

Видеосистема для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси

А.Л. Оленин¹,
И.Д. Бадюков²,
Н.М. Коровчинский³,
Е.А. Аустов¹

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова
РАН (ФГБУН «ИО РАН»), г. Москва

² ООО «Экоскай»

³ Институт проблем экологии и эволюции им.
А.Н. Северцова РАН (ФГБУН «ИПЭЭ РАН»),
г. Москва

E-mail: olenin.al@ocean.ru

В настоящее время измерение вертикальной структуры распределения частиц взвеси выполняют с помощью трудоёмких методов с использованием пробоотбора планктонными сетями или батометрами с последующим визуальным микроскопическим исследованием проб в условиях лаборатории. Для проведения оперативного мониторинга акваторий (экологические и рыбохозяйственные задачи) актуальна видеорегистрация планктона и иных частиц взвеси с передачей изображения в реальном времени оператору. Цветные изображения *in situ*, полученные с борта судна с помощью зондирующего устройства на грузонесущем кабеле позволяют быстро оценивать концентрацию частиц на горизонтах, визуально селектировать зоо- и фитопланктон. Приводится анализ существующей в настоящее время аппаратуры для регистрации изображений планктона, указаны её недостатки и описывается собственный опыт разработки и результаты испытаний созданной при этом оригинальной видеорегирующей аппаратуры. Описана конструкция погружаемой видеосистемы высокого разрешения (2048×1536 пикселей) с оригинальной осветительной системой со стержневыми светильниками на основе мощных белых светодиодов, мгновенно регистрируемый объем воды 150 кубических сантиметров. Показаны примеры регистрации изображений культивированных пресноводных дафний в лабораторных условиях. Приведены результаты работы с камерой в октябре 2019 года на Гидробиологической станции ИПЭЭ РАН (оз. Глубокое, Рузский район Московской области) с получением цветных изображений взвеси до глубины 30 м с одновременным измерением температуры и концентрации растворённого в воде кислорода. Последующей визуальной обработкой полученных на разных глубинах изображений получен оценочный профиль распределения зоопланктона по глубине. Результатом исследований, лабораторных и натурных испытаний стало создание системы оперативной мониторинговой видеосъёмки, позволяющей проводить визуальные исследования планктона *in situ*, показаны пути улучшения характеристик системы.

Ключевые слова: зоопланктон, взвесь, мониторинг, видеосъёмка, видеокамера, осветитель, дафния.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время измерение вертикальной структуры распределения частиц взвеси производится с помощью отработанных, но трудоёмких методов с использованием пробоотбора планктонными сетями или батометрами с последующим визуальным микроскопическим исследованием проб в условиях лаборатории.

Изучение особей зоопланктона обычно происходит в лабораторных условиях. Для отбора проб традиционно используют планктонные сети. При этом осуществляют вертикальное зондирование водной толщи мелкоячеистой сетью и все взвешенные частицы, задержанные ею, собирают

в специальный стакан. Его содержимое затем исследуется в лаборатории с помощью микроскопа. Так определяют видовой состав и распределение зоопланктона по горизонтам [Виноградов, 1983].

Для проведения оперативного мониторинга акваторий (экологические и рыбохозяйственные задачи) актуальна видеорегистрация планктона и иных частиц взвеси с передачей изображения в реальном времени оператору. Качественные цветные изображения *in situ*, полученные с борта судна с помощью зондирующего устройства на грузонесущем кабеле позволяют быстро оценивать концентрацию частиц на горизонтах, визуально селектировать зоо- и фитопланктон, при-

нимать решения о применении других методов исследований (прицельных ловов с выявленных горизонтов и т. п.)

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

С целью обеспечения исследований в режиме непрерывного зондирования к настоящему моменту разными исследователями были предложены различные технические решения. В частности, разработаны специальные счётчики планктона типа ТРАП [Левашов, 2003; Levashov, Mikheychic, 2004], позволяющие подсчитывать размерно-количественные характеристики частиц, проходящих через измерительную камеру, однако эти приборы регистрировали лишь тени от частиц, а не их изображения, что могло приводить к ошибкам.

Наиболее перспективными представляются устройства подводного видеонаблюдения, позволяющие регистрировать изображения зоопланктона непосредственно в местах его обитания. Например, известна система, которая может осуществлять видеосъёмку частиц в составе океанологического зонда-розетки. Частицы регистрируются при их проходе через измерительную камеру прибора [Picheral, Guidi, 2010]. Однако в данном приборе использовано монохромное освещение, малое количество осветителей, что делает невозможным получение качественного цветного изображения частиц.

Известна также система [Задереев, Толмеев, 2013] для определения вертикального распределения и размерной структуры зоопланктона, состоящая из погружаемого блока, включающего: цифровую цветную видеокамеру, лазерный модуль, гидростатический датчик глубины, и регистрирующего компьютера. Элементы погружаемого блока закреплены на треножном штативе. В верхней части штатива располагается направленная вниз видеокамера, помещённая в водонепроницаемый бокс с обзорным окном. Опоры штатива служат для крепления гидростатического датчика глубины и лазерного модуля, которые располагаются на одном уровне. Видеокамера и датчик глубины соединены с регистрирующим компьютером комбинированным кабелем. По кабелю осуществляется передача видеоданных и управление видеокамерой, передача сигнала с датчика глубины, а также питание видеокамеры и лазерного модуля. Лазерный модуль крепится на штативе таким образом, чтобы генерируемая лазерная плоскость была перпендикулярна глав-

ной оптической оси объектива видеокамеры, а зона видимости камеры находилась внутри границ лазерной плоскости. Расстояние от объектива камеры до лазерной плоскости выбирается с таким расчётом, чтобы исследуемые объекты, находящиеся на этом расстоянии, были достаточно хорошо различимы на видеокдрах с целью последующего определения их размера.

