

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.465

ВИДЕОРЕГИСТРАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА “IN SITU”

© 2023 г. А. Л. Оленин¹, *, А. В. Мишин¹

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

*e-mail: olenin.al@ocean.ru

Поступила в редакцию 15.09.2022 г.

После доработки 07.03.2023 г.

Принята к публикации 27.03.2023 г.

Представлены результаты применения зондирующего комплекса регистрации частиц на примере обнаружения скопления эуфаузиид в придонном слое воды в заливе Степового Карского моря в 85 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”, сентябрь 2021 г.

Ключевые слова: зоопланктон, видеорегистрация, эуфаузииды, светодиодный светильник, Карское Море

DOI: 10.31857/S0030157423050106, EDN: TEVUKY

ВВЕДЕНИЕ

Экспедиционные исследования вертикального распределения зоопланктона выполняются путем отбора проб планктонными сетями и дальнейшей визуальной микроскопической лабораторной обработки. Планктонные сети имеют большой вертикальный размер, затрудняющий работу в тонких слоях и придонных областях. В статье приведены результаты применения для оперативного выявления слоев повышенной концентрации зоопланктона специальной зондирующей видеосистемы. Результаты получены в 85 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”. Выполнено оперативное обнаружение слоя с повышенной концентрацией зоопланктона в узкой области глубин около дна, с получением качественных цветных цифровых фотографий. Применение такой техники открывает новые возможности для оперативного видеонаблюдения в экспедиционных условиях.

ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА

В настоящее время для подводной видеосъемки применяются различные камеры, устанавливаемые на телеуправляемые подводные аппараты, буксируемые подводные аппараты (НПА) или зонды. Текущий технический уровень аппаратуры применительно к видеорегистрации зоопланктона и частиц взвеси и результаты наших предыдущих работ в этой области представлены в [6, 8, 11]. Отдельно отметим также лазерный планктономер “КАРП” [2], в котором реализована регистрация

изображений планктона, причем с подсветкой красными лазерами, что дает большое поле зрения.

Для работы в 85 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” нами был модифицирован зондирующий комплекс регистрации частиц. Он состоит из:

- регистрирующего зонда;
- бухты оптико-волоконного кабель-троса;
- рабочего места оператора.

Регистрирующий зонд содержит:

- регистратор;
- блок управления, содержащий контроллер, глубомер (датчик давления), оптико-волоконный модем, литий-железо-фосфатную аккумуляторную батарею;
- алюминиевую раму.

Регистратор состоит из цифровой камеры с электронными блоками в боксе и светодиодных светильников. На рис. 1 показаны элементы регистратора: схема видеорегистрации частиц (1а) и вид на входной иллюминатор и светильники (1б). Объем 2 подсвечивается белыми светодиодными светильниками 1, формирующими узкие пучки света и перекрывающими область регистрации. Далее изображение регистрируемого объема через иллюминатор 3 и объектив 5 попадает на цифровую камеру 6. Таким образом, регистрируемый объем 2 находится в поле зрения поле зрения цифровой камеры 6. Камера монтируется в глубоководном боксе 4. Использована доработанная цифровая фотокамера VNCX-32 с разрешени-

