

УДК 551.463.5

БИООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОД ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО, НОРВЕЖСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ ПО СУДОВЫМ И СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ЛЕТОМ 2014–2016 гг.

© 2017 г. Д. И. Глуховец^{1,2}, О. В. Копелевич¹, И. В. Салинг¹,
В. А. Артемьев¹, Л. А. Паугова¹, Е. К. Ланге³, М. Д. Кравчишина¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

³Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, Россия

e-mail: glukhovets@ocean.ru

Поступила в редакцию 11.11.2016 г.

В статье представлены результаты судовых и спутниковых измерений, выполненных в поверхностном слое вод Балтийского, Норвежского и Баренцева морей в перегонных рейсах из Балтийского моря в Белое в июне–августе 2014–2016 гг. Особое внимание обращалось на массовые цветения морского фитопланктона – цианобактерий в Балтийском море и кокколитофорид в Баренцевом; в Норвежском море массовых цветений зарегистрировано не было. Показана эффективность применения оптических методов, контактных и спутниковых, для оценки параметров массовых цветений фитопланктона.

DOI: 10.7868/S0030157417020058

ВВЕДЕНИЕ

Основная задача работы – сравнительное исследование биооптических характеристик поверхностного слоя вод трех морей – Балтийского, Норвежского и Баренцева по судовым и спутниковым данным. Другая задача – сопоставление результатов, полученных спутниковыми и судовыми измерениями, для оценки возможности использования существующих алгоритмов расчета концентрации хлорофилла “а” (хл “а”), содержания сине-зеленых водорослей в Балтийском море и кокколитофорид в Баренцевом. Судовые данные получены в рейсах, где проводились комплексные исследования, направленные на изучение пространственного распределения цианобактерий в юго-восточной части Балтийского моря и кокколитофоридного цветения в Баренцевом.

В конце лета в Балтийском море формируются массовые токсичные цветения цианобактерий [14]. Наши исследования проводились в юго-восточной части моря, которая находится под влиянием речного стока Вислы и других рек. Влияние речного стока проявляется в увеличении содержания окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), что приводит к ошибкам в работе стандартных спутниковых алгоритмов [4, 8].

В Норвежском море массовые цветения обычно происходят в мае [11], и в наших экспедициях их проявлений замечено не было. Данные, полу-

ченные в Норвежском море, соответствуют водам средней продуктивности.

В Баренцевом море массовые цветения фитопланктона происходят дважды в год – цветение диатомовых в мае и кокколитофоридное цветение в августе [13]. Цветения кокколитофорид предсказывались по спутниковым данным до начала экспедиций и впоследствии подтверждались данными натурных измерений. Клетки кокколитофорид с кокколитами и отделившиеся кокколиты обуславливают сильное рассеяние света, благодаря которому вода приобретает светло-бирюзовый цвет, хорошо различимый как со спутника, так и с борта судна. Это уникальное свойство позволяет эффективно выделять кокколитофориды из совокупности других видов фитопланктона из космоса и исследовать пространственную и временную изменчивость их распределения.

РЕГИОНЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Судовые данные были получены во время переходов из Калининграда в Архангельск: 127-го рейса НИС “Профессор Штокман” с 26 июля по 5 августа 2014 г.; 62- и 65-го рейсов НИС “Академик Мстислав Келдыш” с 22 июля по 18 августа 2015 г. и с 29 июня по 9 июля 2016 г. соответственно. Измерения проводились в основном на ходу судна, но в 2015 и 2016 гг. удалось выполнить не-

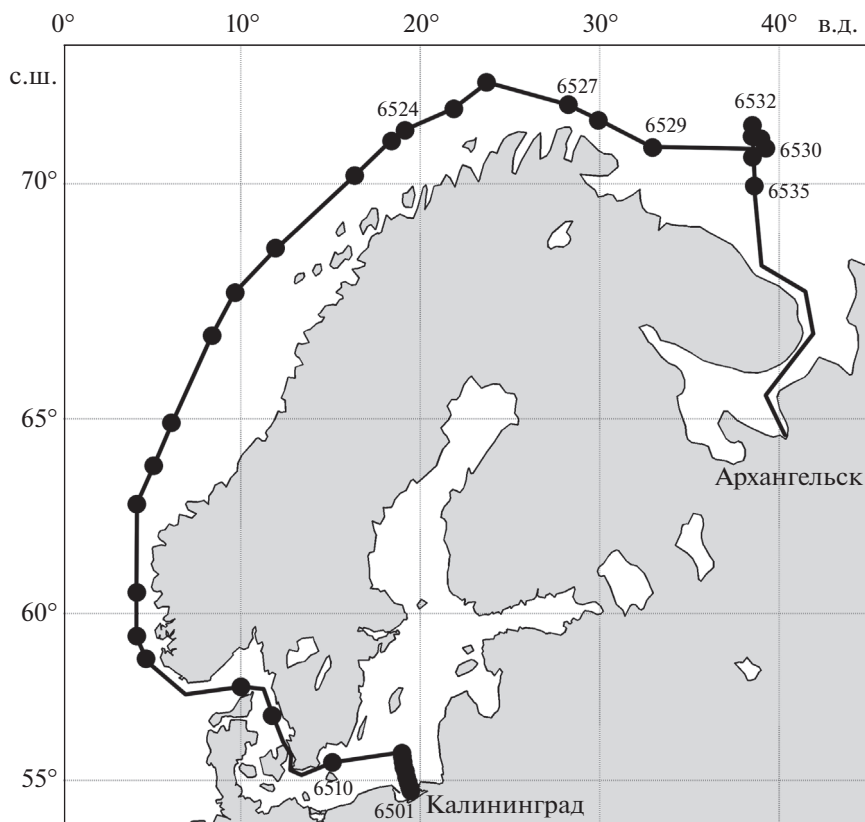


Рис. 1. Маршрут 65-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” из Калининграда в Архангельск (29.06–9.07.2016 г.).