Недостатком системы является чёрно-белый характер изображения и очень малая глубина резкости из-за подсветки монохромным плоским лазерным пучком.

Разработка видеорегистрирующей аппаратуры (как дальнейшее развитие регистраторов, основой которых были приборы ТРАП) выполняется во ВНИРО [Левашов, Буланова, 2014].

Интересным современным методом регистрации частиц и зоопланктона является цифровая лазерная голография [Дёмин, 2008, 2018; Katz, 2010]. Однако получаемые с её помощью двумерные изображения частиц являются монохромными цифровыми реконструкциями, полученными вычислительным способом из зарегистрированной голографической картины исследуемого объёма и потому непривычны для оператора, привыкшего к реальным изображениям. Таким образом, в настоящее время, несмотря на высокий уровень развития цифровой видеотехники, отсутствуют реальные инструментальные средства для качественного оперативного цветного видеонаблюдения частиц взвеси.

Работа с камерами для видеосъёмки планктона начата нами в 2008 году в рамках выполнения проекта НИОКР по теме «Многоканальный гидролого-оптико-химический комплекс для проведения океанологических и экологических исследований на подвижных измерительных платформах» из целевой научно-технической программы «Разработка уникальных научно-исследовательских приборов и оборудования для учреждений РАН», утверждённой Президентом РАН 27.03.2008 г. Созданная регистрирующая камера описана в [Смирнов, 2014, 2015]. Камера устанавливалась на погружаемый зонд измерительно-технологической платформы, позволяющей опускать её на заданную глубину с передачей изображений по оптико-волоконному кабелю на борт исследовательского судна. Недостатками камеры являлись: низкое разрешение 1,3 Мп, размеры резко изображаемого объёма 1,5×1,5×1,5 см, отсутствие схемы управления временем экспозиции. Это приводило к плохому

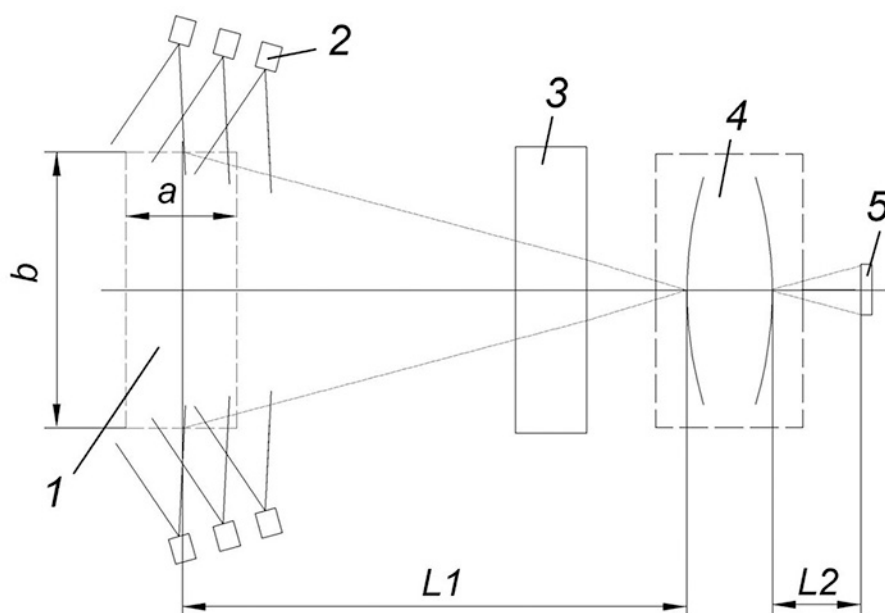


Рис. 1. Схема регистрации частиц и зоопланктона погружаемой телевизионной камерой:

1 — регистрируемый объем воды; 2 — светодиодные светильники; 3 — иллюминатор прочного глубоководного корпуса камеры; 4 — объектив; 5 — матрица телевизионной камеры

качеству изображения и его смазыванию при попытках делать снимки при высоком увеличении.

В 2017–2019 гг. мы провели дополнительные исследования и разработки с целью создать более совершенную видеосистему высокого разрешения. В общем случае схема регистрации выглядит согласно рис. 1.

Ранее, работая в режиме макросъемки с увеличением наблюдаемых предметов близким к 1 (фактически, при диагонали матрицы камеры, равной 1/2 дюйма (12 мм) мы имели диагональ регистрируемого в воде прямоугольного поля зрения равной примерно 15 мм. Однако глубина резкости при этом, даже при сильном диафрагмировании объектива, составляет буквально единицы или доли миллиметров.

В настоящее время мы используем видеосистему с увеличением от 0,1 до 0,05, что позволяет увеличить глубину резкости до 3–5 см. Применение в камере матрицы высокого разрешения позволяет не потерять качество изображения мелких деталей зоопланктона. Особое внимание мы уделяем системе освещения измеряемого объема.

