

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕСТОНА В ЗАЛИВЕ АНИВА В РАЗЛИЧНЫЕ СЕЗОНЫ 2002 ГОДА, ВЫЯВЛЕННОЕ ПРИ ПОМОЩИ ОПТИЧЕСКОГО СЧЕТЧИКА ТРАП-7А**

**В. Н. Частиков<sup>1</sup>, Д. Е. Левашов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск); <sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Москва)

### **ВВЕДЕНИЕ**

В последнее время в гидробиологических исследованиях все чаще стали применять оптические счетчики планктона, позволяющие оценивать концентрацию и биомассу мезопланктона, одновременно с измерением СТД и других параметров. Приоритет в создании этих приборов принадлежит отечественным разработчикам и исследователям. Начиная с 1970-х годов во ВНИРО был создан целый ряд телерегистрирующих анализаторов планктона – зондов ТРАП, предназначенных для оценки размерно-количественных характеристик мезопланктона в режиме зондирования (Левашов, Ерофеев, 1983; Levashov, Zhavoronkov, 1995). Из них наибольший интерес представляет гидробиологический зонд ТРАП-7, который предназначен для работы в составе СТД-зондов и установки на буксируемые носители (Левашов, 2001).

Оптический счетчик зоопланктона ТРАП-7А был установлен на зонде ICTD FSI, входящем в судовое обеспечение НПС «Дмитрий Песков», и использовался при проведении четырех океанологических и гидробиологических съемок в различные сезоны 2002 г. на четырех стандартных разрезах в заливе Анива. Оптический счетчик дает представление о вертикальном распределении зоопланктона в различное время суток при выполнении гидробиологических исследований, что невозможно при тотальном сетном лове.

Целью статьи являются рассмотрение результатов апробации нового оборудования в условиях дальневосточных морей, оценка качества его работы, определение направления развития и усовершенствования аппаратуры.

Ниже приводится краткая характеристика аппаратуры и результаты измерений в заливе Анива в 2002 г.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Технические характеристики оптического счетчика и принцип его работы

Оптоэлектронные датчики имеют два варианта конструктивного исполнения (рис. 1). В первом варианте используется единый контейнер для излучателя, фотоприемника и всех электронных блоков. На расстоянии 25–30 см от иллюминатора располагается отражатель, формирующий два плоско-параллельных потока излучения: излучатель-отражатель и отражатель-фотоприемник. В результате такая конструкция позволяет минимизировать внешние размеры датчика для установки его на СТД-зонде. Второй вариант выполнен без отражателя, в двух контейнерах, иллюминаторы которых расположены напротив друг друга. Это устройство в целом имеет более жесткую конструкцию и предназначено для установки на буксируемых носителях. Оба варианта датчика ТРАП-7 позволяют крепить на них специально разработанное калибровочное устройство с движущимися имитаторами планктона разного размера.

