

СУДОВОЙ ПРОТОЧНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БИООПТИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОЙ ВОДЫ

© 2020 г. Ю. А. Гольдин^{1, *}, Д. И. Глуховец^{1, 2}, Б. А. Гуреев¹,
А. В. Григорьев¹, В. А. Артемьев¹

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

²Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

*e-mail: goldin@ocean.ru

Поступила в редакцию 22.11.2019 г.

После доработки 06.02.2020 г.

Принята к публикации 08.04.2020 г.

Создан проточный измерительный комплекс, предназначенный для непрерывной регистрации на ходу судна ряда биооптических (интенсивностей флуоресценции хлорофилла “а”, растворенной органики и показателя ослабления света морской водой) и гидрологических (солености и температуры) характеристик. По сравнению с предшествующими вариантами в комплексе увеличено количество измеряемых характеристик, повышен динамический диапазон и ресурс. Измерения с помощью проточного измерительного комплекса были выполнены в ряде экспедиций ИО РАН в различных районах Мирового океана.

Ключевые слова: проточные измерения, флуоресценция, показатель ослабления, растворенное органическое вещество, хлорофилл, поверхностный слой

DOI: 10.31857/S0030157420040103

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность использования проточных приборов, в частности, флуориметров и термосалинографов, продемонстрирована в ряде работ [13, 15, 19–21, 23]. Проточные системы используются при проведении научных исследований с борта специализированных судов, а также для сбора данных в ходе попутных измерений с борта паромов и лайнеров [17]. Проточные системы, работающие на ходу судна, позволяют получать большие массивы данных – уникальную информацию об изменчивости гидрофизических характеристик. Получаемые на ходу данные позволяют определять границы водных масс и положения фронтальных зон, а также исследовать мезомасштабную пространственно-временную изменчивость измеряемых величин.

В работе представлен проточный измерительный комплекс, созданный в Лаборатории оптики океана (ЛОО) Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН). Этот комплекс представляет собой развитие и модернизацию проточных систем [11, 12], разработанных ранее. К основным особенностям проточного измерительного комплекса можно отнести одновременное измерение большого количества ха-

рактеристик, среди которых – как биооптические (интенсивности флуоресценции хлорофилла “а” (хл “а”), окрашенной части растворенного органического вещества и показателя ослабления света морской водой), так и гидрологические (солености и температуры). Использование в качестве источников излучения сверхъярких светодиодов обеспечивает относительную простоту конструкции и большой ресурс без проведения регламентных работ по сравнению с применением лазеров. Комплекс обеспечивает оперативное отображение всех измеряемых характеристик на экране монитора.

Проточный измерительный комплекс применялся в ряде экспедиций ИО РАН в различных районах Мирового океана [1, 5, 6, 11].

СОСТАВ ПРОТОЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

В состав проточного измерительного комплекса входят следующие модули: модернизированный проточный двухканальный флуориметр ПФД-2М на сверхъярких светодиодах; универсальный малогабаритный прозрачномер ПУМ-А с проточной кюветой; проточный термосалинограф “Эксперт-002”; модуль GPS/GLONASS;

Таблица 1. Технические характеристики проточного измерительного комплекса

Наименование характеристики	Значение
Проточный флуориметр ПФД-2М:	
Длина волны максимума полосы возбуждения I_{fl} ОРОВ	373 нм
Максимум полосы регистрации I_{fl} ОРОВ	510 нм
Длина волны максимума полосы возбуждения I_{fl} Хл	522 нм
Максимум полосы регистрации I_{fl} Хл	690 нм
Полуширина спектрального диапазона возбуждения I_{fl} ОРОВ	11 нм
Полуширина спектрального диапазона возбуждения I_{fl} Хл	28 нм
Полуширина спектрального диапазона регистрации I_{fl} ОРОВ	100 нм
Полуширина спектрального диапазона регистрации I_{fl} Хл	30 нм
Относительная погрешность измерения I_{fl} ОРОВ	1%
Относительная погрешность измерения I_{fl} Хл	8%
Термосалинограф “Эксперт-002”:	
Абсолютная погрешность расчета солености	0.25 епс
Абсолютная погрешность измерения температуры	0.12°С
Прозрачномер ПУМ-А:	
Длина волны измерения c	530 нм
Полуширина спектрального диапазона	25 нм
Диапазон количественных измерений c	0.050–1.0 м ⁻¹
Диапазон качественных измерений c	1.0–13.0 м ⁻¹
Абсолютная погрешность измерения c	0.005 м ⁻¹

блок ввода данных “Multi-Vox”; система регистрации, оперативного отображения и долговременного хранения данных измерений; система непрерывного забора морской воды на ходу судна. Для абсолютной калибровки данных измерений проточного флуориметра используется двухканальный лазерный спектрометр ЛС-2 [11].