Общий вид видеосистемы показан на рис. 2. Она состоит из прочного глубоководного корпуса с иллюминатором, внутри которого установлена промышленная камера технического зрения VCXG-32C (матрица формата 1/1,8" разрешением 3,1 мегапикселей (2048×1536 пикселя), тип за-



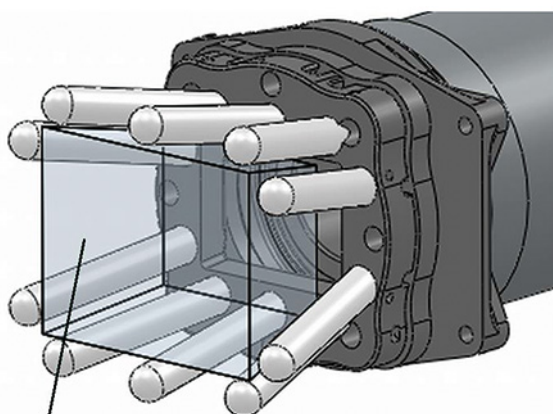
Рис. 2. Общий вид видеосистемы для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси

твора глобальный, время экспозиции кадров задается оператором, интерфейс Ethernet 1Gb).

Перед иллюминатором смонтирована оригинальная осветительная система, состоящая из нескольких выполненных в глубоководном исполнении прозрачных стержневых светильников, содержащих мощные светодиоды белого свечения. Их преимущество состоит в малых гидродинамических завихрениях регистрируемого объема при высоком уровне распределенного светового потока, создающего мало теней. Элементы новиз-

ны технических решений оформляются в настоящее время в виде заявки на патент РФ на устройство. Светильники с помощью единого кабеля с герморазъёмом могут быть подключены к прочному глубоководному корпусу блока питания. Сигнал от камеры с помощью герметичного кабеля Ethernet 1Gb может быть передан на зонд и далее по оптоволоконной линии на борт судна исследователю.

Регистрируемый видеосистемой объём воды условно показан на рис. 3, 4, он имеет основание 50×70 мм, величина объёма 150 см³ (0,15 литра), разрешающая способность внутри регистрируемого объёма равна 0,04 мм), таким образом, могут быть хорошо зарегистрированы объекты размерами от 0,5 мм и выше.



регистрируемый объём

Рис. 3. Объём воды, регистрируемый видеосистемой

На рис. 4 а, б показана регистрация пресноводных дафний в лабораторных условиях. Видеосистема была установлена в бак с пресной водой, куда были помещены культивированные дафнии. Привлекаемые светом от стержневых светильников, дафнии попадали в поле зрения камеры (дафний видно около светильников на рис. 4 б).

Фотографии дафний, полученные видеосистемой, показаны на рис. 5 а, б. Таким образом, она показала способность регистрировать частицы и давать изображение, пригодное для визуальной идентификации частиц.

Натурные испытания видеосистемы для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси выполнены нами 9–10 октября 2019 г. на Гидробиологической станции оз. Глубокое ИПЭЭ РАН Рузский район Московской области. Общий вид системы показан на рис. 6.

Видеосистема мониторинга включает в себя:

- несущая рама
- камера со стержневыми светильниками
- блок связи и питания
- грузонесущий Ethernet-кабель длиной 35 м
- судовой блок управления
- ноутбук с программным обеспечением (ПО).

Блок связи и питания содержит литий-железо-фосфатный аккумулятор, цепи формирования питающего напряжения для камеры и силовое реле для включения светодиодных светильников камеры. Включение светильников производится кнопкой с судового блока управления. Блок связи и питания содержит также

