

УДК 639.2.053.1:551.46.08

Инструментальные методы оценки кормовой базы рыбных скоплений на основе оптических принципов измерений*Д. Е. Левашов*

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГУП «ВНИРО», г. Москва)
e-mail: levashov@vniro.ru

Рассматриваются инструментальные методы, позволяющие достоверно определять промыслово-значимые факторы водной среды в реальном времени *in situ*. Проведена их классификация с позиций физики измерений и интерпретации полученных результатов в гидробиологических целях. Основное внимание уделено измерителям, использующим быстродействующие оптические принципы измерений и позволяющим проводить как оперативную оценку кормовой базы рыбных скоплений, так и изучать особенности условий её формирования. Главным критерием выбора измерителей является их методологическая совместимость с работой СТД-комплексов. Приводятся данные по современным, серийно выпускаемым моделям оптических измерителей с рекомендациями по их использованию.

Ключевые слова: гидрология, гидрохимия, биогенные элементы, первичная продукция, биологическая продуктивность.

ВВЕДЕНИЕ

Считается, что основными факторами водной среды, достоверно определяемыми с помощью различного рода измерителей и влияющими на поиск и прогноз рыбных скоплений, являются температура воды, динамика вод, световой режим, а также параметры, по которым оценивается кормовая база. Температуру и динамику вод определяют с помощью разнообразных гидрологических измерителей и СТД-зондов, объединённых нами в группу СТД-измерителей, они давно используются и наиболее распространены. Общим для всех этих измерителей является то, что они работают практически в реальном масштабе времени (постоянная времени много меньше 1 с) и уже

давно широко используются при оперативной оценке характеристик водной среды на промысле. Несколько медленнее работают также широко распространённые электрохимические датчики растворённого кислорода и рН (постоянная времени до 1–3 с), но методологически их всё же возможно использовать при совместной работе в СТД-комплексах.

Что касается оценки характеристик кормовой базы рыбных скоплений, то здесь дело оказывается значительно сложнее. Для промысла важнейшим фактором является обеспеченность рыбных скоплений питанием. В этом случае исследуется зоо- и фитопланктон с помощью традиционных методов облова планктонными сетями или батометрами с последу-

ющей камеральной обработкой взятых проб. Далее идёт оценка условий формирования кормовой базы. Подобные методы наиболее востребованы в прогностических исследованиях. Исследуется первичная продукция, растворённые органические вещества, взвеси и биогены, определяемые также по отобраным пробам.

Однако такой подход к оперативным экспедиционным исследованиям, когда одновременно используются СТД-комплексы, работающие практически в реальном времени, и отбираются пробы с последующей продолжительной обработкой, ставит сложные вопросы методологической совместимости. Одним из практических решений является комплексное использование быстродействующих измерителей, информация которых могла бы

существенным образом помочь в оценке кормовой базы рыбных скоплений, с отбором проб только в специальных случаях. Как известно, наиболее быстродействующими являются оптические принципы измерений, и сейчас уже известны методы на их основе, с помощью которых возможно оценивать интересующие нас параметры в реальном времени.

Более наглядно описанный переход от промыслово-значимых параметров к измерителям, сгруппированным по методам измерений, отражён на структурной схеме, представленной на рис. 1.

Одним из важнейших факторов формирования рыбопромысловых скоплений является их обеспеченность пищей. По характеру питания около 80% общего вылова рыб Мирового

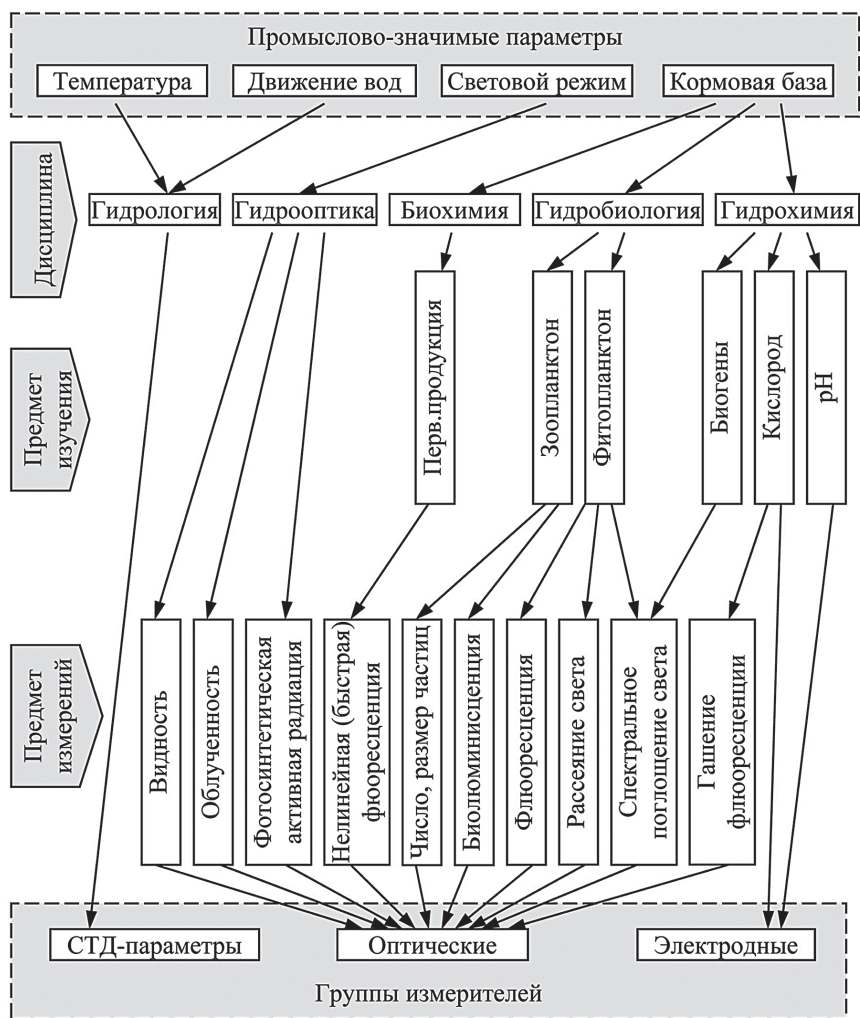


Рис. 1. Структурная схема перехода от промыслово-значимых параметров к измерителям, сгруппированным по методам измерений

океана относится к планктонофагам, большую часть которых составляют важнейшие промысловые рыбы [Марти, 1980; Моисеев, 1985]. Остальные рыбы, являясь хищниками, в свою очередь, питаются также и планктонофагами. В любом случае в трофической цепи, заканчивающейся промысловыми рыбами, одним из предыдущих трофических уровней является фито- или зоопланктон. В то же время следует отметить, что нельзя вести поиск и прогноз промысловых скоплений без учёта их кормовой базы, также нельзя и недооценивать условия формирования самой кормовой базы (это более востребовано в прогностических исследованиях). Сюда входит первичная продукция, растворённые органические вещества и биогены.

Для оперативного исследования распределения планктона необходима аппаратура, совместимая с СТД-зондами и позволяющая проводить оценки количественного и качественного состава планктона *in situ*. С технической точки зрения это целесообразно делать, основываясь не на видовых признаках планктона, а на неких его морфологических и физических признаках, которые можно определить и измерить, применяя датчики различного типа. Пока не существует единого метода для адекватной оценки количественного и качественного состава организмов, различающихся в размерах на несколько порядков. Поэтому для различных групп организмов применяются разные методы, а иногда и несколько методов одновременно.

Исторически первыми инструментальными методами, используемыми в планктонных исследованиях, стали фиксация биолюминесценции зоопланктона и регистрация флюоресценции хлорофилла, содержащегося в клетках фитопланктона. Однако из-за несоответствия величин регистрируемых сигналов реальным размерно-количественным характеристикам планктона эти методы могут быть использованы только для визуализации пространственного распределения планктона и наведения традиционных орудий на места отбора проб. В то же время успехи в развитии флюоресцентных методов позволили создать весьма перспективные методики определения принадлежности водорослей к тем или иным таксономическим группам, а также определения уровня первич-

ной продукции в реальном масштабе времени *in situ*.

