

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ОСНОВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПЛАНКТОНА *IN SITU*

Д.Е. Левашов, Н.П. Буланова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
ФГБНУ «ВНИРО», Москва, ул. Верхняя Красносельская, д. 17

E-mail: levashov@vniro.ru, nata@vniro.ru

Проведен анализ существующих оптоэлектронных приборов для исследования планктона *in situ*. Предложена классификация приборов по используемым оптическим схемам и методам обработки на четыре основных варианта их построения. Рассмотрены технические характеристики и особенности характерных представителей каждого класса, указаны достоинства и недостатки приборов. Показаны наиболее перспективные модели приборов на основе их выбора в качестве штатной судовой аппаратуры на НИСах, вошедших в строй в последнее пятилетие.

Ключевые слова: планктон, частица, счетчик, датчик, зонд, лазер, фотоприемник, ТРАП, НИС.

Введение. Как известно, одним из важнейших факторов формирования рыбопромысловых скоплений является обеспеченность их пищей, причем по характеру питания около 80% общего вылова рыб Мирового океана относится к планктонофагам. Вместе с тем, размеры планктона, поедаемого рыбами, зависят от строения рта, глотки, жаберного аппарата и для ряда важнейших видов промысловых планктонофагов составляют 0,5–20 мм, т.е. входят в размерную группу мезопланктона.

Однако, до недавнего времени в методике комплексных океанологических исследований существовал разрыв между традиционными методами исследования планктона с помощью трудоемкого отбора проб планктонными сетями с последующим анализом под микроскопом и широким внедрением современной зондирующей аппаратуры, позволяющей получать в реальном масштабе времени оценки основных гидрофизических и гидрохимических параметров воды с разрешением по глубине до долей метра.

Применение различных конструкций автоматических планктонособирателей, механических планктонных регистраторов, а также лабораторных методов исследования планктона с использованием автоматических счетчиков и вычислительной техники несколько сокращает этот разрыв, но не позволяет ликвидиро-

вать его полностью. При этом необходимо отметить, что используя все перечисленные методы, в принципе невозможно получать информацию о качественных и количественных характеристиках планктона в реальном масштабе времени.

Для оперативного исследования пространственного распределения планктона требуется автоматизированная аппаратура, позволяющая вести регистрацию и анализ организмов непосредственно в водной толще. С технической точки зрения для получения данных о распределении и характеристиках частиц планктона наиболее перспективными являются приборы, основанные на оптическом методе получения информации [1].

Структурно и функционально большинство известных приборов для оценки размерно-количественных характеристик мезопланктона имеют общую оптическую схему и состоят из осветителя, измерительного объема, через который протекает взвешенный в воде планктон и фотоприёмного устройства, на чувствительный элемент которого осветителем проецируется тень частиц планктона. Вместе с тем, все эти приборы по типу фотоприёмного устройства и принципу преобразования и обработки выходного сигнала подразделяются на четыре варианта:

1. Вариант со строчным фотоприемником, определяющим размер максимальной хорды на тени случайно ориентированной частицы. Приоритет в создании этих приборов принадлежит ФГУП «ВНИРО», где еще в середине семидесятых годов был разработан целый ряд оптических датчиков – зондов серии «ТРАП» [2–4] для исследования

мезопланктона. Зонд ТРАП-4 в конце 80-х годов был выпущен малой серией (рис. 1). Принцип действия всех разработанных во ВНИРО датчиков основан на измерении размера тени от частицы планктона, проходящей в проточном канале через ИК луч между лазерным осветителем и фотоприемником [5].