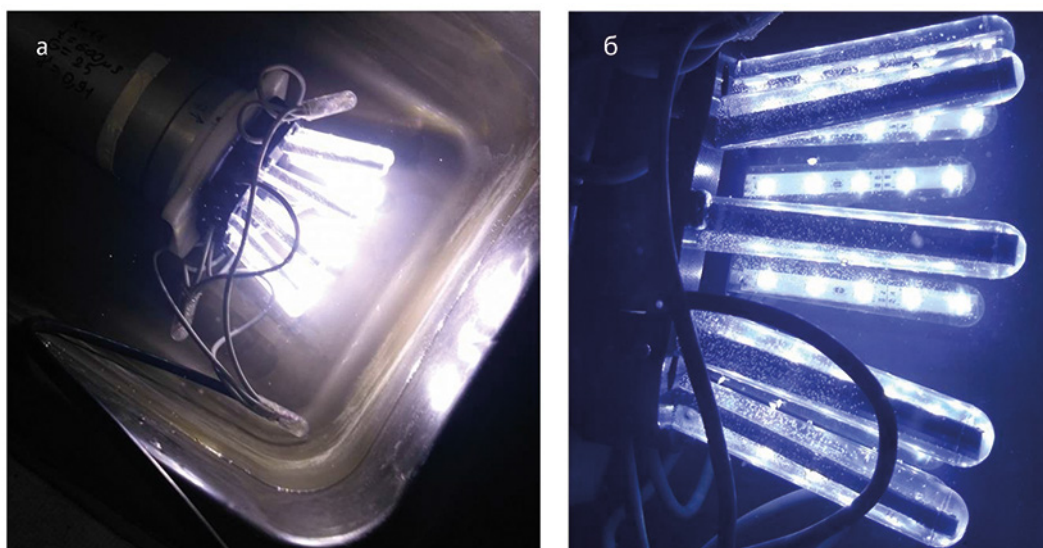


Рис. 4. Регистрация пресноводных дафний в лабораторных условиях

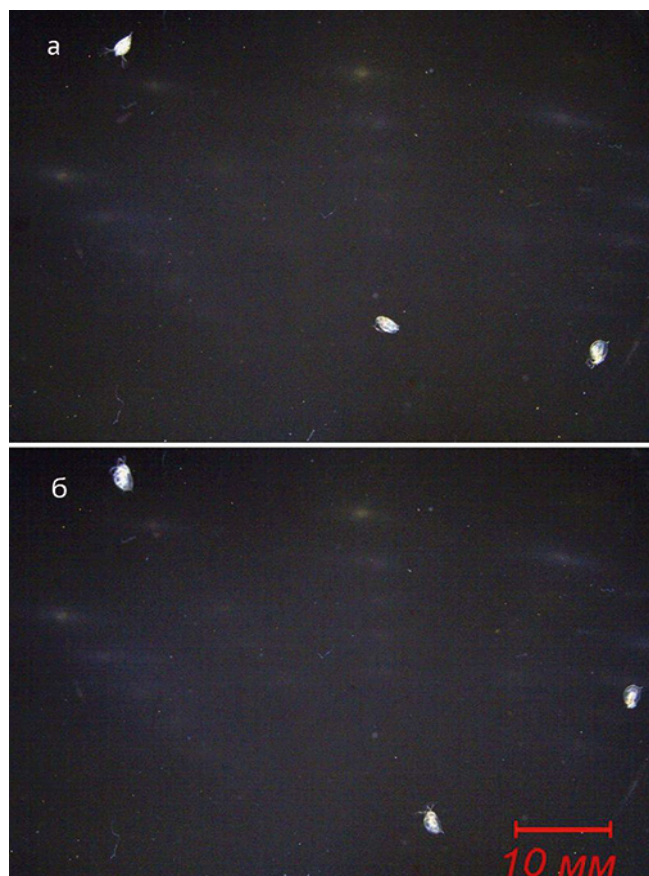


Рис. 5. Фото дафний, полученные камерой со стержневыми светильниками в лабораторных условиях

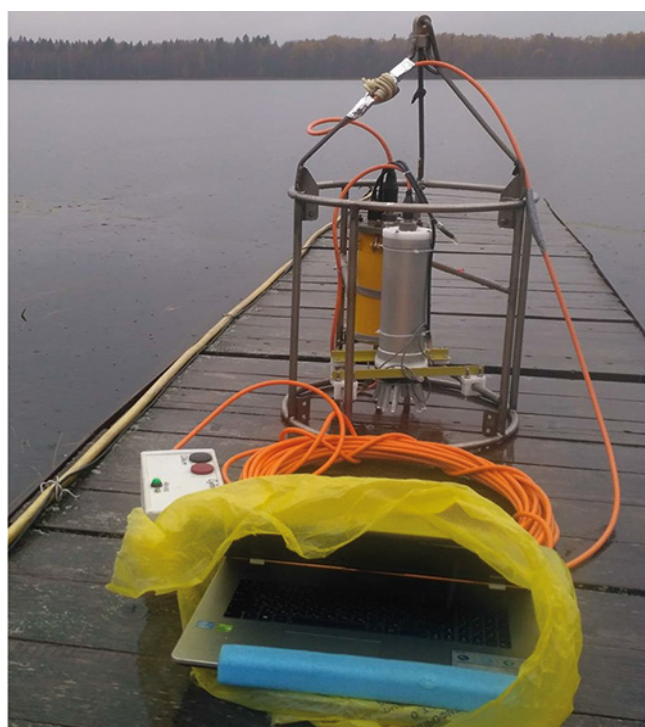


Рис. 6. Общий вид видеосистемы для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси при работе на Гидробиологической станции ИПЭЭ РАН

цифровой датчик гидростатического давления и оптико-волоконный модем. Это позволяет подключать видеосистему через оптико-волоконный кабель-трос для погружения на глубину 200 м с измерением глубины. При работе на оз. Глубокое датчик давления не задействовался (глубина определялась по цветным меткам, нанесённым через каждый метр на грузонесущем кабеле), а передача данных выполнялась по интерфейсу 1 Gb по грузонесущему кабелю с витыми парами.

Программное обеспечение отображает текущее изображение с камеры и по нажатию кнопки на экране сохраняет изображения разрешением 2048×1536 или записывает последовательность таких изображений со скоростью 5–10 к/сек длительностью 10–500 кадров для последующего воспроизведения в режиме мультипликации.

Работа выполнялась с вёсельной лодки. После постановки на якорь в точке с глубиной около 30 м с помощью портативного погружаемого термооксиметра Марк-303 (ООО ВЗОР, Нижний Новгород) были промерены профили температуры и растворённого кислорода (приведены в табл. 1 и рис. 12). Далее последовательно на глубинах 1, 4, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 21, 23, 25, 27, 29, 30 метров записывались серии одиночных фото с частотой около 1 к/сек.

