

Техника для рыбохозяйственных исследований

УДК 574.586:681.7

Разработка экспериментальных технологических платформ и исследования на их основе с целью создания нового лазерного планктомера*Д.Е. Левашов, Н.П. Буланова*

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

E-mail: levashov@vniro.ru

Разработаны и испытаны четыре варианта двух типов экспериментальных технологических платформ с целью создания нового лазерного планктомера. Проведены исследования на их основе по возможности регистрации личинок тилапии (6–8 мм) и осетровых (длиной 12–15 мм) в рыбо-разводных танках. Также проведены натурные испытания как в открытых ёмкостях с водой хозяйственного назначения, расположенных под открытым небом и со сложившимся изолированным биоценозом (бочки, лотки объёмом 200 л и более), так и на акваториях естественных водоёмов Москвы и Подмоскovie (р. Яуза, р. Вондига и оз. Торбеево). Произведена оценка влияния дневной паразитной засветки и предложены пути её минимизации. Анализ испытаний разработанных технологических платформ (макетов) типа «КЭП» и результатов экспериментальных исследований, проведённых на их основе, показал правильность выбранных конструктивных решений. Наиболее удачным вариантом оказался макет типа «КЭП-2». Выбранные конструктивные решения будут использованы в разработке действующего макета прибора, как нового инструмента исследований.

Ключевые слова: НИС, СТД, измерители, планктон, частица, счётчик, датчик, зонд, лазер, фотоприёмник, регистратор.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-182-182-190

ВВЕДЕНИЕ

В практике судовых океанологических исследований существует методологический разрыв между оценкой основных гидрофизических и гидрохимических параметров воды, получаемых в реальном времени с помощью современной зондирующей аппаратуры, и традиционными методами исследования планктона с помощью трудоёмкого отбора проб планктонными

сетями с последующим анализом под микроскопом. Применение различных конструкций автоматических планктонособирателей, планктон-регистраторов, а также лабораторных цифровых микроскопов несколько сокращает этот разрыв, но в принципе не позволяет получать информацию о качественных и количественных характеристиках планктона в реальном масштабе времени.

Для оперативного исследования пространственного распределения планктона требуется автоматизированная аппаратура, позволяющая вести регистрацию и анализ организмов непосредственно в водной толще. С технической точки зрения для получения данных о распределении и характеристиках частиц планктона наиболее перспективными являются приборы, основанные на оптическом методе получения информации [Левашов, 2014]. В последнее время появился ряд разработок, в которых в той или иной мере эта проблема получает частичное решение в виде экспериментальных конструкций [Буланова, 2016; Островский, Оленин, 2018; 2019]. Однако, оптимальное и эффективное решение, позволяющее использовать такой прибор в качестве дополнительного измерителя в составе стандартных СТД-зондов пока не получено. Такой измеритель, интегрируемый в состав комплексов на основе СТД-зондов, используемых на рыбохозяйственных НИС, разрабатывается в ФГБНУ «ВНИРО» на основе полученного патента на полезную модель [Левашов, Буланова, 2014]. Он должен позволить проводить предварительную оценку кормовых запасов промысловых скоплений и выявлять трофическую структуру сообществ на основе оптоэлектронных методов визуализации и определения размерно-количественных характеристик мезопланктона непосредственно в водной толще.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На первом этапе исследований было разработано два варианта Комплекса Экспериментального Планктономера (КЭП). Макеты-прототипы будущего лазерного измерителя планктона являются экспериментальными технологическими платформами и необходимы для проведения натурных исследований с целью выбора, реализации, отработки и обоснования основных технических характеристик, а также конструктивных и методических решений, необходимых для создания лазерного измерителя планктона. Реализация макетов с целью минимизации бюджета выполнена с максимальным

использованием готовых узлов, модулей и блоков.

