

Техника для рыбохозяйственных исследований

УДК 551.46.083:535(262.1)(262.5)

Гидробиологические зонды серии ТРАП и особенности инструментального мониторинга мезопланктона в водах Чёрного моря

Д.Е. Левашов, Н.П. Буланова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)
E-mail: levashov@vniro.ru

Во ВНИРО разработан ряд лазерных измерителей планктона серии ТРАП, предназначенных для оценки размерно-количественного состава мезопланктона непосредственно в водной толще с одновременной визуализацией его пространственного распределения в режиме вертикального зондирования на станциях или на ходу судна с помощью буксируемого носителя или судовой системы прокачки заборной воды. Удачный выбор Чёрного моря в качестве места проведения испытаний, за счёт особенностей его гидрологии, позволил значительно сократить и оптимизировать разработку и верификацию практически всех моделей лазерных измерителей планктона серии ТРАП. Приведены примеры наиболее значительных научных результатов, полученных при морских испытаниях зондов ТРАП в различных районах Мирового океана.

Ключевые слова: лазерный измеритель планктона, мезопланктон, размерно-количественный состав, вертикальное зондирование, буксируемый носитель, прокачка, ТРАП.

ВВЕДЕНИЕ. Ещё на заре освоения первых STD-зондов в морских экспедициях ВНИРО выявился методологический разрыв между оперативным получением данных по абиотическим параметрам водной среды и использованием традиционных способов исследования планктона. В связи с создавшимся положением во ВНИРО была начата программа разработки зондирующей аппаратуры, которая позволяла бы вести счёт и классификацию организмов непосредственно в водной толще и была бы совместима с эксплуатацией STD-зондов. Поскольку аппаратура должна была применяться на судах промразведки, то в качестве основного объекта исследований был выбран кормовой мезопланктон размером от 0,5 до 30 мм.

С технической точки зрения автоматизированную классификацию планктона наиболее целесообразно проводить, используя различно-

го типа датчики, позволяющие определять некие стандартные морфологические и физические признаки организмов. Наиболее просто определяются размерно-количественные характеристики организмов, причём они легко поддаются автоматизированной математической обработке; имеется достаточное число методик, позволяющих определить биомассу отдельных организмов по их длине и коэффициенту формы. Отсутствие точной видовой классификации организмов тут компенсируется возможностью получения больших объёмов информации в реальном времени. В пользу выбора размерно-количественных характеристик как основных, выступает также такой фактор, как оценка кормовых запасов с использованием непосредственно размерных соотношений между ротовым аппаратом хищника и размерами жертвы.

Для оценки размерно-количественных характеристик планктона *in situ* можно использовать акустический, кондуктометрический и оптический методы, но в результате всестороннего анализа их достоинств и недостатков [Левашов, Ерофеев, 1983] для создания зонда был выбран оптический метод.

ИСТОРИЯ РАЗРАБОТКИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ И ЛАЗЕРНЫХ ЗОНДОВ ТИПА ТРАП. В процессе разработки оптимального варианта оптоэлектронного датчика был создан ряд экспериментальных конструкций [Levashov, Zhavoronkov, 1995], имеющих общую оптическую схему и состоящих из проекционного осветителя, измерительного объёма, через который протекает взвешенный в воде планктон, и фотоприёмника, на который проецируется тень частиц планктона. Специально для выбора рабочего участка светового спектра проведены исследования оптических характеристик массовых видов мезопланктона. В результате, с учётом спектрального распределения оптических характеристик морской воды, для оптоэлектронного датчика выбран рабочий участок светового спектра в ближней инфракрасной области с границами 850–930 нм. В качестве проекционного осветителя во всех датчиках использовался полупроводниковый импульсный ИК-лазер на арсениде галлия, а тип используемых кремниевых фотоприёмников зависел от конструкции конкретного датчика.

Первоначально датчики испытывались с помощью экспериментального комплекса, состоящего из концентрирующей планктонной сети и специально разработанного для этой цели зонда-носителя ТРАП (телерегистрирующий анализатор планктона). На различные модификации зонда, кроме обязательного датчика глубины, ставились датчики температуры, прозрачности, кислорода и т.д. — в зависимости от задач испытаний. Зонд крепился к кутовой части планктонной сети так, чтобы весь процеженный сетью планктон проходил через измерительный объём проточной камеры оптоэлектронного датчика. Ниже проточного канала предусматривалась возможность установки планктонного стакана для отбора планктонных проб. Конструкция сети также видоизменялась от испытания к испытанию, однако размер ячеек оставался постоянным и был равен 0,3 мм. Из-

мерения проводились при подъёме сети с закреплённым на ней зондом. Питание зонда и его связь с бортовым устройством осуществлялись по одножильному кабель-тросу.

Первый вариант оптоэлектронного датчика был разработан в 1975 г. и предназначался для исследования самой возможности использования выбранной оптопары для регистрации частиц планктона в морской воде, в связи с чем его конструкция была максимально упрощена. Измерительный объём в проточной камере датчика формировался оптическим способом с помощью диафрагмы передающего объектива. Диаметр сечения пучка излучения был установлен равным 5 мм при общей величине счётного объёма около 150 мм³. Приёмный объектив не использовался и поэтому минимальный размер регистрируемых частиц должен был составлять 0,7 от размеров чувствительного элемента фотоприёмника, в качестве которого использовался фотодиод. Морские испытания датчика в Чёрном и Эгейском морях показали стабильную регистрацию частиц размером от 0,6–0,7 мм и более [Шершнева и др., 1977].

