

Новый лазерный планктономер «КАРП» — комплексный автономный регистратор планктона

*Н.П. Буланова¹,
Д.Е. Левашов¹,
П.В. Гайский²,
Д.А. Иващенко¹,
Л.И. Литвиненко³,
К.В. Куцанов³*

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

² Морской гидрофизический институт (ФГБНУ «МГИ»), г. Севастополь

³ Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (Госрыбцентр), Тюмень

E-mail: nata@vniro.ru

Разработан и испытан действующий макет нового лазерного планктомера — комплексного автономного регистратора планктона «КАРП». Приведено описание устройства прибора. Проведены исследования характеристик прибора по возможности регистрации науплий, цист и рачков артемии, мальков различных видов рыб и некоторых видов планктона в рыборазводных танках и аквариумах. Также приведены результаты полевых испытаний прибора «КАРП» в июле 2019 г., проведённых совместно со специалистами Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» на озере Соленое Тюменской области. Произведена оценка влияния дневной паразитной засветки и предложены пути её минимизации. Показаны предварительные результаты доработки прибора и предложены перспективные варианты его использования в качестве дополнительного датчика в составе зондирующих и буксируемых СТД-комплексах — на НИС для оценки размерно-количественных характеристик мезопланктона, как кормовой базы рыбных скоплений, а также в полевых работах, связанных с промышленным разведением артемии на мелководных водоёмах.

Ключевые слова: НИС, СТД, мезопланктон, датчик, зонд, лазер, видеокамера, регистратор, артемия, дафния.

ВВЕДЕНИЕ

Для ликвидации разрыва, существующего в методиках судовых исследований основных гидролого-гидрохимических параметров воды, получаемых в реальном времени с помощью СТД-зондов и традиционными методами исследования планктона, в ФГБНУ «ВНИРО» на основе имеющегося патента ВНИРО [Левашов, Буланова, 2014] и ранее проведённых экспериментов [Левашов, Буланова, 2020], разрабатывается лазерный планктономер КАРП — комплексный автономный регистратор планктона. Новый измеритель должен интегрироваться в состав комплексов на основе СТД-зондов, используемых на рыбохозяйственных НИС, что может позволить проводить предварительную оценку кормовых запасов промысловых скоплений, выявляя трофическую структуру сообществ на основе оптоэлектронных методов визуализации и определения размерно-количественных характеристик мезопланктона непосредственно в водной толще.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследованиях использовалось устройство для анализа пространственного распределения и оценки запасов артемии в гипергалинных водоёмах, которое представляет собой макет комплекса автономного регистратора планктона («КАРП»), созданного по ТЗ, разработанному в Отделе техники экспедиционных исследований ФГБНУ «ВНИРО» совместно со специалистами лаборатории гидрофизических и биоэлектронных измерительных систем ИПТС (г. Севастополь).

В процессе разработки и макетирования устройства для анализа пространственного распределения частиц мезопланктона проводились эксперименты в аквариумах и водоёмах. Работы проводились в три этапа:

1. Экспериментальные исследования и оценка работы макета «КАРП» в лабораториях ФГБНУ «ВНИРО», с использованием танков с мальками различных видов рыб, аквариумов с пресной и солёной водой с мальками рыб, науплиями ар-

темии и прочими свободно плавающими микро-объектами.

2. Полевые испытания устройства макета «КАРП», проводимые в июле 2019 г. на озере Со-лёное Тюменской области.

3. Доработка прибора по результатам поле-вых испытаний.

Для проведения экспериментов с макетом «КАРП» использовались стеклянный аквариум в лаборатории ФГБНУ «ВНИРО» объёмом 210 л, наполовину заполненный солёной (30‰) или пресной водой. При использовании пресной воды в ней находились свободно плавающие рачки дафний (*Daphnia*) размером 3–5 мм. С тех-нической точки зрения и в плане характеристик регистрации частиц планктона того или иного вида организмов значимого различия не выявле-но. Дополнительно использовался малый узкий аквариум объёмом примерно 2 л, располагаю-щийся между иллюминаторами модулей. Для оценки чёткости фокусировки камер применя-лась стандартная телевизионная таблица, лами-нированная для возможности работы в воде.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведённых ранее работ с технологическими платформами типа КЭП [Ле-вашов, Буланова, 2020], разработан и изготовлен рабочий макет прибора «КАРП», который состоит из бортового устройства (БУ) и погружного устройства (ПУ), соединённых герметизирован-ным кабелем длиной 3 м (рис. 1).