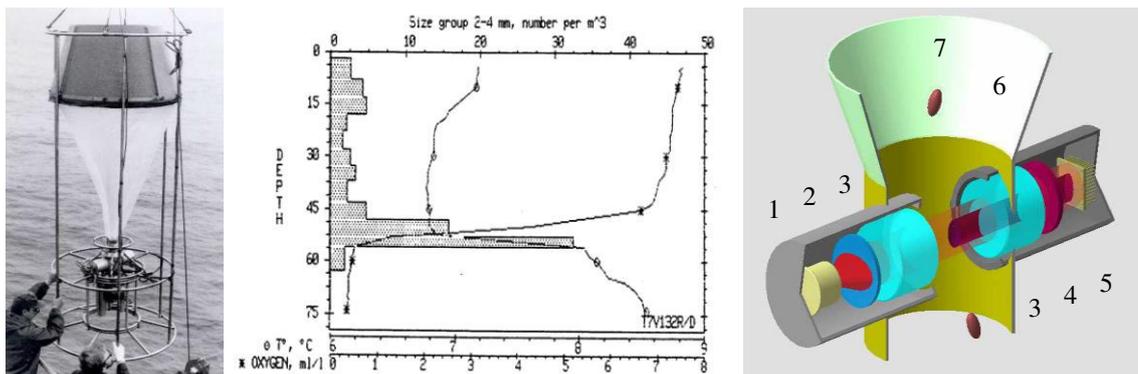


Рис. 1. Образец зонда ТРАП-4, выпущенный малой серией (слева), характерный график вертикального распределения мезопланктона в Черном море в сравнении с другими параметрами по данным зонда ТРАП-4 (в центре) и устройство его оптоэлектронного датчика (справа)
 1 – лазер ЛПИ-102; 2 – коллимирующая линза; 3 – иллюминаторы; 4 – светофильтр;
 5 – фотоприемная матрица МФ-14; 6 – частицы планктона; 7 – поток воды

За рубежом первоначально ориентировались на кондуктометрические счетчики частиц, но потом зарубежные исследователи последовали примеру учёных ВНИРО. Сейчас уже довольно успешно применяются канадские счетчики OPC [6–8] и LOPC [9], которые могут использоваться только на ходу судна с помощью буксируемых систем и возвращаемых зондов.

Оптический счетчик планктона OPC создан в конце 80-х годов канадскими учёными, ранее занимавшимися кондуктометрическими счетчиками планктона [10–13]. Оптическая схема прибора мало отличается от примененной в первых зондах серии ТРАП [2, 4]. 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 OPC-1T и OPC-2T для установки на буксируемые устройства, а также лабораторный прибор OPC-1L для работы в режиме прокачки. Они имеют практически одинаковые характеристики и отличаются сечением проточной камеры: 2x25 см², 2x10 см² и 2x2 см² соответственно. Глубина погружения составляет 1000 м для OPC-1T и 340 м для OPC-2T. Они обычно устанавливаются на средние ондуляторы типа Aquashuttle Mk3 и Nu-Shuttle, а также на глубоководные ондуляторы типа Scanfsh Mk II, BATFISH II, Sea-Soar.

Более новый лазерный счетчик планктона LOPC (рис. 2), созданный в конце 90-х годов [9], изготавливается канадской фирмой Brooke Ocean Technology Ltd. и предназначен для установки на системах с возвращаемым зондом типа MVP [14].

Излучатель и фотоприемник 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 7х7 см до

7х35 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 [15].

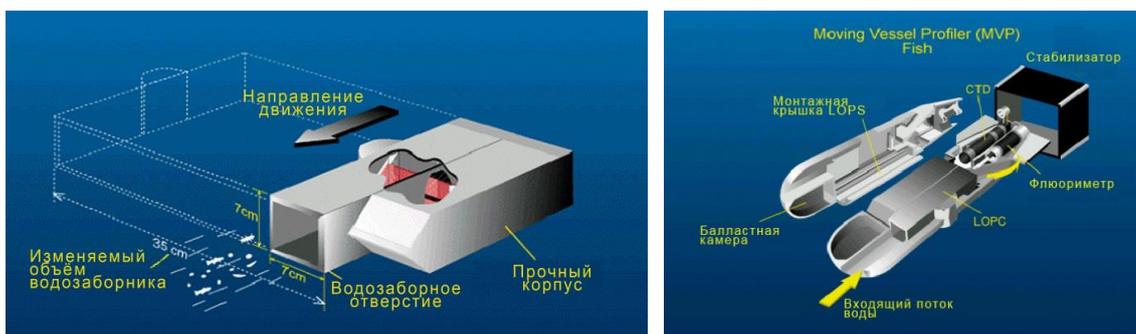


Рис. 2. Компьютерная модель ЛОРС (слева) и возвращаемого зонда MVP в сборе (справа)

У первых датчиков типа ТРАП и у канадских был один очень большой конструктивный недостаток – измерения могли проводиться только в очень небольшом объеме, для чего в России использовались концентрирующие планктонные сети, а канадцы использовались преимущественно в буксируемых системах.