Концентрацию, а в некоторых случаях и размеры микропланктона от 0,001 до 0,1 мм (сюда входит и фитопланктон) можно оценить в виде интегрального распределения с помощью измерителей ослабления, рассеяния и поглощения направленного света. При этом наиболее перспективным методом следует считать спектральный анализ результатов измерения ослабления направленного света в разных диапазонах волн. Большим преимуществом этого метода является возможность одновременного определения параметров, касающихся условий формирования кормовой базы, — растворённых веществ и биогенов.

Определение размерно-количественных характеристик мезопланктона (это, как правило, зоопланктон размером 0,5–20 мм, а также его концентрации и распределения) является одной из актуальнейших задач, позволяющих повысить эффективность поиска и прогноза промысловых скоплений [Марти, 1980]. Дело в том, что, с одной стороны, для рыб важен не столько видовой состав потребляемой пищи, сколько её размер, зависящий главным образом от строения их рта, глотки и жаберного аппарата [Антипова и др., 1985; Горелова, 1978; Дробышева, Тюлева, 1971; Никольский, 1974]. Необходимо отметить, что размерные характеристики организмов наиболее легко поддаются автоматизированной математической обработке [Крылов, 1968; Светличный, 1983; Численко, 1968а]. С другой стороны, согласно многим публикациям [Тимонин, Цейтлин, 1976; Цейтлин, 1981; Численко, 1968б; Borgmann, 1982; Jackson et al., 1984; Jeffries et al., 1984 и др.], возможен метод прямого расчёта продукции водных организмов, опирающийся не на традиционную концепцию трофических уровней, а на учёт коэффициентов эффективности использования животными пищи разного размера.

Итак, далее рассмотрим подробнее измерители размерно-количественных характеристик мезопланктона и измерители биолюминесценции как приборы для оценки именно кормового мезопланктона с регистрацией характеристик отдельных частиц планктона. Затем будут описаны приборы, регистрирующие

интегральное ослабление света более мелким планктоном — спектральные измерители ослабления направленного света, которые также могут использоваться для регистрации растворённых в воде веществ, имеющих отношение к биопродуктивности акватории. Следующий большой класс оптических измерителей для оценки характеристик фитопланктона — флуориметры, в который, кроме классических, входят спектральные и нелинейные. К этому классу примыкает и флуоресцентный датчик растворённого кислорода. И, наконец, необходимо упомянуть измерители светового режима, которые позволяют оценивать такой параметр, как видность, характеризующий поведение рыбных скоплений и отдельных рыб, а также измерять фотосинтетическую активную радиацию — ФАР.

ИЗМЕРИТЕЛИ РАЗМЕРНО-КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЗОПЛАНКТОНА.

Для поиска рыбы наиболее важным является метод, который позволяет определять непосредственно размерно-количественные характеристики планктона, так как именно ротовое отверстие планктофагов определяет размеры поедаемого планктона. Т.е., для оценки кормовой базы рыбных скоплений оказалась более важной размерная структура планктонных сообществ, нежели видовая классификация.

Применяемые в настоящее время регистраторы мезопланктона используют метод, основанный на оптическом принципе измерения. Приоритет в создании этих приборов принадлежит ВНИРО (патент РФ № 2112955), где ещё в середине семидесятых годов [Левашов и др., 1979] были начаты работы в этом направлении. В дальнейшем там был разработан целый ряд оптических датчиков [Левашов, Ерофеев, 1983; Levashov, Zhavoronkov, 1994, 1995] для исследования мезопланктона. Принцип действия всех этих датчиков основан на измерении размера тени от частицы планктона, проходящей в проточном канале через луч света между осветителем и фотоприёмником [Левашов, 1991]. Последним представителем этого ряда приборов является зонд ТРАП-7, который предназначен для работы в составе СТД-зондов, а также может устанавливаться на буксируемые носители, системы прокачки

заборной воды, буи и т.д. [Левашов, 2001]. Более подробно лазерные измерители планктона типа ТРАП, а также особенности методики их применения описаны в работе [Левашов, Буланова, 2013].

За рубежом первоначально ориентировались на кондуктометрические счётчики частиц, но в последнее десятилетие зарубежные специалисты последовали нашему примеру. Сейчас уже довольно успешно применяются канадские счётчики ОРС [Herman, 1988, 1992; Herman et al., 1993] и ЛОРС [Herman et al., 1998], которые могут использоваться только на ходу судна с помощью буксируемых систем и возвращаемых зондов.

Оптический счётчик планктона ОРС создан в конце 1980-х гг. канадскими учёными, ранее занимавшимися кондуктометрическими счётчиками планктона [Herman, 1977; Herman, Dauphinee, 1980; Herman et al., 1981, 1984]. Оптическая схема прибора мало отличается от применявшейся в первых зондах серии ТРАП [Левашов, Ерофеев, 1983; Levashov, Zhavoronkov, 1995]. Однако в связи с тем, что излучатель канадского датчика использует световое излучение с длиной волны 640 нм, в приборе требуется обязательное применение проточного канала, играющего в данном случае роль световой ловушки для защиты от внешней засветки.

Фирмой Focal Technology Inc. выпускаются два варианта прибора под названием ОРС-1Т и ОРС-2Т для установки на буксируемые устройства, а также лабораторный прибор ОРС-1Л для работы в режиме прокачки. Они имеют практически одинаковые характеристики и отличаются сечением проточной камеры: 2×25 , 2×10 и 2×2 см² соответственно. Глубина погружения составляет 1000 м для ОРС-1Т и 340 м для ОРС-2Т. Они обычно устанавливаются на средние ондуляторы типа Aquashuttle Mk3 и Nu-Shuttle, а также на глубоководные ондуляторы типа Scanfish Mk II (рис. 2, а), BATHFISH II, SeaSoar.

Лазерный счётчик планктона ЛОРС (рис. 2, б) создан в конце 1990-х гг. [Herman et al., 1998]; изготавливается канадской фирмой Brooke Ocean Technology Ltd. и предназначен для установки на системах с возвращаемым зондом типа MVP [Furlong et al., 2000].

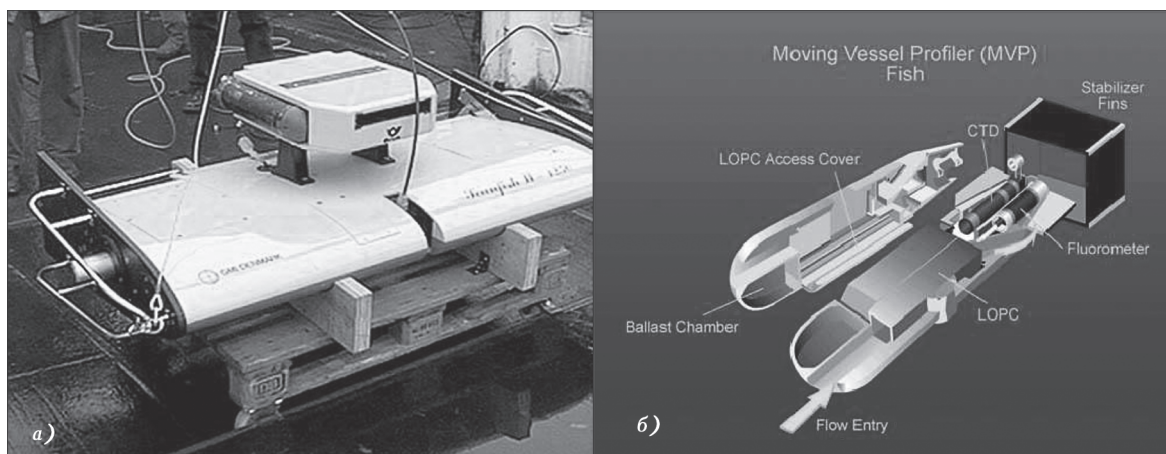


Рис. 2. Счётчик ОРС на ондуляторе ScanFish (а) и счётчик ЛОРС в составе возвращаемого зонда MVP (б, зонд показан в разрезе)

Излучатель и фотоприёмник оптоэлектронного датчика размещаются в одном контейнере и используются совместно с отражателем — внешней призмой, поворачивающей луч на 180° , при этом можно изменять расстояние от иллюминатора до отражателя. Изменение площади сечения туннеля от 7×7 см до 7×35 см позволяет прибору работать в диапазоне концентраций планктона более широком, чем у измерителей типа ОРС. Следует отметить, что подобное решение с изменением расстояния до отражателя впервые применено в зонде ТРАП-6 [Левашов и др., 1997; Levashov et al., 1997].