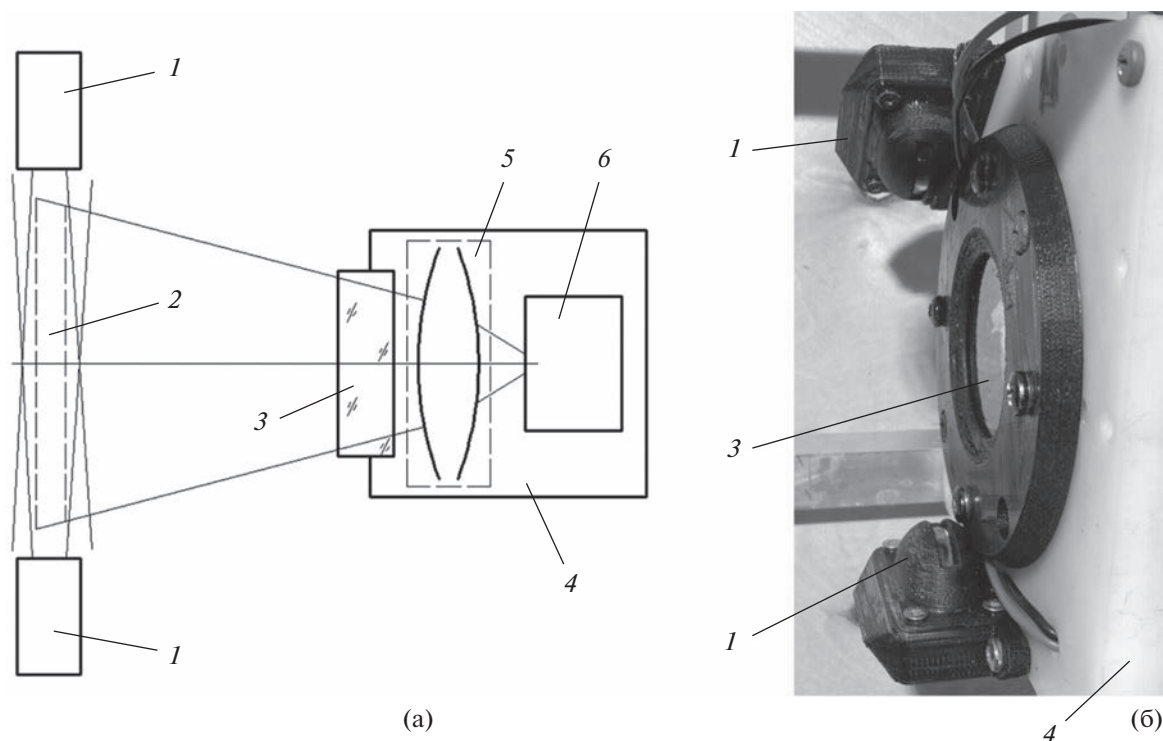


Рис. 1. Регистратор: (а) функциональная схема видеорегистрации частиц, (б) вид на входной иллюминатор и светильники зонда (1 – светодиодный светильник; 2 – регистрируемый объем; 3 – иллюминатор; 4 – бокс; 5 – объектив; 6 – цифровая камера).

ем 3.1 Мп и объектив с фокусным расстоянием 12 мм и диафрагменным числом $K = 16$.

Для связи блока управления зонда и рабочего места оператора применен грузонесущий кабель-трос с передачей видеоинформации, сигналов управления светильниками и сигнала датчика давления по одному одномодовому оптическому волокну (возможно использование кабель-троса КГ (1 × 1.0 + 3Е)-25-90 “Псковгеокабель”). С помощью согласованной пары медиаконвертеров из блока управления в судовой блок по оптическому волокну транслируются два независимых канала электрических Ethernet 100BASE-T/1000BASE-T, скорость настраивается автоматически в зависимости от подключаемого оборудования. Формат данных в оптическом волокне определяется производителем медиаконвертеров. Управление и съем цифровых изображений с камеры идет по одному из Ethernet каналов. По другому Ethernet каналу с помощью преобразователя RS485+дискретный выход/Ethernet передается сигнал датчика давления интерфейса RS485 и управление светильником через дискретный выход. Электропитание зонда осуществляется от аккумулятора блока управления зонда.

На рис. 2 приведены фотографии элементов зондирующего комплекса регистрации частиц: регистрирующий зонд с оптико-волоконным кабе-

лем на палубе НИС (2а) и состав зонда (2б). Регистратор 1 и блок управления смонтированы на алюминиевой раме 3. Погружение зонда выполняется на оптико-волоконном кабель-тросе 4. Регистрируемый объем регистратора 1 находится в нижней части зонда. В блоке управления 2 находится литий-железо-фосфатный аккумулятор с напряжением 12 В, датчик давления (глубиномер), оптико-волоконный модем, устройство преобразования интерфейсов, а также гермоввод для присоединения оптико-волоконного кабель-троса 4.

Регистрируемое поле зрения в воде составляет 20×30 мм при глубине резкости от 4 мм (при разрешающей способности 0.015 мм) и до 15 мм (при разрешающей способности 0.1 мм). Рабочая глубина погружения зонда 200 м, погрешность измерения глубины составляет $\pm 0.25\%$ от верхнего предела измерений.