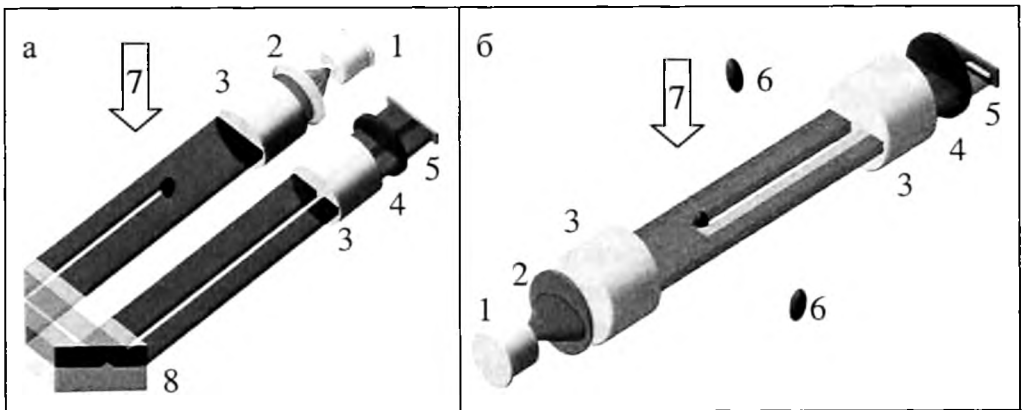


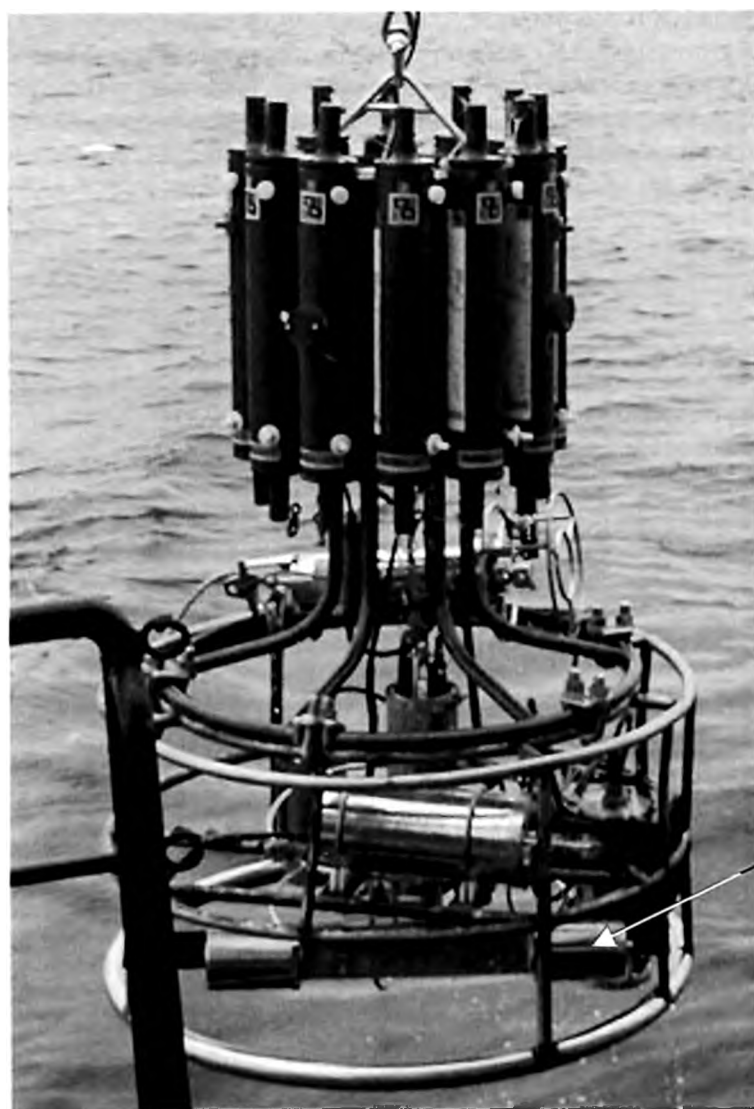
Рис. 1. Оптические схемы отражающего (а) и прямого (б) вариантов датчика ТРАП-7: 1 – лазер ЛПИ-120; 2 – коллимирующая линза; 3 – иллюминаторы; 4 – светофильтр; 5 – фотоприемная линейка TSL202; 6 – частицы планктона; 7 – поток воды; 8 – призма

Измерительный объем зонда определяется расстоянием между излучателем и фотоприемником, а также эффективным сечением луча лазера. В данной конструкции фотодиодная линейка играет роль шелевой диафрагмы для полного сечения луча, вырезая световую плоскость вдоль направления излучения. Толщина и ширина плоскости, определяющие эффективное сечение, соответствуют размерам фотолинейки с учетом масштабирующего объектива. Объем воды, просмотренный зондом ТРАП-7 в единицу времени, вычисляется как произведение измерительного объема на частоту следования лазерных импульсов и составляет около 3,5 л/сек.

В датчике ТРАП-7А (Левашов, 2001) в качестве оптоэлектронной пары излучатель–фотоприемник используются импульсный полупроводниковый лазер ЛПИ-120 и фотодиодная линейка TSL202. Важной особенностью лазера ЛПИ-120 является возможность регулировки мощности импульса излучения, что позволяет реализовать автоматическую регулировку в зависимости от прозрачности воды и тем самым стабилизировать метрологические характеристики оптопары. Определение размеров планктонных организмов производится

фотодиодной линейкой, на которую с помощью лазерного излучателя проецируется тень планктонной частицы, проходящей в потоке воды через измерительный объем. Размер частиц планктона определяется количеством экранированных элементов линейки при прохождении частицы между излучателем и приемником. Фотодиодная линейка TSL202 содержит 128 элементов и позволяет измерять частицы в диапазоне 0,125–16 мм с дискретностью 0,125 мм.

Новая оптическая схема дала возможность значительно упростить конструкцию прибора и уменьшить его размеры (80×95×700 мм – прямой вариант) и вес (7,5 кг). Прочный корпус выполнен из титана и допускает погружение до 2000 м. Напряжение питания – 9–18 или 18–72 В, потребляемая мощность – 2,5 Вт. На рисунке 2 представлен внешний вид датчика ТРАП-7А, подсоединенного к STD-зонду ICTD FSI с кассетой батометров.



ТРАП-7А

Рис. 2. Внешний вид датчика ТРАП-7А, установленного на ICTD-зонде (фото В. Н. Частикова)

Важной особенностью датчика ТРАП-7А является его универсальность – он может работать практически с любым STD-зондом или другим устройством сбора данных.