Описание конструкции прибора

В качестве основы БУ использован микро-компьютер типа Compute Strick в комплектации Intel Atom 1800МГц/2ГбDD3/32ГбSD Memory с внешними портами 1USB3.0/1USB2.0/WiFi/

Bluetooth4.0/microSDcard/HDMI под управлени-ем ПО Windows10 в комплекте с жидкокристал-лическим дисплеем — 7" 1024×600/HDMI/USB Touch. Вместе с преобразователями напряжений для них весь комплект размещён в стандартный герметизированный корпус G218C с внешними размерами 222×146×55 мм с прозрачной крыш-кой. Все внешние разъёмы БУ имеют герметизи-рованное исполнение. Энергопитание БУ с на-пряжением 12 В постоянного тока подается от внешнего стабилизированного блока питания (БП) 220 В/12В или от внешних аккумуляторов.

Конструкция макета ПУ прибора состоит из трёх пластин из конструкционного пластика тол-щиной 10 мм, соединённых в П-образную кон-струкцию, в центре верхней части которой рас-полагается водозащищенный пластиковый ци-линдрический контейнер с иллюминатором в торце и установленным внутри модулем виде-окамеры. Для проведения экспериментов выбра-на камера Razer KIYO USB2.0 (разрешение виде-осъёмки — 1920×1080 пиксель, 60 fps; фотосъём-ки — 2668×1520/3840×2160 пиксель). Её объек-тив с переменным фокусным расстоянием в со-четании с интерфейсом USB позволяет в режиме онлайн определять оптимальное фокусное рас-стояние с целью подстройки и юстировки взаим-ного расположения модулей.

В нижней части П-образной рамы установле-ны контейнеры аналогичной конструкции с мо-дулями лазерной подсветки. В качестве освети-телей для модулей лазерной подсветки исполь-зовались два красных лазера с цилиндрической оптикой: RL-250 (650–680нм, 250 мВт, 12В) и CarLaser (650нм, 100мВт, 8–36В), которые для удобства экспериментов и возможности парал-лельного наблюдения расположены на макете во встречно-направленном положении так, что фик-

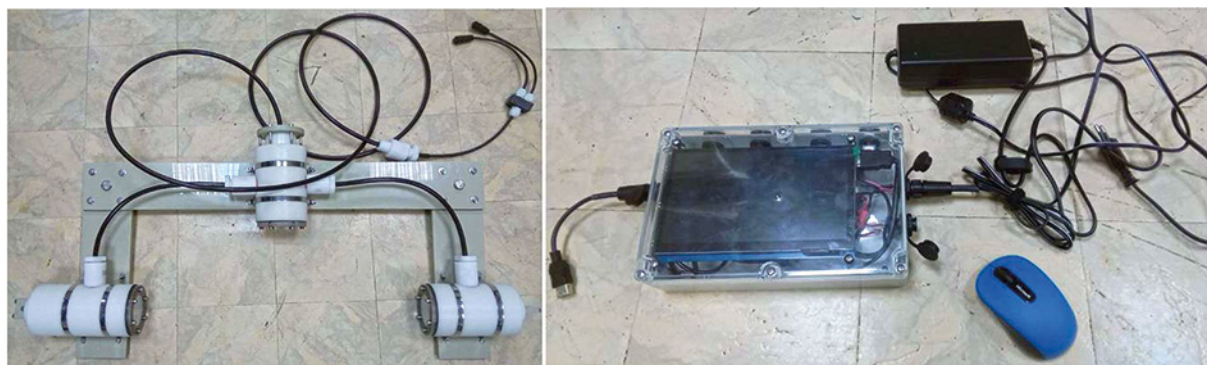


Рис. 1. Общий вид макета устройства для анализа пространственного распределения частиц мезопланктона «КАРП» (слева ПУ, справа БУ)

сируемые объекты находятся в одной плоскости, одновременно освещаемые с двух сторон. Все блоки соединены между собой герметичными кабелями. Размерные соотношения оптической схемы прибора соответствуют использованным в конструкциях технологических платформ типа КЭП (рис. 2).

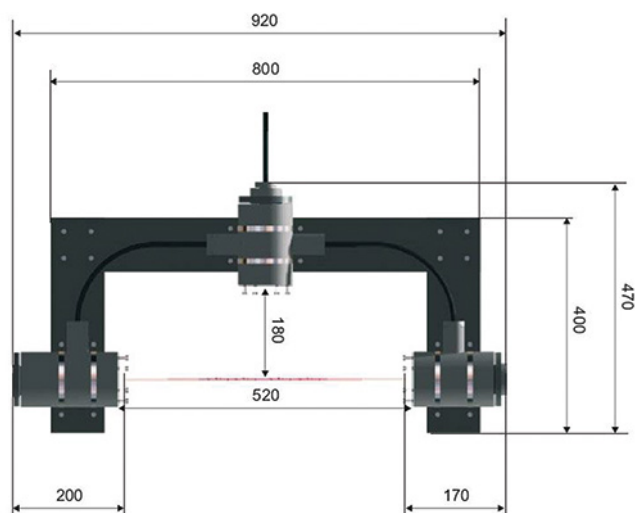


Рис. 2. Общий вид и размеры макета комплексного автономного регистратора планктона «КАРП»

При работе с БУ в среде ПО Windows10 используется фирменное ПО для камеры Razer KIYO. Для управления используется беспроводный манипулятор типа «мышь». Для съёмки фото повышенного разрешения, заявленного в технических характеристиках камеры, использовалось стороннее ПО, которое не имеет возможности снимать видео такого же высокого разрешения. Изображение с камеры можно наблюдать на встроенном ЖК экране БУ через прозрачную крышку. По окончании работ полученные данные переносятся на внешний носитель для последующего детального просмотра записей и дополнительного анализа на стационарном ПК.