Проточный двухканальный флуориметр ПФД-2М. Прибор предназначен для непрерывных измерений на ходу судна интенсивностей флуоресценции хлорофилла a (Хл) и окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), индуцированных излучением сверхъярких светодиодов (ультрафиолетового HPLighting HPL-H77GV1BA и зеленого Philips Lumileds LXHL-NM98, их технические характеристики представлены в таблице 1). ПФД-2М разработан в ЛОО ИО РАН. В каждом измерительном канале используется своя проточная кювета. Кюветы имеют идентичную конструкцию. Они изготовлены из титана. Диаметр цилиндрической полости кюветы равен 25 мм, ее длина – 50 мм. На боковых гранях кюветы под углом 90° друг к другу расположены три оптических иллюминатора: один из них используется для ввода излучения, возбуждающего флуоресценцию; через иллюминатор, расположенный напротив первого, пучок через нейтральный

фильтр НС-8 (толщина 2 мм) выводится из кюветы на контрольный фотоприемник; через третий иллюминатор осуществляется вывод излучения флуоресценции. Все иллюминаторы выполнены из кварцевого стекла КВ, обладающего низким уровнем собственной флуоресценции. Для обеспечения прокачки воды кювета имеет два штуцера, расположенных в торцах кюветы. Для регистрации излучения флуоресценции используются малогабаритные фотоэлектронные умножители с мультищелочным фотокатодом ФЭУ-147-1. Требуемые спектральные характеристики чувствительности фотоприемных каналов обеспечиваются за счет установки на входе фотоприемников светофильтров из цветного оптического стекла: комбинации ЖЗС-5 (толщина 2.3 мм) и СЗС-22 (3 мм) в канале ОРОВ и КС-19 (3 мм) в канале Хл. Используемые наборы обеспечивают полное подавление возбуждающего излучения на входе ФЭУ и пропускают достаточную для регистрации часть излучения флуоресценции. Питание ФЭУ осуществляется от малогабаритных высоковольтных источников производства фирмы “Трасо Power” типа MHV12-2.0K1000N. Для питания сверхъярких светодиодов использованы стабильные в широком диапазоне изменения температур источники тока Arlight ARPJ-LA12350 (350 мА). Регулировка чувствительности измерительных



Рис. 1. Общий вид проточного двухканального флуориметра ПФД-2М.

каналов производится путем изменения напряжения питания ФЭУ в диапазоне 1.4–2 кВ. Электрические сигналы с нагрузки ФЭУ, после соответствующей обработки, поступают на вход быстродействующего 16-разрядного АЦП AD8615 фирмы “Analog Devices”. Широкий динамический диапазон регистрации сигнала позволяет свести к минимуму переключение режимов работы на протяжении долговременных циклов измерений в водах с высокой изменчивостью гидрооптических характеристик. Сигналы с АЦП через микроконтроллер ATmega32, один из модулей программного обеспечения которого отвечает за снижение уровня шума, поступают в персональный компьютер для оперативной обработки, регистрации, визуализации и долговременного хранения. Для устранения влияния возможного изменения яркости светодиодов в обоих каналах используются сигналы с контрольных фотоприемников. Операция нормировки выполняется в программе PLedF-4. Общий вид флуориметра ПФД-2М показан на рис. 1, оптическая схема – на рис. 2.

Универсальный малогабаритный прозрачномер ПУМ-А. Предназначен для измерения величины показателя ослабления света (c) [2, 3]. Прибор построен по двухканальной оптической схеме с одним источником света и одним фотоприемником. В качестве источника света используется сверхъяркий светодиод СДК-Л525-70-3/2 фирмы “Корвет-Лайтс” (максимум излучения – 520 нм, полуширина спектрального интервала – 25 нм). Линза Френеля создает пучок яркостью 240 кандел и расхождением 3° . В качестве приемника используется интегральный фотоприемник ОРТ-101 фирмы Burr-Brown. ПУМ-А обеспечивает изме-

рение значений c в диапазоне 0.050–1.0 м^{-1} с точностью 0.005 м^{-1} . При увеличении значений показателя ослабления ($c > 1 \text{ м}^{-1}$) возрастает влияние многократного рассеяния, что приводит к неконтролируемому росту погрешности измерений. Однако эти измерения позволяют выполнить качественные оценки изменений значений c без точного указания их реальных значений. Схема опико-электронного модуля прозрачномера ПУМ-А представлена на рис. 3.