Визуальный анализ фото на экране ноутбука в процессе погружения показал, что до глубины примерно 10 м встречалось достаточно много зоопланктона и мелкой взвеси, в том числе, по всей видимости, фитопланктона. Ниже глубины

Таблица 1. Температура и растворённый кислород, оз. Глубокое. 12:45. 10.10.2019

Глубина, м	Температура, °C	Кислород, мг/л
0,5	8,8	8,21
1	8,8	7,97
2	8,8	7,94
3	8,8	7,93
4	8,8	7,94
5	8,8	7,93
6	8,8	7,91
7	8,8	7,84
8	8,7	7,82
9	8,6	7,20
10	6,7	4,27
15	4,1	0,0965
20	4,1	0,0511
25	4,0	0,05

10 м резко уменьшилось количество зоопланкто-
ров, что очевидно связано с соответствующим
измеренным резким падением концентрации

растворённого кислорода. На рис. 7–11 приведе-
ны характерные примеры изображений, полу-
ченных при погружении.

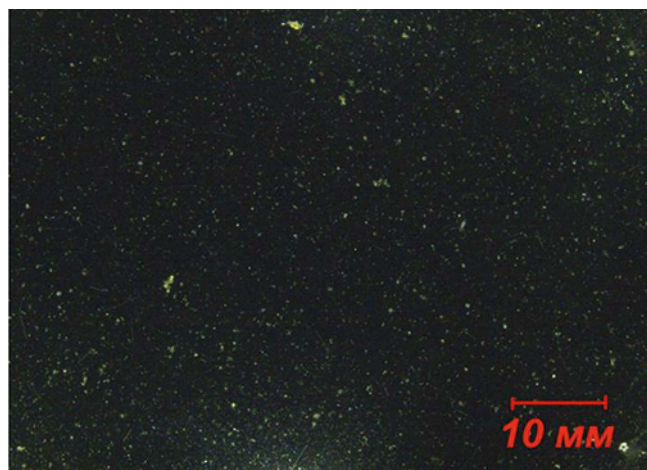


Рис. 7. Снимок на глубине 4 метра, температура 8,8 °С, кислород 7,94 мг/л

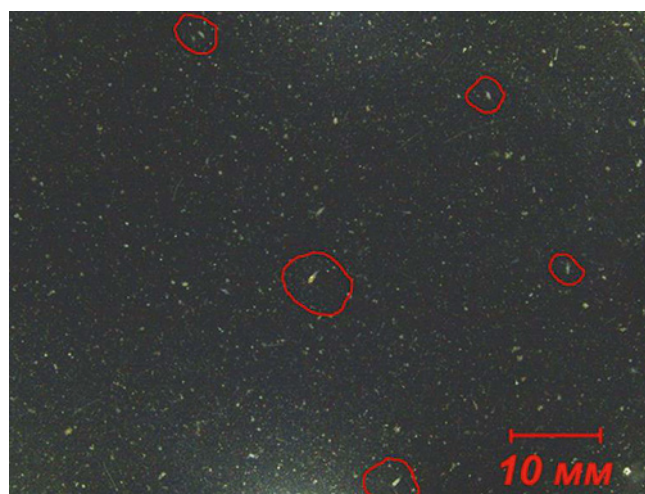


Рис. 9. Снимок на глубине 9 метров, температура 8,6 °С, кислород 7,2 мг/л; красным обведены организмы зоопланктона

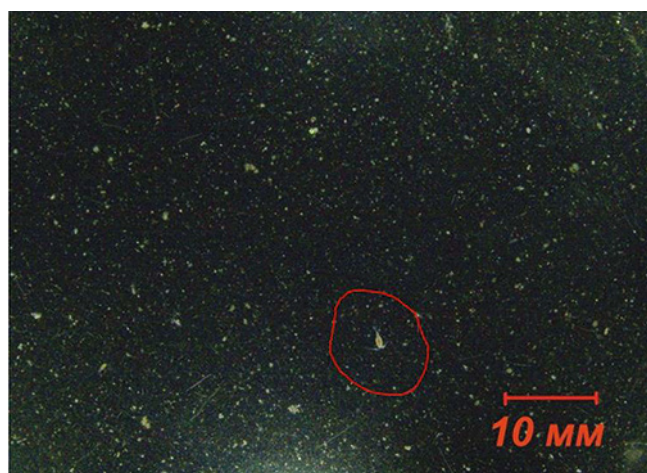


Рис. 8. Снимок на глубине 8 метров, температура 8,7 °С, кислород 7,82 мг/л, красным обведены организмы зоопланктона