Организация выходных данных следующая. Когда прибор подключен в качестве дополнительного устройства к измерительной системе с циклическим опросом всех датчиков (например, к STD-зонду или буксируемому комплексу на одножильном кабель-тресе), в этом случае в приборе используется два счетных канала. В одном из них подсчитывается число частиц, зарегистрированных прибором за время одного цикла опроса (или кратное циклу), а в другом суммируются числа, соответствующие размерам частиц. В дальнейшем на основе этой информации определяется средний размер частиц.

Для обработки и интерпретации данных, получаемых с помощью оптических счетчиков планктона, во ВНИРО разработано специализированное программное обеспечение (ПО). На рисунке 3 представлен пример обработки данных зонда ТРАП-7А с помощью ПО. Оно позволяет конвертировать данные зонда (ICTD, MarkIIIВ и других с любыми дополнительными датчиками) формата \*.raw (сырые) в файлы типа \*.prs с выбираемой дискретностью шага по глубине, а также формировать выходные файлы типа \*.dat для вертикального и горизонтального распределения программами Surfer и Ocean Data View.

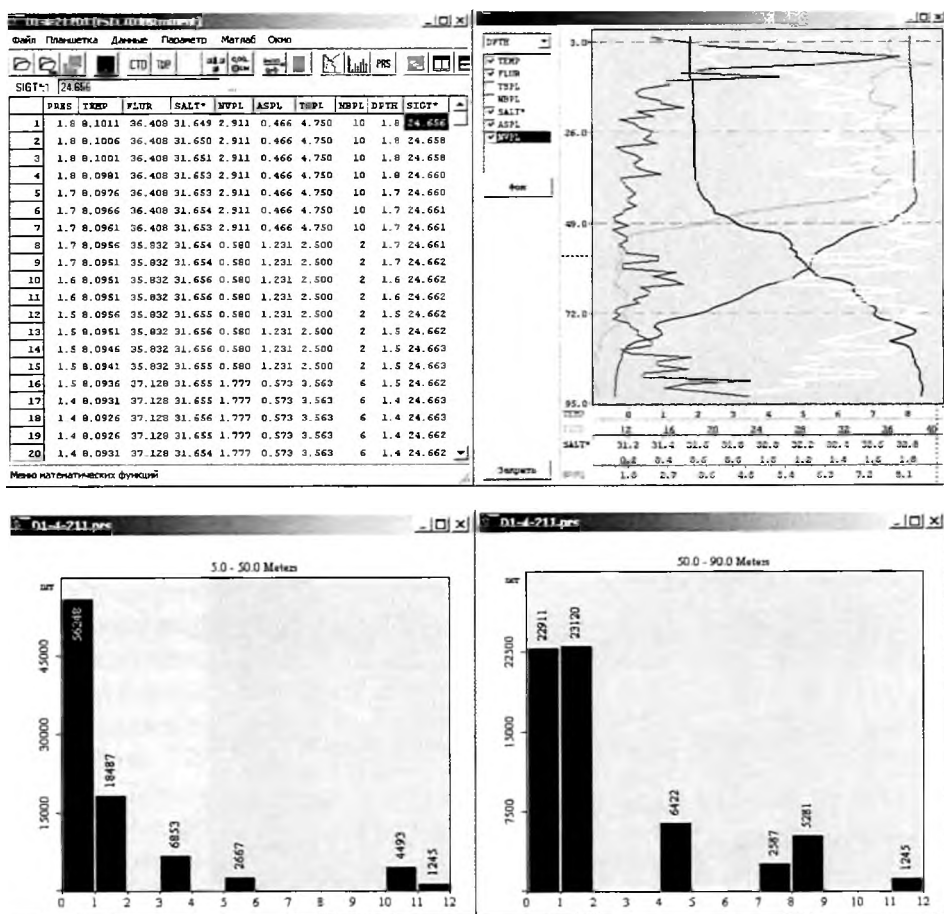


Рис. 3. Примеры компьютерной обработки данных зонда ТРАП-7А

В процессе обработки файлы можно одновременно редактировать (см. рис. 3 сверху) в левом окне и просматривать профили вертикального распределения измеренных величин в правом окне. Линии каждого профиля отображаются определенным цветом. Для наглядности, кроме профилей вертикального распределения численности частиц (NVPL, экз./л), их среднего размера (ASPL, мм), в окне приведены профили по температуре (TEMP, T°C), солености (SALT\*, S‰) и хлорофиллу (данные флюориметра даны в усл. ед.).

При необходимости можно провести также (см. рис. 3 внизу) предварительный анализ количественного состава планктона по глубине в любом количестве слоев с заранее выбранными границами, распределяя их по размерным группам (до 16 групп). Приводимый пример графического анализа размерного состава планктона по двум выбранным слоям позволяет выделить отдельные разноразмерные группы планктона.

Диаграммы (NBPL) показывают суммарное число частиц соответствующего размера (шкала по горизонтали, мм), зарегистрированных зондом ТРАП-7А в каждом выбранном слое.