При работе в составе проточного измерительного комплекса в оптический измерительный канал прозрачномера устанавливается проточная пластиковая кювета длиной 300 мм и объемом 270 мл. Кювета представляет собой трубку, устанавливаемую герметично между иллиминатором (10) и трипель-призмой (11).

Проточный термосалинограф “Эксперт-002”. Прибор изготовлен ООО “Эконикс-Эксперт”, Москва (<http://ionomer.ru>). Он предназначен для измерения удельной электропроводности (УЭП) и температуры воды и расчетов по результатам измерений УЭП, приведенной к заданной температуре, солёности воды. Расчет солёности производится по градуировочному графику. Проточный датчик термосалинографа выполнен в виде сквозного цилиндрического корпуса из оргстекла с двумя штуцерами для ввода и вывода воды и кабелем для соединения с измерительным блоком. Датчик снабжен четырьмя цилиндрическими встроенными электродами из высококачественной нержавеющей стали и встроенным термочувствительным элементом. Датчик обеспечивает измерение в пяти поддиапазонах, переключаемых вручную или автоматически.

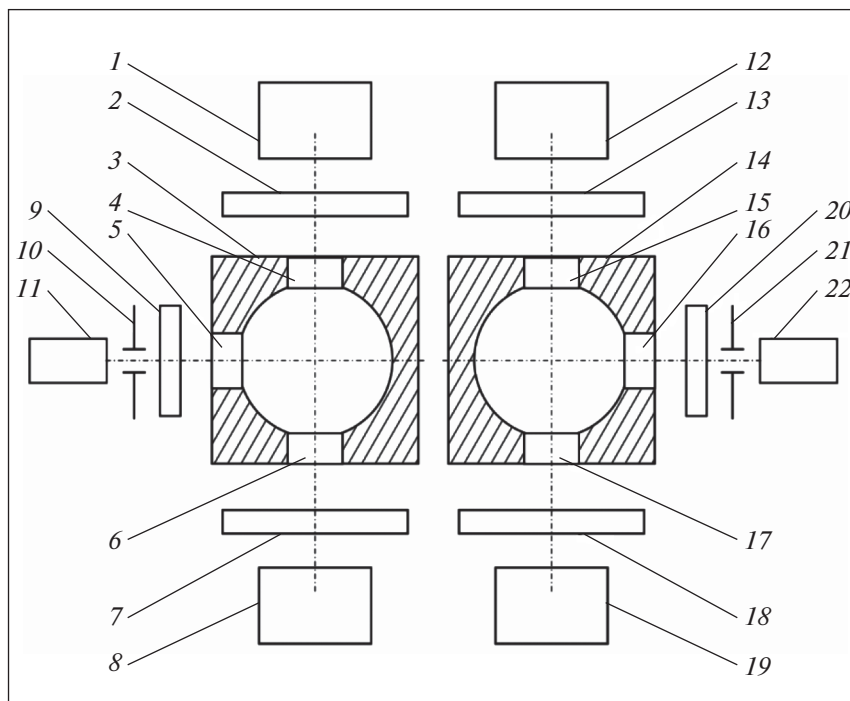


Рис. 2. Оптическая схема проточного флуориметра ПДФ-2М: 1 – сверхяркий светодиод зеленого диапазона; 2, 9, 13, 20 – светофильтры из цветного стекла; 3 – проточная кювета канала измерения интенсивности флуоресценции Хл; 4–6, 15–17 – кварцевые иллюминаторы; 7, 18 – нейтральные светофильтры; 8, 19 – контрольные фотоприемники; 10, 21 – диафрагмы; 11, 22 – ФЭУ-147; 12 – сверхяркий светодиод УФ диапазона; 14 – проточная кювета канала измерения интенсивности флуоресценции ОРОВ.