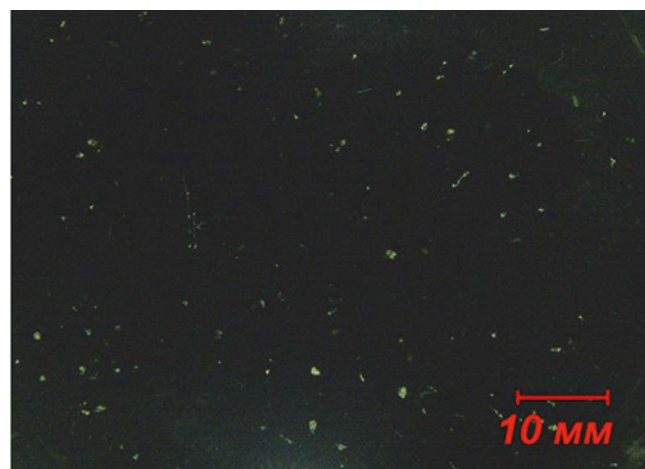


Рис. 10. Снимок на глубине 20 метров, температура 4,1 °С, кислород 0,0511 мг/л

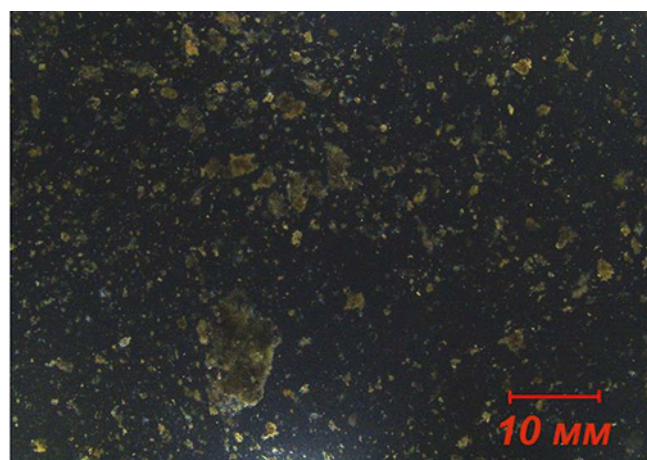


Рис. 11. Снимок на глубине 28 метров, частицы донных отложений, поднятые со дна приближением рамы погружаемого устройства, температура 4,0 °С, кислород 0,05 мг/л

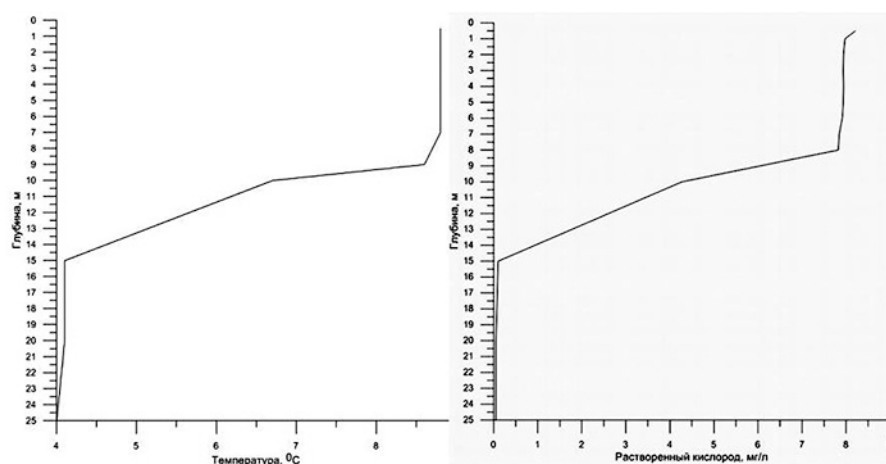


Рис. 12. Профили температуры и растворённого кислорода, оз. Глубокое 12:45. 10.10.2019

Отметим, что размер линейного поля в пространстве предметов (в воде) на рис. 7–11 равен 50×70 мм, т. е. мы видим увеличенное изображение регистрируемого объёма воды.

Обработкой изображений, полученных видеорегистрацией частиц взвеси построен оценочный профиль распределения зоопланктона по глубине на оз. Глубокое 10.10.2019 г. На каждом горизонте было выбрано по 18 изображений, на каждом из которых визуальнo подсчитано количество зоопланктеров (на изображениях встречалось от 0 до 6 зоопланктеров, т. е. столько их встречалось на объем 0,15 л) и затем взято среднее по всем 18. Профиль этой средней концен-

трации, пересчитанный с объёма 0,15 л на 1 м^3 представлен на рис. 13.

Общую концентрацию частиц необходимо подсчитывать автоматически без распознавания с использованием плагинов на Java или OpenCV, на данном этапе эту работу мы не проводили.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённой работы создана видеосистема для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси, позволяющая проводить оперативные визуальные исследования *in situ*. Использование оригинальной осветительной системы позволяет получать цветное изображение частиц планктона, что обеспечивает более удобную визуальную селекцию частиц разных типов. Данной камерой разрешением 3 Мп наиболее эффективно наблюдать непрерывно поступающие изображения с конкретного горизонта глубины в реальном времени (или просматривать запись мультимпликации из последовательности кадров) когда видны движения зоопланктеров. Одиночные изображения позволяют оценивать общую концентрацию частиц и оценивать типы крупных экземпляров планктона. Общую концентрацию частиц возможно подсчитывать автоматически без распознавания с использованием самостоятельно написанных плагинов на Java или иных языках программирования с использованием библиотек OpenCV.