В 1977–1978 г. проводились испытания датчика ТРАП-2 (рис. 1,а), в конструкции которого была предпринята попытка измерения концентрации планктона с одновременной классификацией частиц по размерам. Для этого световой поток лазера был расширен до диаметра 18 мм, а в фотоприёмном устройстве применены семь фотодиодов, скомпонованных в виде линейки и позволяющих по числу затемнённых фотодиодов судить о размерах частицы, пересекающей световую плоскость. Испытания показали, что чувствительность датчика сильно зависит от изменения прозрачности морской воды. Значительный разброс характеристик отдельных фотодиодов усложнил настройку и калибровку всех семи счётных каналов. В результате наложения других погрешностей, в реальных морских условиях достоверность информации датчика оказалась невысокой.

В следующей конструкции датчика (ТРАП-3) в качестве фотоприёмника использовался один высокочувствительный фотодиод, установленный в фокусе объектива с входным отверстием, соответствующим сечению светового луча. На объектив устанавливалась горизонтально-щелевая диафрагма, через которую

проецировалось теневое изображение проходящих через измерительную камеру частиц планктона. В дальнейшем вместо фокусирующего объектива был применен гибкий световолоконный коллектор специальной конструкции. Его торец, на который проецировалось изображение измеряемой частицы, имел форму горизонтально расположенного прямоугольника, адекватного первоначально применяемой диафрагме. Второй торец оптически согласовывался с фотодиодом. Величина частиц определялась по величине тока фотодиода. Для автоматической коррекции чувствительности оптоэлектронного датчика использовалось устройство слежения за прозрачностью воды.

Испытания зонда ТРАП-3 (рис. 1,б) оказались не только весьма успешными, но и позволили в 1979–1981 г. провести ряд исследовательских работ по оценке пространственного распределения мезопланктона в некоторых районах Атлантического и Тихого океанов. Кроме того, именно эта конструкция позволила провести отработку элементов методики использования зонда в различных режимах. В частности, испытывался вариант с двумя разнонаправленными планктонными сетями для возможности использования зондирования как вниз, так и вверх (рис. 1,в), а также вариант, встроенный в палубную систему прокачки заборной воды (рис. 1,г).

Позже был разработан оптоэлектронный датчик ТРАП-3М, где использовалось двухканальное фотоприёмное устройство, каждый

канал которого аналогичен фотоприёмнику ТРАП-3. Входные торцы обоих световолоконных коллекторов располагались параллельно друг над другом с расстоянием между ними в 1 мм. При прохождении мимо них частицы, в каждом канале возникали сигналы одинаковой длительности, причём величина сдвига по времени между этими сигналами пропорциональна скорости протекания частиц. Таким образом появлялась возможность достаточно точной оценки размеров частицы по двум координатам, однако дальнейшего развития эта конструкция не получила из-за сложностей в настройке и эксплуатации.

В конце 1980 г. был разработан оптоэлектронный датчик нового поколения, принципиальным отличием которого являлось применение матричного интегрального фотоприёмника имеющего организацию 32×32 МОП-фотодиода, с произвольной выборкой элементов, что позволило классифицировать частицы по размерам непосредственно в самой матрице. Технология изготовления всех фотодиодов на одном кристалле также сняла проблему неравномерности их характеристик.

В разработанном варианте датчика для классификации частиц по пяти размерным группам было задействовано пять строк. Четыре верхних строки считались измерительными, а пятая (нижняя) являлась сигнальной. Таким образом, расстояние между сигнальной и любой парой смежных измерительных строк соответствовало пределам длин определённой размерной груп-

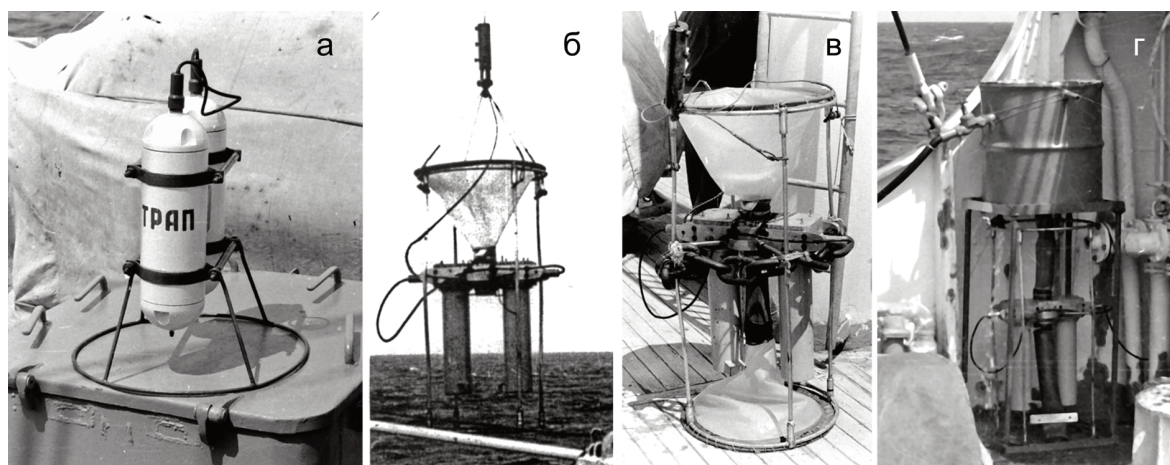


Рис. 1. Первое поколение зондов серии ТРАП: а — ТРАП-2, б — ТРАП-3, в — ТРАП-3 с двумя сетями, г — ТРАП-3 в режиме прокачки заборной воды

пы. Меньшее расстояние определяло нижний предел, а большее — верхний. Как только тень частицы, проходя сверху вниз, достигала сигнальной строки и, при очередном моменте считывания, регистрировалась, включалась специальная схема обработки, которая определяла номер последней затенённой измерительной строки и выдавала счётный импульс в счётчик соответствующей размерной группы. Функциональная схема работы датчика зонда представлена на рис. 2,б.