После создания и испытаний нескольких промежуточных вариантов зонда в период 1996–1998 гг. [15, 16],

был разработан датчик типа ТРАП-7 (рис. 3). Главное его отличие от всех предыдущих конструкций – это формирование измерительного объема только оптическим способом и сканирование его со скоростью порядка 2–7 л/с [16, 17]. Такой объем уже позволял отказаться от концентрирующей планктонной сети и регистрировать частицы планктона размером 0,5–10 мм в практически невозмущенной среде.

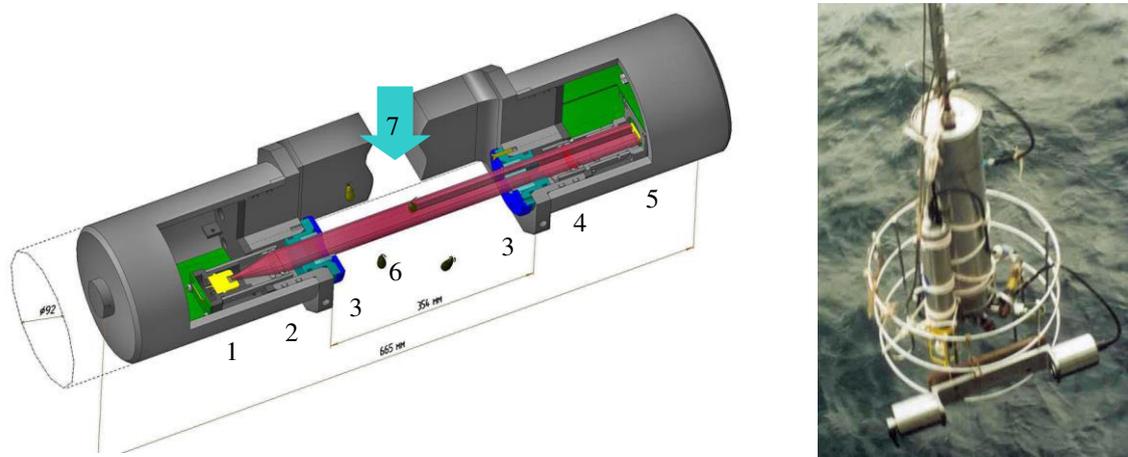


Рис. 3. Функциональная схема датчика (а) и внешний вид зонда ТРАП-7(б), смонтированного на ограждение СТД-зонда. 1 – лазер ЛПИ-120; 2 – коллимирующая линза; 3 – иллюминаторы; 4 – светофильтр; 5 – фотоприёмная линейка TSL202; 6 – частицы планктона; 7 – поток воды

Зонд ТРАП-7 предназначался для работы в составе СТД-зондов, а также мог устанавливаться на буксируемые носители, системы прокачки заборной воды, буи и т.д. [17]. Более подробно лазерные измерители планктона типа ТРАП, а также особенности методики их применения описаны в работ [18].

Однако, не смотря на успешное использование приборов этого типа, следует признать, что в плане качественной оценки планктона – это тупиковый вариант.



1. Вариант с матричным фотоприемником, определяющим 2-мерную размерность на тени случайно ориентированной частицы с возможностью видеорегистрации для ориентировочной качественной оценки. Наиболее интересными примерами таких приборов являются японский счётчик частиц фирмы JFE Advantech Co., Ltd Particle Counter [19] и Video Plankton Recorder (VPR), созданный калифорнийским Woods Hole Oceanographic Institut [20] (рис. 4).