сколько дрейфовых станций в Баренцевом море. Пробы воды по маршруту судна отбирались с поверхности ведром и посредством проточной системы (в 2014 и 2015 гг.) с одновременным измерением поверхностной температуры воды и солености. В Балтийском море выполнены разрезы — порядка 10 станций, далее пробы отбирались в среднем 3 раза в сутки. В 2016 г. выполнен разрез в Баренцевом море. Маршруты трех экспедиций подобны друг другу. На рис. 1 представлен маршрут 65-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш”.

МЕТОДЫ

Во всех рейсах выполнялись комплексные исследования, которые включали оптические измерения, а также прямые определения концентрации хлорофилла, взвеси, количественного и видового состава фитопланктона, гидрохимических параметров.

Оптические исследования во всех трех рейсах включали измерения показателя ослабления света морской водой с помощью универсального малогабаритного прозрачномера ПУМ-А [2], работающего в лабораторном варианте (диапазон измерений показателя ослабления — $0.05\text{--}5\text{ м}^{-1}$;

ошибка — 0.01 м^{-1}), и непрерывные измерения поверхностной облученности в светлое время суток.

В 2014 и 2016 гг. проводились измерения интенсивности флуоресценции хл “а” и ОРОВ на пробах морской воды посредством двухканального лазерного спектрометра (ЛС-2), разработанного в Лаборатории оптики океана Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН; длины волн возбуждения — 532 и 401 нм [3].

В 2016 г. выполнялись измерения спектров показателей поглощения морской воды, фильтратов и взвешенного вещества на портативном спектрофотометре с интегрирующей сферой, разработанном на кафедре биофизики Биологического факультета МГУ [7]. В 2015 г. на дрейфовых станциях в Баренцевом море в районах интенсивного кокколитофоридного цветения посредством плавающего спектрорадиометра [1] были измерены коэффициенты яркости водной толщи, которые сопоставлялись с данными спутниковых сканеров цвета. В 2016 г. измерения коэффициентов яркости моря проводились по всему маршруту судна и на дрейфовых станциях палубным спектрорадиометром, разработанным в Морском гидрофизическом институте РАН, г. Севастополь [6].

Пробы воды для определения концентрации пигментов фитопланктона (хл “а” и феофитина),

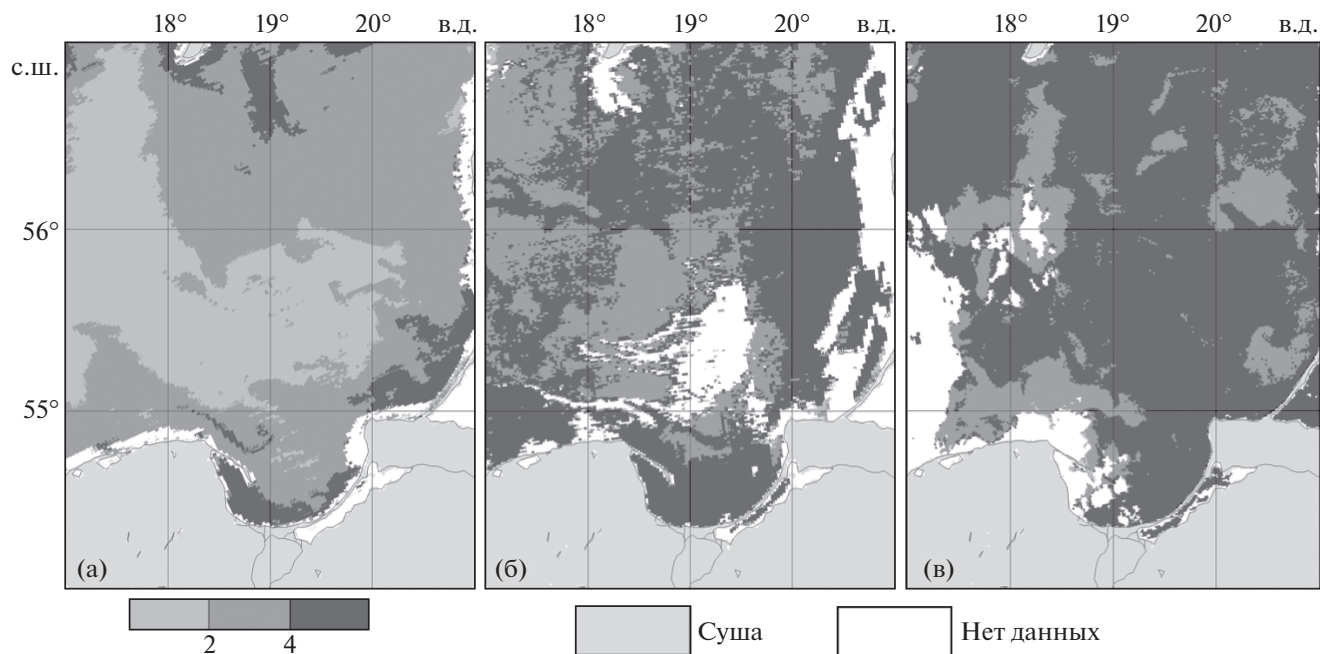


Рис. 2. Карты пространственного распределения концентрации хл “а” в мг/л по данным MODIS-Aqua. Балтийское море. (а) – 25.07 2014 г., (б) – 23.07 2015 г., (в) – 27.06 2016 г.

взвешенного вещества, количественного и видового состава фитопланктона, отобранные в рейсах, консервировались и отправлялись в Москву, где вышеуказанные определения проводились по стандартным методикам [10].