Для проверки работоспособности, настройки оптических систем макетов и для экспериментов использовались стеклянный аквариум ёмкостью 210 л и пластиковые танки объёмом 400 и 500 л с личинками тилипии (6–8 мм) и осетровых (длиной 12–15 мм) с пресной водой, а также титановый бак объёмом 216 л с морской водой. Натурные испытания проводились как в открытых ёмкостях с водой хозяйственного назначения, расположенных под открытым небом и со сложившимся изолированным биоценозом (бочки, лотки объёмом 200 л и более), так и на акваториях естественных водоёмов Москвы и Подмосковья (р. Яуза, р. Вондига и оз. Торбеево).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из проведённой ранее классификации [Левашов, Буланова, 2016] используемый принцип действия соответствует варианту с матричным фотоприёмником, позволяющим регистрировать изображение случайно ориентированной частицы планктона, проходящего через световую плоскость с возможностью определить 2-мерную размерность на этом изображении.

В состав прибора в качестве функциональных модулей входят: осветитель-излучатель (полупроводниковый лазер), формирующий световую плоскость, и матричный приёмник информации об изображении исследуемых частиц планктона (видеокамера), направление зрения которого перпендикулярно световой плоскости. Благодаря такой боковой подсветке, в которой свет освещает образец, как будто тот находится на чёрном фоне, увеличивается контрастность изучаемых микрообъектов. В результате такой способ съёмки позволяет достаточно точно определить размеры освещаемого реперного объёма, а благодаря его малой толщине, легко установить требуемую глубину резкости и повысить точность определения размерных характеристик исследуемых объектов.

В качестве модуля осветителя использованы готовые лазерные «генераторы линии»,

которые, благодаря встроенной цилиндрической оптике, позволяют из коллимированного лазерного луча сразу получить световую плоскость необходимых размеров. В частности, в данном случае использовался излучатель LJ-01, генерирующий красный свет на длине волны 650 нм.

Для модуля видеорегистратора использовались предварительно испытанные модели автомобильных видеорегистраторов и экшн-видеокамер. Приёмная матрица камеры вырезает прямоугольный кадр в световой плоскости от лазерного излучателя. Объектив видеокамеры снабжён красным светофильтром, повышающим контрастность изображения и снижающим влияние паразитной засветки дневным светом. Видеокамера управляется видеопроцессором, на который поступает видеосигнал с приёмной матрицы. Далее этот видеосигнал в цифровом виде записывается на сменную карту памяти типа SDHC и (или) передаётся на внешний (удалённый) монитор по USB-порту или по беспроводному каналу WiFi. Наличие возможности передачи данных позволяет вести скачивание записанной информации без съёма карты памяти, а также позволяет в реальном времени проводить перенастройку или предустановку параме-

тров видеосъёмки и предварительной обработки сигнала.

Макет-прототип будущего лазерного измерителя планктона, как уже указывалось ранее, представляет собой экспериментальную технологическую платформу для проведения натурных исследований с целью выбора основных конструктивных и методических решений, а также отработки некоторых технических характеристик будущего лазерного измерителя планктона. В частности, непосредственно в воде должны уточняться теоретически рассчитанные параметры оптической схемы — расстояния, размеры и прочие характеристики, требующие от устройства свойств трансформации габаритов и конфигурации. В связи с этим, для первого варианта, названного КЭП-1, в качестве модульных элементов корпуса макета были применены элементы комплекса труб и фитингов из ПВХ с раструбной технологией соединения, которые в сочетании с комплектующими резиновыми уплотнениями способны выдерживать давление на глубине 1,5–2 м, что вполне достаточно для наших целей.

На рис. 1 в верхней части представлена фотография первого макета КЭП-1а, под ним — КЭП-1б с увеличенной жёсткостью конструкции.



Рис. 1. Сверху — фотография макета КЭП-1а, внизу — КЭП-1б

В качестве приёмника видеосигнала в макете использован автомобильный регистратор BlackVue DR550GW-2CH. Для его размещения применён ПВХ-тройник (90°) с внутренним диаметром 50 мм с резьбовой смотровой крышкой. Для получения входного зрачка видеорегистратора в крышке расточено отверстие диаметром примерно 40 мм, в который при помощи силиконового термоклея установлен стеклянный иллюминатор. В горизонтальной части тройника с одной стороны с помощью муфты установлена заглушка с гермоклапанами, дублирующими управляющие кнопки видеорегистратора. С другой стороны тройника — раструбной — подсоединяется угловая часть макета. Модуль излучателя конструктивно выполнен аналогично. В этом модуле, кроме излучателя, располагается блок из

трёх перезаряжаемых литиевых элементов на 3,7 В типоразмера 18650. Для их зарядки в концевой заглушке установлен герморазъём. Основные элементы конструкции указаны на функциональной схеме макета КЭП-16, выполненной на основе его компьютерной модели (рис. 2).