Намечены пути улучшения работы системы:

- необходимость увеличения разрешающей способности камеры
- устранение выявленных остаточных паразитных засветок
- конструкторская перекомпоновка системы с целью уменьшения размеров

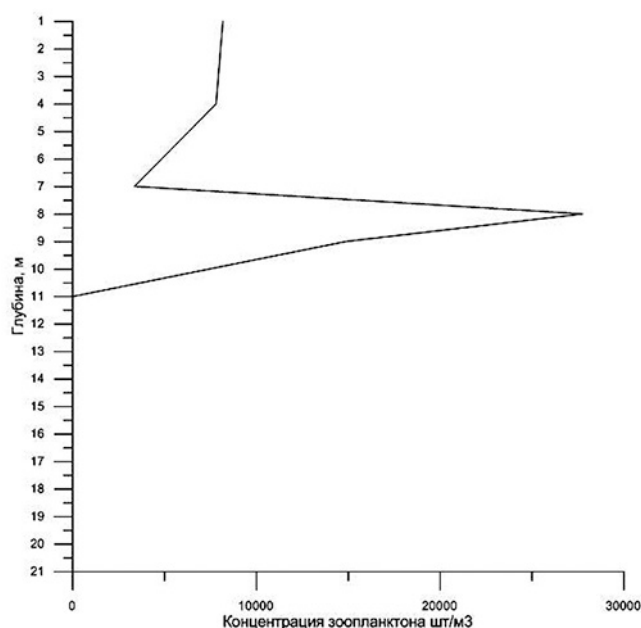


Рис. 13. Оценка концентрации зоопланктона

– использование оптико-волоконной линии передачи с подключением гидрофизических датчиков и проведение исследований в условиях морской экспедиции.

Данная работа показывает правильность и реализуемость обозначенных требований к видеосистеме для оперативного мониторинга зоопланктона и частиц взвеси.

ЛИТЕРАТУРА

- Виноградов М.Е. (Ред.) 1983. Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М.: Наука, 279 с.
- Дёмин В.В., Оленин А.Л., Половцев И.Г., Каменев Д.В., Козлова А.С., Ольшуков А.С. 2018. Морские испытания цифрового голографического модуля с использованием измерительно-технологической платформы // Океанология. Т. 58. № 5. С. 817–828.
- Дёмин В.В., Ольшуков А.С., Наумова Е.Ю., Мельник Н.Г. 2008. Цифровая голография планктона // Оптика атмосферы и океана. Т. 64. № 12. С. 1089–1095.
- Задереев Е.С., Толмеев А.П. 2013. Способ определения вертикального распределения и размерной структуры зоопланктона в водоёме: Патент РФ RU2495451. Бюл. № 28.
- Левашов Д.Е. 2003. Техника экспедиционных исследований: Инструментальные методы и технические средства оценки промыслово-значимых факторов среды М.: Изд-во ВНИРО. 400 с.
- Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2014. Подводный видеорегистратор планктона. Патент на полезную модель РФ № RU148827 U1, заявл. 18.07.2014. Бюл. № 35.
- Смирнов Г.В., Матишов Г.Г., Оленин А.Л., Аистов Е.А., Григоренко К.С., Степаньян О.В. 2014. Морские испытания многоканальной измерительно-технологической платформы // Вестник ЮНЦ Т. 10. № 3. С. 54–60.
- Смирнов Г.В., Оленин А.Л. 2015. Зонд гидролого-оптико-химический. Патент РФ RU2551670, заявл. 19.08.2013. Бюл. № 15.
- Katz J., Sheng J. 2010. Application of Holography in Fluid Mechanics and Particle Dynamics // Annu. Rev. Fluid Mechanics. V. 42. P. 531–555.
- Levashov D.E., Mikheyich P.A., Sedov A. Yu., Kantakov G.A., Voronkov A.P. 2004. Laser plankton meter TRAP-7A, a new sensor for CTD probing // Sea Technology. 45 (2). 61–65.
- Picheral M., Guidi L., Stemmann L., Karl D.M., Iddaoud G., Gorsky G. 2010. The Underwater Vision Profiler 5: An advanced instrument for high spatial resolution studies of particle size spectra and zooplankton // Limnol. Oceanogr.: Methods, 8, 462–473.

Поступила в редакцию 13.08.2020 г.
Принята после рецензии 02.10.2020 г.

Video system for monitoring zooplankton and suspended particles

A.L. Olenin¹,
I.D. Badyukov²,
N.M. Korovchinskij³,
E.A. Aistov¹

¹ P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS
(«SIO RAS»), Moscow, Russia

² «EcoSky» LLC

³ A.N. Severtsov Institute of Ecology and
Evolution RAS («SIEE RAS»), Moscow, Russia

At present, the measurement of the vertical structure of the distribution of particulate matter is performed using labor-intensive methods using sampling with plankton nets or bathometers, followed by visual microscopic examination of samples in a laboratory. For real-time monitoring of water areas (ecological and fishery tasks), video recording of plankton and other particulate matter with real-time image transmission to the operator is relevant. Colored in situ images obtained from a ship using a probe on a carrying cable make it possible to quickly estimate the concentration of particles at the horizons, and visually select zoo and phytoplankton. An analysis of the currently existing equipment for recording plankton images is given, its shortcomings are indicated, and our own experience in the development and test results of the original video recording equipment created in this case is described. The design of a high-resolution submersible camera (2048x1436 pixels) with an original lighting system with rod lamps based on powerful white LEDs, an instantly recorded volume of 150 cubic centimeters, is described. Examples of registration of images of cultured freshwater daphnia in laboratory conditions are shown. The results of work with the camera in October 2019 at the Hydrobiological Station of A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution (Lake Glubokoe, Ruzsky District of the Moscow Region) with obtaining color images of suspended matter to a depth of 30 m with simultaneous measurement of the temperature and concentration of oxygen dissolved in water are presented. By subsequent visual processing of the images obtained at different depths, an estimated profile of the distribution of zooplankton in depth was obtained. The result of research, laboratory and field tests was the creation of an operational monitoring video recording system that allows visual studies of plankton in situ; ways to improve the characteristics of the system are shown.