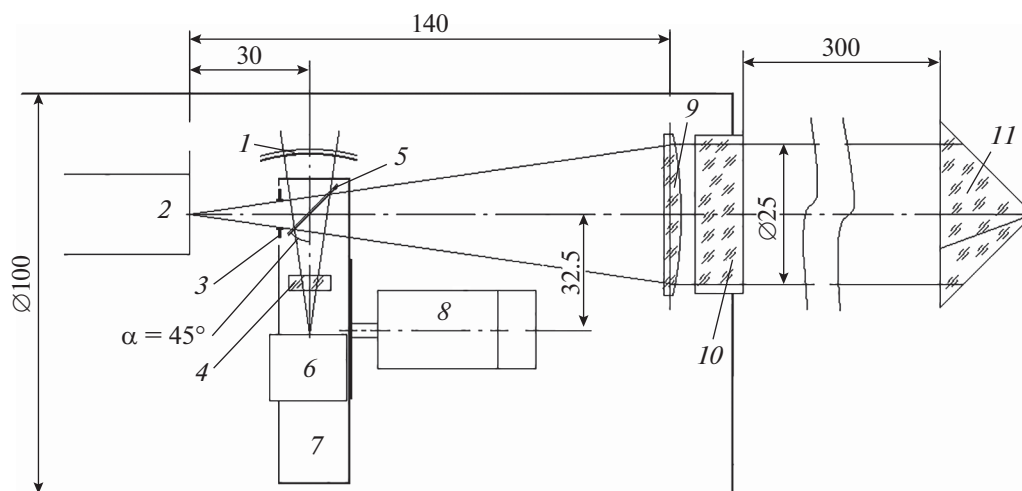


Рис. 3. Схема опико-электронного модуля прозрачномера ПУМ-А: 1 – сферическое зеркало, 2 – источник излучения, 3 – диафрагма, 4 – интерференционный фильтр, 5 – полупрозрачная пластинка, 6 – приемник, 7 – модулятор, 8 – двигатель, 9 – коллиматор, 10 – иллюминатор, 11 – трипель-призма.

Блок ввода данных “Multi-Box”. Для повышения надежности сбора данных от приборов проточного измерительного комплекса разработан блок ввода данных “Multi-Box”. Универсальный блок ввода данных “Multi-Box” состоит из: центрального микроконтроллерного устройства, на-

бора входных интерфейсов для подключения приборов измерительного комплекса, интерфейса USB 2.0 для подключения к персональному компьютеру (ПК). При этом для подключения всех приборов к ПК требуется только один порт USB. Важное достоинство блока “Multi-Box” –