Программное обеспечение имеет русский и английский варианты и называется «ТРАП менеджер». На рисунке 3 приведен пример обработки данных на одной из станций в заливе Анива, выполненной зондом ТРАП-7А (СахНИРО) в ноябре 2002 г. Прибор был оснащен аналоговым выходным интерфейсом и включен в качестве дополнительного датчика в состав зондирующего комплекса на основе STD-зонда ICTD фирмы Falmouth Scientific (США).

Но есть существенный недостаток использования ТРАП-7А в компоновке с ICTD, так как коммутируется он в аналоговый порт. При этом информация искажается «шумом», который при дальнейшей обработке приходится фильтровать, что, в свою очередь, приводит к получению неточных данных, в особенности это сказывается на качестве оценки размерного состава зоопланктона. По этой причине в статье приводятся данные только по вертикальному распределению численности зоопланктона.

В настоящее время ТРАП-7А является единственным прибором, который может подключаться в качестве дополнительного датчика к STD-зондам и проводить оценку характеристик сестона, в том числе и мезопланктона. Его применение параллельно с другими измерителями дает возможность анализа взаимосвязей размерного состава планктонных сообществ с широким кругом океанографических параметров. Одновременно ТРАП-7А может служить хорошим целеуказателем мест отбора проб планктона для его дальнейшего исследования традиционными методами.

Как уже отмечалось выше, в 2002 г. в заливе Анива было выполнено четыре океанографических съемки по системе стандартных оперативных разрезов (ССОР) (Пищальник, Климов, 1991) с использованием датчика ТРАП-7А (рис. 4). Впервые получен материал по вертикальной структуре и суточной миграции количественного состава планктона дистанционными методами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В апреле, по наблюдениям, на разрезе № 3 можно определить начало суточной миграции планктона на глубину – в западной части разреза в утренние часы максимальные концентрации приходятся в верхнем 25-метровом слое, а в дневное время в восточной его части наибольшая численность отмечена на глубине 60–70 м (рис. 5). Разрез № 4 выполнялся во второй половине дня, и с заходом солнца количество планктона в верхних слоях увеличилось (рис. 6).