Keywords: zooplankton, suspension, monitoring, video recording, video camera, lamp, daphnia.

REFERENCES

- Vinogradov M.E. (Red.) 1983. Sovremennye metody kolichestvennoj ocenki raspredeleniya morskogo planktona [Modern methods for quantifying the distribution of marine plankton] M.: Nauka, 279 s.
- Dyomin V.V., Olenin A.L., Polovcev I.G., Kamenev D.V., Kozlova A.S., Ol'shukov A.S. 2018. Morskie ispytaniya cifrovogo golograficheskogo modulya s ispol'zovaniem izmeritel'no-tekhnologicheskoy platformy [Marine tests of a digital holographic module using a measuring and technological platform] // Okeanologiya. T. 58. № 5. S. 817–828.
- Dyomin V.V., Ol'shukov A.S., Naumova E. Yu., Mel'nik N.G. 2008. Cifrovaya golografiya planktona [Digital holography of plankton] // Optika atmosfery i okeana. T. 64. № 12. S. 1089–1095.
- Zadereev E.S., Tolomeev A.P. 2013. Sposob opredeleniya vertikal'nogo raspredeleniya i razmernoj struktury zooplanktona v vodoyome [Method for determining the vertical distribution and size structure of zooplankton in a reservoir]. Patent RF RU2495451 Byul. № 28.
- Levashov D.E. 2003. Tekhnika ekspeditsionnyh issledovanij: Instrumental'nye metody i tekhnicheskie sredstva ocenki promyslovo-znachimyh faktorov sredy [Technique of expeditionary research: Instrumental methods and technical means of assessing field-significant environmental factors] M.: Izd-vo VNIRO. 400 s.
- Levashov D.E., Bulanova N.P. Podvodnyj videoregistrator planktona [Plankton Underwater Video Recorder]. Patent na poleznuyu model' № RU148827 U1, priority 18.07.2014. Byul. № 35.
- Smirnov G.V., Matishov G.G., Olenin A.L., Aistov E.A., Grigorenko K.S., Stepanyan O.V. 2014. Morskie ispytaniya mnogokanal'noj izmeritel'no-tekhnologicheskoy platformy [Marine tests of a multichannel measuring and technological platform] // Vestnik YNC. T. 10. № 3. S. 54–60.
- Smirnov G.V., Olenin A.L. 2015. Zond gidrologo-optiko-himicheskij [Hydrological-optical-chemical probe]. Patent RF RU2551670, priority 19.08.2013. Byul. № 15.
- Katz J., Sheng J. 2010. Application of Holography in Fluid Mechanics and Particle Dynamics // Annu. Rev. Fluid Mechanics. V. 42. P. 531–555.
- Levashov D.E., Mikheyich P.A., Sedov A. Yu., Kantakov G.A., Voronkov A.P. 2004. Laser plankton meter TRAP-7A,

a new sensor for CTD probing // *Sea Technology*. 45 (2). 61–65.

Picheral M., Guidi L., Stemmann L., Karl D.M., Iddaoud G., Gorsky G. 2010. The Underwater Vision Profiler 5: An

advanced instrument for high spatial resolution studies of particle size spectra and zooplankton // *Limnol. Oceanogr.: Methods*, 8, 462–473.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Temperature and dissolved oxygen, Glubokoe Lake 12:45 10.10.19

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Scheme of registration of particles and zooplankton by a submersible television camera: 1 – recorded volume of water; 2 – LED lamps; 3 – porthole of a durable deep-sea camera body; 4 – lens; 5 – matrix of a television camera

Fig. 2. General view of the video system for monitoring zooplankton and particulate matter

Fig. 3. Volume of water recorded by the video system

Fig. 4. Registration of freshwater daphnia in laboratory conditions

Fig. 5. Photos of daphnia obtained by a camera with rod lamps in laboratory conditions

Fig. 6. General view of the video system for monitoring zooplankton and particulate matter during operation at the Hydrobiological Station IPEE RAS

Fig. 7. Snapshot at a depth of 4 meters, temperature 8.8 °C, oxygen 7.94 mg/l

Fig. 8. Image at a depth of 8 meters, temperature 8.7 °C, oxygen 7.82 mg/l, zooplankton organisms are circled in red

Fig. 9. Snapshot at a depth of 9 meters, temperature 8.6 °C, oxygen 7.2 mg/l; zooplankton organisms are circled in red

Fig. 10. Snapshot at a depth of 20 meters, temperature 4.1 °C, oxygen 0.0511 mg/l;

Fig. 11. Photo at a depth of 28 meters, particles of bottom sediments raised from the bottom by approaching the submerged device frame, temperature 4.0 °C, oxygen 0.05 mg/l

Fig.12. Profiles of temperature and dissolved oxygen, Glubokoe Lake 12:45 10.10.19

Fig. 13. Assessment of zooplankton concentration