На основе разработанного датчика во ВНИРО был создан гидробиологический зонд ТРАП-4А (рис. 2,а), предназначенный для исследования вертикального распределения мезопланктона в пяти размерных группах: 0,5–1,0 мм, 1–2 мм, 2–4 мм, 4–8 мм и более 8 мм. Отцеженный сетью планктон проходит через проточный канал датчика для определения концентрации взвешенных в воде частиц по пяти размерным группам. Одновременно с планктоном измеряются глубина погружения зонда (до 1000 м), температура воды и её расход через сеть при помощи гидрометрической вертушки, устанавливаемой во входном отверстии планктонной сети.

Позже, на основе выработанных во ВНИРО решений, совместно с ЦПКТБ «Запрыбы» (г. Рига), был разработан цифровой вариант зонда ТРАП-4 (рис. 2,в). Зонд был выполнен в конструктиве комплекса «ОКА» и

был выпущен установочной серией в количестве 3-х комплектов. Унифицированная бортовая аппаратура позволяла выдавать измеренные параметры одновременно по восьми каналам на 4-разрядные цифровые табло и аналоговые самописцы. Предусмотрена запись и воспроизведение цифровой информации зонда на обычном кассетном стереомагнитофоне. Передача данных на персональный компьютер типа IBM PC или совместимый производилась через последовательный интерфейс RS-232c. Для обработки и представления данных зонда ТРАП-4 было разработано специализированное программное обеспечение.

Непосредственная оценка достоверности получаемых зондом ТРАП-4 вертикальных профилей была осуществлена в 6-м рейсе НИС «Витязь» (1984 г.), в котором проводились исследования вертикального распределения планктона в Чёрном море с помощью наблюдений из подводного аппарата «Аргус». Наблюдатель через иллюминатор вёл визуальный подсчёт в специально освещённом вне аппарата реперном объёме численности сагитт и гребневиков (наиболее крупных представителей мезопланктона для данной акватории) с дискретностью по глубине около двух метров. С борта экспедиционного судна в это время проводилась работа с зондом ТРАП-4. Сравнение профилей, полученных обоими способами, показало их почти полную идентичность [Виноградов и др., 1987].

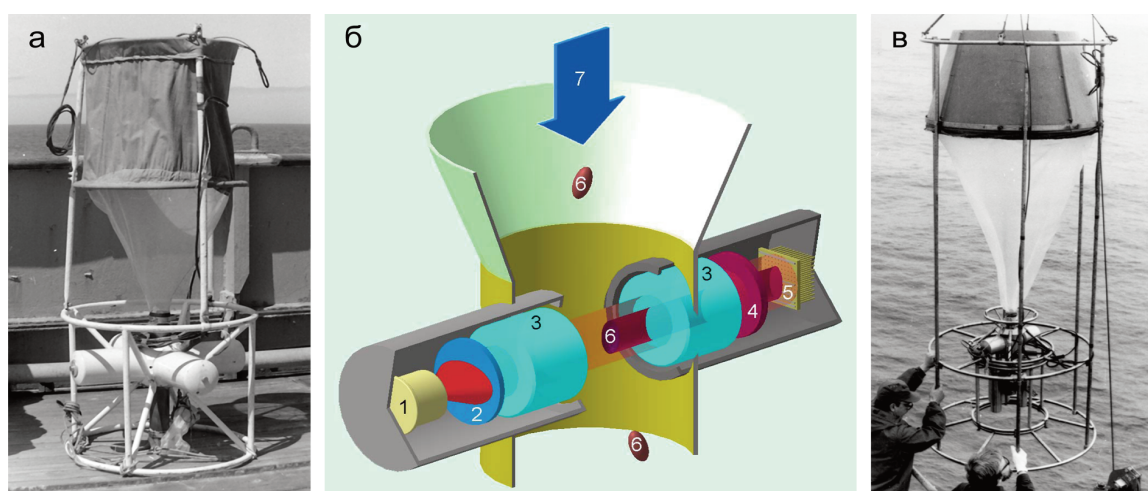


Рис. 2. Экспериментальный гидробиологический зонд ТРАП-4А: а — общий вид; б — оптоэлектронный датчик зонда ТРАП-4: 1 — лазер ЛПИ-102, 2 — коллимирующая линза, 3 — иллюминаторы, 4 — светофильтр, 5 — фотоприёмная матрица МФ-14, 6 — частицы планктона, 7 — поток воды; в — образец зонда ТРАП-4, выпущенный малой серией

Необходимо отметить, что в одно из погружений «Аргуса» автором было проведено наблюдение за процессом отбора проб планктона в закреплённую на аппарате уменьшенную модель планктонной сети. Крупные и активные экземпляры зоопланктона, по возможности, старались избежать надвигающегося при подъёме аппарата входное отверстие сети. Те частицы, которые попали в сеть, продвигались, временами цепляясь за материал сети и застревая на некоторое время, по спиральной траектории к кутовой части сети. Эти наблюдения позволили выбрать оптимальную конструкцию сети и методику её регулярной промывки.