ИЗМЕРИТЕЛИ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ. Биоломинесценция известна довольно давно, это свойство организмов светиться под воздействием естественных или искусственных раздражителей [Гительзон, 1977; Moline et al., 2000]. Первоначально широкое распространение получил метод «пассивного» возбуждения биоломинесцентной реакции планктонных организмов за счёт механического воздействия на среду самим движущимся прибором [Рудяков, 1967]. Усилить возбуждение можно за счёт двойной металлической решётки, устанавливаемой в поле зрения прибора [Битюков и др., 1969].

Современный вариант такого батифотометра под названием SSBP, разработанный в Вудсхольском океанографическом институте, выполнен в виде цилиндра с расположенным

в торце фотоприёмником, который телескопически вкладывается в цилиндрическую световую ловушку длиной 25 и диаметром 10 см с входным раструбом диаметром 15 см и возбуждающей решёткой. Прибор был рассчитан на работу со скоростью протока около 2 м/с и успешно использовался на буксируемом носителе SeaSoar на глубине до 120 м [Widder, 1997].

Модифицированный метод пассивного возбуждения был реализован в батифотометрическом зондирующем комплексе «Ромашка» [Гительзон, Левин, 1983] с помощью специально рассчитанного проточного канала с эффектом гидравлического удара перед иллюминатором. Ряд свободно вращающихся крыльчаток световой ловушки придаёт планктону дополнительное возбуждение. Недостатком этого метода является то, что он эффективен только при определённой минимальной скорости зондирования, ниже которой эффективность возбуждения снижается.

Свободными от этого недостатка являются батифотометры с прокачкой и использованием активного возбуждения свечения (применение активных прокачивающих устройств различного типа). При прохождении организмов, способных к свечению, через крыльчатку насоса и трубопровод, они возбуждаются (в некоторых конструкциях используются дополнительные решётки для возбуждения организмов). Высвечивание организмов, находящихся в проточной измерительной камере прибора,

регистрируется фотоприёмником [Widder et al., 1993].

В качестве примера батифотометра, выпускаемого серийно фирмой Chelsea Instruments Ltd., можно привести проточный измеритель биолюминесценции Glowtracka [Piontkovski, Williams, 1995]. Здесь используется принцип механической стимуляции биолюминесценции планктона за счёт вращения крыльчатки в потоке воды при расходе воды до 60 л/мин. Регистрируются как отдельные вспышки, так и их интегральная интенсивность за 5-секундные периоды.

Несмотря на свою простоту измерители биолюминесценции широкого применения в практических целях как основной прибор для исследования зоопланктона пока не получили, что связано, во-первых, с непостоянством соотношения между излучающей и общей численностью частиц планктона, а также разницей в их биомассе; а во-вторых, с наложением циркадного ритма на вертикальное и горизонтальное распределение биолюминесценции [Гительзон, Левин, 1983]. Несмотря на это измерители биолюминесценции могут дополнить оптические счётчики планктона и помочь разделить зарегистрированный планктон на растительный и животный [Левин и др., 1988], так как биолюминесценция является на сегодняшний день единственным свойством представителей животного мира, позволяющим достоверно выделить его в общей массе планктона.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ОСЛАБЛЕНИЯ НАПРАВЛЕННОГО СВЕТА. Как уже упоминалось, концентрацию, а в некоторых случаях и размеры микропланктона от 0,001 до 0,1 мм (сюда входит и фитопланктон) можно оценить в виде интегрального распределения с помощью измерителей ослабления, рассеяния и поглощения направленного света. Наиболее распространёнными приборами, которые используются для этих целей, являются прозрачномеры [Левашов, 2003], причём наиболее информативными являются те, которые позволяют измерять ослабление света на нескольких длинах волн [Левашов, Левашова, 2010].

В последнее время в практике океанологических исследований стали использоваться

спектральные прозрачномеры, в которых белый свет, прошедший через анализируемый слой воды, разлагается на спектр внутри миниатюрных призмных или дифракционных спектрометров и проецируется вдоль многоэлементного однострочного фотоприёмника (фотолинейки). В результате с помощью такого спектрометра можно измерять физически одновременно и «в одной воде» прозрачность в требуемой области спектра (в зависимости от излучателя — видимой или УФ) с разрешением до 2–5 нм. Всё это позволяет оценить вклад спектрального поглощения пигментами хлорофилла, РОВ, биогенами, например, определить величину пика оптического поглощения нитрат-иона в области 205 нм и т.д. [Moore, 1994; Valeport SUV-6..., 1996].

Спектральный прозрачномер MST (Multispectral Transmissometer) разработан в рамках программы EUROMAR в университете Ольденбурга (Universitat Oldenburg) и сейчас по лицензии выпускается фирмой TriOS GmbH. Прозрачномер предназначен для оценки спектрального ослабления света в видимом и ближнем ультрафиолетовом диапазоне.

Прозрачномер имеет обычную оптическую схему с размещением излучающего и приёмного узлов в одном корпусе и использованием отдельного призматического отражателя. Главной особенностью прибора является использование миниатюрного дифракционного спектрометра фирмы Zeiss (Германия) типа MMS на основе кремниевой фотодиодной линейки на 256 элементов. В диапазоне 360–720 нм этот спектрометр имеет разрешение 2,2 нм на элемент. В качестве опорного фотоприёмника применён фотодиод с блокирующим фильтром. Для оптической связи спектрометра и опорного фотодиода с приёмной оптикой использованы световолоконные коллекторы. В качестве излучателя применена ксеноновая лампа-вспышка. Регулируемая в пределах 0–400 мм оптическая база (фиксированная для конкретного измерения) позволяет использовать прибор как в чистых океанских водах, так и в районах с большой мутностью. Программное обеспечение внутреннего процессора прибора обеспечивает идентификацию хлорофилла «а», взвешенных частиц и «жёлтого вещества».

Прибор в алюминиевом корпусе рассчитан на максимальную глубину в 300 м, а в стальном корпусе допускает погружение на глубину до 6000 м.

Спектральный прозрачномер ISUS [Johnson, Coletti, 2002] разработан в Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI) и выпускается совместно с фирмой Satlantic Inc. Прибор предназначен для оценки концентрации растворённых в морской воде нитратов, бромидов и сульфидов. Чувствительность прибора составляет $\pm 0,25$ мкМ, точность — 1% (при коррекции температуры по данным СТД-зонда).

Источником излучения служит миниатюрная дейтериевая лампа типа Fiberlight, выпускаемая вместе с блоком питания фирмой Heraeus. Эта лампа работает в режиме постоянного свечения и имеет гнездо для сопряжения со световолоконной линией. Она более стабильна, потребляет малую мощность (3 Вт) и имеет плавную спектральную характеристику по сравнению с обычно используемой в таких случаях ксеноновой лампой-вспышкой.

Оптическая база датчика для измерения ослабления излучения равна 1 см (с учётом возврата отражённого света). Она специально вынесена за пределы корпуса на некоторое расстояние. Для передачи света от излучателя к оптической базе и затем к спектрометру, а также от излучателя к опорному фотоприёмнику, применены кварцевые световолоконные линии толщиной 600 мкм. Все другие оптические элементы (линзы, пово-

ротная призма) выполнены также из кварцевого стекла.

