. Rost B., Riebesell U. Coccolithophores and the biological pump: responses to environmental changes. *Coccolithophores. Springer, Berlin, Heidelberg*. 2004, 99—125.
15. Kopelevich O.V., Vazyulya S.V., Grigoriev A.V., Khrapko A.N., Sheberstov S.V., Sahling I.V. Penetration of visible solar radiation in waters of the Barents Sea depending on cloudiness and coccolithophore blooms. *Oceanology*. 2017, 57, 3, 402—409.
16. Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea. *Polar Research*. 1991, 10, 1, 5—18.
17. Fisher R.A., Yates F. Statistical tables for biological, agricultural and medical research. *Oliver and Boyd Ltd., London*, 1943. 105 p.
18. Kopelevich O.V., Vazyulya S.V., Sahling I.V., Sheberstov S.V., Burenkov V.I. Electronic atlas “Bio-optical characteristics of the seas of Russia according to satellite color scanners 1998—2014”. *Sovremennyye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2015, 12, 6, 99—110 (in Russian).

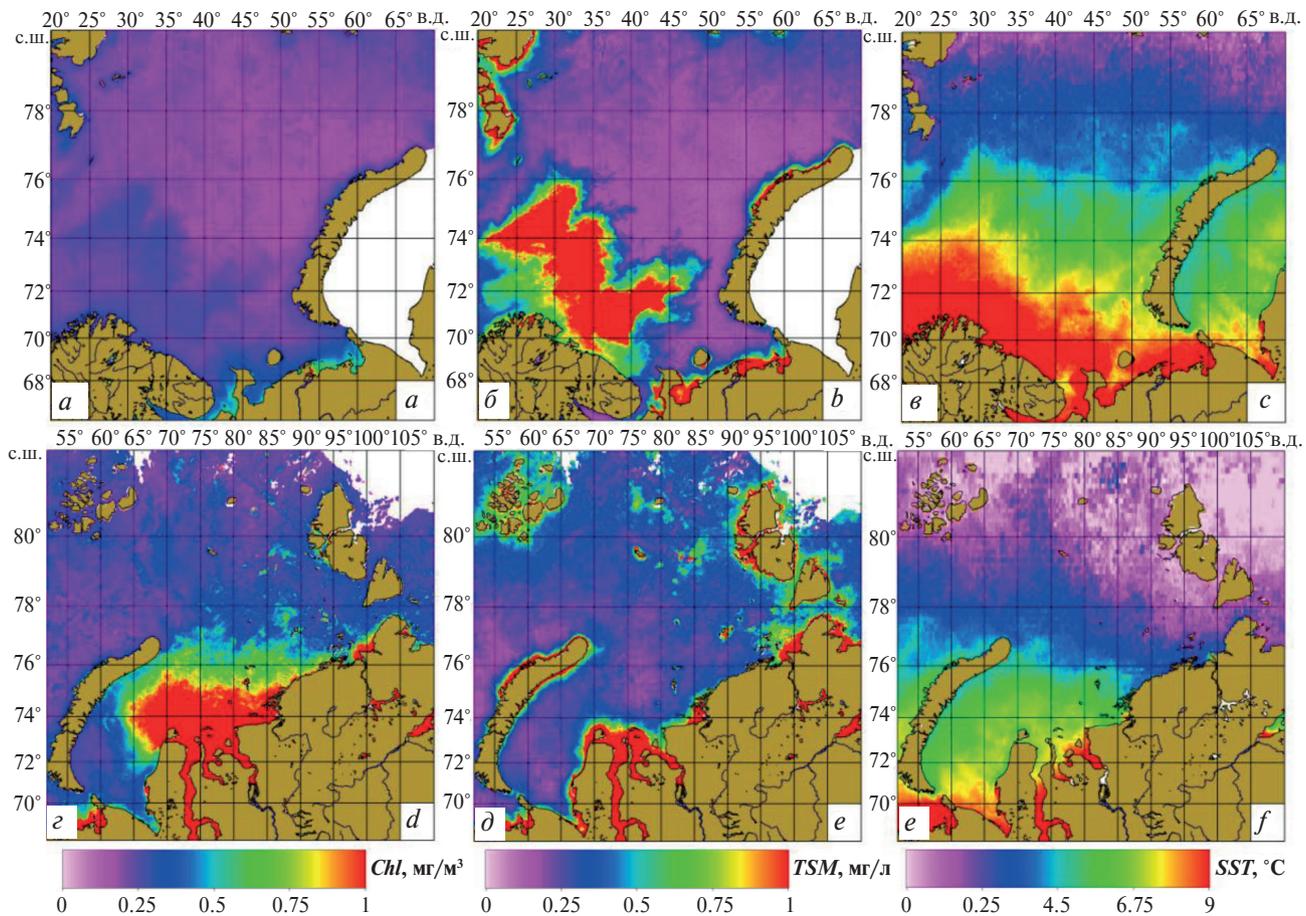
К статье Глуховец Д.И., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Салинг И.В. Исследование биооптических характеристик вод поверхностного слоя арктических морей России

*Glukhovets D.I., Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Sahling I.V. Research of the bio-optical characteristics of the surface layer waters of the Russian Arctic Seas*



**Рис. 2.** Пространственные распределения температуры (а), солёности (б), интенсивностей флуоресценции ОРОВ (в) и Хл (г) и показателя ослабления (д) в поверхностном слое вод. 7 августа – 17 сентября 2018 г. Распределения построены с помощью программы ODV [10].

**Fig. 2.** Spatial distributions of temperature (a), salinity (b), fluorescence intensities of CDOM (c) and Chl (d) and attenuation coefficient (e) in the water surface layer. August 7 – September 17, 2018. Distributions are made using the ODV [10].



**Рис. 4.** Карты среднеклиматических (2003—2012 гг.) пространственных распределений: концентрации хлорофилла,  $\text{mg}/\text{m}^3$  (*a, z*), концентрации взвеси,  $\text{mg}/\text{l}$  (*б, д*) и температуры поверхности моря,  $^{\circ}\text{C}$  (*в, е*) в августе. Баренцево (*a—в*) и Карское (*z—e*) моря.

**Fig. 4.** Maps of average climatic (2003—2012) spatial distributions: chlorophyll concentrations,  $\text{mg}/\text{m}^3$  (*a, d*), suspended matter concentrations,  $\text{mg}/\text{l}$  (*b, e*) and sea surface temperature,  $^{\circ}\text{C}$  (*c, f*) in August. The Barents (*a—c*) and Kara (*d—f*) Seas.