Наибольший эффект использования зонда как стратификатора тонкой структуры вертикального распределения планктона получен в 15-м рейсе НИС «Витязь» [Левашов, Крылов, 1988] при определении нижней границы вертикального распределения зоопланктона в Чёрном море, совпадающей с верхней границей распространения сероводорода, где было необходимо разрешение по глубине до 2–5 м. Вместе с тем учитывая, что здесь граница сероводородного слоя одновременно является естественной границей глубинного распространения мезопланктона, а особенности стратификации водной толщи в «слое скачка» на выбранных акваториях позволяли предугадывать вероятное местоположение слоёв с максимальными концентрациями планктона, удалось значительно сократить трудоёмкость и оптимизировать процесс верификации зондов ТРАП. Специально для исследований вертикального распределения мезопланктона в зонах кислородной недостаточности зонд был дополнен датчиком кислорода «Вестан». На рис. 3 представлено характерное распределение концентрации планктона размером 2–4 мм. Толщина слоев интегрирования здесь выбрана 5 м. Одновременно показаны измеренные зондом кривые вертикального распределения температуры и кислорода.

Опытная эксплуатация зонда ТРАП-4 в 10-м рейсе РТМС «Возрождение» показала экономическую эффективность использования таких приборов на судах промразведки, оцениваемую в 266,4 тыс. руб. на один прибор в год (в ценах 1988 г.). Но главным результатом создания зонда ТРАП-4 следует считать то, что впервые в мировой практике реализована воз-

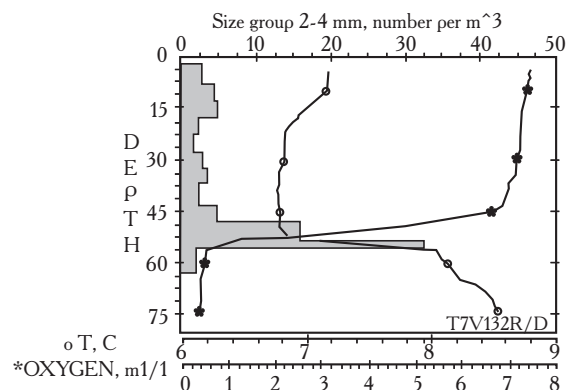


Рис. 3. Характерный график вертикального распределения мезопланктона в Чёрном море в сравнении с другими параметрами по данным зонда ТРАП-4

можность оперативной оценки концентрации и размерного состава кормовой базы рыбных скоплений непосредственно во время зондирования.

Однако из-за громоздкости сети и присутствия ей недостатков (прилипание организмов к сетному полотну, задержка планктона в сети вследствие ухудшения фильтрации) этот прибор широкого распространения не получил. Кроме того, наличие закрытого проточного канала и возникающий перепад давления в приёмном отверстии прибора отпугивал активных зоопланктеров, что вызывало расхождение между измеренными и реальными характеристиками распределения планктона. Наличие сети и проточного канала также ограничивало область применения прибора. Например, его нельзя использовать на буйковых станциях. Ограничениями в применении также могут служить высокая стоимость и сложность его калибровки. В общем, по мнению океанологов, был необходим компактный и недорогой прибор, который можно было бы подключать к стандартному STD-зонду в качестве дополнительного датчика и использовать его без всяких планктонных сетей.

В соответствии с поставленными требованиями после создания и испытаний нескольких промежуточных вариантов зонда в период 1996–1998 гг. [Левашов, Воронков, 1997; Левашов и др., 1997; Levashov et al., 1997; 1998] был разработан датчик типа ТРАП-7. Главное его отличие от всех предыдущих конструкций — это формирование измерительного объёма только оптическим способом и сканирование его со

скоростью порядка 2–7 л/с [Воронков, Левашов, 1996]. Такой объём уже позволял отказаться от концентрирующей планктонной сети и регистрировать частицы планктона размером 0,5–10 мм в практически невозмущённой среде. Таким образом, новое техническое решение позволило формировать измерительный объём в естественной невозмущённой водной среде без использования проточного канала и других концентрирующих устройств. В результате в этом приборе устранена первопричина основного недостатка зонда ТРАП-4, а также и сам недостаток.

Окончательный вариант оптоэлектронного датчика зонда ТРАП-7А [Левашов, 2001] выполнен в виде оптической скамьи с двумя контейнерами, иллюминаторы которых расположены напротив друг друга на расстоянии порядка 30 см (рис. 4,а).

Измерительный объём определяется расстоянием между излучателем и фотоприёмником, а также эффективным сечением луча лазера. В качестве оптоэлектронной пары излучатель–фотоприёмник используются импульсный полупроводниковый лазер ЛПИ-120 и фотодиодная линейка TSL202. В данной конструкции фотодиодная линейка играет роль щелевой диафрагмы для полного сечения луча, вырезая световую плоскость вдоль направления излучения. Толщина и ширина плоскости, определяющие эффективное сечение, соответствуют размерам фотодиодной линейки с учётом масштабирующего объектива. Определение размеров планктонных организмов производится фотодиод-

ной линейкой, на которую с помощью лазерного излучателя проецируется тень планктонной частицы, проходящей в потоке воды через измерительный объём. Размер частиц планктона определяется количеством экранированных элементов линейки при прохождении частицы между излучателем и приёмником. Фотолинейка TSL202 содержит 128 элементов и позволяет измерять частицы в диапазоне 0,125–16,0 мм с дискретностью 0,125 мм. объём воды, просмотренный зондом ТРАП-7 в единицу времени, вычисляется как произведение измерительного объёма на частоту следования лазерных импульсов и составляет около 3,5 л/с.