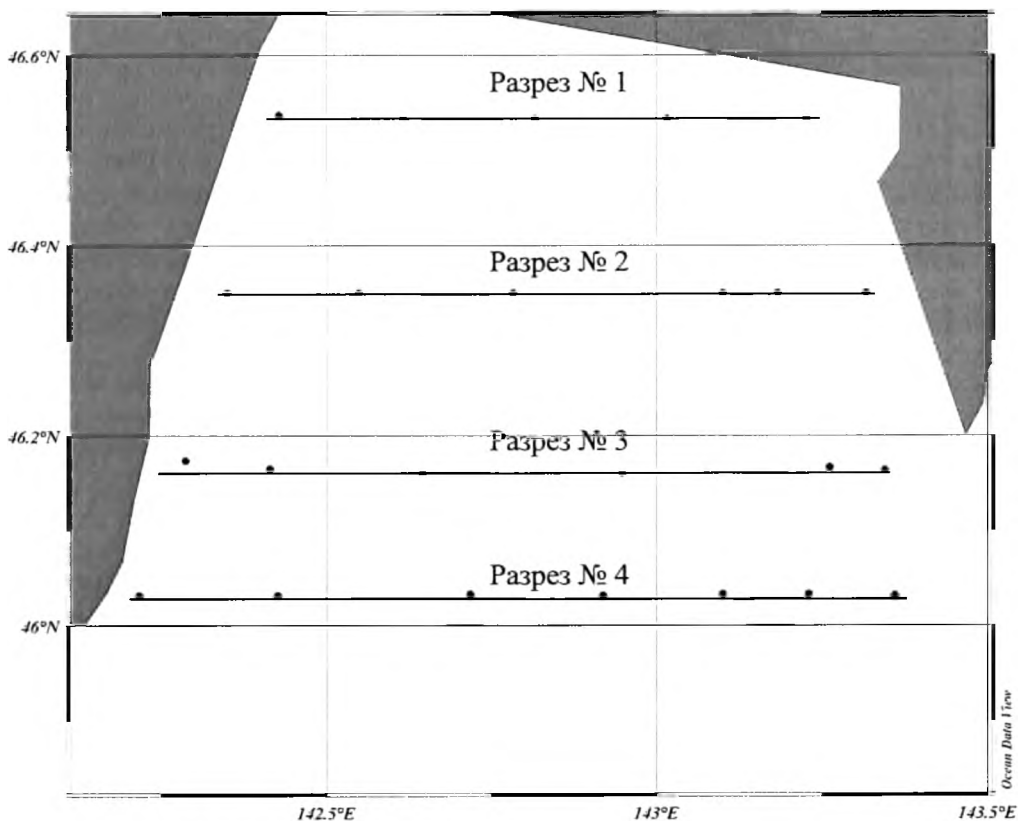


Рис. 4. Схема ССОР в заливе Анива

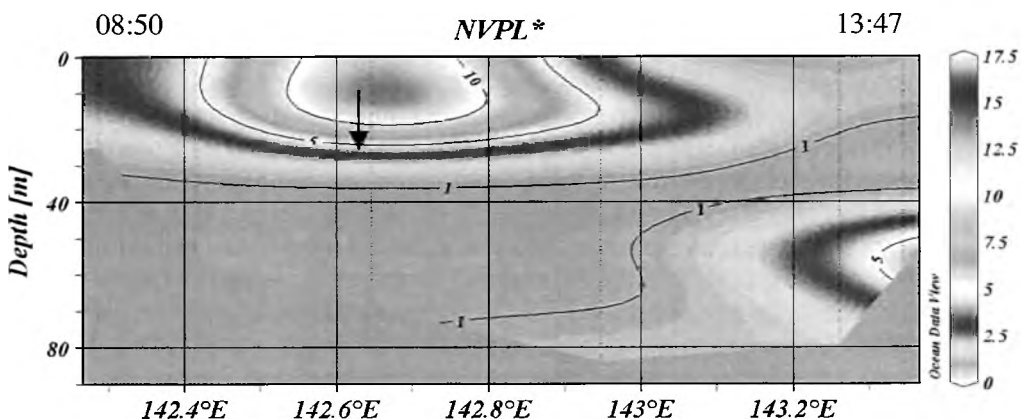


Рис. 5. Вертикальное распределение количественного состава (в одном литре) планктона на разрезе № 3 в заливе Анива, полученное при помощи датчика ТРАП-7А 12 апреля 2002 г. (Вверху указано время работы на разрезе)

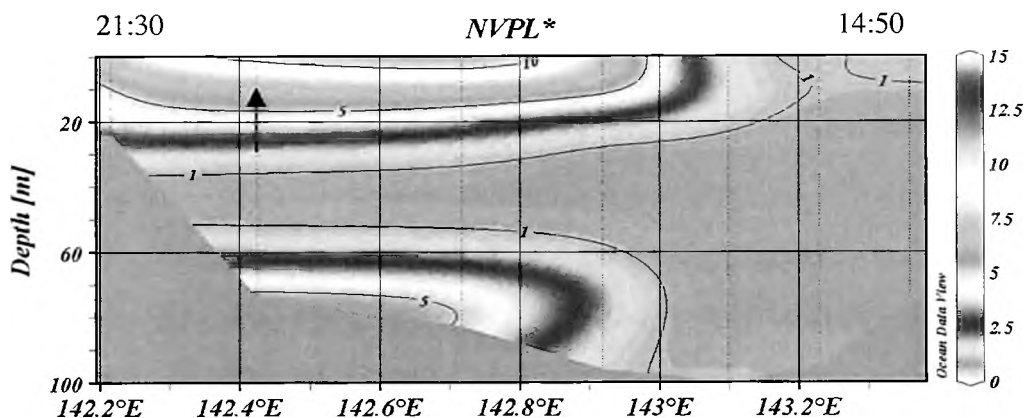


Рис. 6. Вертикальное распределение количественного состава (в одном литре) планктона на разрезе № 4 в заливе Анива, полученное при помощи датчика ТРАП-7А 12 апреля 2002 г. (вверху указано время работы на разрезе)

Такую же картину можно наблюдать и в июне на разрезе № 3 – с наступлением темноты в западной части максимум планктона приходится на верхний 20-метровый слой, а в 10 часов ядро концентрации заглублено (рис. 7). Та же картина наблюдается и на разрезе № 4 (рис. 8). По устному сообщению научного сотрудника лаборатории биологической океанографии СахНИРО И. Ю. Брагиной, в августе в западной части залива Анива образует скопление планктон рода *Acartia*, не склонный к суточной миграции (рис. 9, 10). Съемка октября на разрезе № 3 показала классический ход суточной миграции (рис. 11). На разрезе № 4, в его восточной части, отмечено увеличение количества планктона, транспортируемого с Восточно-Сахалинским течением (рис. 12).