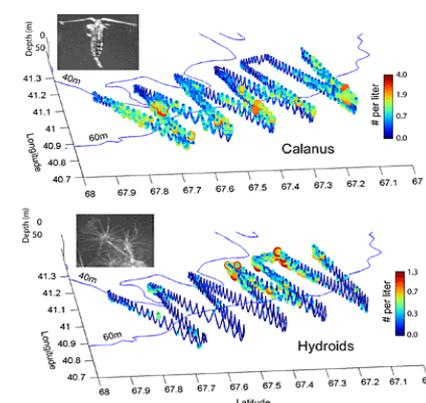


Рис. 4. Устройство VPR (слева) и пример отображения полученной информации (справа)

Прибор, созданный JFE Advantech Co., Ltd, в Японии – Particle-Counter предназначен для использования на глубинах до 20 м и в лабораторных условиях. Устройство оснащено специальным программным обеспечением, позволяющим получать бинарные изображения частиц планктона в 256 оттенках серого с разрешением 1034×779 dpi при размере зерна изображения 4,65×4,65 мкм со скоростью 10 кадров в секунду. Таким образом, обеспечивается определение условной биомассы и размерные характеристики частиц. Получение качественных изображений с такой камеры для видовой идентификации особей невозможно, необходима дополнительная визуальная обработка образцов.

VPR представляет собой буксируемую систему, оснащённую помимо CCD камеры и импульсного источника освещения, работающего с частотой 60 Гц, комплексом датчиков измерителей параметров воды. Система собирает дан-

ные по параметрам воды и изображения частиц планктона в режиме буксировки на заданной глубине или в режиме ондулятора. Устройство управляется встроенным компьютером, который фиксирует полученную информацию в режиме реального времени, обработка полученного видеоизображения с целью получения данных о распределении осуществляется на борту. Интересно, что VPR немецкие и перуанские ученые также использовали в комплексе с лазерным измерителем планктона ТРАП-7, приобретенным Институтом Альфреда Вегенера [21].

2. Вариант с матричным фотоприемником, позволяющим в перспективе перейти к автоматизированной идентификации зарегистрированных частиц методами цифровой голографии. Голографические методы обладают рядом преимуществ, принципиально не достижимых другими технологиями: регистрация и восстановление изобра-

ражения значительного объема среды (обычно порядка тысячи кубических сантиметров) с обеспечением разрешения (от 10 микрометров), достаточного для идентификации частиц; отсутствие возмущения исследуемого объекта; отсутствие необходимости априорных данных об исследуемом объекте; возможность регистрации, хранения и последующей расшифровки в лабораторных условиях информации об исследуемом объекте. Цифровая голография обеспечивает дополнительные возможности исследования планктона: возможность записи видео на основе голографических данных, возможность передачи голограмм по линиям связи. При этом

получают информацию о трёхмерном местоположении, форме, ориентации и трёхмерной траектории движения каждой частицы с течением времени. Методы цифровой голографии для изучения частиц разрабатываются несколькими группами исследователей в мире, наиболее значимыми являются группы в Абердинском университете (Великобритания), Университете Джона Хопкинса в кооперации с WET Labs, Inc. (США), Массачусетском технологическом институте (США) [22–28].

Одна из удачных моделей цифровой голографической камеры, eHoloCam, предназначенная для натуральных исследований планктона показана на рис. 5.

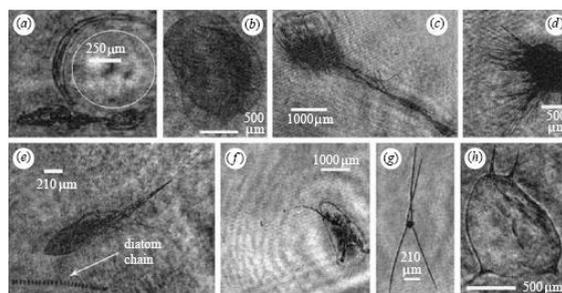
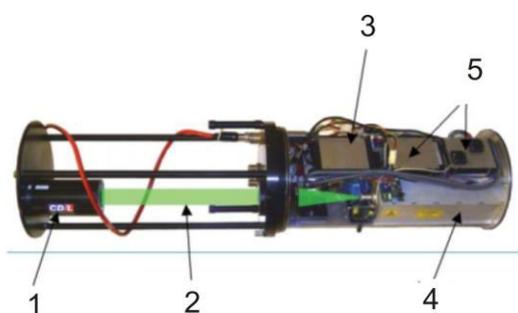