Новая оптическая схема дала возможность значительно упростить конструкцию прибора, а также уменьшить его размеры (80 × 95 × 700 мм) и вес (7,5 кг). Прочный корпус выполнен из титана и допускает погружение на глубину до 2000 м. Напряжение питания — 9–18 или 18–72 В, потребляемая мощность — 2,5 Вт.

Важной особенностью зонда ТРАП-7А является его универсальность — он может работать практически с любым СТД-зондом или другим устройством сбора данных. На рис. 4,б представлен внешний вид зонда ТРАП-7А, подсоединённого к СТД-зонду с внешней стороны ограждения.

Зонд ТРАП-7А показал себя востребованным и надёжным инструментом для оценки непосредственно в водной толще концентрации и размеров мезопланктона — кормовой базы рыбопромысловых скоплений, в связи с чем по за-

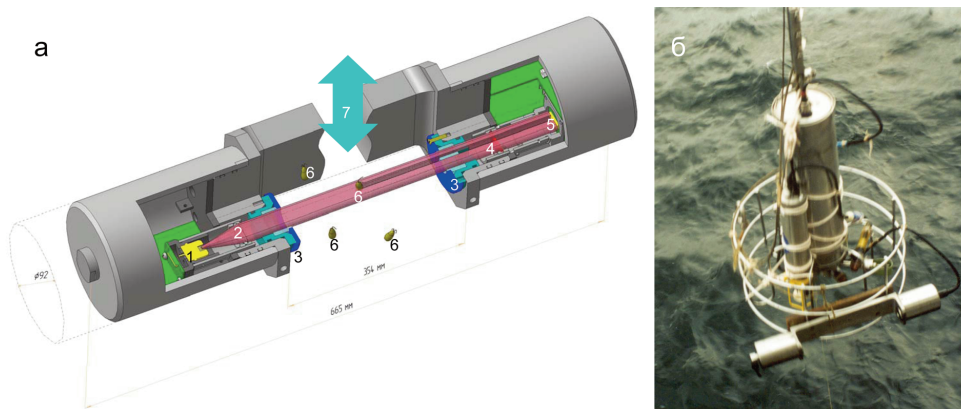


Рис. 4. Зонда ТРАП-7: а — функциональная схема датчика: 1 — лазер ЛПИ-120, 2 — коллимирующая линза, 3 — иллюминаторы, 4 — светофильтр, 5 — фотоприёмная линейка TSL202, б — частицы планктона, 7 — поток воды; б — внешний вид, смонтированного на ограждение СТД-зонда

просам заинтересованных организаций ВНИРО совместно с ОАО «Технополь» был изготовлен ряд его модификаций. Эти зонды используются в СахНИРО, ПИНРО, ТИНРО-Центре, а также два экземпляра — в Институте морских исследований (Германия) в составе зондирующих STD-комплексов и буксируемых устройств.

Однако появление новых моделей зондирующих комплексов на основе микропроцессорной техники потребовало применения аналогичных аппаратно-программных решений и в конструкции зонда ТРАП для обеспечения стыковки с новейшей зарубежной аппаратурой. При этом использование микропроцессорной электронной базы позволяет расширить функциональные возможности зонда и осуществить измерение и подсчёт частиц планктона по всем 128 размерным группам. Одновременно должна быть снижена себестоимость зонда ТРАП, уменьшены его размеры и повышена эксплуатационная надёжность.

С этой целью разработаны и изготовлены принципиально новые электронные узлы и блоки перспективного зонда ТРАП-8. Для сокращения финансовых затрат на испытания и дальнейшую доработку они смонтированы на механической основе зонда ТРАП-7А сер. № 08, разработанного во ВНИРО по заказу Итальянского морского института (Сицилия). Этот зонд планировалось встроить в состав новейшей модели STD-комплекса «miniPack» с буксируемым носителем «NuShuttle» (рис. 5,а,б) фирмы Chelsea Instruments Ltd. (Великобритания).

Морские испытания зонда, установленного на специальную технологическую пластину-

платформу (рис. 5,в), проводились в июле—августе 2007 г на итальянском НИС «Тетис» в соответствии с российско-итальянской совместной программой «DoLaser07». Предварительный анализ полученных результатов, проводимый непосредственно в экспедиции, показал хорошую корреляцию между данными зонда ТРАП и акустическими измерениями в слое мезопланктона, однако дальнейшая обработка данных стала невозможной из-за трагического окончания экспедиции.

Третьего августа 2007 г., в момент проведения последней дрейфовой станции с зондом ТРАП, в 11 ч 15 мин по местному времени (13 ч 15 мин мск) в пяти милях от западного побережья Сицилии в районе порта Мазаредель-Валло итальянское океанографическое судно «Тетис» длиной 32 м было протаранено контейнеровозом «Елени» водоизмещением 54 тыс. т и длиной 295 м, следовавшим под панамским флагом из Израиля в Испанию. В результате столкновения «Тетис» со всем научным оборудованием и материалами исследования практически мгновенно затонул, а главный разработчик зонда ТРАП-8 — ведущий инженер ВНИРО П.А. Михейчик погиб, не успев покинуть при этом свое рабочее место, в связи с чем, работа над данным проектом была прекращена.

НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ МОРСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ЗОНДОВ «ТРАП». Зонд ТРАП-4 эффективно использовался в 34-м рейсе НИС «Дмитрий Менделеев» при съёмке меридионального разреза по 126° з.д. через фронтальную зону юго-западной части Тихого океана (от 35 до 53° ю.ш.). В основном зонди-



Рис. 5. Буксируемый носитель «NuShuttle»: а — общий вид, б — вариант с зондом ТРАП-7А, в — макет зонда ТРАП-8 вместе с STD-комплексом «miniPack» перед погружением на дрейфовой станции (28.07.2007)

рования проводились утром с целью уточнения горизонтов отбора проб 140-литровыми батометрами. Графические результаты представлены на рис. 6.

Совместная работа зонда и батометра на восьми станциях этого разреза позволила провести сравнительный анализ результатов, полученных обоими методами. Для сравнения брались зондирования, максимально близкие ко времени отбора проб батометром. Из результатов обработки проб 140-литрового батометра использовались данные по планктону со средним размером более 1,05 мм.

Основную массу этого планктона составляли *Calanus*, *Pleuromamma*, *Sagitta*, *Oithona*,

Polychaeta, *Euphausiidae*. На двух последних рисунках наблюдается достаточно близкое соответствие практически по всем станциям. Однако разрез, построенный непосредственно по данным зонда, позволяет выявить более тонкую структуру распределения планктона, чем при работах стандартными методами, а также обнаружить скопления планктона, пропущенные при работе с батометром.

Сравнительный анализ данных, полученных в этом рейсе с помощью зонда и батометра, позволил определить для десяти станций коэффициент ранговой корреляции. С коэффициентом корреляции в пределах 0,717–0,949 нулевая гипотеза опровергается на 1%-ом уровне значимости ($P < 0,01$) для всех станций, за исключением трёх. Отрицательное значение коэффициента корреляции (–0,306), полученное на станции 3055, вызвано самой незначительной концентрацией планктона из всех станций. Малые значения коэффициента корреляции на станциях 3056 (0,405) и 3062 (0,522) вызваны поздним временем зондирования для первой станции, а для второй — совокупностью сравнительно позднего времени зондирования и относительно малой концентрацией планктона.

В 15-м рейсе НИС «Витязь» [Левашов, Крылов, 1988] была предпринята попытка использовать зонд ТРАП-4 для оценки скорости миграций планктона в Аравийском море на 2-суточной станции. На рис. 7 представлена временная динамика распределения суммарной биомассы мезопланктона на этой станции по данным зонда ТРАП-4. Началом вечерней миграции можно считать время 17 ч 10 мин. Конец основной миграции приходится на 19 ч 45 мин, хотя по данным зондирования № 6, отдельные следы наблюдаются до 20 ч 45 мин. К сожалению, время между зондированиями составляло не менее 50 мин, что не дало возможности получить более подробную картину вечерней миграции. Однако даже такая частота зондирований позволила оценить скорость подъема планктона. Между зондированиями № 2 и № 3 эта скорость составляла 1,3 см/с, а между зондированиями № 3 и № 4 она увеличивалась до 3,7 см/с. Начало утренней миграции отмечено в 6 ч 40 мин. Скорость опускания планктона, определённая зондированиями № 12 и № 13 составила около 2,2 см/с. В 7 ч 40 мин (по-

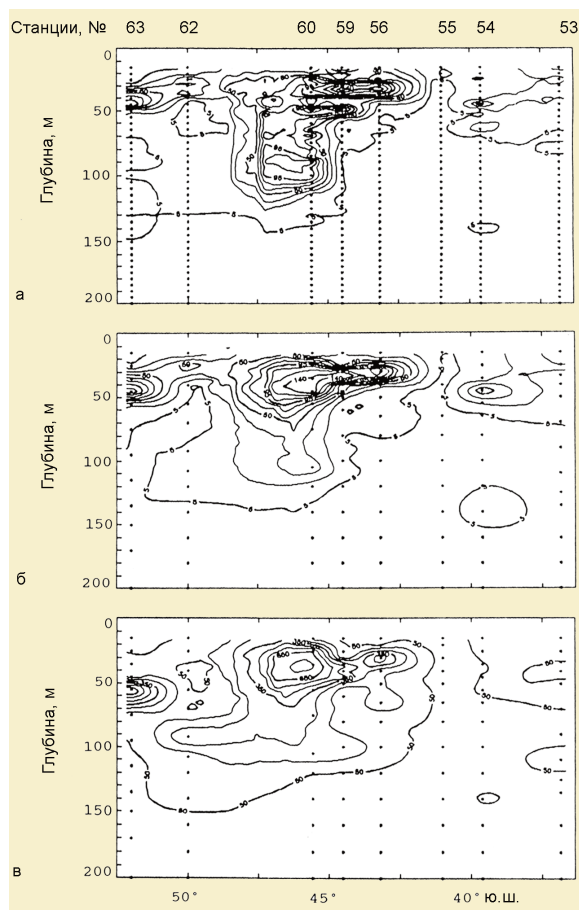


Рис. 6. Разрез по 126° з.д. через фронтальную зону юго-западной части Тихого океана: а — распределение численности частиц размером более 1 мм (ТРАП-4) с осреднением по глубине в 5 м; б — распределение численности частиц размером более 1 мм (ТРАП-4) с осреднением по горизонтам отбора проб; в — распределение планктона размером более 1 мм по результатам отбора проб батометром