Этот макет успешно прошёл испытания на герметичность в титановом баке объёмом 216 л с погружением примерно на 0,7 м и выдержку в течение суток. Для индикации момента затекания по всей длине внутри прибора были проложены два оголённых, но изолированных фильтровальной бумагой скрученных медных проводника. С целью ликвидации эффекта запотевания иллюминаторов и оптики свободное место вдоль колен заполнено мешочками с силикагелем.

Модель макета КЭП-16 использовалась при экспериментах по оценке характеристик регистрации личинок тилпии (6–8 мм) и осетровых (длиной 12–15 мм) в пластиковых танках объёмом 400 и 500 л с пресной водой. В процессе экспериментов для увеличения контраста и ликвидации паразитной засветки на иллюминатор модуля видеорегистратора было установлено светофильтр из тёмно-красного стекла КС-19. На рис. 3 представлены фрагменты кадров при съёмке личинок осетра без светофильтра, при съёмке личинок сазана без светофильтра, но при выключенном свете в аквариальной, при съёмке личинок бестера со светофильтром и результат оценки размеров личинки осетра, а также продемонстрированы условия съёмки (рис. 4).

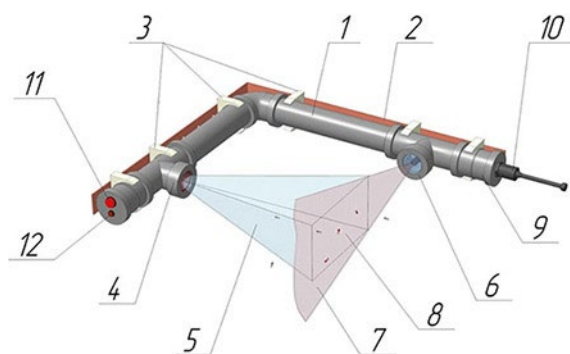


Рис. 2. Функциональная схема макета КЭП-16:

- 1 — корпус; 2 — рама; 3 — держатели; 4 — модуль видеорегистратора; 5 — направление поля зрения;
- 6 — модуль излучателя; 7 — световая плоскость;
- 8 — реперный объём; 9 — модуль БП; 10 — герморазъём; 11 — кнопка включения прибора;
- 12 — кнопка включения Wi-Fi

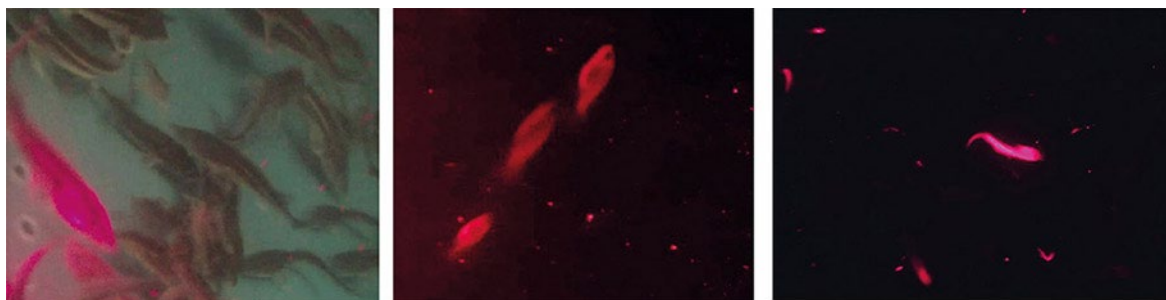


Рис. 3. Фрагменты кадров при съёмке личинок осетра без светофильтра (слева), при съёмке личинок сазана без светофильтра в затемнённом танке (в середине), при съёмке личинок бестера со светофильтром (справа)



Рис. 4. Условия съёмки для фрагментов, показанных на рис. 3 — личинок осетра без светофильтра (слева) и личинок сазана без светофильтра, но в затемнённом танке (справа)