Такая конструкция спроектирована с целью последующего проведения экспериментов в природных водоёмах, глубиной до 1 м с питанием от аккумуляторов 12 В, обеспечивающих автономную работу в полевых условиях.

Экспериментальные исследования в лабораторных условиях

На первом этапе все эксперименты проводились в аквариальных танках с пресной водой, как при выключенном внешнем освещении, так и при наличии засветки лампами дневного освеще-

щения с использованием красного светофильтра, установленного перед иллюминатором камеры. На рис. 3 изображён работающий макет с двумя включёнными лазерами в танке с мальками.

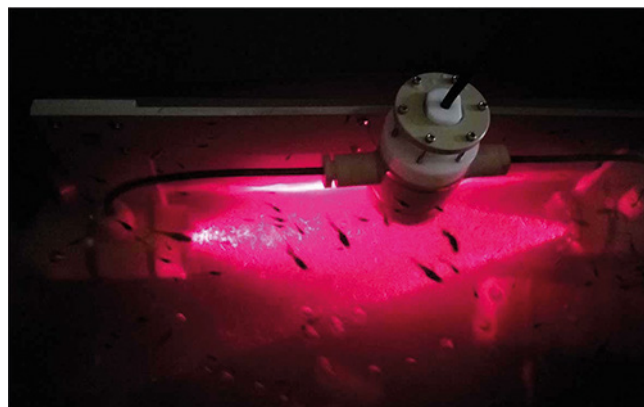


Рис. 3. Макет комплексного автономного регистратора планктона «КАРП» в танке с мальками

При оценке работы модуля с лазером CarLaser установлено, что при наличии дневной засветки подсветка объектов не обеспечивает достаточной контрастности изображения для выделения объектов для её дальнейшей обработки. Установка перед модулем видеокамеры светофильтра КС17, не пропускающего свет в видимой части спектра до 650 нм, значительно повысила контрастность изображения, но при этом была потеряна возможность фиксации малоразмерных объектов в связи со снижением уровня общего освещения из-за малой мощности лазера; объекты размером менее 3–4 мм не регистрировались.

Использование модуля с лазером RL-250 показало, что при наличии дневной засветки, подсветка объектов также не обеспечивает достаточной контрастности изображения для выделения объектов. Однако установка светофильтра КС17 как и в первом случае, значительно повысившая контрастность, не позволила снизить чувствительность прибора к фиксации малоразмерных объектов по причине более высокой мощности лазера 250 мВт. По экспертной оценке регистрировались объекты размером примерно до 1 мм.

Исследовалась также одновременная работа обоих модулей подсветки. При этом была зафиксирована регистрация перекрёстного паразитного рассеяния света от лазеров на объектах, которое значительно снижало качество изображения. Одновременно выявлена сложность сведения (юстировки) световых плоскостей от обоих лазеров

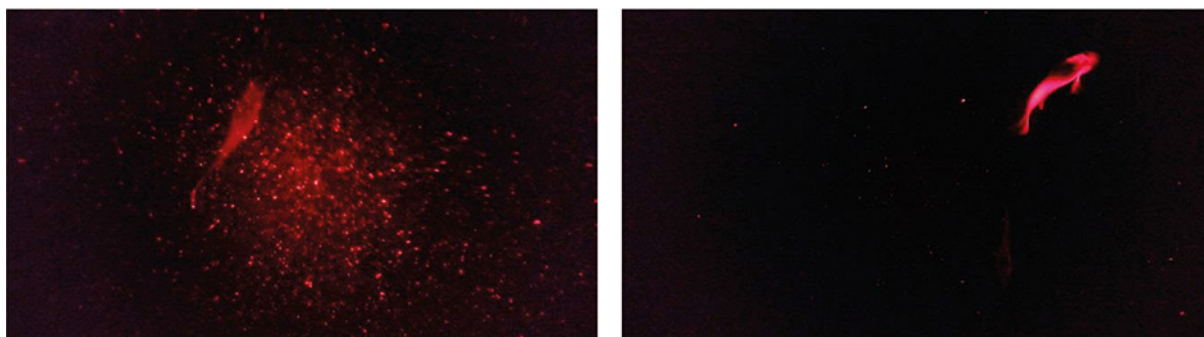


Рис. 4. Изображения, полученные макетом комплексного автономного регистратора планктона «КАРП»

в одну плоскость. На рис. 4 показаны изображения, полученные при помощи действующего макета.