Рис. 5. Внешний вид погружаемой голографической камеры eHoloCam (слева) и примеры голографических изображений планктонных частиц, полученные с ее помощью (справа)

В качестве оптической схемы автор статьи [27] использовал осевую схему. Конструктивно камера выполнена в виде цилиндра с вынесенной на штангах CMOS-камерой (1). Исследуемый объем (2) находится между CMOS-камерой и основным корпусом, в котором расположен лазер (4), система управления (3) и система питания (5) камеры. На правой части рис. 5. проиллюстрированы изображения планктонных частиц, восстановленные из цифровых голограмм: непрозрачные объекты *d* – личинка *Cirriped*, *e* – *Copepod* в центре и фитопланктон *Thalassiosira* внизу, *f* – прозрачная личинка медузы, а также полупрозрачных объектов: *b* – полупрозрачный организм, не идентифицирован, *h* – *Exuvia*.

В России голографические методы исследования частиц используются в Томском Государственном Университете [29], в том числе и в сотрудничестве с ФГБНУ «ВНИРО». Голографический способ является наиболее результативным, однако, на сегодняшний день это пока очень дорогой и энергопотребляющий метод измерений. Однако в будущем, по мере развития микроэлектроники этот метод имеет большие перспективы.

Как конкурентный перечисленным выше вариантам теневого принципа измерений, здесь следует рассмотреть и бестеновой принцип – с боковым освещением в виде световой плоскости, который можно считать четвертым вариантом известных приборов для исследования планктона *in situ*:

3. **Вариант с матричным фотоприемником, позволяющем регистрировать изображение случайно ориентированной частицы планктона проходящего через световую плоскость с возможностью определить 2-мерную размерность на этом изображении.** Этот метод довольно успешно используется в устройстве, предназначенном для видеорегистрации медуз и их скоплений, разработанном группой исследователей из Dauphin Island Sea Lab и Department of Marine Sciences, США [30]. В данном устройстве, которое помимо видеокамеры и осветителя, имеет в своём составе STD-зонд фирмы SBE, причем видеоданные передаются одновременно с информацией зонда в реальном режиме времени по кабель-тросу на борт судна.

Обработанные STD данные и данные GPS накладываются на видеоданные с частотой один раз или 2 раза в секунду и записываются на цифровой носитель. Аналоговое видео также записывается для сохранения и предупреждения потери информации.

Похожий принцип реализован в устройстве для видеосъёмки планктона, созданного во Франции в лаборатории Марка Пичерала, в котором область съёмки планктонных особей освещается двумя направленными друг на друга продольными источниками освещения таким образом, чтобы получить более качественное изображение частиц в сформированной световой плоскости [31] (рис. 6).

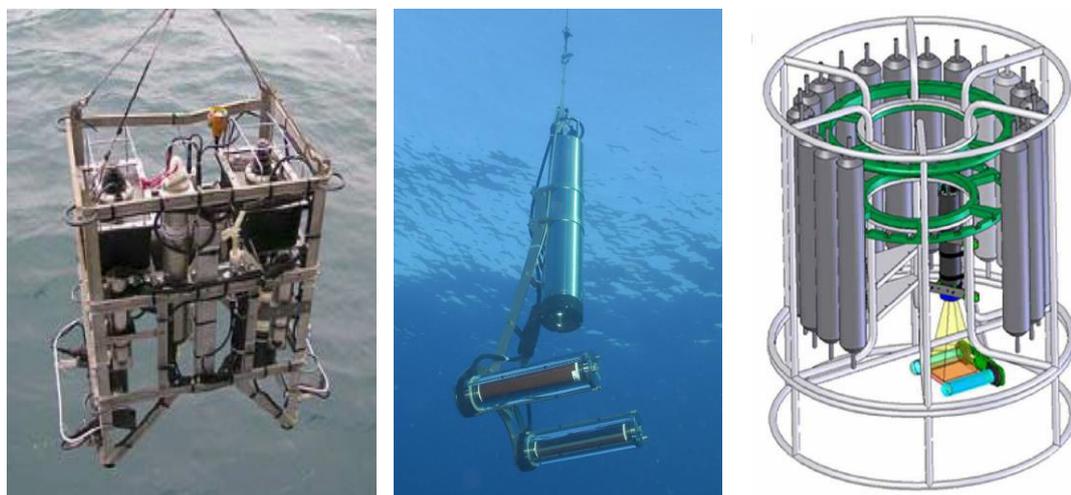


Рис. 6. Устройство UVP5 (слева) и компьютерное изображение перспективной модели (в центре) в том числе в составе STD-комплекса с батометрами (справа)