По данным спутникового сканера MODIS-Aqua (и других спутниковых сканеров цвета), полученным в безоблачных условиях, рассчитаны [12] пространственные распределения концентраций хл “а” и показателя рассеяния назад b_b , характеризующие распределения фитопланктона и взвешенного вещества, а в Баренцевом море – также концентрации клеток кокколитофорид; использовались региональные алгоритмы, учитывающие особенности исследуемых морей [4, 5, 8, 9]. Спутниковые данные уровня L2 были получены на сайте NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>); карты уровня L3 рассчитывались усреднением данных L2 на сетке 3×3 км.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Балтийское море. Для исследования цветений цианобактерий по спутниковым данным с помощью регионального алгоритма [9] построены спутниковые карты пространственного распределения концентрации хл “а” (рис. 2) за 2014, 2015 и 2016 гг. Ярко выраженные цветения были зарегистрированы в 2015 и 2016 гг. и по судовым, и по спутниковым данным, в 2014 г. цветение практически не наблюдалось.

Для сравнения судовых и спутниковых данных, из соображений минимизации временной разницы между контактными и дистанционными измерениями, были выбраны станции 12701 – начало разреза в 2014 г. и 6505 – середина разреза в 2016 г.; расстояние между ними составляет порядка нескольких десятков километров.

Результаты сравнения измеренных спектров флуоресценции по данным лазерного спектрометра и спектров коэффициента яркости моря R_{RS} по спутниковым данным представлены на рис. 3. Как видно, флуоресценция хл “а” в 2016 г. в несколько раз выше, чем в 2014 г. (рис. 3а). Разрезы выполнялись от берега в направлении открытого моря, поэтому из-за влияния речных вод флуоресценция ОРОВ на ст. 12701 в 2014 г. заметно выше, чем на ст. 6505 в середине разреза 2016 г. (рис. 3б). Повышенное содержание ОРОВ на ст. 12701 индицируется и по спутниковым данным – из-за более высокого поглощения яркость выходящего из воды излучения для прибрежной станции заметно ниже, чем для станции, выполненной мористее. В 2015 г. флуоресцентные измерения не проводились.

В табл. 1 представлены результаты определения видового состава фитопланктона для цветений 2016 г. Цианобактерии доминируют на всех станциях, абсолютные значения их биомассы в несколько раз выше по сравнению с 2014 г., когда цветения не было и, соответственно, вклад сине-зеленых в общую биомассу был относительно невелик. Коэффициенты детерминации R^2 для

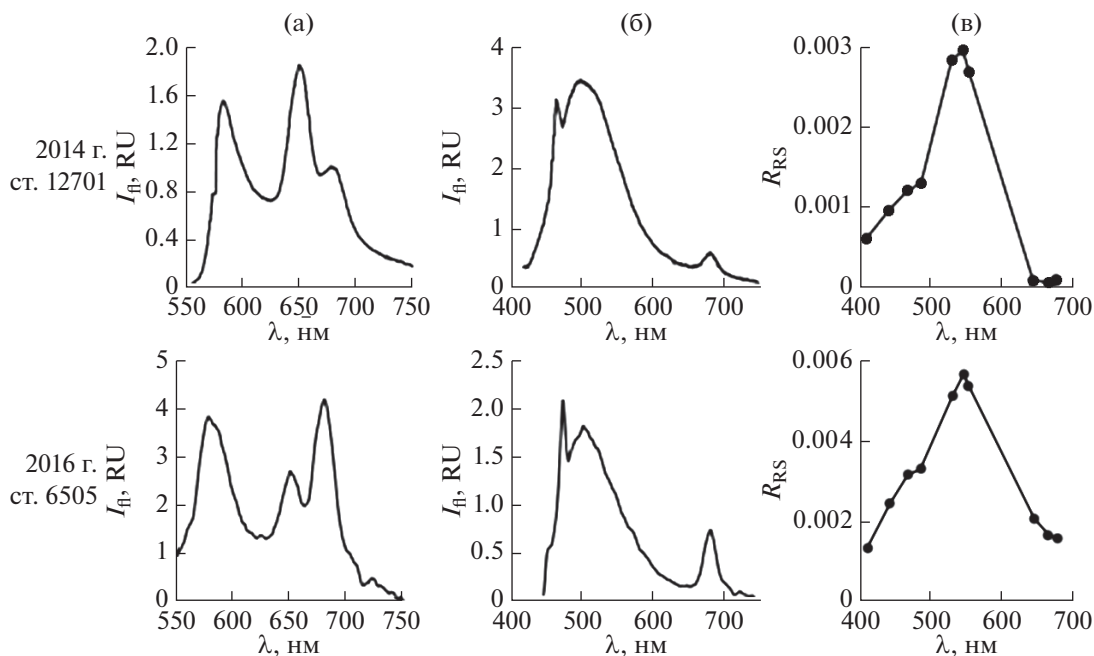


Рис. 3. Сопоставление судовых и спутниковых данных. (а) – Спектры интенсивности флуоресценции, полученные при длине волны возбуждающего излучения $\lambda_1 = 532$ нм, (б) – $\lambda_2 = 401$ нм. Пики на длинах волн 650 (а) и 471 нм (б) обусловлены комбинационным рассеянием; максимумы на длине волны 685 нм обусловлены флуоресценцией хл “а”; эти максимумы накладываются на широкую полосу флуоресценции ОРОВ, максимум которой находится вблизи 580 нм (а) и 500 нм (б). Значения интенсивности флуоресценции нормированы на интенсивность комбинационного рассеяния и даны в так называемых “Рамановских единицах” (Raman units – RU). (в) – Спектры коэффициента яркости моря R_{RS} по данным MODIS-Aqua.

связи между биомассой цианобактерий и концентрацией хл “а” равны 0.27 и 0.62 в 2014 г. и 2016 г. соответственно.

Норвежское море. На рис. 4 показано пространственное распределение концентрации хл “а” в Норвежском море во время рейса 2016 г. Северо-западная часть изображения закрыта плотными облаками, но маршруты рейсов проходили существенно ближе к суше (рис. 1).