С учётом полученных результатов при первоначальных экспериментах в танках на втором этапе был разработан и изготовлен рабочий стенд для исследования и оценки характеристик действующего макета «КАРП». В качестве главного элемента стенда был выбран стеклянный аквариум, общей вместимостью 210 л, в котором были созданы условия (солёность воды ~ 30‰,

температура ~25 °С) для поддержания жизни объектов исследования — артемии. Макет размещался в аквариуме таким образом, чтобы обеспечить возможность визуального наблюдения и проведения съёмки (рис. 5).

В начале эксперимента была проведена предварительная оценка видимости объектов, которая реализована при помощи вспомогательного аквариума меньшего размера (80×80×340 мм), помещённого в рабочий объём прибора (рис. 6а).

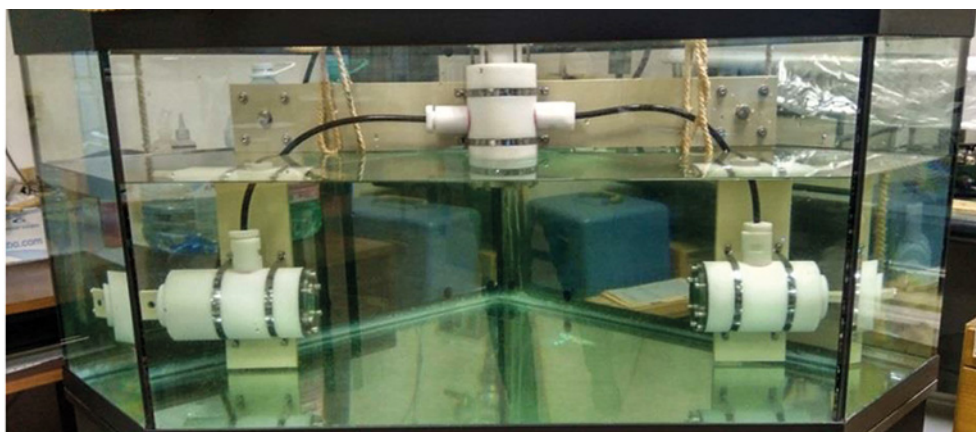


Рис. 5. Рабочий стенд — действующий макет устройства в аквариуме с солёной водой

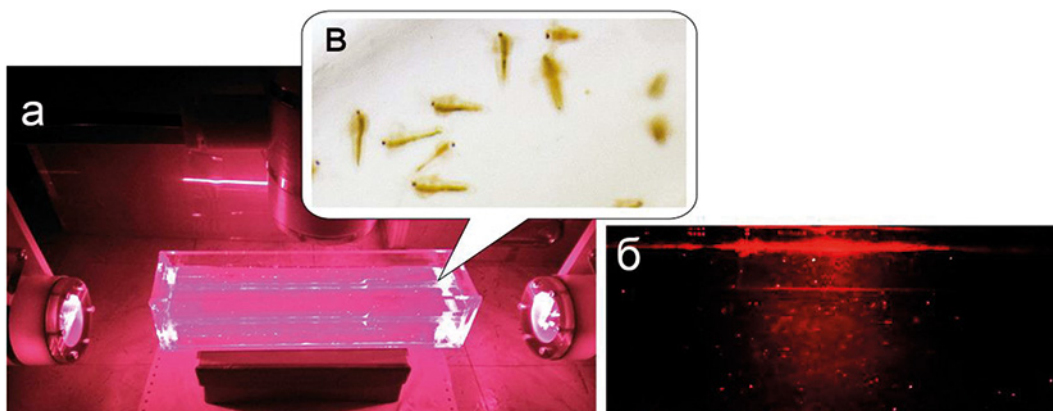


Рис. 6. Экспериментальная съёмка науплий в малом аквариуме

Характерный снимок объектов, полученный с видеорегистратора макета, представлен на рис. 6б. Использовались науплии артемии размером менее 1 мм (фото макросъёмки — рис. 6в), помещённые в малый аквариум.

Далее проводились эксперименты в большом аквариуме (рис. 7 слева), где было установлено ПУ макета.

Производился выпуск науплий артемии при помощи штемпель-пипетки, выходное отверстие которой было расположено в непосредственной близости к рабочему световому объёму. Один из таких моментов показан на фрагменте кадра с видеорегистратора макета (рис. 7 справа). Такая методика была выбрана для прицельного выпуска объектов с максимальной вероятностью попадания в пространство рабочего светового объёма прибора.

Полученные результаты показали, что прибор способен зафиксировать объекты, размером менее 1 мм — такие, как используемые образцы науплий артемии (рис. 8), но с большой погрешностью, поскольку на 1 мм размера регистрируемого объекта приходится примерно 10 пикселей на

приёмной матрице видеорегистратора и по полученным снимкам трудно отличить исследуемые объекты от пузырьков воздуха или частиц посторонней взвеси.