Весь спектрометрический блок используется готовый, типа CRO-MMS-UV фирмы Spectronic Devices Ltd. В его состав входит спектрометр модели Zeiss MMS UV, который регистрирует спектральные характеристики ослабленного водой излучения, и 16-разрядное АЦП для обработки сигнала с каждого элемента фотодиодной линейки. В спектрометре используется фотодиодная линейка из 256 элементов в спектральном диапазоне 190–400 нм, т.е. разрешение такой оптической системы равно 0,8 нм. Корпус выполнен из пластика и допускает погружение до 500 м.

Классические флуориметры. Как известно, фитопланктон можно выделить из общей массы сестона благодаря его способности к флуоресценции, которую вызывают хлорофиллы, каротиноиды и другие пигменты, имеющие узкие области свечения в нескольких областях светового спектра. Наиболее широко распространены классические флуориметры [Turner, 1973; Карабашев, 1987]. Принцип их действия основан на облучении фитопланктона светом лампы-вспышки в синей области светового спектра (420–470 нм) и регистрации вынужденного излучения хлорофилла в красной области (670–680 нм). В новых флуориметрах (рис. 3) вместо лампы-вспышки используются синие светодиоды, в связи с чем они имеют малое энергопотребление и габариты. Также следует отметить, что практически все описываемые ниже флуориметры имеют



Рис. 3. Внешний вид флуориметров Minitracka (а), SeaPoint (б), SCUFA (в), WETStar (г) и MicroFlu-chl (д)

модификации для измерения люминесценции растворённого органического вещества — РОВ (Colored Dissolved Organic Matter — CDOM), что требует незначительных изменений в электронно-оптическом тракте.

Флюориметр Minitracka (рис. 3а) выпускается фирмой СТГ. Он также может работать в режиме нефелометра (измерителя рассеяния). Синий светодиод излучает на длине волны 470 нм. Фотоприёмник нефелометра также на этой длине волны воспринимает свет, рассеянный под углом 90°. Люминесценция воспринимается на длине волны 685 нм.

Флюориметр SeaPoint (рис. 3б) фирмы SeaPoint Inc. является одним из самых популярных измерителей, им комплектуются многие современные СТД-зонды. В качестве источника излучения в синей области спектра (470 нм) используются два светодиода, облучающие анализируемый объём с двух сторон. Такое решение принято для увеличения общего светового потока и более равномерного освещения сравнительно большого анализируемого объёма (340 мм²). Фотоприёмник для измерения флуоресценции (685 нм) расположен в центре торца основного корпуса, который допускает погружение до глубины 6000 м. Имеется специальная насадка для работы флюориметра в системе с прокачкой воды.

Флюориметр SCUFA (рис. 3в) выпускает фирма Turner Designs, он одновременно является и нефелометром. Применена обычная оптическая схема со светодиодом, излучающим на длине волны 460 нм (для хлорофилла «а») и фотоприёмником флюориметра со светофильтром на длину волны 685 нм, установленным под углом 90° к излучателю. Однако напротив этого фотоприёмника, по другую сторону анализируемого объёма, установлен ещё один фотоприёмник, но уже с другим светофильтром (пропускающим на длине волны 460 нм), что позволяет измерять рассеянное излучение. Максимальная глубина погружения 600 м. Имеется специальная насадка для использования флюориметра в системе с прокачкой воды.

Флюориметр WETStar (рис. 3г) выпускает фирма WetLabs Inc. [Barth, Bogucki, 2000]. Главной особенностью этого прибора является новая оптическая конструкция в виде про-

зрачной проточной трубки, позволяющей использовать его в режиме прокачки воды без всяких насадок. Благодаря такому решению значительно уменьшились габариты прибора. Длина волны возбуждения 470 нм, флуоресценция регистрируется на длине волны 685 нм. В качестве источника света использованы два светодиода повышенной яркости со свечением синего цвета. Прибор размещается в цилиндрическом пластиковом корпусе, допускающем погружение до 500 м.

Флюориметр MicroFlu-chl (рис. 3д), выпускаемый немецкой фирмой TriOS GmbH, отличается оригинальной оптической схемой. У всех перечисленных выше флюориметров возбуждение и приём излучения традиционно производится под углом 90°. Такое решение требует наличия двух иллюминаторов и дополнительных узлов в оптических системах. Немецкие разработчики применили соосную оптическую схему с одним иллюминатором и значительно уменьшили габариты прибора.

В результате был создан миниатюрный флюориметр диаметром всего 48 мм при длине в 200 мм, который использует синий сверхяркий светодиод в качестве излучателя. Микроскопический объектив, установленный на совмещённом оптическом пути, позволяет уменьшить измерительный объём и повысить чувствительность системы вплоть до регистрации флуоресценции от отдельных частиц. Используется возбуждение на длине волны 470 нм, и регистрируется флуоресценция на длине волны 685 нм с шириной полосы 20 нм. Флюориметр имеет прочный корпус из титана и допускает погружение на глубину до 500 м.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ФЛЮОРИМЕТРЫ. Возбуждая флуоресценцию различных пигментов фитопланктона в разных участках светового спектра и измеряя интенсивность флуоресценции на соответствующих длинах волн, можно оценивать вклад тех или иных групп фитопланктона в его общий состав. Одновременное измерение и других гидрооптических характеристик может способствовать более правильной идентификации таксономических групп планктона.

Фирма bbe Moldaenke (Германия) выпускает спектральный флюориметр FluoroProbe

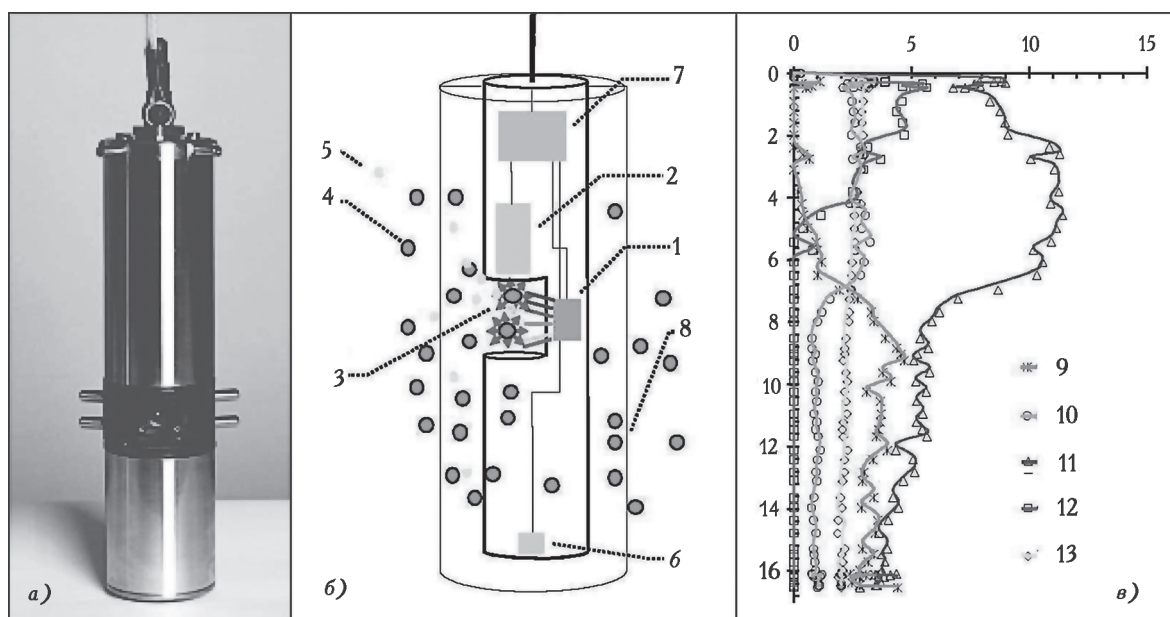


Рис. 4. Внешний вид (а) и устройство (б) измерителя FluoroProbe, а также пример (в) профилей вертикального распределения фитопланктона по данным этого прибора:

1 — светодиодная матрица; 2 — фотоумножитель; 3 — измерительная камера; 4 — частицы фитопланктона; 5 — жёлтое вещество; 6 — датчик глубины; 7 — электроника; 8 — корпус; 9 — зелёные; 10 — сине-зелёные; 11 — перединеи; 12 — красные; 13 — жёлтое вещество

(рис. 4), который не только позволяет определять содержание активного хлорофилла в природных поверхностных водах вплоть до концентрации 1 мкг хлорофилла на литр, но также позволяет различать пять групп морских водорослей, с набором пигментов, возбуждаемых на соответствующих длинах волн. К ним относятся зелёные (450 нм), сине-зелёные (525 нм), жёлто-зелёные, золотистые и перединеи (570 нм), красные (590 нм), криптофитовые (610 нм). Микросекундные импульсы последовательно включают светодиоды, излучающие на указанных длинах волн. Матрица этих светодиодов имеет также дополнительный светодиод на 370 нм для определения «жёлтого вещества».