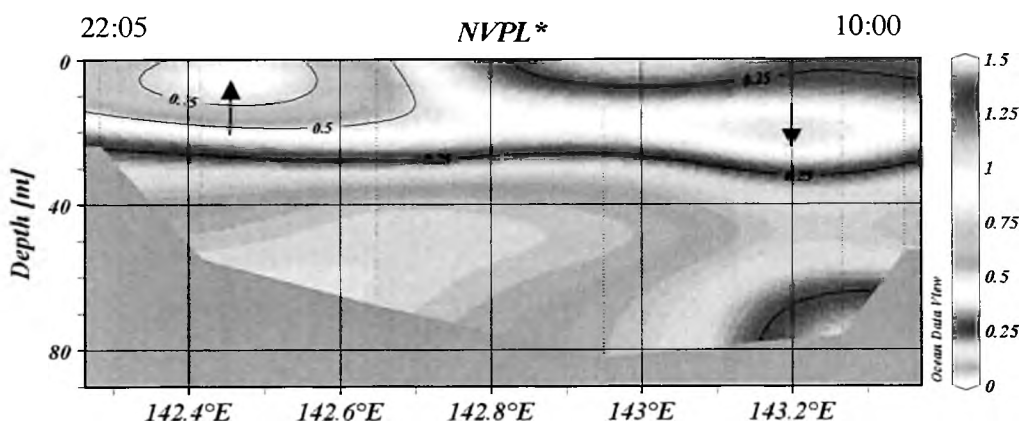


Рис. 7. Вертикальное распределение количественного состава (в одном литре) планктона на разрезе № 3 в заливе Анива, полученное при помощи датчика ТРАП-7А 20 июня 2002 г. (вверху указано время работы на разрезе)

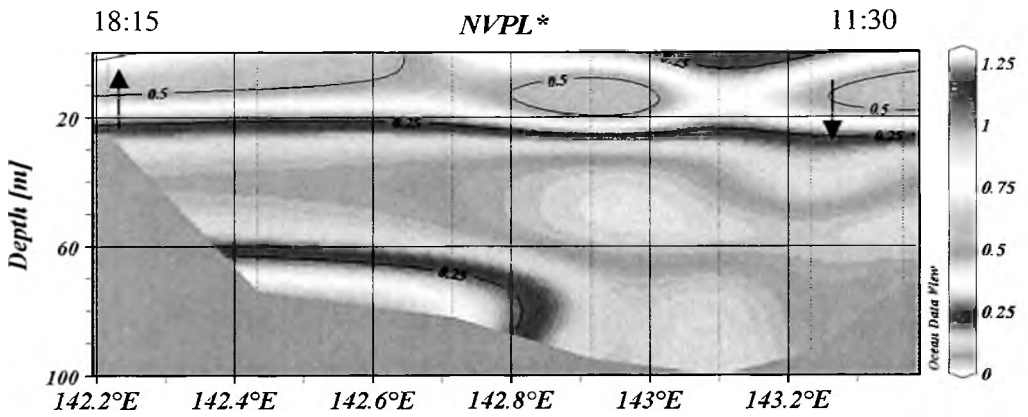


Рис. 8. Вертикальное распределение количественного состава (в одном литре) планктона на разрезе № 4 в заливе Анива, полученное при помощи датчика ТРАП-7А 21 июня 2002 г. (вверху указано время работы на разрезе)

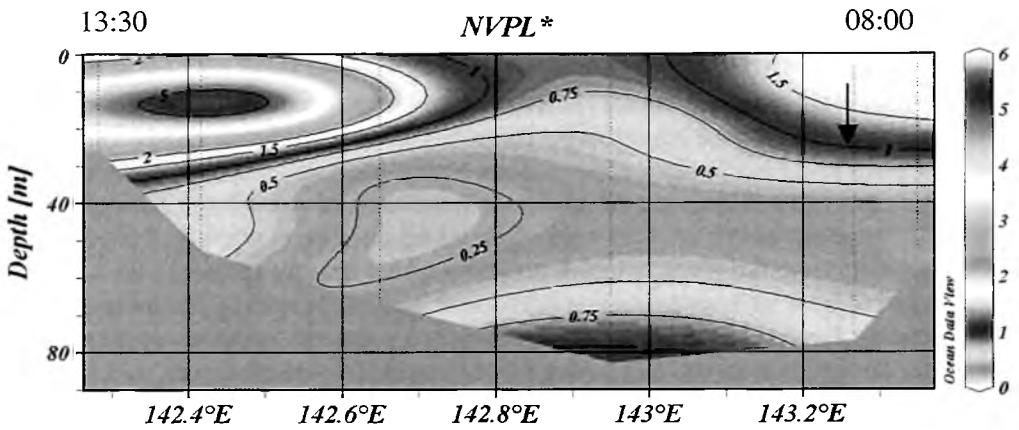


Рис. 9. Вертикальное распределение количественного состава (в одном литре) планктона на разрезе № 3 в заливе Анива, полученное при помощи датчика ТРАП-7А 9 августа 2002 г. (вверху указано время работы на разрезе)