На рис. 5 показано сравнение спектров флуоресценции проб поверхностного слоя вод со спектром вышедшего из водной толщи излучения для ст. 12724, выполненной в 2014 г. в середине участка маршрута в Норвежском море. Эта станция выбрана исходя из качества спутниковых данных, соответствующих контактным измерениям. Данные других станций в Норвежском море могут отличаться от приведенного примера по

Таблица 1. Биомасса фитопланктона (B_{total}), цианобактерий (B_{cyan}), концентрации хл “а” по результатам прямых определений и по спутниковым данным, показатель рассеяния назад частицами (b_{bp}), показатель ослабления (c) и концентрация взвеси в пробах. Разрез в Балтийском море, 2016 г.

№ станции	B_{total} , мг/м ³	B_{cyan} , мг/м ³	C_{chl} , мг/м ³ <i>in situ</i>	C_{chl} , мг/м ³ Рег. алг.	b_{bp} , м ⁻¹	c , м ⁻¹	Взвесь, мг/м ³
6501	1490	1345	5.5	4.6	0.0204	2.33	0.81
6502	790	570	4.8	4.4	0.0216	2.52	0.74
6503	575	410	4.7	4.6	0.0206	2.38	0.61
6504	705	490	4.1	4.4	0.0201	2.3	0.64
6505	595	390	4.7	4.8	0.0222	2.13	0.5
6506	570	300	3.9	4.5	0.0203	1.9	0.52
6507	560	390	4.2	4.8	0.0244	2.1	0.51
6508	540	290	3.5	4.6	0.0212	1.89	0.51
6509	415	220	4.0	4.0	0.0163	1.75	0.55
6510	635	460	4.2	5.3	–	1.39	0.62

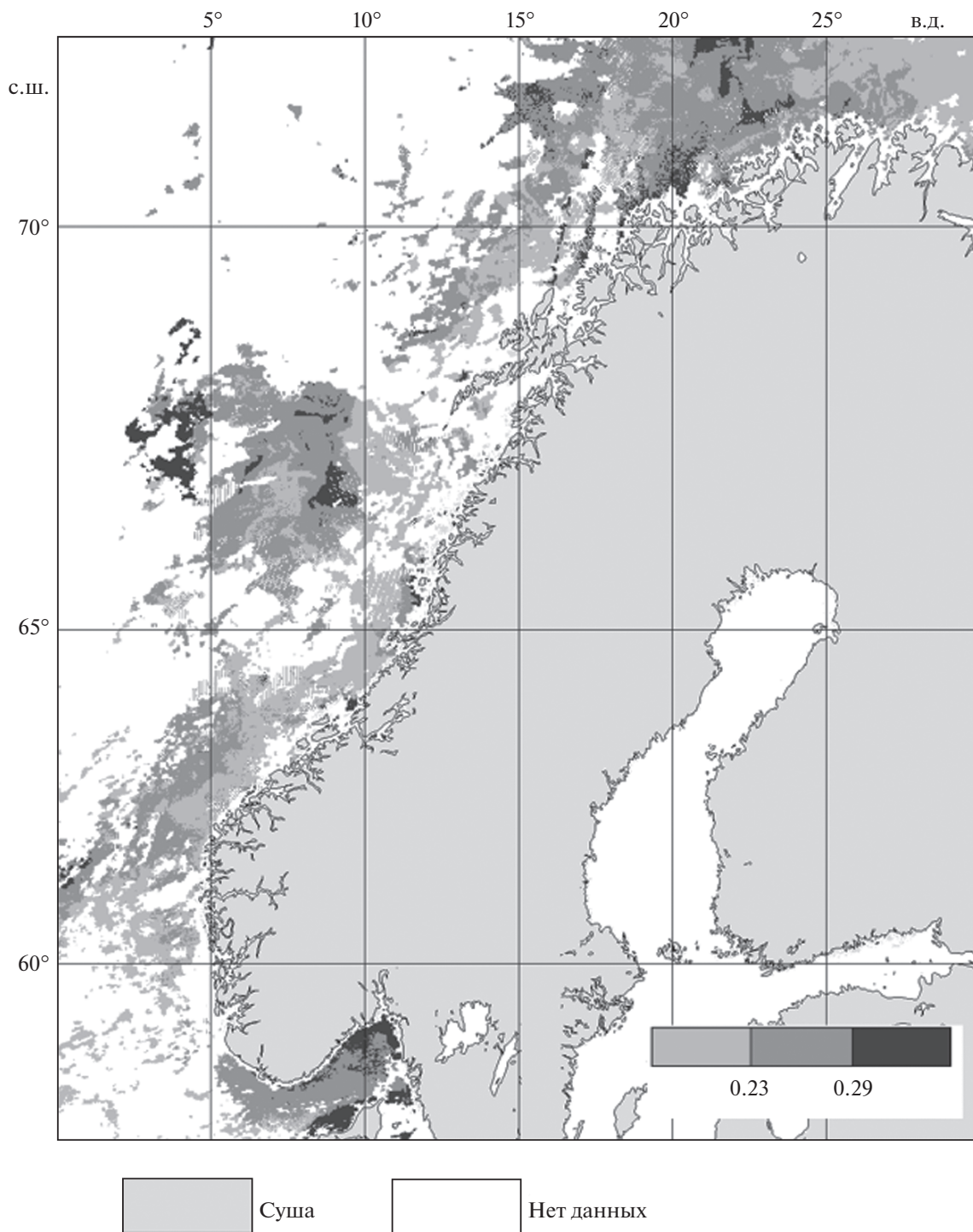


Рис. 4. Карта пространственного распределения концентрации хл “а” в мг/л по данным MODIS-Aqua в Норвежском море, 2–4.07.2016 г.

интенсивности флуоресценции хл “а”, но в целом в исследуемом районе Норвежского моря воды относительно однородны.

Во время наших экспедиционных исследований в 2014–2016 гг. массовых цветений фитопланктона в Норвежском море не наблюдалось.

Представленные спектры характерны для прибрежных вод средней продуктивности, не подверженных влиянию речного стока.