Рабочее место оператора представляет собой ПЭВМ типа ноутбук с рабочим окном (рис. 2в), на котором отображается текущее цветное видеоизображение регистрируемого объема воды с взвесью и зоопланктоном (рис. 2г), а также глубина погружения прибора. В рабочем окне отображаются виртуальные кнопки управления режимами работы системы, в том числе включения стоп-кадров, управления экспозицией камеры и включения светильников.

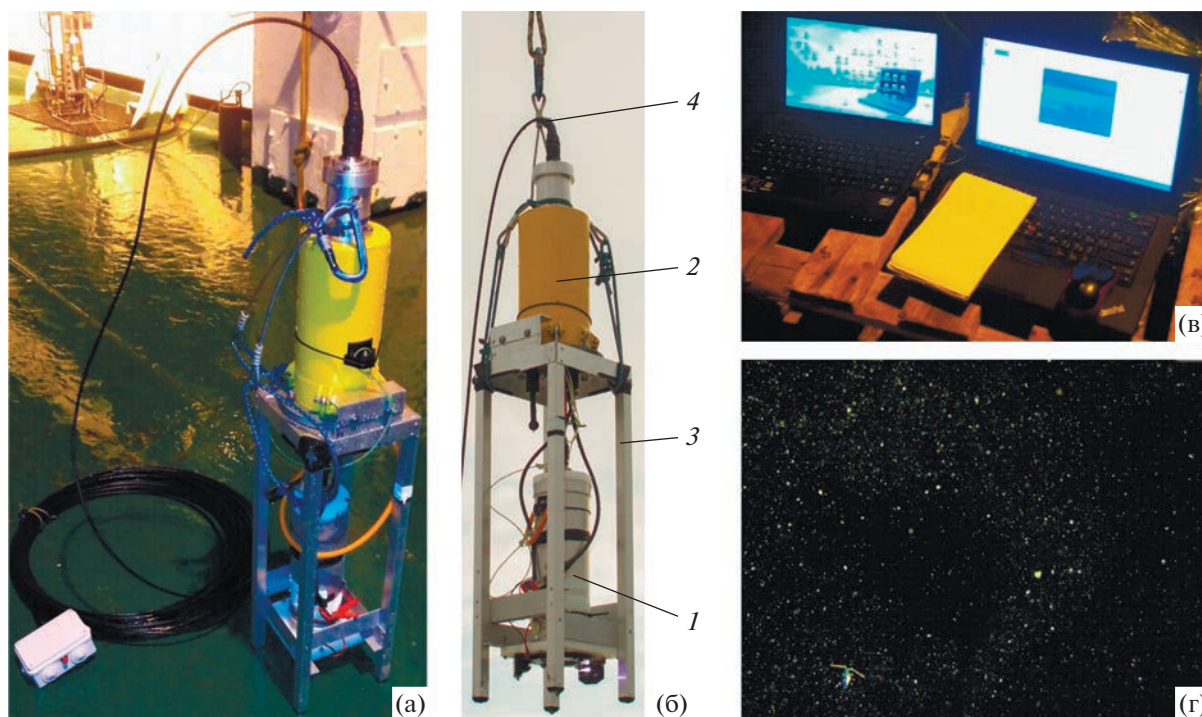


Рис. 2. Зондирующий комплекс регистрации частиц: (а) общий вид регистрирующего зонда на борту НИС Академик Мстислав Келдыш; (б) состав зонда (1 – регистратор, 2 – блок управления, 3 – алюминиевая рама, 4 – оптоволоконный кабель-трос); (в) судовой блок и рабочее место оператора; (г) экран оператора в процессе зондирования (отображается 20×30 мм в воде, изображение на мониторе примерно 16×24 см).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Зондирующий комплекс регистрации частиц применен нами для поисковых зондирований водной толщи для обнаружения различных взвешенных частиц в 85 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», выполненном в августе–сентябре 2021 г. в Карском море. Был использован кабель-трос длиной 50 м, зондирования выполнялись в заливах Новой Земли. Предыдущие исследования в Карском море показали, что в осенний период зоопланктонные сообщества в приповерхностных и средних слоях характеризуются низкой численностью и видовым разнообразием [1, 3, 7, 9, 10]. По этой причине в целом в водной толще в поле зрения регистратора зоопланктона практически не наблюдалось. Это же показывали и сетные ловы, выполняемые коллегами в этом же рейсе. Нами было сделано предположение, что искать следует у дна. Для этого вечером 12.09.21 после постановки НИС на якорную стоянку (глубина места 37 метров) было выполнено вертикальное зондирование. И в последних метрах у дна в поле зрения регистратора были замечены многочисленные представители крупного зоопланктона. Для подтверждения и документирования ситуации был выполнен повторный эксперимент с предварительной разведкой гидрофизических условий.