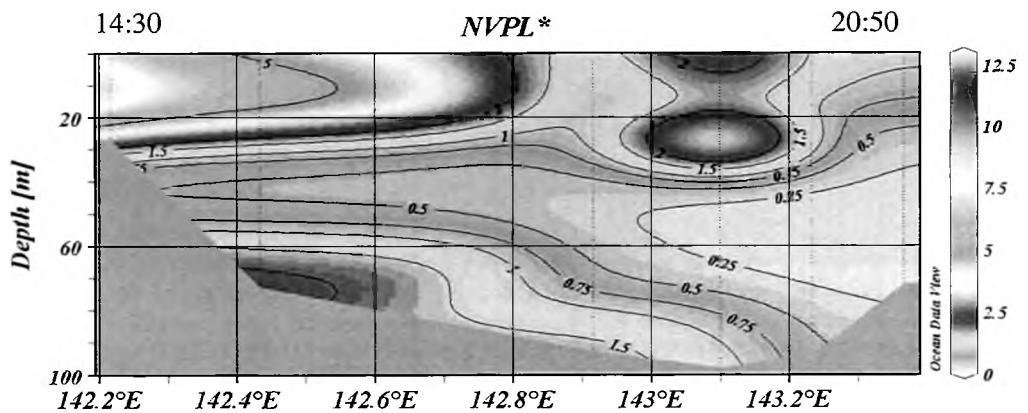


Рис. 10. Вертикальное распределение количественного состава (в одном литре) планктона на разрезе № 4 в заливе Анива, полученное при помощи датчика ТРАП-7А 8 августа 2002 г. (вверху указано время работы на разрезе)



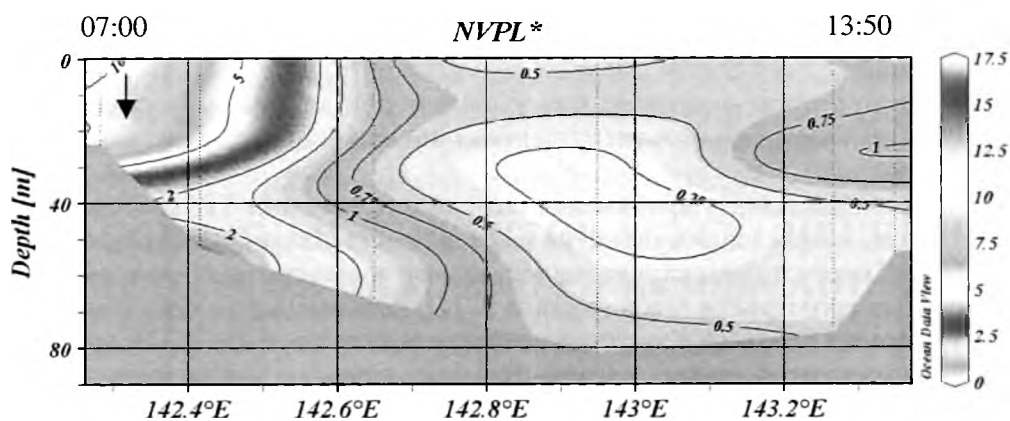


Рис. 11. Вертикальное распределение количественного состава (в одном литре) планктона на разрезе № 3 в заливе Анива, полученное при помощи датчика ТРАП-7А 31 октября 2002 г. (вверху указано время работы на разрезе)

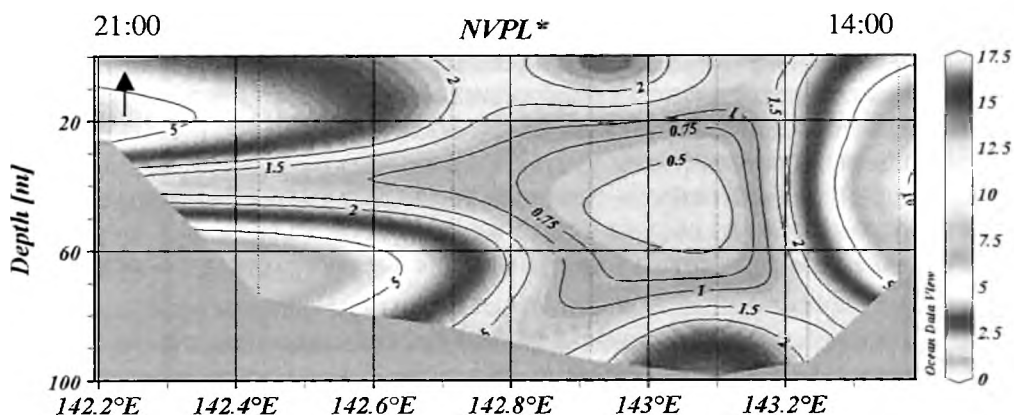


Рис. 12. Вертикальное распределение количественного состава (в одном литре) планктона на разрезе № 4 в заливе Анива, полученное при помощи датчика ТРАП-7А 31 октября 2002 г. (вверху указано время работы на разрезе)

На разрезе № 4, в западной его части, у дна, во все сезоны также были отмечены значительные концентрации количества планктона. Объяснение этого факта лежит в детальном анализе структурного состава зоопланктона данного участка акватории залива.

Отмеченные по результатам исследований с применением оптического счетчика значительные различия в вертикальном распределении численности на литр в различное время суток с высокой степенью уверенности позволяют утверждать, что полученные данные относятся к мигрирующим, то есть живым особям, а значит, отражают состояние преимущественно зоопланктона, а не сестона.

Таким образом, можно сформулировать три основных направления в применении датчика такого типа:

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

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

– использование в качестве целеуказателя при детальном исследовании особенностей вертикального распределения мезопланктона стандартными орудиями лова.