На рис. 8 показаны фотоснимки науплий у выходного отверстия в штемпель-пипетке перед выпуском в большой аквариум (а) и при просмотре под микроскопом с мерной пластиной (б).

Как показано на рис. 8б, типичный размер объекта составлял примерно 0,8 мм в длину и 0,2 мм в ширину.

Полевые испытания прибора

Полевые испытания прибора «КАРП» проведены в несколько этапов в период с 15 по 17 июля 2019 г. совместно со специалистами Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр») на озере Солёное Тюменской области (площадь озера 0,75 км², средняя глубина 0,8 м). Водоём находится в Бердюжском районе Тюменской области, рядом с селом Окунёво (55°42'16.1" N 68°41'13.2" E).

Параллельно с регистрацией зоопланктона комплексом «КАРП» был проведён отбор планктонных проб, согласно методике [Литвиненко



Рис. 7. Экспериментальная съёмка науплий в большом аквариуме

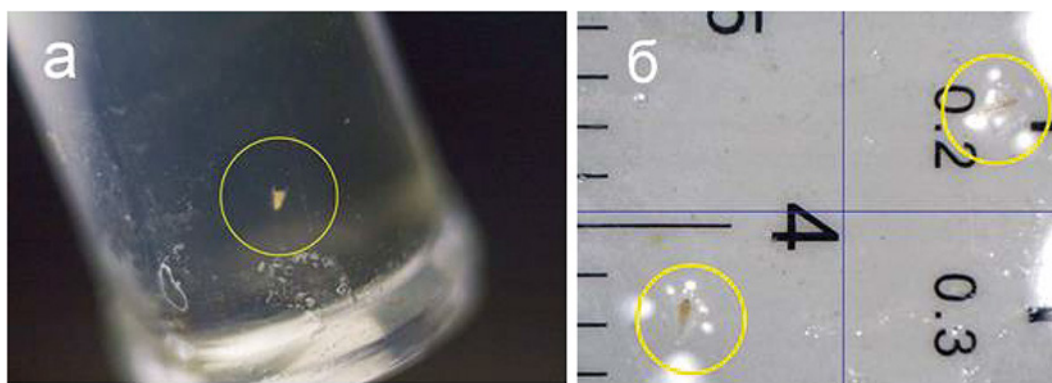


Рис. 8. Экспериментальные фотоснимки науплий

и др., 2019], количественной сетью Апштейна с размером ячеи № 46–52 и входным отверстием 25 см² протяжкой от дна, (глубина 1 м) на трёх станциях. В период отбора гидробиологических проб и испытания прибора (16.07.2019 г.) абиотические условия были следующими: солёность по рефрактометру – 84‰, температура воды – 28,7 °С, содержание растворённого кислорода – 6,5–8,4 мг/л, рН – 8,13, жёсткость – 540 Ж, цветность – 48 град., перманганатная окисляемость 45,6 мгО/л, БПК₅ – 5,9 мгО₂/л, глубина – 1 м, прозрачность – 0,5 м. Таким образом, испытание прибора проходило в условиях водоёма, относящегося к эвтрофным по большому количеству органических веществ и высокоминерализованным – по содержанию солей.

Во время апробации прибора был проведён отбор проб зоопланктона на трёх станциях. В планктоне по численности преобладали цисты артемии и веслоногие рачки *Cletocamptus retrogressus* Schm, по биомассе – личинки мухи-береговушки рода *Ephydra* Fallén, 1810. Артемия была представлена только предвзрослыми рачками и цистами. Фитопланктон из озера Солёное, отобранный 04.07.2019, был весьма беден с численностью не более 0,02 млн кл./л, биомассой – не более 0,01 мг/л. Плотность артемии в озере по результатам предварительных биологических проб была крайне мала для масштабного испытания прибора – всего 0,02–0,08 экз./л на станциях и в среднем по озеру – 0,05 экз./л, в связи с чем эксперименты проводились также в специальном бассейне, подготовленном для инкубации цист (рис. 9).



Рис. 9. Оз. Солёное и специальный бассейн для инкубации цист артемии

Съёмка регистратором планктона («КАРП») проводилась по 10 минут, в безоблачную погоду со светофильтром и повторно без светофильтра для понимания ясности кадров.

В вечернее время съёмка проводилась в бассейне без светофильтра. При апробации прибора в бассейне можно было чётко различить следующие объекты: рачки артемии длиной 7,4 мм и их цисты, диаметром около 300 мкм. При использовании светофильтра в дневное время чёткость очертания объектов зоопланктона увеличивается (рис. 10).

Проведённые полевые испытания прибора показали, что прибор в натуральных условиях способен регистрировать отдельные экземпляры рачков и цист артемии, которые попадают в реперный объём, при этом экспериментально подтверждена возможность определения размеров регистрируемых объектов с точностью до 0,1 мм.