Для экспериментальных работ в полевых условиях в мелководных акваториях с учётом опыта работ с макетами КЭП-1 был разработан и изготовлен новый макет КЭП-2, показанный на рис. 5. В конструкции макета КЭП-2 полностью изменён подход к использованию прочного корпуса как моноблока. Учитывая то, что применённый видеорегистратор Prestigio RoadRunner 710X изначально является герметичным изделием и допускает в своей работе погружение до глубины в 10 м, было решено использовать излучатель также отдельно. В качестве такого модуля был использован герметичный ручной фонарь для аквалангистов с глубиной погружения до 30 м, в котором вместо осветительного элемента был установлен

излучатель LJ-01 с цилиндрической оптикой; одновременно были заменены элементы питания типа АА напряжением 1,5 В на литиево-полимерные элементы напряжением 3,7 В в корпусе, аналогичном типоразмеру АА.

В качестве основы для размещения модулей изготовлена этажерчатая конструкция из двух рейлингов длиной 660 мм с четырьмя стяжками. Расстояние между рейлингами составляет 70 мм, что позволяет разместить на обоих концах этой конструкции поворотные обоймы из хомутов, в которых закреплены модули видеорегистратора и излучателя с расстоянием между осями вращения в 520 мм. В сложенном состоянии, когда оба модуля располагаются параллельно

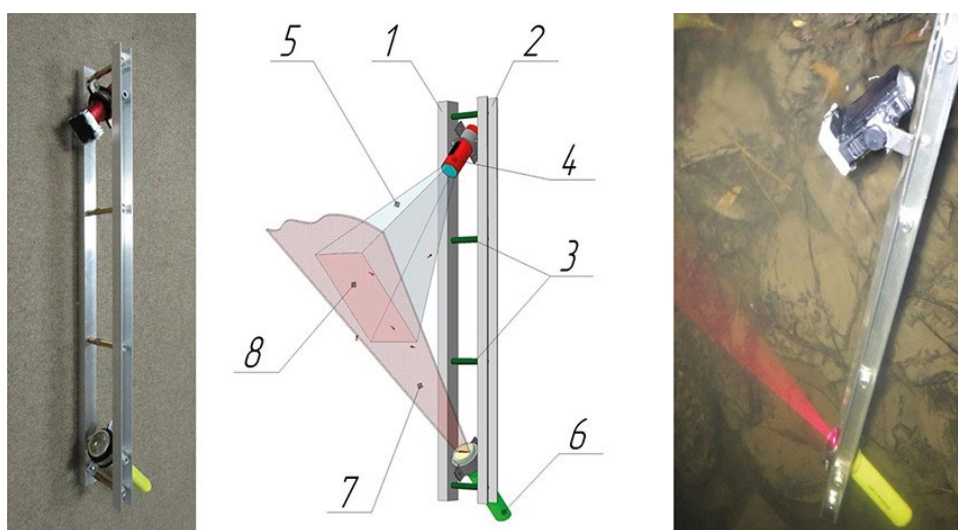


Рис. 5. Фотография макета КЭП-2 (слева), его функциональная схема (в центре) и модификация КЭП-2S. 1, 2 — рейлинги; 2 — рама; 3 — хомуты; 4 — модуль видеорегистратора; 5 — направление поля зрения; 6 — модуль излучателя; 7 — световая плоскость; 8 — реперный объём

плоскости рейлингов, прибор готов к транспортировке. Повернув модуль излучателя на угол в 45° между плоскостью рейлингов и направлением световой плоскости и, соответственно, для видеорегистратора в 45° между плоскостью рейлингов и направлением обзора видеорегистратора, мы получим все оптические соотношения и размерения, аналогичные полученным для макетов типа КЭП-1. Соответственно совпадают все измерительные характеристики.

В процессе испытаний макет КЭП-2 был модернизирован путём замены видеорегистратора Prestigio RoadRunner 710X на экшн-видеокамеру Sony HDR-AS50. Основными отличиями является то, что новая камера в предлагающемся подводном боксе допускает погружение в воду до глубины 60 м и имеет объектив с трансфокатором, что позволяет точно настроить размеры измерительного объёма при изменении дистанции до него. Модернизированный макет далее именуется как КЭП-2S (рис. 5, справа).