Баренцево море. Во время экспедиций в Баренцевом море происходили массовые кокколи-тофоридные цветения. В судовых измерениях

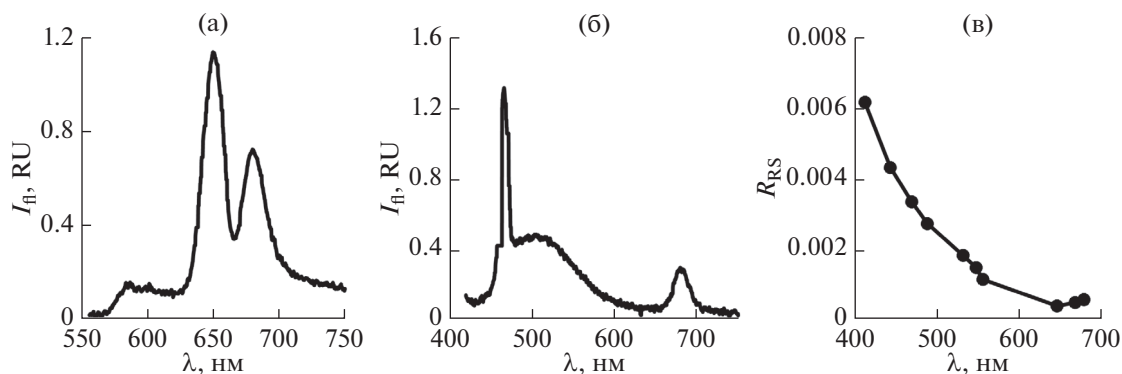


Рис. 5. Спектры интенсивностей флуоресценции и коэффициента яркости моря. Пример чистых вод Норвежского моря. Ст. 12724, 31.07.2014 г. Пояснения – см. рис. 3.

цветение проявлялось в увеличении показателя ослабления c , связанного с повышенным рассеянием (станции 6530–6535 в табл. 2). Вне области цветения (станции 6527–6529) величина показателя ослабления ниже. На рис. 6а показано пространственное распределение концентрации кокколитофорид во время цветения 2016 г., рис. 6б – распределение концентрации хл “а”.

Обращает на себя внимание то, что области сильного цветения не так резко выделяются по концентрации хлорофилла – это связано с тем, что удельное содержание хлорофилла в клетках кокколитофорид невелико. В большинстве случаев региональный алгоритм расчета концентрации хл “а” для Баренцева моря дает более близкое к измеренному значение, чем стандартный. В среднем результаты регионального алгоритма несколько ниже результатов прямых измерений, результаты стандартного – выше.

Цветение хорошо проявляется в спектрах излучения, вышедшего из водной толщи. На рис. 7 видно, что значения коэффициента яркости в

максимуме на ст. 6533 в области цветения почти три раза выше, чем на ст. 6527 вне этой области.

Биооптические характеристики кокколитофоридных цветений 2014 и 2015 гг. в целом подобны характеристикам 2016 г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одна из особенностей Балтийского моря – высокое содержание ОРОВ, вызванное влиянием речного стока. Повышенное поглощение, обусловленное ОРОВ и не связанное с содержанием хлорофилла, – основная причина существенного завышения значений концентрации хлорофилла, рассчитанных посредством стандартных спутниковых алгоритмов.

В 2016 г. выполнялись измерения спектров показателя поглощения проб морской воды методом ICAM [7] до и после фильтрации через ядерные фильтры. Спектр показателя поглощения взвешенными частицами (рис. 8) рассчитывается как разность показателей поглощения пробы

Таблица 2. Результаты прямых определений концентрации хл “а”, значения показателя ослабления, концентрация взвеси и концентрации кокколитофорид. Баренцево море, 2016 г.

№ станции	Дата	C_{chl} , мг/м ³ , <i>in situ</i>	c , м ⁻¹	Взвесь, мг/м ³	$N_{соосо}$, млн кл/л
6527	6.07.2016 г.	0.78	0.60	0.17	0.61
6528	6.07.2016 г.	0.70	0.54	0.19	0.17
6529	6.07.2016 г.	0.56	0.59	0.25	0.45
6530	7.07.2016 г.	1.28	2.70	1.02	7.51
6531	7.07.2016 г.	0.97	2.73	0.32	12.00
6532	7.07.2016 г.	0.53	1.08	1.10	4.15
6533	7.07.2016 г.	0.74	1.68	1.26	5.09
6534	7.07.2016 г.	1.49	2.55	1.15	9.31
6535	7.07.2016 г.	0.63	0.73	0.15	1.82