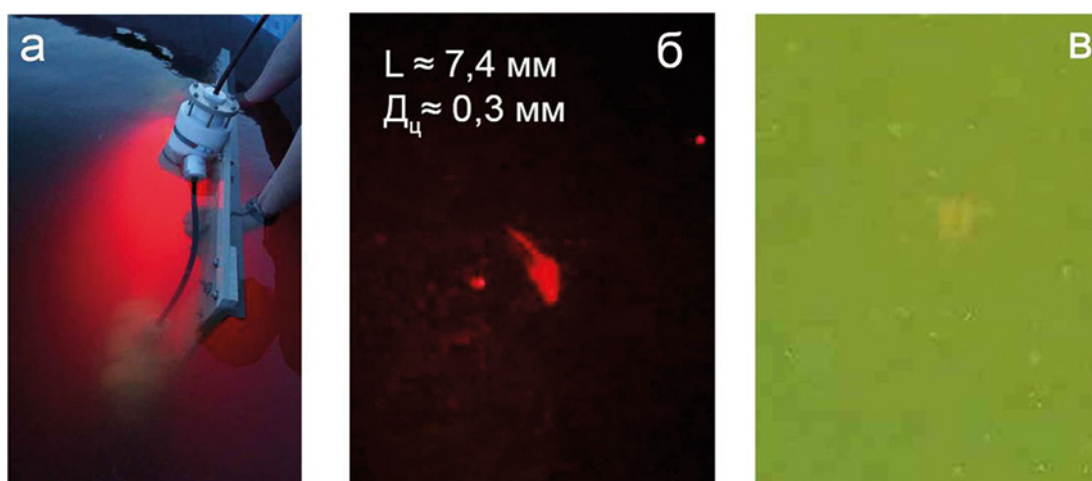


Рис. 10. Прибор в бассейне вечером (а); кадр регистрации экземпляра артемии, полученный со светофильтром (б); кадр в условиях дневной засветки без светофильтра (в)

Вместе с тем, в процессе экспериментов были выявлены некоторые конструктивные недостатки прибора. Наиболее важным оказалось то, что использование в конструкции камеры автоматической фокусировки в данном случае неприемлемо, так как в некоторых случаях камера пытается сфокусироваться на объектах, находящихся вне реперного объёма, что грозит искажением размерно-количественных характеристик объектов в процессе работы. Также, в случае дальнейших работ, связанных с применением прибора «КАРП» для полевых работ с артемией, следует принять во внимание следующие особенности гипергалинных водоёмов: высокая солёность (от 70 до 300 г/л и более), высокое содержание органических веществ (БПК₅ — до 8 мгО₂/л и более; ПО — до 78 мгО₂/л и более), мелководность (глубина от 0,1 до 1,0 м).

Доработка прибора по результатам полевых испытаний

Для ликвидации основных недостатков, выявленных при полевых испытаниях, наиболее оптимальным способом оказалась смена установленной видеокамеры на веб-камеру модели Defender G-lens 2577 HD720p, с ручной установкой фокуса объектива со стеклянной линзой (5 слоёв). Для оценки результативности выбранного решения проведены эксперименты в аквариумах. На этот раз использовались рачки дафний размером 3–5 мм. Экспертная оценка их концентрации в начале экспериментов составляла 40 экз./л. Использование этих рачков вместо артемии обусловлено широкой распространённостью и неприхотливостью дафний, а также возможностью применения пресной воды вместо солёной. С технической точки зрения и в плане характеристик регистрации частиц планктона того или иного вида значимого различия не выявлено. Типичный вид планктона в световой плоскости ла-

зера представлен на рис. 11. Слева — вид на включённый прибор и световую плоскость сверху, справа — кадр, зарегистрированный прибором в реперном участке световой плоскости со вставкой, выделенной измеренной особью дафнии. Оценка чёткости фокусировки с учётом декларируемого и проверенного по испытательной таблице разрешения, представляется достаточной. Вычисленный размер отдельно взятой особи равен 3,11 мм, что составляет 33 пикселя. На рис. 11 также представлено выделенное изображение отдельной особи с оценкой линейных размеров.

Учитывая перспективность дальнейшего использования прибора для полевых работ, связанных с артемией, были проведены предварительные экспериментальные исследования, направленные на оценку возможности использования прибора в мелководных водоёмах в условиях паразитной дневной засветки. С этой целью было принято решение использовать ИК-лазер. Однако, в связи с сильным затуханием ИК-излучения в воде, требуемая мощность лазера должна быть значительно больше используемого до этого красного лазера (250 мВт). Поскольку ИК-лазер с необходимыми характеристиками сразу найти не удалось, для этих целей была использован доработанный «зелёный» лазер типа L-303 с длиной волны 532 нм, с декларируемой мощностью 1000 мВт. Удалив из оптической схемы лазера преобразователь длины волны излучения — кристалл титанила-фосфата калия (КТiОPO₄, сокращённо КТР), был получен ИК-лазер с длиной волны 808 нм.