Накопленный опыт применения оптического счетчика ТРАП-7А выявил дальнейшие направления в развитии и совершенствовании данного датчика:

1. необходимость конструкционной, схемно-измерительной модификации сенсора для регистрации каждого скана ICTD, включающего в себя обновляемые измерения ТРАП-7А с частотой считывания каналов зонда ICTD, приведение регистрируемых данных к измерительному объему, с учетом регистрации изменений траектории сенсора в трех координатах в период зондирования;

2. разработка методики и определение протокола сравнения сетных и оптических данных в связи с сезонной, межгодовой, географической изменчивостью размерно-видового состава зоопланктонных сообществ Сахалино-Курильского региона, включая параметры взвесей небиологического происхождения в морской воде;

3. увеличение считывания, оптимально до 0,05 м, оптических мишеней с целью более полного охвата диапазона размерного состава зоопланктона дальневосточных морей с учетом преобладания по биомассе крупных копепод, шетинкочелюстных и эвфаузиевых, критично важных при исследованиях кормовой базы рыб-планктофагов;

4. решение задачи «живой–неживой» регистрируемых объектов для выделения зоопланктеров из общего потока измерений сестона;

5. дальнейшая доработка и усовершенствование программного обеспечения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Левашов, Д. Е. Зондирование мезо- и макропланктона / Д. Е. Левашов, П. Н. Ерофеев // Совр. методы колич. оценки распредел. мор. планктона. – М. : Наука, 1983. – С. 28–41.
2. Левашов, Д. Е. Оптический счетчик планктона ТРАП-7 / Д. Е. Левашов // Материалы 4-й Рос. науч.-техн. конф. «Совр. состояние, проблемы навигации и океанографии» («НО-2001», 6–9 июня 2001 г.). – СПб. : Гос. НИИГИ МО РФ, 2001. – С. 2.
3. Пищальник, В. М. Каталог глубоководных наблюдений, выполненных в шельфовой зоне острова Сахалин за период 1948–1987 гг. / В. М. Пищальник, С. М. Климов. – Ю-Сах., 1991. – 167 с.
4. Levashov, D. E. Optronic sensors for mezoplankton studying in the sea water / D. E. Levashov, A. I. Zhavoronkov // Proc. Ocean'95 MTS/IEEE. – 1995. – Vol. 1. – P. 202–208.

Частиков, В. Н. Пространственно-временное распределение сестона в заливе Анива в различные сезоны 2002 года, выявленное при помощи оптического счетчика ТРАП-7А / В. Н. Частиков, Д. Е. Левашов // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2005. – Т. 7. – С. 295–304.

Дано описание лазерного измерителя ТРАП-7А, разработанного в лаборатории обеспечения морских экспедиционных исследований ВНИРО для автоматического подсчета мезозoopланктона (сестона). Прибор был присоединен к штатному океанологическому зонду ICTD научно-промыслового судна СахНИРО «Дмитрий Песков», поступающая с него информация представлена в стандартных форматах и обрабатывается при помощи того же программного обеспечения, что и обычные STD-данные, включая построение вертикальных и горизонтальных распределений при помощи Ocean Data View.

Представлены материалы экспериментальных испытаний прибора, проводившихся во время четырех экспедиций в заливе Анива в 2002 г. Обнаружены существенные различия в вертикальных распределениях измеряемого параметра в разное время суток, что указывает на то, что прибор регистрировал преимущественно живые, мигрирующие объекты. Сделан вывод, что измерения при помощи ТРАП-7А могут быть важной дополнительной информацией при анализе проб зоопланктона, полученных тотальными сетными ловами в верхнем 100-метровом слое.

Ил. – 12, библиогр. – 4.

Chastikov, V. N. Spatial-temporal distribution of seston in Aniva Bay in different seasons 2002 revealed using the optical counter «TRAP-7A» / **V. N. Chastikov, D. E. Levashov** // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas : Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. – Yuzhno-Sakhalinsk : SakhNIRO, 2005. – Vol. 7. – P. 295–304.

Description of the laser measuring instrument «TRAP-7A», created in the Laboratory of Marine Expeditional Researches (VNIRO) for automatic mesozooplankton (seston) counting, is given. This instrument was attached to the ordinary oceanological sonde ICTD of the SakhNIRO research vessel «Dmitry Peskov». The information received from it is presented in standard formats and processed with the help of the same software as the common CTD-data including creation of vertical and horizontal distribution patterns by means of the Ocean Data View.

The data on experimental testing of the instrument, carried out during the four expeditions in Aniva Bay in 2002, are given. Significant differences in vertical distribution pattern of the parameter measured were found in different time round the clock. This indicates that the instrument registered mainly the living migratory objects. The TRAP-7A measurements were concluded to be important additional information when analyzing zooplankton sampled using the total net fishing in the upper 100-m layer.

Fig. – 12, ref. – 4.