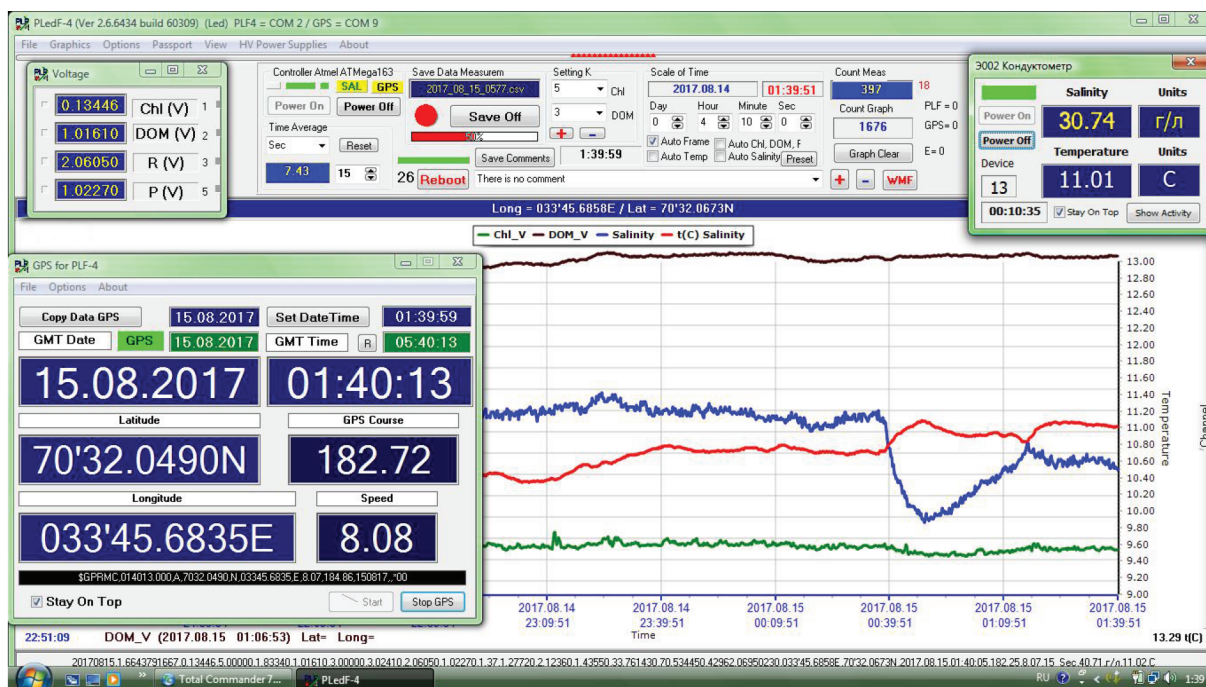


Рис. 4. Экран монитора проточного измерительного комплекса.

автоматическая инициализация, перезагрузка и восстановление работы после возможного сбоя, что предотвращает потерю данных. Через “Multi-Vox” к ПК подключаются все приборы проточного измерительного комплекса.

Система регистрации, оперативного отображения и долговременного хранения данных измерений. Проточный измерительный комплекс предназначен для непрерывной долговременной работы. Поэтому на программное обеспечение накладываются особые требования к надежности. Оно должно работать без сбоев длительное время и автоматически восстанавливать функционирование с минимальной потерей данных в случае возникновения внештатной ситуации.

Данные измерений с проточного флуориметра, термосалинографа и приемника GPS/GLONASS через блок ввода данных “Multi-Vox” поступают в ПК. Все данные измерений, а также информация о положении, скорости и курсе судна оперативно отображаются на мониторе и записываются в текстовом формате в общий файл с использованием специально разработанной программы PLedF-4. Кроме того, эта программа совместно с блоком “Multi-Vox” обеспечивает перезагрузку и восстановление работы в случае сбоя. Все производимые действия протоколируются и сохраняются в отдельном файле для последующей расшифровки возникновения сбоев. Вид экрана монитора, на котором отображаются данные измерений, показан на рис. 4.

Данные непрерывных измерений показателя ослабления света морской водой регистрируются и отображаются на отдельном ПК. Оба массива данных объединяются в общую таблицу в ходе дальнейшей обработки с использованием программы, написанной в среде Matlab.

Система непрерывного забора морской воды на ходу судна. Эта система обеспечивает подачу воды в проточные кюветы флуориметра ПФД-2М, прозрачномера ПУМ-А и термосалинографа “Эксперт-002”. Отбор воды осуществляется с помощью всасывающего водяного насоса эжекторного типа Grundfos JP-6 мощностью 1.5 кВт через гибкий армированный шланг (диаметр 25 мм) с обратным клапаном на всасывающем конце. Шланг выводится за борт и удерживается на ходу судна на глубине 1.5–2 м с помощью жестко прикрепленной к борту судна трубы или гидродинамического заглубителя и системы растяжек (разработка – Ю.И. Венцукт, ЛОО ИО РАН). Контрольные измерения интенсивности флуоресценции (I_{fl}) проб морской воды, взятых одновременно с поверхности и с помощью водозаборной системы, показали совпадение измеренных характеристик с точностью, обеспечиваемой приборами комплекса.

В канале подачи заборной воды в проточный измерительный комплекс устанавливается специальная камера для отделения воздушных пузырьков, обеспечивающая отсутствие воздушных пузырьков в измерительных кюветках. Расход воды в проточной системе – 3–5 л/мин. Система

обеспечивает забор воды при скорости судна до 12 узлов и волнении до 3–4 баллов.

Калибровка проточного флуориметра. Данные измерений проточного флуориметра приводятся к абсолютным (рамановским) единицам [14]. Абсолютная калибровка позволяет сравнивать данные, полученные в разных экспедициях с использованием разных приборов. Для калибровки используется дополнительный прибор – двухканальный лазерный спектрометр ЛС-2 [11], обеспечивающий измерения спектров флуоресценции морской воды и комбинационного рассеяния (КР) при возбуждении лазерным излучением с длинами волн 401 и 532 нм. Пробы для калибровки отбираются в ходе проведения непрерывных измерений. Отбор осуществляется из водозаборной системы до проточного флуориметра на участках с квазиоднородным распределением интенсивностей флуоресценции и показателя ослабления не менее двух раз в сутки с равномерными временными интервалами между отборами, а также после пересечения фронтальных зон.