Следующим вечером 13.09.21, в 22:00, после выполнения дневных работ, судно было поставлено на якорь в точке, максимально близкой к той, где оно стояло накануне. Из-за уклона дна, постановка на якорь оказалась чуть в стороне, с глубиной 27 м. Был подготовлен зондирующий комплекс регистрации частиц для работы с боковой кормовой стрелы. Затем с нее было выполнено гидрофизическое зондирование до дна автономным зондом SBE 19, на рис. 3 показаны полученные при этом профили температуры и солености.

Далее выполнялись зондирующие регистрации от поверхности до дна с документированием большого количества цветных фото и видео последовательно на горизонтах 0.5, 1, 2, 5, 10, 14, 22, 24, 25, 26.1, 26.7 м. На глубинах до 24 метра наблюдались обычные для наших регистраций фоновые изображения взвеси. Ниже этой глубины и вплоть до дна были обнаружены крупные экземпляры зоопланктона. Было выполнено их визуальное определение по полученным цифровым фотографиям, это оказались *Thysanoessa* sp. из сем. Euphausiidae.

Эвфэузиевые или эуфаузииды [4] (лат. Euphausiacea) – отряд морских ракообразных из класса высших ракообразных. Объединяют около 90 видов, объединяемых в два семейства: Euphausiidae

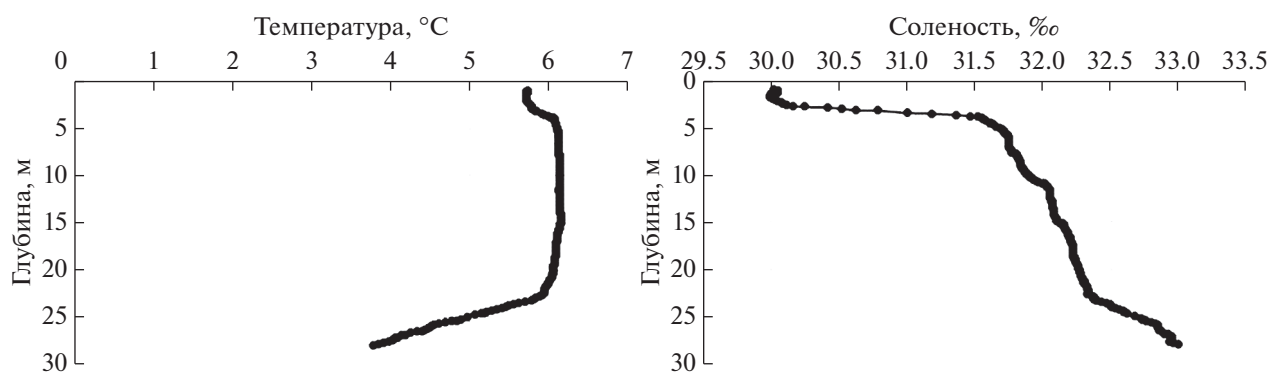


Рис. 3 Гидрофизические параметры в точке зондирования комплексом регистрации частиц (Карское море, залив Степового, координаты $72^{\circ}33.6' \text{ N } 55^{\circ}24.1' \text{ E}$, дата 13.09.21, время 22:07).