В фотоприёмнике используется миниатюрный фотоумножитель. Для защиты от излучения светодиодов он включается только на время измерения, сразу после очередной вспышки. Все компоненты компактно расположены в оптическом блоке, который оптимизирован для эффективного сбора флюоресценции с низким уровнем шумовых сигналов. Диапазон измерения соответствует концентрации хлорофилла «а» от 1 до 200 мкг/л.

В производственной программе фирмыbbe Moldaenke также имеется модификация прибора, предназначенного для работы в составе системы прокачки забортной воды. В отличие от описанного выше прибора, у него есть дополнительная матрица светодиодов повышенной мощности, с помощью которой обеспечивается работа с возбуждением нелинейной флюоресценции. В этом случае частота опроса датчиков становится ниже, но появляется возможность оценки первичной продукции.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ФЛЮОРИМЕТРЫ (ПРОДУКЦИОМЕТРЫ). Обычные флюориметры (классические и спектральные) измеряют флюоресценцию хлорофилла F_0 при открытых реакционных центрах фотосистемы. Но если возбуждающую освещённость довести до величины, при которой реакционные центры закроются, то можно определить максимальную флюоресценцию фотосистемы F_m . Разница между F_m и F_0 называется переменной флюоресценцией F_v ; она соответствует той части энергии, которая используется в процессе фотосинтеза. Эффективность процесса определяется как отношение F_v/F_m или

$(F_m - F_o) / F_m$. Если такой прибор будет содержать измеритель освещённости, то по измеренным параметрам возможна оценка фотосинтетической продукции [Рубин, 1997, 2000; Фадеев, 2000].

Было разработано и успешно испытано несколько вариантов подобных флюориметров — Pump-and-Probe Fluorometer (PPF) и Fast Repetition Rate Fluorometer (FRRF), иногда именуемых «быстрыми» флюориметрами, «нелинейными» флюориметрами или просто продукциометрами [Falkowski et al., 1984; Falkowski, Kolber, 1990; Kolber, Falkowski, 1992, 1993; Маторин и др., 1996; Антал и др., 1999, 2001]. Принцип их действия заключается в измерении флюоресценции при разном состоянии реакционных центров фотосистемы клеток фитопланктона и одновременном измерении освещённости [Маторин, Венедиктов, 1990].

На кафедре биофизики биологического факультета МГУ разработан погружной зонд-флюориметр «ПРИМПРОД 1.08 МГУ» (PrimProd) типа PPF, позволяющий проводить измерение величин F_o и F_m в водоёмах с глубиной до 200 м [Маторин и др., 1996]. Для оценки разной флюоресценции используется последовательность мощной и слабой вспышек. Излучателями являются лампы-вспышки, в качестве фотоприёмника используется ФЭУ. Высокая чувствительность прибора позволяет измерять концентрацию фитопланктона при содержании хлорофилла менее 0,03 мкг/л. Встроенный квантометр позволяет измерять подводную освещённость в диапазоне 0,03–1000 мЕ/м²С. Его использование позволяет по величине эффективности использования света $(F_m - F_o) / F_m$ и освещённости на данном горизонте оценивать фотосинтетическую продукцию. Кроме того, прибор снабжён датчиками температуры воды и глубины погружения.

Отраслевая апробация метода была проведена в экспедиции ВНИРО на НИС «Академик Борис Петров» (1997 г.) в Норвежском море, где шла промысловая добыча скумбрии. При проведении фоновой съёмки удалось оценить первичную продукцию практически без применения скляночного метода [Антал и др., 2000]. В настоящее время методика работы

с этим прибором достаточно хорошо отработана [Антал и др., 1999, 2001; Ostrowska et al., 2000a, b; Wozniak, Dera, 2000].

Во флюориметре типа Fastracka, изготовляемом фирмой Chelsea Instruments Ltd., FRRF [Kolber et al., 1998; Aiken et al., 2000; Aiken, 2001], для оценки эффективности фотосинтеза используется последовательность вспышек одинаковой мощности. Такое решение позволяет не только определять F_m и F_o , но и наблюдать временной процесс насыщения переменной флюоресценции F_v , вызванный серией последовательных вспышек [Kolber et al., 1998].

Конструктивно датчик флюоресценции состоит из двух идентичных каналов, имеющих открытый и затемнённый измерительные объёмы, с общим фотоприёмником. Источником излучения служит матрица 6x14 светодиодов с голубым свечением (475 нм), их излучение сфокусировано в измерительном объёме размером 1000 мм³. Фотоприёмником служит ФЭУ типа Hamamatsu R928. Чувствительность соответствует концентрации хлорофилла «а» в пределах 0,1–30 мкг/л. Имеется дополнительный опорный канал для оценки флуктуаций мощности излучения.

ФЛЮОРЕСЦЕНТНЫЙ ДАТЧИК РАСТВОРЁННОГО КИСЛОРОДА. В последнее время появились фотохимические датчики, использующие эффект тушения кислородом флюоресценции специальных газопроницаемых плёнок на основе порфиринового комплекса [Папковский и др., 1998; Летута и др., 2001; Glud et al., 1999]. Так как здесь применён оптический метод возбуждения и регистрации флюоресценции, а плёнка является своеобразным электродом, датчики такого типа часто именуются «оптродами» или «оптодами» [Yang et al., 2000]. Пока быстродействие этих датчиков соизмеримо с обычными электродными, но есть все основания полагать, что в перспективе оно может сравниться с СТД-измерителями.

Оптоды выгодно отличаются от электродных датчиков тем, что у них полностью отсутствуют или минимизирована большая часть их недостатков. Оптоды менее подвержены эффекту обрастания, а также не поглощают кислород, в результате чего они не требуют посто-

янного омывания чувствительного элемента. Они имеют большую временную стабильность, в результате чего не нуждаются в частых калибровках. Оптоды менее подвержены влиянию гидростатического давления, причём результаты гистерезиса предсказуемы и могут быть учтены при обработке данных.

Измеритель ОО3830 создан совместными усилиями фирм Aanderaa Instruments A/S (Норвегия) и PreSens GmbH (Германия) на основе новой технологии. Причём первой разработаны электронные схемы, необходимые для функционирования оптода, а второй разработана кислородно-чувствительная плёнка на основе платиново-порфиринового комплекса.

Поскольку возвращаемое флуоресцентное свечение задерживается по отношению к возбуждающему свету, то наличие кислорода также будет влиять на время задержки, которое будет уменьшаться с возрастанием концентрации кислорода. При модуляции возбуждающего света концентрацию кислорода можно определять прямо по величине сдвига фазы, без вычисления времени задержки. Компактный датчик, допускающий работу до глубины в 6000 м, совместим с другими стандартными приборами норвежской фирмы, а также имеет стандартизованный выходной сигнал для работы с аппаратурой других фирм. Внешний вид и внутреннее устройство датчика показаны на рис. 5.

Диапазон измерений составляет 0–500 μM или 0–120%. Соответственно, точность измерения составляет 8 μM или 5%, а разрешение 1 μM и 0,4%. Выходные данные датчика выдаются в формате как RS-232, так и Aanderaa SR10 (стандарт фирмы).

ИЗМЕРИТЕЛИ СВЕТОВОГО РЕЖИМА.