Устройство UVP5 представляет собой два, расположенных напротив друг друга, цилиндрических щелевых осветителя с линейками из 9-ти светоизлучающих диодов, создающих своеобразную «световую плоскость» размером 22x18 см. Освещение области исследования обеспечено светодиодами с длиной волны излучения в 625 нм. Сверху над этой плоскостью расположен контейнер с видеокамерой Sony CCD XCI SX1 B&W, которая имеет разрешение 1,3 мегапикселя и оснащена 9 мм объективом (HF9HA-1B Fujinon) с фиксированным фокусным расстоянием, позволяющим сфокусировать на расстоянии 40 см от иллиминатора объектива участок светового листа размером 22x18 см.

Узкая полоса пропускания, используемого перед камерой светофильтра, имеет максимум пропускания на длине волны соответствующей 625 нм. Светофильтр предназначен для удаления паразитной дневной засветки, что позволяет производить сбор данных даже в поверхностных водах в солнечный день. Скорость считывания данных с матрицы камеры достигает 15 Гц при наличии собственной внутренней памяти 8 Гб, которой достаточно для записи до 100 профилей.

Прибор весит менее 30 кг в воздухе и рассчитан на глубину до 3000 м. Как правило, он используется совместно и в составе STD-комплекса с батометрами.



Рис. 7. Планктономер LOPC, установленный во входном отверстии одной из сетей Бонго (слева) и смонтированный в верхней части ондулятора TRIAXUS (справа)

Заключение. Несмотря на большое число приведённых конструкций, большинство из них являются экспериментальными, и только две модели приборов получили достаточно широкое распространение и используются на научно-исследовательских судах. Одна из них – LOPC – в большинстве случаев используется в составе буксируемого возвращаемого зонда, а вторая – VPR – буксируемый видеорегистратор (рис. 7). Примеры применения их на НИС, построен-

ных в последнее пятилетие, представлены в табл. 1 [32]. Следует отметить, что появление приборов на исследовательских судах в качестве штатного оборудования знаменует новый шаг в переходе океанологических исследований на более высокий уровень, каким в свое время было внедрение в практику заборных работ СТД-зондов, без которых сегодня не обходится ни одна экспедиция.

Таблица 1. Оснащённость научно-исследовательских судов (год постройки, максимальная длина, флаг) оптическими измерителями планктона

НИС	Прибор	Комплексование
Aurora (2014, 28 м, Дания)	1. LOPC 2. VPR	1. в составе ондулятора TRIAXUS 2. буксируемый видеорегистратор
Bell M. Shimada (2010, 64 м, США)	LOPC	с сетями Бонго
Investigator (2013, 94 м, Австралия)	1. LOPC 2. VPR	1. в составе ондулятора TRIAXUS 2. буксируемый видеорегистратор
Kagoshima Maru (2012, 67 м, Япония)	LOPC	в составе планктоносорбителя MOCNES
Neil Armstrong (2014, 73 м, США)	VPR	буксируемый видеорегистратор
Reuben Lasker (2013, 64 м, США)	LOPC	с сетями Бонго
Sally Ride (2014, 73 м, США)	LOPC	с сетями Бонго
Sikuliaq (2014, 78 м, США)	1. LOPC 2. VPR	1. в составе ондулятора TRIAXUS 2. буксируемый видеорегистратор
Simon Stevin (2012, 36 м, Бельгия)	VPR	буксируемый видеорегистратор
Vital de Oliveira (2015, 78 м, Бразилия)	LOPC	в составе возвращаемого зонда MVP
Yoko Maru (2010, 59 м, Япония)	VPR	буксируемый видеорегистратор