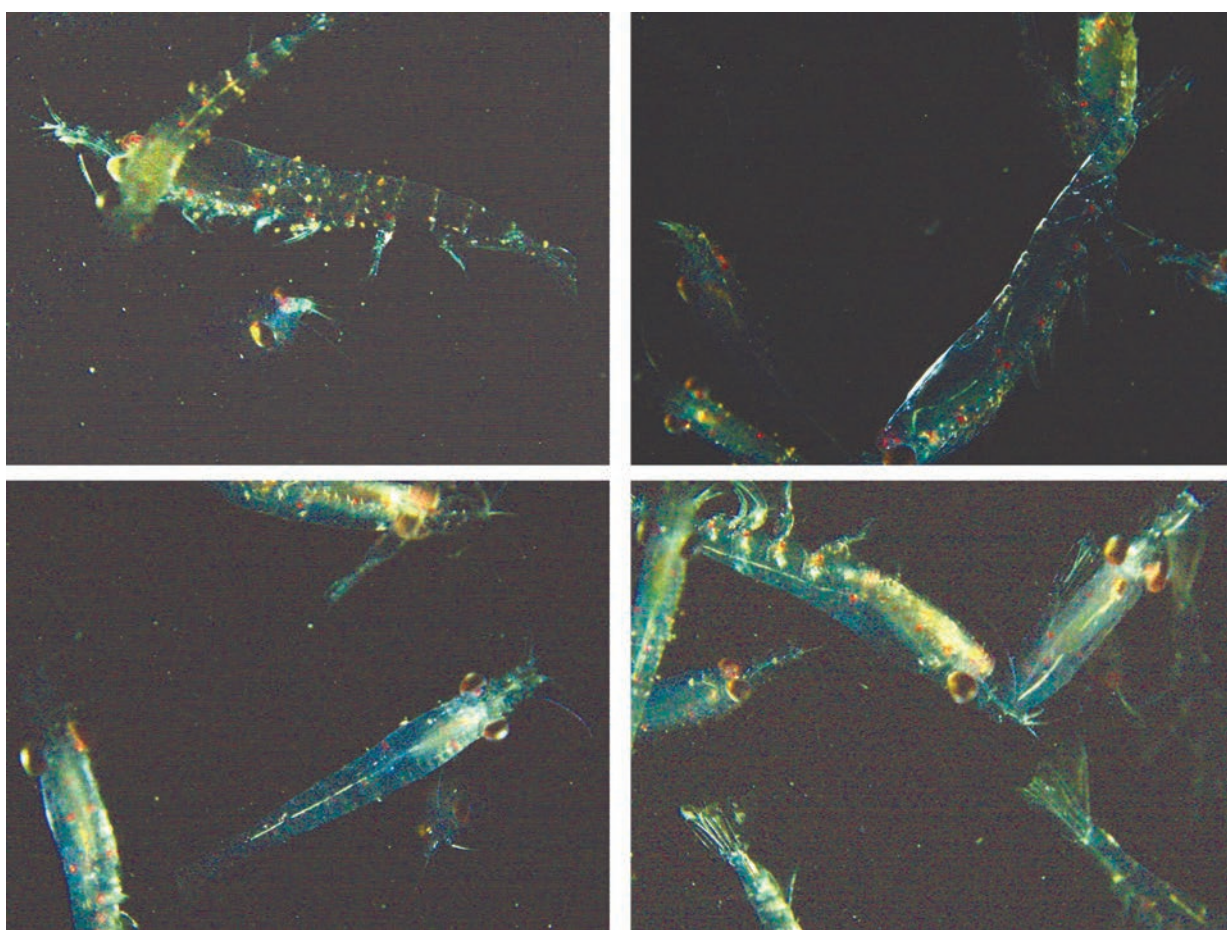


Рис. 4. Подборка фотоизображений зоопланктона, полученная с помощью зондирующего комплекса регистрации частиц, размер кадров 20×30 мм в воде (Карское море, залив Степового, координаты $72^{\circ}33.6' \text{ N } 55^{\circ}24.1' \text{ E}$, глубина 26.7 метра, дата 13.09.21, время 23:47).

(около 10 родов) и Bentheuphausiidae (единственный вид — *Bentheuphausia amblyops*). Промысловые виды эуфаузиевых известны под названием криль. В Карском море отмечено только три вида: *Thysanoessa inermis*, *T. raschii*, *T. longicaudata* [5]. Объ-

ем статьи не позволяет показать большое количество кадров, поэтому на рис. 4 представлена компактная подборка из 4 характерных фотоизображений эуфаузиид, полученная с помощью зондирующего комплекса.