В промыслово-значимые показатели светового режима входят такие параметры, как видимость (фотометрическая освещённость), энергетическая облучённость и фотосинтетическая активная радиация (ФАР). Их датчики, в сущности, представляют собой один и тот же измеритель, отличающийся комбинациями светофильтров и диафрагм, размещённых перед фотоприёмником. Они подобраны таким образом, чтобы сигнал фотоприёмника являлся заданной функцией длины волны для измерения фотометрической освещённости (рис. 6а), энергетической облучённости и величин, связанных с оценкой ФАР (рис. 6б).

Измеряемые величины подводной освещённости (облучённости) в одной и той же точке могут значительно различаться в зависимости от времени суток, волнения, облачности и других внешних факторов. В связи с этим практически все интегральные измерители подводной освещённости в своём составе имеют три датчика: два подводных (один направлен

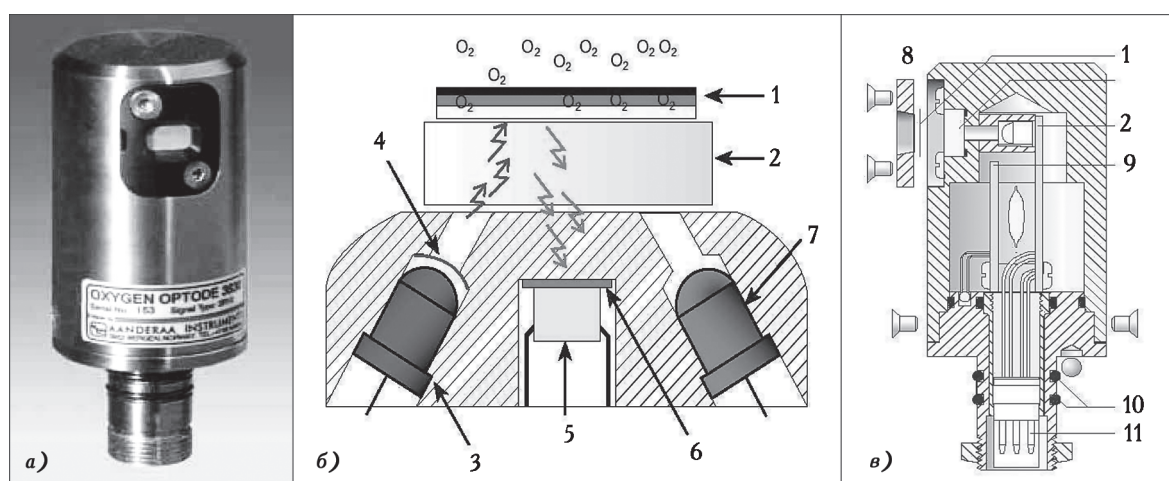


Рис. 5. Внешний вид (а), оптическая схема (б) и устройство (в) датчика ОО3830:

1 — чувствительная плёнка; 2 — иллюминатор; 3 — сине-зелёный светодиод; 4 — сине-зелёный светофильтр; 5 — фотодиод; 6 — красный светофильтр; 7 — красный светодиод; 8 — прижимная планка; 9 — электронные платы; 10 — уплотнительные кольца; 11 — разъём

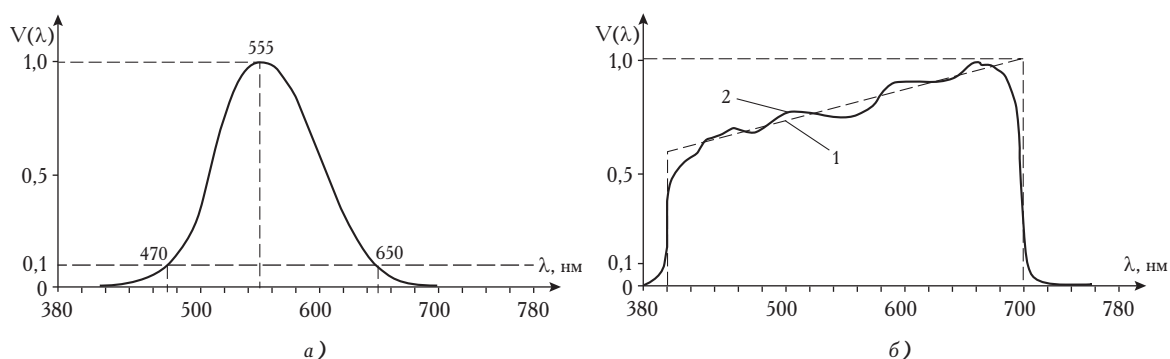


Рис. 6. Функция видности глаза (а) и функции чувствительности фотоприёмника для измерения ФАР (б):
1 — идеальная, 2 — реальная

вверх, а другой — вниз) и один датчик — опорный, который устанавливается на борту судна. В таких датчиках обычно используются плоские молочные косинусные коллекторы. На зондирующих или буксируемых системах устанавливают датчики с полусферическими коллекторами, что позволяет избежать проблем с ориентацией датчиков при движении этих устройств. Иногда вместо двух подводных датчиков используется один со сферическим коллектором. Датчик такого типа за рубежом также именуют «скалярным» или РРФР (photosynthetic photon flux fluence rate).

На рис. 7 представлены наиболее распространённые скалярные датчики, используемые в зарубежной погружаемой аппаратуре и выпускаемые известными фирмами, специализирующимися на гидрооптической аппаратуре. Имея близкие характеристики, они отличаются вариантами конструктивного исполнения [Шершнёв и др., 1990; Левашов, Бадулин,

1996; Philip, 1961; Booth, 1976; Stramski et al., 1992].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе физических принципов измерений были сгруппированы и классифицированы методы и аппаратура для оперативной оценки кормовой базы рыбных скоплений *in situ*, использующих оптические принципы измерений, что позволяет значительно уменьшить, а местами и ликвидировать методологический разрыв между автоматизированными измерениями абиотических и традиционными определениями биотических параметров водной среды в комплексных исследованиях.

Показано, что особое внимание следует уделить методике оценки качественного состава и пространственного распределения фитопланктона на основе применения многоволнового прозрачномера, а также новым методам и устройствам оценки размерно-количествен-



Рис. 7. Внешний вид датчиков ФАР, производимых различными фирмами:

а — датчик LI-193SA (Li-Cor); б — QSP-2000 (Biospherical Instruments Inc.); в — Chelsea Instruments Ltd.; г — HobiLab Inc.; д — SK01-DP (Carter-Scott Manufacturing Pty. Ltd.)

ных характеристик мезопланктона, основанных на изображающих принципах измерений.