Для экспериментов использовался малый аквариум. ИК-лазер вместе с цилиндрической линзой и выходным зрачком располагался вплотную и перпендикулярно к большей стенке аквариума с тем, чтобы сформированная плоскость лазерного ИК-излучения была в той же области, что

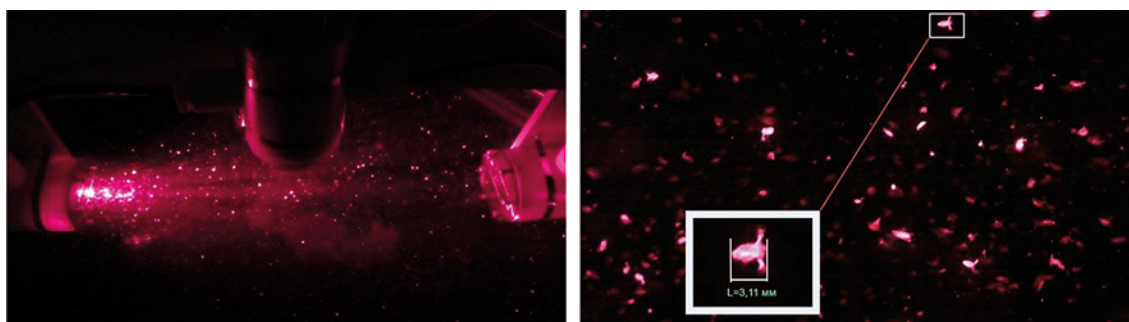


Рис. 11. Экспериментальная съёмка дафний в большом аквариуме

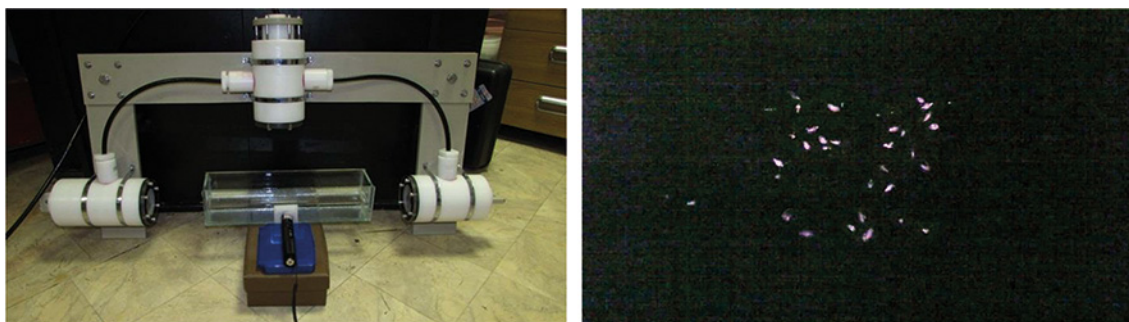


Рис. 12. Экспериментальная съёмка дафний в малом аквариуме

и предусмотренная в приборе плоскость красного излучения, которая при данном эксперименте включена не была. Данная экспериментальная установка показана на левой части рис. 12.

На правой части рис. 12 показано смонтированное для наглядности искусственное изображение из 10 кадров, сделанных прибором в реперном участке световой плоскости в малом аквариуме. Полученный результат подтверждает возможность использования лазерного ИК-излучения для замены красного. Вместе с тем, мощность использованного лазера оказалась мала, в связи с чем на объективе видеокамеры не устанавливался ИК-светофильтр, который ещё более снизил бы чувствительность камеры в данном эксперименте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых экспериментальных исследований с разработанным прибором «КАРП» уточнены его конструктивные решения, в частности, в качестве осветителя для упрощения юстировки целесообразнее использовать только один лазер и необходимо использовать видеокамеру с возможностью неавтоматической фокусировки объектива.

Проведённые эксперименты позволили оценить минимальную размерную границу, при которой данный прибор способен зафиксировать объекты, размером менее 1 мм, типичные размеры которых составляли примерно 0,8 мм в длину и 0,2 мм в ширину. Вместе с тем, для регистрации объектов меньших размеров с необходимой чёткостью необходимо использовать модель видеокамеры с большим разрешением.

Полученные результаты экспериментов позволяют считать перспективным создание на основе исследуемого действующего макета конкретных приборов, которые могут использоваться в двух направлениях:

— для оценки размерно-количественных характеристик мезопланктона, как кормовой базы рыбных скоплений, на НИС [Буланова, 2016] в составе зондирующих или буксируемых комплексов на основе СТД-зондов, а также в системах прокачки заборной воды в качестве дополнительного измерителя;

— для полевых работ, связанных с промышленным разведением артемии в качестве полевого прибора.

В последнем случае требуются дополнительные исследования и эксперименты, так как, если в первом варианте в качестве излучателя достаточно мощности в 250 мВт красного лазера, то для второго варианта необходим достаточно мощный ИК-лазер, позволяющий освещать объекты в специфической водной среде на расстоянии до 350 мм.