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левашов Д.Е. Инструментальные методы оценки кормовой базы рыбных скоплений на основе оптических принципов измерений // Труды ВНИРО. 2014. Т. 152. С. 57–72.
2. Левашов Д.Е., Ерофеев П.Н. Зондирование мезо- и макропланктона // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М.: Наука. 1983. С. 28–41.
3. Levashov D.E., Zhavoronkov A.I. Instrumental Assessment of Concentration and Sises of Mezoplankton Particles «in

- situ» // Proc. Oceanology International '94. 1994. Vol. 2. Brighton: UK. 15 p.
4. *Levashov D.E., Zhavoronkov A.I.* Optronic Sensors for Mezoplankton Studying in the Sea Water // Proc. OCEANS'95 MTS/IEEE. 1995. Vol. 1. San Diego. P. 202–208.
 5. *Левашов Д.Е.* Инструментальный метод оценки размерно-количественных характеристик мезопланктона «in situ» // Рыбохозяйственные исследования планктона. М.: ВНИРО. 1991. С. 154–159. (Труды ВНИРО; Ч. 1)
 6. *Herman A.W.* Simultaneous measurements of zooplankton and light attenuation with a new optical plankton counter // Continental Shelf Res. 1988. Vol. 8. P. 205–221.
 7. *Herman A.W.* Design and calibration of new optical plankton counter capable of sizing small zooplankton // Deep-Sea Res. 1992. Vol. 39. N3/4. P. 395–415.
 8. *Herman A.W., Cochrane N.A., Sameoto D.D.* Detection and abundance estimation of euphausiids using an Optical Plankton Counter // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1993. Vol. 94. P. 165–173.
 9. *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 / A.W. Herman, B. Beandlands, M. Chin-Yee [et al.]* // Proc. Oceanology'98. 1998. Vol. 102. P. 123–135.
 10. *Herman A.W.* In situ chlorophyll and plankton measurements with «Batfish» vehicle // Proc. OCEANS'77. IEEE. Los Angeles. 1977. P. 39d1-39d5.
 11. *Herman A.W., Dauphinee T.M.* Continuous and rapid profiling of zooplankton with an electronic counter mounted on a «Batfish» vehicle // Deep-Sea Res. 1980. Vol. 27A. P. 79–96.
 12. *Herman A.W., Sameoto D.D., Longhurst A.R.* Vertical and horizontal distribution patterns of copepods near shelf break south of Nova Scotia // Canad. J. Fish. Aquat. Sci. 1981. Vol. 38, N 9. P. 1065–1076.
 13. *Herman A.W., Mitchell M.R., Young S.W.* A continuous pump sampler for profiling copepods and chlorophyll in the upper oceanic layers // Deep-Sea Res. 1984. Vol. 31, N4. P. 439–450.
 14. *Near Vertical Water Column In-Situ Profiling With a Moving Vessel Profiler (MVP) / A. Furlong, G. Bugden, B. Beanlands [et al.]* // Proc. Oceanology International. 2000. Brighton: UK. P. 415–424.
 15. *Levashov D.E., Zhavoronkov A.I., Voronkov A.P.* Novel mezoplankton size-quantitative characteristics sensor specially adopted to oceanographic probes and towed vehicles // Proc. COSU '97. Singapore. 1997. Vol. 2. P. 355–359.
 16. *Воронков А.П., Левашов Д.Е.* Новый оптоэлектронный датчик для оценки размерно-количественных характеристик мезопланктона в реальном масштабе времени «in situ», позволяющий формировать измерительный объем без возмущения среды: Материалы VII съезда Гидробиологического общества РАН. Казань, 14–20 окт. 1996 г. Казань: Полиграф. 1996. Т. 1. С.107–109.
 17. *Левашов Д.Е.* Оптический счетчик планктона ТРАП-7 // Материалы 4-й Российской научно-технической конференции «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии» («НО-2001»). 6–9 июня 2001 г. СПб.: Гос.НИНГИ МО РФ. 2001. 2с.
 18. *Левашов Д.Е., Тишкова Т.В., Буланова Н.П.* Морские суда для рыбопромысловых исследований 2010–2015 гг. М.: Изд-во ВНИРО. 2016. 232 с.
 19. *Iwamoto S., Checkley Jr., Trivedi M.M.* 2001. REFLICS: Real-time flow imaging and classification system. Machine Vision and Applications 13:1–13.
 20. *Video Plankton Recorder/Woods Hole Oceanographic Institution.* – электрон. дан. Falmouth, USA. URL: <http://www.whoi.edu/main/vpr>
 21. *Schwamborn R., Nakazaki C., Ayón P. [et al.]*. HCS071 – Small-scale patchiness of plankton in Peruvian coastal and shelf habitats as detected by using PELSS (Particle and Environmental Parameter