ЛИТЕРАТУРА

- Антал Т.К., Венедиктов П.С., Конев Ю.Н., Маторин Д.Н., Хаптер Р., Рубин А.Б. 1999. Определение вертикального профиля активности фотосинтеза фитопланктона флуоресцентным методом // *Океанология*. Т. 39. № 2. С. 314–320.
- Антал Т.К., Венедиктов П.С., Маторин Д.Н., Возняк Б., Рубин А.Б. 2001. Исследование изменчивости модели для расчёта скорости фотосинтеза фитопланктона флуоресцентным методом на примере Балтийского моря // *Океанология*. Т. 41. № 6. С. 860–869.
- Антал Т.К., Маторин Д.Н., Левенко Б.А., Казимирко Ю.В., Горюнова В.Б., Сапожников В.В. 2000. Связь вертикального распределения флуоресценции хлорфилла «а» с освещённостью и температурой в летний период в Норвежском море // *Вестн. МГУ. Сер. 16. Биология*. № 2. С. 23–28.
- Антипова Т.В., Герасимова О.В., Слонова С.А. 1985. Особенности распределения зоопланктона и питания промысловых рыб Белого моря в 1982 г. // *Питание и обеспеченность пищей рыб на разных стадиях как фактор формирования их численности, роста и скоплений*. М.: ОНТИ ВНИРО. С. 40–50.
- Битюков Э.П., Василенко В.И., Токарев Ю.Н., Шайда В.Г. 1969. Батифотометр с дистанционно переключаемой чувствительностью для оценки интенсивности биолюминесцентного поля // *Гидробиол. журн.* Т. 5. № 1. С. 82–86.
- Гительзон И.И. 1977. Биолюминесценция // *Океанология: Биология океана*. Т. 1. Биологическая структура океана. М.: Наука. С. 318–340.
- Гительзон И.И., Левин Л.А. 1983. Зондирование биолюминесцентного поля // *Современные методы количественной оценки распределения морского планктона*. М.: Наука. С. 10–23.
- Горелова Т.А. 1978. Размерная структура кормовых организмов из желудков светящихся анчоусов // *Океанология*. Т. 18. Вып. 2. С. 332–341.
- Дробышева С.С., Тюлева Л.С. 1971. О достоверности сборов планктонными сетями Джеди для оценки кормовой базы рыб в тропических районах // *Гидробиол. журн.* № 3. С. 77–80.
- Карабашев Г.С. 1987. Флуоресценция в океане. Л.: Гидрометеиздат. 200 с.
- Крылов В.В. 1968. О зависимости сырого формалинового веса копепод от длины их тела // *Океанология*. Т. 8. Вып. 5. С. 906–911.
- Левашов Д.Е. 1991. Инструментальный метод оценки размерно-количественных характеристик мезопланктона *in situ* // *Тр. ВНИРО*. Ч. 1. Рыбохозяйственные исследования планктона. С. 154–159.
- Левашов Д.Е. 2001. Оптический счётчик планктона ТРАП-7 // *Материалы IV Российской научно-технической конференции «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии» («НО-2001»)*. 6–9 июня 2001 г. СПб.: ГосНИНГИ МО РФ. 2 с.
- Левашов Д.Е. 2003. Техника экспедиционных исследований: Инструментальные методы и технические средства оценки промыслово-значимых факторов среды. М.: Изд-во ВНИРО. 400 с.
- Левашов Д.Е., Бадудин В.В. 1996. Биологическое приложение гидрооптических исследований в юго-восточной части сахалинского шельфа // *Материалы VII съезда Гидробиол. о-ва РАН*. Казань, 14–20 окт. 1996 г. Т. 1. Казань: Полиграф. С. 131–133.
- Левашов Д.Е., Ерофеев П.Н. 1983. Зондирование мезо- и макропланктона // *Современные методы количественной оценки распределения морского планктона*. М.: Наука. С. 28–41.
- Левашов Д.Е., Михайчик П.А., Воронков А.П. 1997. ТРАП-6 — оптоэлектронный датчик для исследования мезопланктона в составе СТД-зонда МКЗВ (Нейл Браун) // *III Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований»*. Тр. конф. М.: ИОРАН. С. 77–79.
- Левашов Д.Е., Шершнёв А.Е., Кузьменко Л.В., Павлова Е.В. 1979. Исследование количественного и качественного распределения планктона в водной толще оптическими методами // *Вопросы промысловой океанологии Мирового океана*. Тез. докл. V Всесоюз. конф. 23–25 окт. 1979 г. Калининград. С. 183–184.
- Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2013. Гидробиологические зонды серии ТРАП и особенности инструментального мониторинга мезопланктона в водах Чёрного моря // *Тр. ВНИРО*. Т. 150. С. 117–127.
- Левашов Д.Е., Левашова С.С. 2010. Первая масштабная биооптическая съёмка в юго-восточной части Тихого океана // *Вопросы рыболовства*. Т. 11. № 4 (44). С. 653–663.
- Левин Л.А., Чугунов Ю.В., Утюшев Р.Н., Черепанов О.А. 1988. Биолюминесцентное поле // *Экосистемы субантарктической зоны Тихого океана*. М.: Наука. С. 89–97.
- Летута С.Н., Бондаренко В.А., Кеуле Г.А. 2001. Люминесцентный способ определения концентрации кислорода // *Датчики и системы*. № 9. С. 27–29.
- Марти Ю.Ю. 1980. Миграции морских рыб. М.: Пищ. пром-сть. 248 с.

- Маторин Д.Н., Венедиктов П.С. 1990. Люминесценция хлорофилла в культурах микроводорослей и природных популяциях фитопланктона // Итоги науки и техники. Сер. Биофизика. Т. 40. М.: ВИНТИ. С. 49–100.
- Маторин Д.Н., Венедиктов П.С., Конев Ю.Н., Каземирко Ю.В., Рубин А.Б. 1996. Использование двухвспышечного импульсного погружаемого флюориметра для определения фотосинтетической активности природного фитопланктона // ДАН. Т. 350. № 2. С. 256–258.
- Моисеев П.А. 1985. Добыча биологического сырья в Мировом океане // Биологические ресурсы океана. М.: Агропромиздат. С. 166–180.
- Никольский Г.В. 1974. Экология рыб. М.: Высш. шк. 367 с.
- Папковский Д.Б., Огурцов В.И., Овчинников А.Н., Курочкин И.Н., Пономарев Г.В. 1998. Сенсоры на основе оптического кислородного датчика // Сенсорные системы. Т. 12. № 1. С. 88–98.
- Рубин А.Б. 1997. Первичные процессы фотосинтеза // Соросовский образовательный журн. № 10. С. 79–84.
- Рубин А.Б. 2000. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журн. Т. 6. № 4. С. 7–13.
- Рудяков Ю.А. 1967. К методике изучения биолюминесценции моря // Океанология. Т. 7. Вып. 4. С. 728–737.
- Светличный Л.С. 1983. Вычисления биомассы планктонных копепод при помощи коэффициентов пропорциональности между объемом и линейными размерами тела // Экология моря. Вып. 15. С. 46–58.
- Тимонин А.Г., Цейтлин В.Б. 1976. Размерная и весовая структура сетного зоопланктона в тропическом океане // Океанология. Т. 16. Вып. 3. С. 508–510.
- Фадеев В.В. 2000. Нелинейная флуориметрия сложных органических соединений // Соросовский образовательный журн. Т. 6. № 12. С. 104–110.
- Цейтлин В.Б. 1981. Размерное распределение пелагических организмов в тропических районах океана // Океанология. Т. 21. Вып. 1. С. 125–130.
- Численко Л.Л. 1968а. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела. Л.: Наука. 105 с.
- Численко Л.Л. 1968б. О размерной структуре населения Мирового океана // Журн. общ. биологии. Т. 29. № 5. С. 529–540.
- Шершнёв А.Е., Левашов Д.Е., Жаворонков А.И. 1990. Методические рекомендации по работе с гидрооптической аппаратурой фирмы «Лайкор». М.: ВНИРО. 85 с.
- Aiken J. 2001. Fluorometry as a Biological Sensor. Encyclopedia of Ocean Sciences / Eds. J.H. Steele, K.K. Turekian, S.A. Thorpe. San Diego, Ca.: Academic Press. P. 1073–1081.
- Aiken J., Rees N., Hooker S., Holligan P., Bale A., Robins D., Moore G., Harris R., Pilgrim D. 2000. The Atlantic Meridional Transect: Overview and Synthesis of Data // Prog. Oceanogr. Vol. 45. P. 257–312.
- Booth C.R. 1976. The Design and Evaluation of a Measurement System for Photosynthetically Active Scalar Irradiance // Limnol. Oceanogr. Vol. 21. N 2. P. 326–336.
- Borgmann U. 1982. Particle-Size-Conversion Efficiency and Total Animal Production in Pelagic Ecosystems // Canad. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 39. N 5. P. 668–674.
- Falkowski P.G., Kolber Z. 1990. Phytoplankton Photosynthesis in the Atlantic Ocean as Measured From a Submersible Pump and Probe Fluorometer *in situ* // Current research in photosynthesis. Vol. 4. Kluwer. P. 923–926.
- Falkowski P.G., Wyman K., Mauserall D. 1984. Effect of Continuous Background Irradiance on Xenon-Flash-Induced Fluorescence Yields in Marine Microalgae // Advances in Photosynthesis Res. P. 163–166.
- Furlong A., Bugden G., Beanlands B., Eisan M., Suguro K., Namiki Y. 2000. Near Vertical Water Column *In Situ* Profiling With a Moving Vessel Profiler (MVP) // Proc. Oceanology International'2000. Brighton: UK. P. 415–424.
- Glud R.N., Kuhl M., Kohls O., Ramsing N.B. 1999. Heterogeneity of Oxygen Production and Consumption in a Photosynthetic Microbial Mat as Studied by Planar Optodes // J. Phycol. Vol. 35. P. 270–279.
- Herman A.W. 1977. *In Situ* Chlorophyll and Plankton Measurements with «Batfish» Vehicle // Proc. Oceans'77. IEEE. Los Angeles. P. 39d1–39d5.
- Herman A.W. 1988. Simultaneous Measurements of Zooplankton and Light Attenuance with a New Optical Plankton Counter // Continental Shelf Res. Vol. 8. P. 205–221.
- Herman A.W. 1992. Design and Calibration of New Optical Plankton Counter Capable of Sizing Small Zooplankton // Deep-Sea Res. Vol. 39. N 3/4. P. 395–415.
- Herman A.W., Beandlands B., Chin-Yee M., Furlong A., Snow J., Young S., Phillips T. 1998. The Moving Vessel Profiler (MVP): *in situ* Sampling of Plankton and Physical Parameters at 12 kts and the Integration of a New Laser/Optical Plankton Counter // Proc. Oceanology'98. Vol. 102. P. 123–135.
- Herman A.W., Cochrane N.A., Sameoto D.D. 1993. Detection and Abundance Estimation of Euphausiids