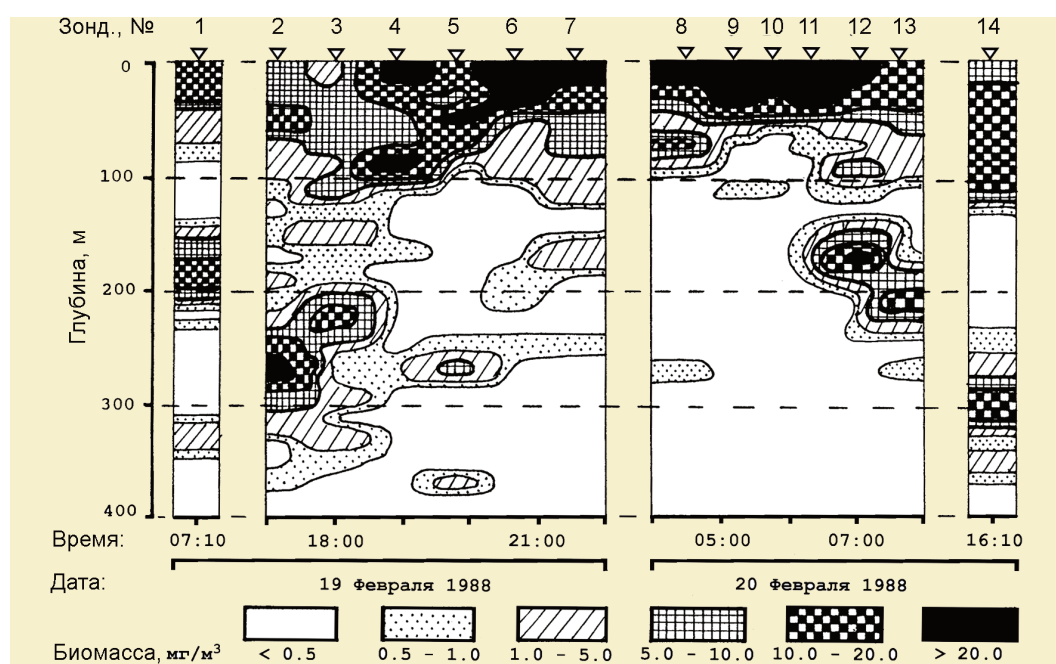


Рис. 7. Временная динамика распределения суммарной биомассы частиц мезопланктона размером 2–4 мм по данным зонда ТРАП-4

следнее зондирование серии) мигранты достигли глубины 220 м, но это не конец миграции, так как их основная глубина определена по зондированиям № 2 и № 14 и составляет 230–310 м. Во время работ дрейф судна был незначителен и гидрологическая обстановка стабильна. Например, результаты зондирования № 1 практически точно ложатся между данными зондирований № 12 и № 13 на следующий день, а зондирование № 14 вполне может предшествовать зондированию № 2.

В примере на рис. 8 представлены разрезы, построенные по данным зонда ТРАП-7А, полученным в октябре 2001 г. на ст. 8–14 в совместной экспедиции ВНИРО и КаспНИРХ в Каспийском море [Левашов и др., 2002]. Прибор был включен в состав STD-зонда Mark IIIВ, причём для данных по температуре и хлорофиллу использовались файлы с осреднением по глубине в 1 м, а данные по планктону, с целью повышения представительности оценок, осреднялись по 5-метровым слоям. Для имеющихся в этом районе величин численности частиц такое решение позволило получить более чёткую картину их распределения в районе термоклина. В то же время при оценке биомассы планктона величины осреднённых значений оказались в 3–5 раз меньше, чем наблюдались

в тонких (менее 1 м) слоях планктона. Поверхностное пятно повышенной концентрации биомассы на ст. 8–10 объясняется, по-видимому, сильным развитием гребневика в этом районе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. По результатам использования разработанной аппаратуры в прошедших экспедициях было выделено три основных направления в применении зонда:

- исследование пространственных и временных характеристик распределения планктона в мезо- и микромасштабе;

- получение экспресс-характеристик обилия и вертикального распределения мезопланктонных организмов при ограниченном времени на проведение станций;

- «наведение» стандартных количественных орудий лова на детали вертикального распределения мезопланктона.

При этом по всем трём направлениям предполагается обязательное параллельное использование традиционных методов отбора и обработки проб.

Однако, в настоящее время ведётся проработка вопроса о возобновлении НИР по этой теме, но вместо фотолинейки TSL202 предполагается установить современную микровидеокамеру на основе матричного CCD-фотоприёмника, чувствительного в ИК-диапазоне.