В результате сопоставления данных проточного флуориметра и лазерного спектрометра выводятся регрессионные соотношения, которые используются для приведения результатов измерений к рамановским единицам [8]. Кроме того, производится вычитание подставки, образованной крылом полосы флуоресценции ОРОВ, из общего сигнала, измеренного в канале Хл проточного флуориметра.

Калибровка термосалинографа “Эксперт-002”. Путем сравнения результатов проточных измерений с данными STD-зонда, полученными на станциях, в рейсах выполняется калибровка термосалинографа, входящего в проточный измерительный комплекс. Например, в 71-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” (июнь–август 2018 г.) данные сравнивались по 28 станциям, выбранным из соображений покрытия всего диапазона значений, измеренных в рейсе. Результаты, получаемые после пересчета, позволяют снизить систематическую ошибку, допускаемую производителем прибора после заводской калибровки.

ПРИМЕР ПОЛУЧЕННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

Пример пространственных распределений температуры, солености, интенсивностей флуоресценции ОРОВ и Хл и показателя ослабления, полученных с помощью проточного измерительного комплекса на прямом восьмидесятикилометровом участке в середине Датского пролива при переходе от Гренландии к Исландии, представлен на рис. 5. Район характеризуется высокой пространственно-временной изменчивостью гидро-

физических характеристик, обусловленной действием двух противоположно направленных течений – Ирмингера и Восточно-Гренландского [22]. На представленном разрезе четко прослеживается область внедрения теплых соленых атлантических вод, характеризуемых низким содержанием ОРОВ, повышенным содержанием Хл и высокими значениями показателя ослабления, по-видимому, обусловленными повышенной концентрацией фитопланктона в поверхностном слое этих вод. Следует отметить также, что зарегистрированные особенности пространственных распределений рассматриваемых параметров находятся в хорошем согласии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создан проточный измерительный комплекс, предназначенный для регистрации ряда оптических и гидрологических характеристик поверхностного слоя морской воды. По сравнению с предшествующими моделями существенно расширен динамический диапазон регистрации сигнала, улучшены метрологические и эксплуатационные характеристики прибора, повышена надежность. Использование комплекса позволило получить данные о пространственной изменчивости биооптических характеристик морской воды в Северной Атлантике и северных морях России [4–6, 18].

Проточные системы позволяют получать существенно большие объемы данных по сравнению с работами на отдельных станциях. Кроме того, они дают качественно новую информацию о пространственных распределениях исследуемых характеристик. Эти данные позволяют оперативно определять положение судна относительно различных неоднородностей, например, фронтальных зон, а также оперативно выбирать положения станций [16]. Использование нескольких каналов, измеряющих различные характеристики, повышает надежность и достоверность данных о положении зон их повышенных градиентов. Сравнение данных, регистрируемых одновременно в нескольких каналах, позволяет получать принципиально новую информацию. Например, в Карском море была установлена корреляционная связь между S и I_{fl} ОРОВ [8, 18], что позволило получить новый индикатор процессов опреснения. Непрерывные измерения наилучшим образом подходят для сопоставления со спутниковыми данными при анализе пространственных распределений биооптических характеристик в поверхностном слое вод [7].

При продолжении разработки комплекса, в первую очередь, следует реализовать в проточном флуориметре спектральную регистрацию [9], что позволит автоматически получать данные в абсолютных рамановских единицах, а также опера-