- Using an Optical Plankton Counter // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 94. P. 165–173.
- Herman A. W., Dauphinee T. M. 1980. Continuous and Rapid Profiling of Zooplankton with an Electronic Counter Mounted on a «Batfish» Vehicle // *Deep-Sea Res.* Vol. 27A. P. 79–96.
- Herman A. W., Michell M. R., Young S. W. 1984. A Continuous Pump Sampler for Profiling Copepods and Chlorophyll in the Upper Oceanic Layers // *Deep-Sea Res.* Vol. 31ю N 4. P. 439–450.
- Herman A. W., Sameoto D. D., Longhurst A. R. 1981. Vertical and Horizontal Distribution Patterns of Copepods near Shelf Break South of Nova Scotia // *Canad. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 38. N 9. P. 1065–1076.
- Jackson G. S., Hamilton P., Solomon K., Kaushik N. 1984. A Computerized Plankton Counter // *Hydrobiologia.* Vol. 118. N 2. P. 225–228.
- Jeffries H. P., Berman M. S., Poularikas A. D., Katsinis C., Melas I., Sherman K., Bivins L. 1984. Automated Sizing and Identification of Zooplankton // *Marine Biology.* Vol. 78. N 3. P. 329–334.
- Johnson K. S., Coletti L. J. 2002. *In Situ* Ultraviolet Spectrophotometry for High Resolution and Long-Term Monitoring of Nitrate, Bromide and Bisulfide in the Ocean // *Deep-Sea Res.* P. 1. Vol. 49. N 12. P. 1291–1305.
- Kolber Z. S., Falkowski P. G. 1992. Fast Repetition Rate (FRR) Fluorometer for Making *in situ* Measurements of Primary Productivity // *Proc. Oceans'92. IEEE.* P. 637–641.
- Kolber Z. S., Falkowski P. G. 1993. Use of Active Fluorescence to Estimate Phytoplankton Photosynthesis *in situ* // *Limnol. Oceanogr.* Vol. 38, N7. P. 1646–1665.
- Kolber Z. S., Prasil O., Falkowski P. G. 1998. Measurements of Variable Fluorescence Using Fast Repetition Rate Techniques: Defining Methodology and Experimental Protocols // *Biochimica et Biophysica Acta.* Vol. 1367. P. 88–106.
- Levashov D. E., Zhavoronkov A. I. 1994. Instrumental Assessment of Concentration and Sizes of Mezoplankton Particles *in situ* // *Proc. Oceanology International'94.* Vol. 2. Brighton: UK. 15 p.
- Levashov D. E., Zhavoronkov A. I. 1995. Optronic Sensors for Mezoplankton Studying in the Sea Water // *Proc. OCEANS'95 MTS/IEEE.* Vol. 1. San Diego. P. 202–208.
- Levashov D. E., Zhavoronkov A. I., Voronkov A. P. 1997. Novel Mezoplankton Size-Quantitative Characteristics Sensor Specially Adopted to Oceanographic Probes and Towed Vehicles // *Proc. COSU'97.* Singapore. Vol. 2. P. 355–359.
- Moline M., Heine E., Case J., Herren C., Schofield O. 2000. Spatial and Temporal Variability of Bioluminescence Potential in Coastal Regions / Eds. J. F. Case, P. J. Herring, B. H. Robison, S. H. D. Haddock, L. J. Kricka, P. E. Stanley // *Proc. 11th Int. Symp. Biolom. & Chem.* P. 123–126.
- Moore C. 1994. *In situ*, Biochemical, Oceanic, Optical Meters // *Sea Technology* Vol. 35. N 2. P. 10–16.
- Ostrowska M., Majchrowski R., Matorin D. N., Wozniak B. 2000a. Variability of the Specific Fluorescence of Chlorophyll in the Ocean. P. 1: Theory of classical *in situ* chlorophyll fluorometry // *Oceanologia.* Vol. 42. N 2. P. 203–219.
- Ostrowska M., Matorin D. N., Ficek D. 2000b. Variability of the Specific Fluorescence of Chlorophyll in the Ocean. P. 2: Fluorometric Method of Chlorophyll «a» Determination // *Oceanologia.* Vol. 42ю N 2. P. 221–229.
- Philip J. R. 1961. The Theory of Heat Flux Meters // *J. Geophysics. Res.* Vol. 66. P. 571–579.
- Piontkovski S. A., Williams R. 1995. Multi-Scale Variability of Tropical Ocean Zooplankton Biomass. International Council for the Exploration of the Sea // *J. Mar. Sci.* Vol. 52. P. 643–656.
- Stramski D., Booth C. R., Mitchell B. G. 1992. Estimation of Downward Irradiance Attenuation from a Single Moored Instrument // *Deep-Sea Res.* Vol. 39. N 3/4. P. 567–584.
- Turner W. H. 1973. Photoluminescence of Colour Filter Glasses // *Appl. Optics.* Vol. 12. P. 480–486.
- Valeport SUV-6 and WS Ocean Systems NAS-2E for Monitoring Concentration of Nitrate in Seawater Samples Collected Automatically while Underway. 1996. Southampton: Southampton Oceanography Centre. 30 p.
- Widder E. A. 1997. Bioluminescence — Shedding Some Light on Plankton Distribution Patterns // *Sea Technology.* Vol. 38. N 3. P. 33–39.
- Widder E. A., Case J. F., Bernstein S. A., MacIntyre S., Lowenstine M. R., Bowlby M. R., Cook D. P. 1993. A New Large Volume Bioluminescence Bathypotometer with Defined Turbulence Excitation // *Deep-Sea Res.* Vol. 40. N 3. P. 607–627.
- Wozniak B., Dera J. 2000. Luminescence and Photosynthesis of Marine Phytoplankton — A Brief Presentation of New Results // *Oceanologia.* Vol. 42. N 2. P. 137–156.
- Yang X., Liu W. H., Shan W. W., Shen G. L., Yu R. Q. 2000. An Optode with a Covalently Bound Fluorescent Dye, 3-Acrylaminoanthracene, for an Ethanol Assay // *Analytical Sciences,* September. Vol. 16. P. 935–938.

The Instrumental Methods for Estimating Fish Stocks Food Base Using Optical Measurement Principles

D.E. Levashov

VNIRO

The instrumental methods that allow to determine authentically the environmental characteristics in real time «in situ» are considered. Their classification is developed basing on physics measurements and on interpretation of hydrobiological data as well. The main attention is given to meters using rapid optical measurement principles to conduct both rapid estimation of fish food base and the character of its formation. The main criterion for choosing meters is their methodological compatibility with CTD-complexes. Modern serial models for optical measuring instruments and recommendations for their use are presented from the standpoint of significance for fisheries.

Key words: hydrology, hydrochemistry, nutrients, primary production, bioproductivity.