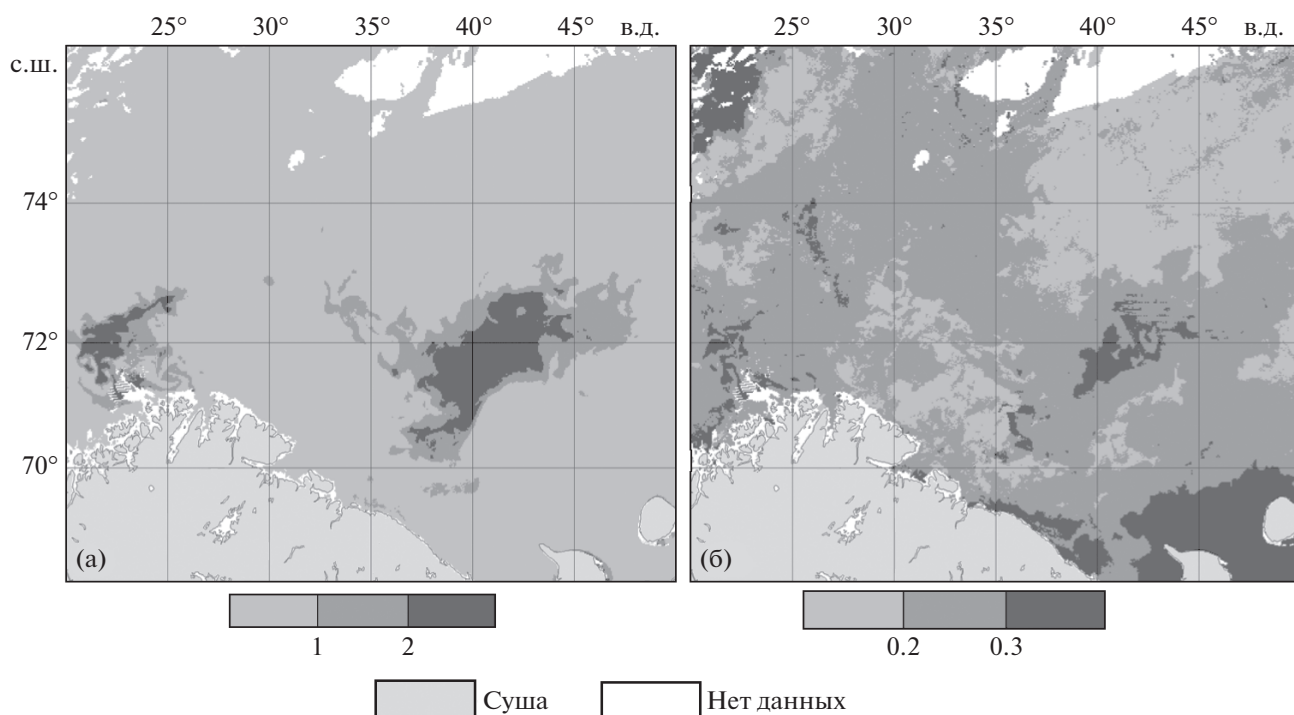


Рис. 6. (а) – Пространственное распределение концентрации кокколитофорид, млн кл/л, (б) – пространственное распределение концентрации хл “а” в мг/л по данным Aqua-MODIS.

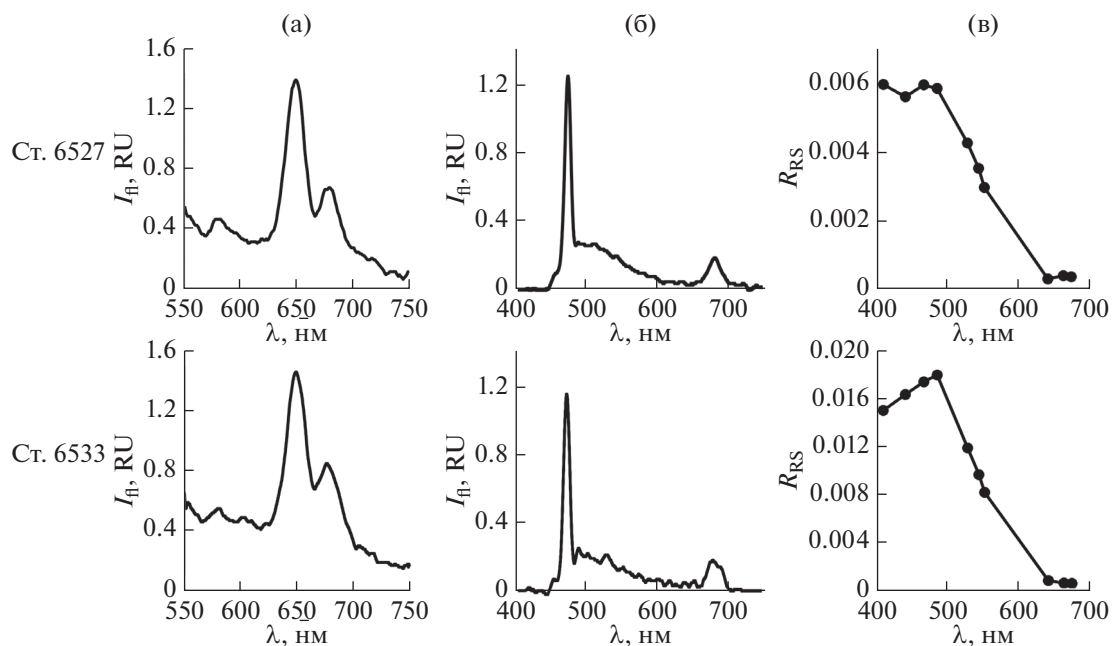


Рис. 7. Спектры интенсивностей флуоресценции и коэффициента яркости Баренцевого моря вне и в области кокколитофоридного цветения – станции 6527 и 6533 соответственно. 6–7.07.2016 г. Пояснения – см. рис. 3.

морской воды и фильтрата, что устраняет влияние поглощения ОРОВ и самой воды.

Прежде всего, следует отметить гораздо более высокие значения показателя поглощения на станциях в Балтийском море, чем в Норвежском

и Баренцевом (рис. 8а–8г). Кроме того, на рисунках видно, что в Балтийском море, в соответствии с распределением ОРОВ по спутниковым данным, показатель поглощения ОРОВ и фильтрата убывает по направлению к открытому морю