Отметим, что на отдельных фото рядом с эуфаузидами встречались представители более мелкого зоопланктона, которых мы также не регистрировали в расположенных выше горизонтах водной толщи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эуфаузииды наблюдались исключительно в придонном трехметровом слое. Как видно из полученных фотографий, концентрация эуфаузиид на горизонте их обнаружения весьма высока. Глубина резкости для крупных объектов, не требующих высокого разрешения, составляет в нашей системе около 15 мм, поэтому имеем объем регистрируемой воды в кадре $3 \times 2 \times 1.5$ см, или 0.009 л. Тогда при наличии 1–2 экз. эуфаузиид в кадре получаем концентрацию до пары сотен экземпляров на литр. Однако к этим цифрам следует отнестись осторожно по нескольким причинам:

- малое поле зрения
- эуфаузииды встречались неравномерно по придонному слою, совсем не весь трехметровый слой был ими заполнен
- они могут привлекаться светом светильников регистратора, хотя для уменьшения этого эффекта свет мы периодически выключали.

Требуются дальнейшие экспедиционные исследования, при этом необходимо увеличение поля зрения регистратора зонда для мгновенной регистрации большего объема воды, что позволит более корректно оценивать максимальную концентрацию зоопланктона.

Полученные результаты показывают перспективность использования созданной аппаратуры для оперативного обнаружения, наблюдения в цвете и оценки концентрации зоопланктона *in situ*. Аппаратура может найти применение при судовых экспедиционных работах на различных акваториях, в том числе в прикладных рыбохозяйственных исследованиях для экспресс-оценки обилия объектов питания для рыбопромысловых скоплений.

Благодарность. Авторы выражают искреннюю благодарность за поддержку в проведении работы М. В. Флинту и Н. А. Римскому-Корсакову, а так-

же А. А. Недоспасову, В. И. Гагарину, И. М. Анисимову и А. А. Пронину за помощь в экспедиционной работе.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0010) при поддержке РФФИ (проект № 18-05-60070 “Арктика”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернштейн Т.П. Зоопланктон Карского моря по материалам экспедиций Арктического института на “Седове” 1930 г. и “Ломоносове” 1931 г. // Тр. Арктич. Ин-та. 1934. Т. 9. С. 3–58.
2. Буланова Н.П., Левашов Д.Е., Гайский П.В. и др. Новый лазерный планктономер “КАРП” – комплексный автономный регистратор планктона // Труды ВНИРО. 2021. Т. 184. С.140–148.
3. Виноградов М.Е., Виноградов Г.М., Николаева Г.Г. и др. Мезопланктон западной части Карского моря и Байдарацкой губы // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 709–715.
4. Ломакина Н. Б. Эуфаузииды Мирового океана (Euphausiacea). М.; Л.: Наука (Ленинградское отделение), 1978. 222 с.
5. Нестерова В.Н. Зоопланктон // Экосистема Карского моря. 2008. ПИНРО, Мурманск, С. 106–123.
6. Оленин А.Л., Бадюков И.Д., Коровчинский Н.М. и др. Видеосистема для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси // Труды ВНИРО. 2021. Т. 184. С. 149–158.
7. Пономарева Л.А. Зоопланктон западной части Карского моря и Байдарацкой губы // Тр. Ин-та океанол. АН СССР. 1957. Т. 20. С. 228–245.
8. Смирнов Г.В., Матишов Г.Г., Оленин А.Л. и др. Морские испытания многоканальной измерительно-технологической платформы // Вестник Южного научного центра. 2014. Т. 10. № 3. С. 54–60.
9. Флинт М.В., Семенова Т.Н., Арашкевич Е.Г. и др. Структура зоопланктонных сообществ в области эстуарной фронтальной зоны реки Обь // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 809–822.
10. Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Macrozooplankton of the Arctic—the Kara Sea in relation to environmental conditions // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2017. V. 188. P. 38–55.
11. Olenin A.L. Operational video surveillance of the vertical distribution of zooplankton in situ // Oceanology. 2021. V. 61. No. 6. P. 1072–1075.

Video Registration of the “In Situ” Zooplankton Vertical Distribution

A. L. Olenin^{a, #}, A. V. Mishin^a

^aShirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

[#]e-mail: olenin.al@ocean.ru

The results of the application of a probing complex for particle detection are presented on the example of detection of an accumulation of euphausiids in the bottom water layer in the Gulf of the Stepovoy Kara Sea during the 85th cruise of the R/V Mstislav Keldysh, September 2021.

Keywords: zooplankton, video recording, euphausiids, LED lamp, Kara Sea