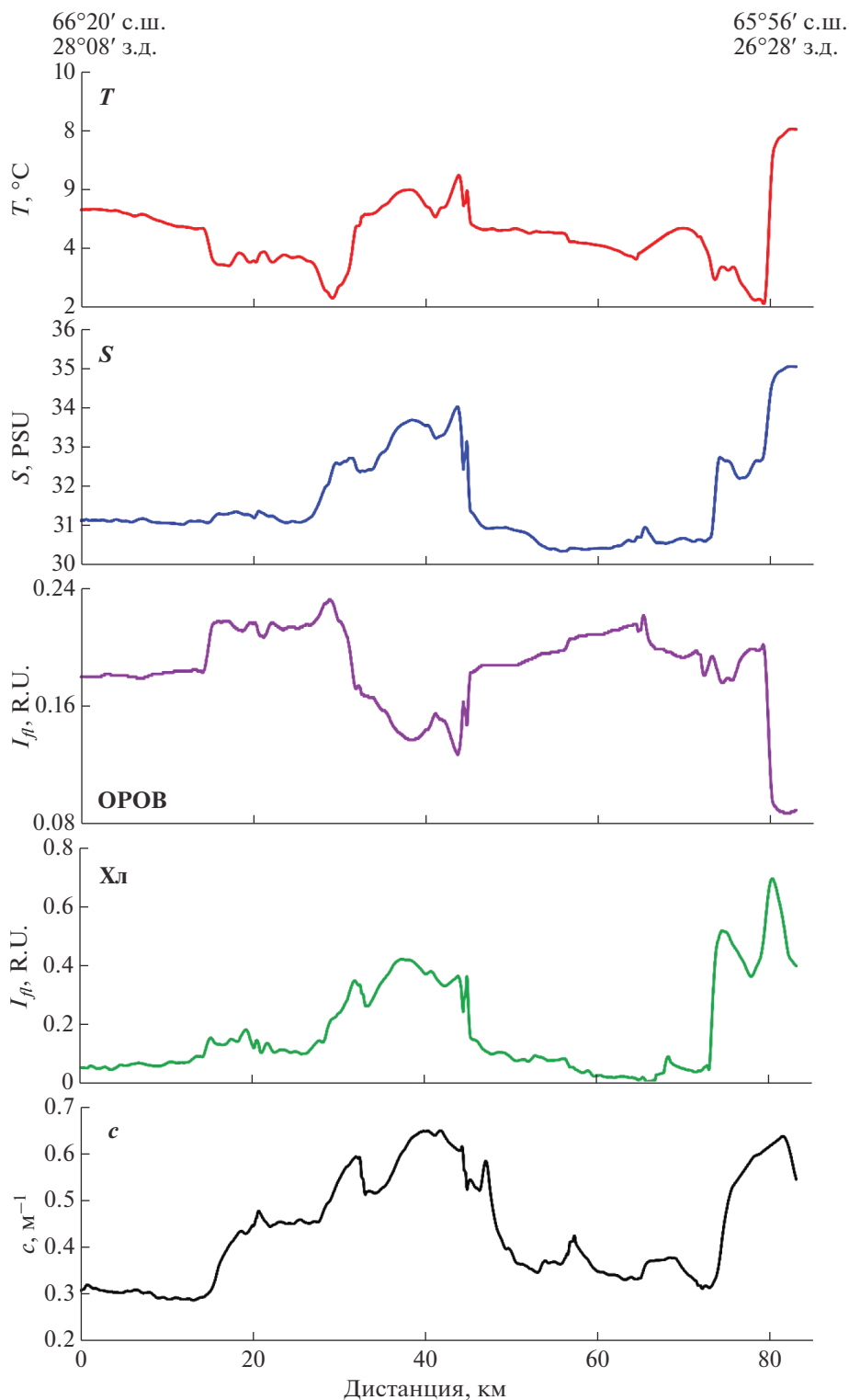


Рис. 5. Пространственные распределения температуры, солёности, интенсивностей флуоресценции ОРОВ и Хл и показателя ослабления в Датском проливе, 27.07.2018 г.

тивно вычитать пьедестал, образованный длинноволновым крылом флуоресценции ОРОВ из интенсивности флуоресценции, измеряемой в канале Хл. Целесообразно повысить количество

спектральных каналов проточного флуориметра. В частности, добавление канала в оранжевом диапазоне спектра [10] позволит регистрировать сигнал флуоресценции пигмента цианобактерий фи-

коцианина. Повышение уровня автоматизации, обеспечивающее проведение измерений без контроля оператора, позволит устанавливать комплекс на различные суда для проведения попутных измерений.

Благодарности. Авторы выражают благодарность к.ф.-м.н. Д.И. Фрею за полезные консультации.