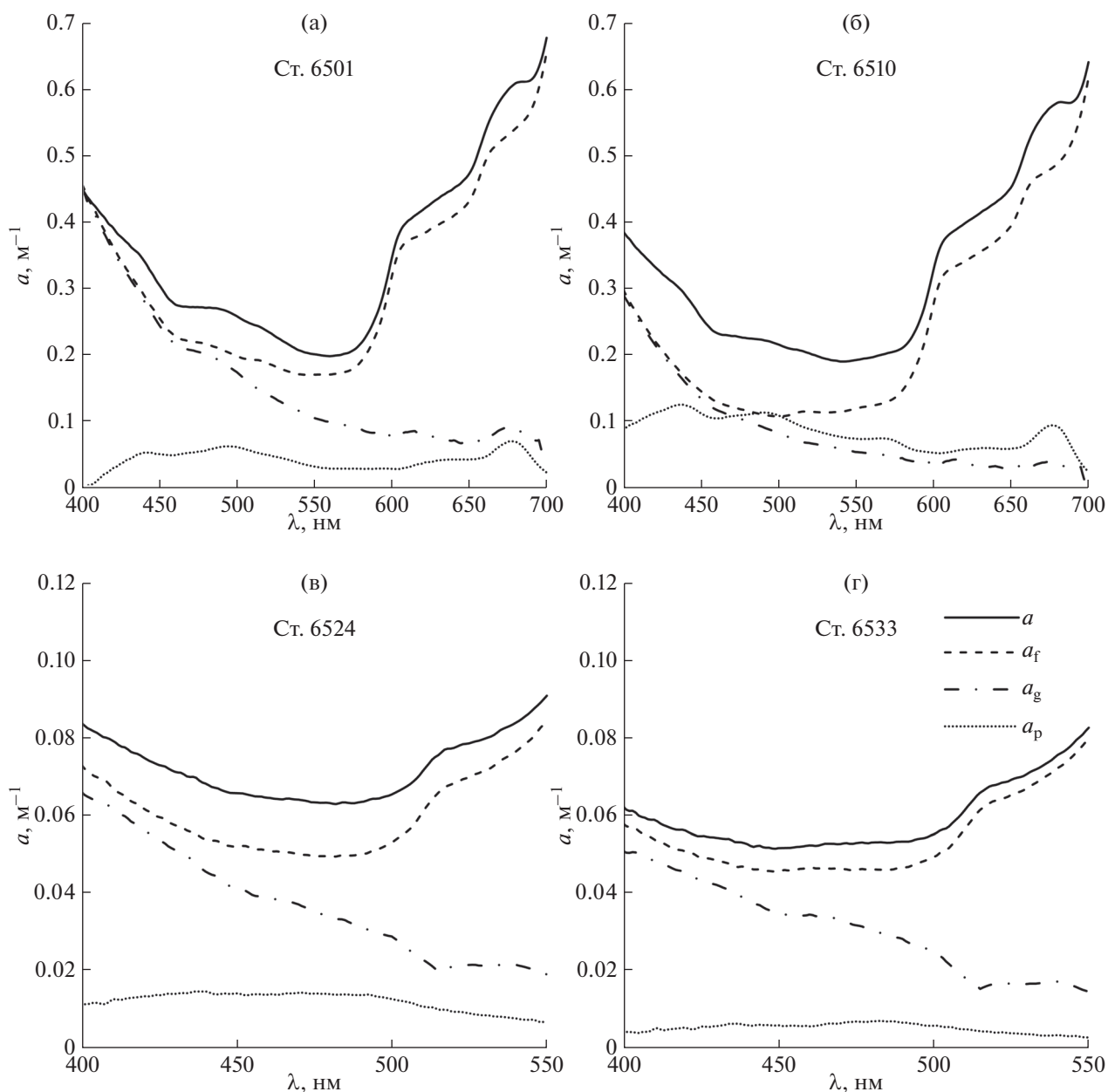


Рис. 8. Спектры показателя поглощения морской водой – a , фильтратом – a_f , желтым веществом – a_g и частицами – a_p . (а и б) – Станции 6501 и 6510 соответственно, Балтийское море; (в) – ст. 6524, Норвежское море; (г) – ст. 6533, Баренцево море. 06–07.2016 г.

(рис. 8а, 8б) так же, как и интенсивность флуоресценции ОРОВ на рис. 3. В спектрах показателя поглощения в Норвежском и Баренцевом морях (рис. 8в, 8г), ОРОВ дает существенно меньший вклад. На спектрах R_{RS} влияние поглощения ОРОВ проявляется уменьшением коэффициента яркости в коротковолновой части спектра, наиболее ярко выраженным в Балтийском море (рис. 3в).

Эффективный инструмент исследования изменчивости пространственного распределения

ОРОВ – флуоресценция при возбуждении фиолетовым лазером (401 нм). В сравнении с другими морями, в Балтийском море регистрировались наибольшие интенсивности флуоресценции ОРОВ, так как в Норвежском и Баренцевом морях содержание желтого вещества существенно меньше (рис. 3б, 5б, 7б). Для выполненных там станций интенсивность флуоресценции ОРОВ почти в 10 раз ниже, и в этих морях стандартный алгоритм определения концентрации хл “а” дает

значения, более близкие к результатам прямых определений.

Цветение цианобактерий, содержащих фикоэритрин, — причина изменчивости спектров при возбуждении длиной волны 532 нм в Балтийском море. Максимум полосы флуоресценции фикоэритрина (575 нм) накладывается на полосу флуоресценции ОРОВ, характерным образом изменяя ее форму (рис. 3а). Это дает возможность производить экспресс-оценку видового состава фитопланктона существенно быстрее лабораторных исследований с помощью микроскопа. Флуоресцентный метод показывает высокую чувствительность — как видно, на большинстве станций интенсивность флуоресценции фикоэритрина сравнима по амплитуде с пиком хл “а”, но, к сожалению, метод не обеспечивает приемлемую точность определения абсолютных значений концентрации. В Норвежском и Баренцевом морях фикоэритрин в спектрах флуоресценции не проявлялся (рис. 5, 7).

Флуоресцентные измерения с используемым прибором не позволяют зарегистрировать наличие пигмента фикоцианина: фиолетовый лазер не вызывает флуоресценции этого пигмента, а при возбуждении зеленым полоса его флуоресценции (650 нм) совпадает с полосой комбинационного рассеяния. Информация о присутствии фикоцианина в пробе может быть получена из спектров показателя поглощения частицами (рис. 8). Фикоцианин поглощает в широкой полосе с максимумом около 620 нм. Максимум около 675 нм соответствует поглощению хл “а”. На приведенных спектрах, полученных в Балтийском море (рис. 8а, 8б), заметны проявления цветения сине-зеленых водорослей, что соответствует прямым определениям видового состава в 2016 г. На спектрах поглощения в Норвежском и Баренцевом морях эти особенности отсутствуют. Вклад клеток кокколитофорид и кокколитов в поглощение мал. Спектры показателя поглощения взвешенными частицами для станций Норвежского и Баренцева морей (рис. 8в и 8г) подобны друг другу и отличаются от спектров Балтийского моря (рис. 8а, 8б) отсутствием особенностей, связанных с наличием фикоэритрина и фикоцианина и меньшими абсолютными значениями.