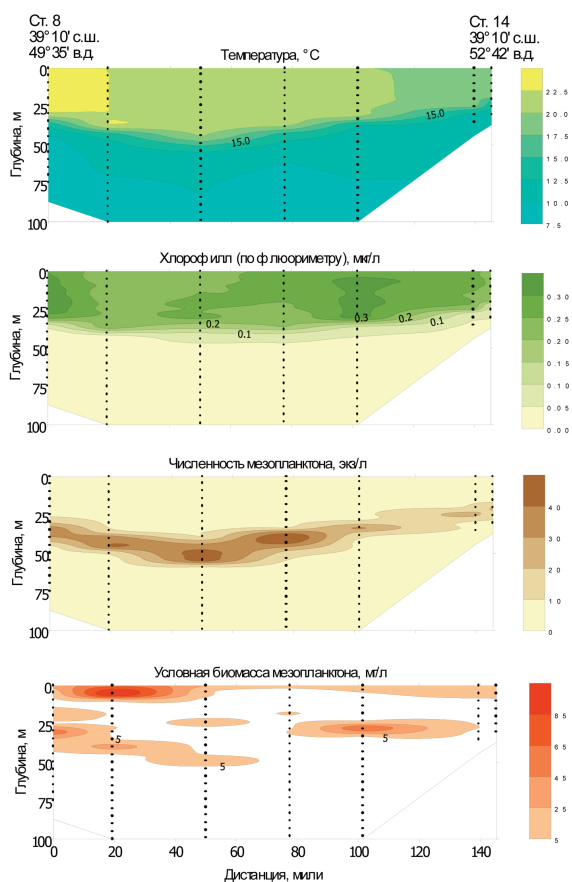


Рис. 8. Вертикальное распределение температуры, флуоресценции хлорофилла «а», численности мезопланктона и его биомассы на разрезе (станции № 8–14) по данным зондирующего комплекса на базе СТД-зонда Mark ШВ, флуориметра и зонда ТРАП-7А

Предварительная обработка выходного видеосигнала микровидеокамеры непосредственно в зонде, с передачей данных на борт судна по кабель-тросу, позволит наблюдать вертикальное распределение условной биомассы мезопланктона в реальном времени. Вместе с тем полная запись видеосигнала за время зондирования во внутреннюю флэш-память зонда и его последующее считывание на борту судна позволят провести подробный визуальный анализ размерно-количественного состава зарегистрированного планктона с возможностью его видовой идентификацией. В дальнейшем процесс анализа и идентификации видеоизображений может быть в значительной степени автоматизирован. Это позволит исключить в ряде случаев процесс отбора проб — например, в свежую погоду или при ограниченном времени

станции. Особенный интерес такое решение представляет для использования аппаратуры на ходу судна или на буйковых станциях, где отбор проб вообще проблематичен.

ЛИТЕРАТУРА

- Виноградов М.Е., Флинт М.В., Шушкина Э.А. 1987. Исследование вертикального распределения мезопланктона с использованием подводного обитаемого аппарата «Аргус» // Современное состояние экосистемы Чёрного моря. — М.: Наука. — С. 172–186.
- Воронков А.П., Левашов Д.Е. 1996. Новый оптоэлектронный датчик для оценки размерно-количественных характеристик мезопланктона в реальном масштабе времени «in situ», позволяющий формировать измерительный объём без возмущения среды // Материалы VII съезда Гидробиол. о-ва РАН. Казань, 14–20 окт. 1996 г. Т. 1. — Казань: Полиграф. — С. 107–109.
- Левашов Д.Е. 2001. Оптический счётчик 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. — с. 2.
- Левашов Д.Е., Воронков А.П. 1997. Датчик размерно-количественных характеристик мезопланктона, разработанный как дополнение к СТД-зонду // Тез. докл. X Междунар. конф. по промышленной океанологии. Санкт-Петербург, 20–23 мая 1997 г. — М.: Изд-во ВНИРО. — С. 75–76.
- Левашов Д.Е., Ерофеев П.Н. 1983. Зондирование мезо- и макропланктона // Современные методы и средства количественной оценки распределения морского планктона. — М: Наука. — С. 28–41.
- Левашов Д.Е., Крылов В.В. 1988. Биозонд для оценки вертикального распределения мезопланктона «in situ» // Тез. докл. III Всесоюз. конф. по морской биологии. Севастополь, окт. 1988. Ч. 1. — Киев: С. 133.
- Левашов Д.Е., Михейчик 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., Михейчик П.А., Седов А.Ю., Тишкова Т.В., Воронков А.П. 2002. Лазерный измеритель планктона ТРАП-7А для СТД-зондов // XII Международная конференция по промышленной океанологии. — Калининград: АтлантНИРО. — С. 146–147.
- Шеринёв А.Е., Левашов Д.Е., Африкова С.Г. 1977. К вопросу инструментальной оценки количества и характера распределения планктона в водной толще // Распределение и поведение морского планктона в связи с микроструктурой вод. — Киев: Наукова думка. — С. 16–18.

- Levashov D.E., Zhavoronkov A.I.* 1995. Optronic Sensors for Mezoplankton Studying in the Sea Water // Proc. OCEANS'95 MTS/IEEE. V. 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. V.2.— P. 355–359.
- Levashov D.E., Zhavoronkov A.I., Voronkov A.P.* 1998. An Optoelectronic Sensor of Mesoplankton as an Addition to CTD-probes and Towed Vehicle // Proc. OCEANS'98 IEEE/OES. Nice. V. 1.— P. 178–182.

Поступило в редакцию 11.08.11 г. Принято после рецензии 23.01.12 г.

Hydrobiological probes of TRAP family and the features of mesoplankton instrumental monitoring in the Black Sea

D.E. Levashov, N.P. Bulanova

Russian Federal Research Institute of Fisheries & Oceanography (VNIRO)

A number of plankton laser meters of TRAP family has been developed in VNIRO to estimate the size and quantitative composition of mesoplankton directly in the water column with simultaneous visualization of its spatial distribution both in the mode of vertical probing at the stations and that of vessel running by means of the towed carrier or pumping system. A good choice of the Black Sea as a place for testing, due to the peculiarities of its hydrology, will significantly reduce and optimize the design and verification of virtually all models of plankton laser meters in the TRAP family. Examples of the most significant results obtained during the sea trials of the probe carried out within various areas of the World Ocean are given.

Key words: plankton laser meter, mesoplankton, size and quantitative composition, vertical probing, towed carrier, pumping, TRAP.