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0003). Калибровки проточного флуориметра и термосалинографа выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00525. Грант предоставлен через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Либина Н.В. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 35-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 1. С. 150–155.
2. 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. М.: ИО РАН, АПР. 2017. Т. 2. С. 55–58.
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. Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Артемьев В.А., Шеберстов С.В. Оптические характеристики вод Карского моря по судовым и спутниковым наблюдениям // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 716–729.
5. Глуховец Д.И. Исследование биооптических характеристик вод поверхностного слоя Баренцева и Норвежского морей летом 2017 года // *Океанологические исследования*. 2019. Т. 47. № 1. С. 145–160.
6. 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.
7. Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А. Распространение поверхностного опресненного слоя в Карском море по судовым и спутниковым данным // *Труды XV Всероссийской конференции “Современные проблемы оптики естественных вод”*. СПб., 2019. С. 92–97.
8. 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. Т. II. М.: ИД Академии Жуковского, 2019. С. 45–49.
9. Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А., Гуреев Б.А., Венцкут Ю.И. Проточный лазерный флуориметр со спектральной регистрацией // *Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования*. Материалы молодежной научной конференции: http://mhi-ras.ru/news/news_201605201055.html. 2016. С. 552–557.
10. Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А., Гуреев Б.А., Венцкут Ю.И. Светодиодный флуориметр со спектральной регистрацией // *Труды I международной конференции “Современные проблемы термогидромеханики океана”*. 2017. С. 42–45.
11. Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А. и др. Исследования пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части Черного моря // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2015. Т. 8. № 1. С. 17–26.
12. Гуреев Б.А., Гольдин Ю.А., Венцкут Ю.И. Проточный лазерный флуориметр. // *Комплексные исследования Мирового океана – проект “Меридиан”*, Атлантический океан. М.: Наука, 2008. С. 189–195.
13. Карабашев Г.С., Ханаев С.А. Лазерный проточный флуориметр // *Океанология*. 1987. Т. 27. Вып. 6. С. 1007–1009.
14. Клышко Д.Н., Фадеев В.В. Дистанционное определение концентрации примесей в воде методом лазерной спектроскопии с калибровкой по комбинационному рассеянию // *Докл. АН СССР*. 1978. Т. 238. № 2. С. 320–323.
15. Нагорный И.Г., Салок П.А., Майор А.Ю., Дорошенко И.М. Мобильный комплекс для оперативного исследования водных акваторий и приводной атмосферы // *Приборы и техника эксперимента*. 2014. № 1. С. 103–106.
16. Флинт М.В., Поярков С.Г. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (128-й рейс научно-исследовательского судна “Профессор Штокман”) // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 4. С. 723–726.
17. Boss E., Haëntjens N., Ackleson S.G. et al. IOCCG Ocean Optics and Biogeochemistry Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Best Practices for the Collection and Processing of Ship-Based Underway Flow-Through Optical Data (v4.0). 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://epic.awi.de/id/eprint/50540>. (Дата обращения: 12.02.2020).
18. Glukhovets D.I., Goldin Yu.A. Surface layer desalination of the bays on the east coast of Novaya Zemlya identified by shipboard and satellite data // *Oceanologia*. 2019. V. 61. № 1. P. 68–77.
19. Lorenzen C.J. A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration // *Deep-Sea Res. and Oceanographic Abstracts*. Elsevier. 1966. V. 13. № 2. P. 223–227.
20. Osadchiev A.A., Izhitskiy A.S., Zavalov P.O. et al. Structure of the buoyant plume formed by Ob and Yenisei river discharge in the southern part of the Kara

- Sea during summer and autumn // *J. of Geophys. Res.: Oceans*. 2017. V. 122. № 7. P. 5916–5935.
21. *Osadchiev A.A., Zavialov P.O.* Lagrangian model of a surface-advected river plume // *Continental Shelf Res.* 2013. V. 58. P. 96–106.
22. *Sarafanov A., Falina A., Mercier H. et al.* Mean full-depth summer circulation and transports at the northern periphery of the Atlantic Ocean in the 2000s // *J. of Geophys. Res. Oceans*. 2012. V. 117. № C01014, <https://doi.org/10.1029/2011JC007572>
23. *Vepsäläinen J., Pyhälähti T., Rantajärvi E. et al.* The combined use of optical remote sensing data and unattended flow through fluorometer measurements in the Baltic Sea // *International Journal of Remote Sensing*. 2005. V. 26. № 2. P. 261–282.

Shipboard Flow-Through Complex for Measuring Bio-Optical and Hydrological Seawater Characteristics

Yu. A. Goldin^{a, #}, D. I. Glukhovets^{a, b}, B. A. Gureev^a, A. V. Grigoriev^a, V. A. Artemiev^a

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia*

[#]*e-mail: goldin@ocean.ru*

A flow-through complex has been created for continuous underway measurements of a number of bio-optical (fluorescence intensities of chlorophyll a and dissolved organic matter and light attenuation coefficient of seawater) and hydrological (salinity and temperature) characteristics along the ship route. Compared with previous versions, the number of measured characteristics, dynamic range and resource have been increased. Measurements using a flow-through measuring complex were carried out in a number of SIO RAS expeditions in various water areas of the World Ocean.

Keywords: flow-through measurements, fluorescence, attenuation coefficient, dissolved organic matter, chlorophyll, surface layer