ЛИТЕРАТУРА

- Буланова Н.П. 2016. Новый шаг в оснащении современных зарубежных НИС — лазерные планктонометры и видеорегистраторы планктона // Морские суда для рыбопромысловых исследований 2010–2015 гг. М.: Изд-во ВНИРО. С. 180–182.
- Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2020. Разработка экспериментальных технологических платформ и исследования на их основе с целью создания нового лазерного планктонометра // Труды ВНИРО. Т. 182. С. 182–190
- Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2014. Подводный видеорегистратор планктона. Патент РФ. № 148 827. Бюл. № 35.
- Литвиненко Л.И., Бизиков В.А., Ковачева Н.П., Саенко Е.Н., Веснина Л.В., Куцанов К.В., Семик А.М., Паршин-Чудин А.В. 2019. Методические рекомендации по оценке запаса и прогнозированию рекомендованного объёма добычи (вылова) артемии. М.: ВНИРО. 50 с.

Поступила в редакцию 16.07.2020 г.
Принята после рецензии 02.10.2020 г.

New plankton laser meter «KARP» – comprehensive autonomous plankton recorder

N.P. Bulanova¹,
D.E. Levashov¹,
P.V. Gaysky²,
D.A. Ivaschenko¹,
L.I. Litvinenko³,
K.V. Kutsanov³

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

² Institute of Natural and Technical Systems («INTS»), Sevastopol, Russia

³ Tyumen' branch of VNIRO (Gosrybtsentr), Tyumen', Russia

A prototype of a new laser plankton recorder was developed and tested. The device description is presented. The possibility of registering nauplii, cysts and mature individuals of artemia, fry of various species of fish and some species of plankton were investigated in fish tank and aquariums. The results of field tests of the model of the device in July 2019, carried out jointly with the specialists of the Tyumen branch of "VNIRO" on the Solyonoe Lake of the Tyumen Region, are presented. The impact of daylight on the layout was evaluated. Solutions have been proposed to minimize it. The preliminary results of the refinement of the device were shown and promising options for its use as an additional sensor in the probing and towed CTD complexes at the RV were proposed. The device is being developed to estimate the size and quantitative composition of mesoplankton, which is the food base of fish stocks as well as for the field research related to the industrial breeding of artemia.

Keywords: RV, CTD, mesoplankton, sensor, probe, laser, video camera, recorder, artemia, daphnia.

REFERENCES

- Bulanova N.P. 2016. Novyj shag v osnashchenii sovremennykh zarubezhnykh NIS – lazernye planktonometry i videoregistratory planktona [Laser plankton meter and plankton video recorder – new step in modern foreign research vessels equipment] // Morskoe suda dlya rybopromyslovykh issledovaniy 2010–2015 gg. M.: Izd-vo VNIRO. S. 180–182.
- Levashov D.E., Bulanova N.P. 2020. Razrabotka eksperimental'nykh tekhnologicheskikh platform i issledovaniya na ikh osnove s tsel'yu sozdaniya novogo lazernogo planktonomera [Development of experimental technology platforms and research on their basis in order to create a new laser plankton meter] // Trudy VNIRO. T. 182. S. 182–190
- Levashov D.E., Bulanova N.P. Podvodnyj videoregistrator planktona [Plankton underwater video recorder]. Patent na poleznuyu model'. Zayavka № 2014129440/28(047512) ot 18.07.2014.
- Litvinenko L.I., Bizikov V.A., Kovacheva N.P., Saenko E.N., Vesnina L.V., Kutsanov K.V., Semik A.M., Parshin-Chudin A.V. 2019. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke zapasa i prognozirovaniyu rekomendovannogo ob'ema dobychi (vylova) artemii [Methodological recommendations on stock assessment and forecasting of recommended catch (yield) of Artemia]. M.: VNIRO. 50 s.

FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** View of the layout of unit for analyzing the spatial distribution of mesoplankton «KAPП» submersible device (left) and control unit (right)
- Fig. 2.** General view and size of the layout of the integrated autonomous plankton recorder
- Fig. 3.** Layout of the comprehensive autonomous plankton recorder «KAPП» in a tank with fish fry.
- Fig. 4.** Images obtained using the layout of the comprehensive autonomous plankton recorder «KAPП»
- Fig. 5.** Testing stand – working model of the device in a saltwater aquarium
- Fig. 6.** Experimental shooting of nauplii in a small aquarium
- Fig. 7.** Experimental shooting of nauplii in a large aquarium
- Fig. 8.** Experimental photos of nauplii
- Fig. 9.** The Solyonoe lake and a special pool for the incubation of Artemia cysts
- Fig. 10.** The device in the pool in the evening (a); a frame of the individual of artemia (6); a frame in daylight without a filter (b)
- Fig. 11.** Experimental shooting of daphnia in a large aquarium
- Fig. 12.** Experimental shooting of daphnia in a small aquarium