Logging and Sampling System) // Book of extended abstracts, International Conference The Humboldt Current System: climate, ocean dynamics, ecosystem processes, and fisheries, Lima, Peru, November 27 – December 1. 2006. P. 92–93.

22. *The three-dimensional flow field generated by a feeding calanoid copepod measured using digital holography* / E. Malkiel, J. Sheng, J. Katz [et al.] // *Journal of Experimental Biology*. 2003. V. 206. P. 3657–3666.

23. *Katz J., Sheng J. Application of Holography in Fluid Mechanics and Particle Dynamics* // *Annu. Rev. Fluid Mechanics*. 2010. Vol. 42. P. 531–555.

24. *Development of a free-drifting submersible digital holographic imaging system* / D.W. Pfitsch, E. Malkiel, Y. Ronzhos [et al.] // *Proc. MTS/IEEE OCEANS*. 2005. P. 690–696.

25. *In situ underwater electronic holographic camera for studies of plankton* / H. Sun, D.C. Hendry, M.A. Player [et al.] // *IEEE J. Ocean*. 2007. Vol. 32. P. 373–382.

26. *Underwater digital holography for studies of marine plankton* / H. Sun, P.W. Benzie, N. Burns [et al.] // *Phil. Trans. R. Soc. A.V*. 366. 2008. P. 1789–1806.

27. *Watson J. Submersible digital holographic cameras and their application to marine science* // *Optical Engineering*. 2011. V. 50. № 9. Paper. 091313. P. 1–5.

28. *Cabell Davis, Nick Loomis. Tracking a Trail of Oil Droplets/Woods Hole Oceanographic Institution*. – URL: <http://www.whoi.edu/oilinocean/page.do?pid=53439&tid=282&cid=82128>; <http://www.whoi.edu/page/live.do?pid=44395&tid=441&cid=112371&ct=61&article=76866>; <http://www.whoi.edu/oceanus/viewSlideshow.do?clid=46952&aid=82128&mainid=120002&p=120008&n=120004>.

29. *Цифровая голография планктона* / В.В. Демин, А.С. Ольшуков, Е.Ю. Наумова [и др.] // *Оптика атмосферы и океана*, 2008. Т. 21. № 12. С. 1089–1095.

30. *In situ quantification and analysis of large jellyfish using a novel video profiler* / M. William, Graham1, L. Daniel [et al.] // *Marine ecology progress series*. 2003. Vol. 254. P. 129–140.

31. *The Underwater Vision Profiler 5: An advanced instrument for high spatial resolution studies of particle size spectra and zooplankton* / M. Picheral1, L. Guidi, L. Stemmann [et al.] // *Limnol. Oceanogr.: Methods* 8. 2010. P. 462–473.

32. *Буланова Н.П. Новый шаг в оснащении современных зарубежных НИС – лазерные планктонометры и видеорегистраторы планктона* // *Морские суда для рыбопромысловых исследований 2010–2015 гг. М.: Изд-во ВНИРО*. 2016. С. 180–182.

MODERN METHODS AND GENERAL OPTICAL SCHEMES FOR STUDYING PLANKTON *IN SITU*

D.E. Levashov, N.P. Bulanova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography – FSBSI (VNIRO), Russia, Moscow, V. Krasnoselskaya, 17

The analysis of modern optoelectronic devices for studying plankton *in situ* was carried out. Their classification is given based on the optical schemes and methods of processing for four general variants in their design. Technical characteristics and features of the typical models of each class are considered and the advantages and disadvantages of the devices are shown as well. The most promising models of the devices are presented on the basis of their choice as standard ship equipment for R/V entered into service during the last five years.

Keywords: plankton, particle, counter, sensor, probe, laser, photoreceiver, TRAP, R/V.