Наибольшая концентрация взвеси наблюдается в областях массовых цветений фитопланктона и вблизи берега в юго-восточной части Балтийского моря из-за влияния речного стока. Зарегистрирована хорошая корреляция с показателем ослабления. В водах Норвежского моря концентрация взвеси мала, как и вне области кокколитофоридного цветения в Баренцевом море.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показана эффективность применения комплексного подхода к использованию оптических методов для исследований Балтийского, Норвежского и Баренцева морей, что позволило объединить точность контактных судовых измерений и широкое покрытие акватории спутниковыми изображениями. Исследованы проявления цветений сине-зеленых водорослей в Балтийском море, зарегистрированных в 2015 и 2016 гг., а также кокколитофоридных цветений в Баренцевом. Экспресс-методы измерения интенсивности флуоресценции и показателя поглощения позволяют эффективно оценить видовой состав в пробах воды до проведения тщательных лабораторных измерений.

Авторы благодарят д.ф.-м.н С.И. Погосьяна (биофак МГУ) и д.ф.-м.н. М.Е. Ли (МГИ РАН, Севастополь) за предоставленную возможность использовать, соответственно, измеритель поглощения ICAM и палубный спектрометрический прибор в 65-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” в 2016 г., С.А. Мошарова за данные о концентрации хлорофилла в 65-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”, Ю.А. Гольдина за полезные замечания, П.Г. Каралли за подбор данных R_{RS} для Баренцева моря, Н.В. Евтушенко за подготовку спутниковых карт во время экспедиций и Н.В. Цуканова за выполненные флуоресцентные измерения в 127-м рейсе НИС “Профессор Штокман”.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект №14-17-00800), предоставленного через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемьев В.А., Буренков В.И., Вортман М.И. и др.* Подспутниковые измерения цвета океана: новый плавающий спектрометрический прибор и его метрология // Океанология. 2000. Т. 40. № 1. С. 139–145.
2. *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”. Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН. М.: Наука, 2008. С. 165–172.
3. *Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А. и др.* Исследование пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 7. № 1. С. 17–26.
4. *Евтушенко Н.В., Шеберстов С.В.* Использование данных спутникового сканера MODIS-Aqua для исследования циклов цветения фитопланктона в Балтийском море // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 114–124.

5. *Копелевич О.В., Буренков В.И., Вазюля С.В., Шеберстов С.В.* Проблемы индикации кокколитофоридных цветений по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 241–250.
6. *Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В., Корчемкина Е.Н.* Определение концентрации примесей в морской воде по спектру яркости восходящего излучения // Морск. гидрофиз. журн. 2015. Т. 186. № 6. С. 17–33.
7. *Погосян С.И., Дургарян А.М., Колюхов И.В., Чивкунова О.Б.* Абсорбционная спектроскопия микроводорослей, цианобактерий и растворенного органического вещества: измерения во внутренней полости интегрирующей сферы // Океанология. 2009. Т. 49. № 6. С. 934–939.
8. *Bukanova T.V., Vazyulia S.V., Kopelevich O.V. et al.* Regional bio-optical algorithms for retrieval of Chl 'a' and TSM concentrations from satellite ocean color data in the South-Eastern Baltic // Proceedings of VI International Conference "Current Problems in Optics of Natural Waters" (ONW'2011). Saint-Petersburg: Publishing House "Nauka" of RAS. 2011. P. 136–139.
9. *Darecki M., Ficek D., Krezel A. et al.* Algorithms for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESA-MBEM). Part 2: Empirical validation // Oceanologia. 2008. V. 50. № 4. P. 509–538.
10. *Holm-Hansen O., Riemann B.* Chlorophyll a determination: improvements in methodology // Oikos. 1978. V. 30. № 3. P. 438–447.
11. *Niehoff B., Klenke U., Hirche H.J. et al.* A high frequency time series at Weathership M, Norwegian Sea, during the 1997 spring bloom: the reproductive biology of *Calanus finmarchicus* // Marine Ecology Progress Series. 1999. V. 176. P. 81–92.
12. *Sheberstov S.V., Lukyanova E.A.* A system for acquisition, processing, and storage of satellite and field bio-optical data // Proceedings of IV international conference "Current problems in optics of natural waters". Nizhny Novgorod. 2007. P. 179–183.
13. *Signorini S.R., McClain C.R.* Environmental factors controlling the Barents Sea spring-summer phytoplankton blooms // Geophysical Research Letters. 2009. V. 36. № 10. P. 1–5.
14. *Sivonen K., Kononen K., Carmichael W. et al.* Occurrence of the hepatotoxic cyanobacterium *Nodularia spumigena* in the Baltic Sea and structure of the toxin // Applied and Environmental Microbiology. 1989. V. 55. № 8. P. 1990–1995.

Bio-Optical Characteristics of the Surface Layer of the Baltic, Norwegian and Barents Seas with Shipboard and Satellite Data in Summer 2014–2016

**D. I. Glukhovets, O. V. Kopelevich, I. V. Sahling, V. A. Artemiev, L. A. Pautova,
E. K. Lange, M. D. Kravchishina**

The article presents results of shipboard and satellite measurements in the surface layer of the Baltic, Norwegian and Barents seas during the cruises from Baltic to White Sea in June–August 2014–2016. Special attention is paid to marine phytoplankton blooms – cyanobacteria in the Baltic Sea and coccolithophore in the Barents. No blooms were found in the Norwegian Sea. The efficiency of the joint use of contact and satellite optical methods for studying the parameters of phytoplankton blooms is shown.