В первых экспериментах было выявлено, что используемые красные светофильтры КС-18 и КС-19 для природных вод имеют чересчур высокое значение границы спектрального среза и подавляют полезный сигнал, в связи с чем, было принято решение заменить их на оранжевые светофильтры ОС-14. Дальнейшие эксперименты, проводимые в светлое время суток, показали превышение фоновой засветки над уровнем света, отражаемого от регистрируемых объектов при любых используемых светофильтрах, в связи с чем дальнейшие испытания проводились в тёмное время суток. Вместе с тем, эксперимент, проведённый у водозабора

плотины оз. Торбеево, где прибор погружался до глубины 5 м, показал, что примерно с глубины 2–3 м дневная засветка практически не влияет на результат съёмки.

На рис. 6 представлены примеры скриншотов некоторых кадров, на которых изображены микроорганизмы, зарегистрированные преимущественно в тёмное время суток видеорегистраторами испытываемых макетов при испытаниях. Пояснения даны в подрисуночных подписях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ испытаний разработанных технологических платформ (макетов) типа «КЭП» и результатов экспериментальных исследований, проведённых на их основе, показал правильность выбранных конструктивных решений. Наиболее удачным вариантом оказался макет типа «КЭП-2». Выбранные конструктивные решения будут использованы в разработке действующего макета прибора, как нового инструмента исследований. При этом следует учесть, что в оптической части конструкций выявлены отдельные недостатки, применительно к которым определены направления дальнейшей работы. В частности, установлено, что приборы удовлетворительно работают только при отсутствии дневной засветки, т. е. при исследованиях водоёмов в ночное время, или при погружении прибора на глубину более 2 м. Возможно проблему может решить использование более мощного красного лазера в сочетании со светофильтрами КС-18 или КС-19. Однако, это целесообразно делать уже на стадии разработки действующего макета прибора, как нового инструмента исследований.

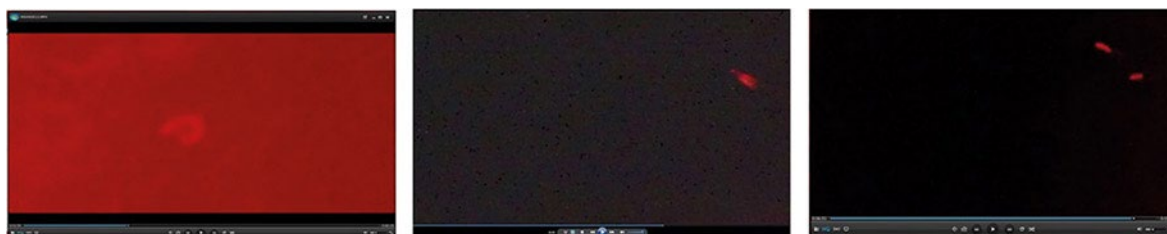


Рис. 6. Примеры скриншотов некоторых кадров, на которых изображены микроорганизмы, зарегистрированные макетом КЭП-2S со светофильтром ОС-14:

слева — личинка комара при дневной засветке, в середине — вероятно, циклоп (р. Яуза), справа — вероятно, дафнии (оз. Торбеево, пристань)

ЛИТЕРАТУРА

- Буланова Н.П.* 2016. Новый шаг в оснащении современных зарубежных НИС — лазерные планктонометры и видеорегастраторы планктона // Морские суда для рыбопромысловых исследований 2010–2015 гг. М.: Изд-во ВНИРО. С. 180–182.
- Левашов Д.Е.* 2014. Инструментальные методы оценки кормовой базы рыбных скоплений на основе оптических принципов измерений // Труды ВНИРО. Т. 152. С. 57–72.
- Левашов Д.Е., Буланова Н.П.* 2016. Современные методы и основные оптические схемы, используемые при исследовании планктона *in situ* // Системы контроля окружающей среды. Вып. 6(26). С. 14–22.
- Левашов Д.Е., Буланова Н.П.* 2014. Подводный видеорегастратор планктона. Патент РФ 148827. Бюл. № 35.
- Островский А.Г., Оленин А.Л.* 2018. Видеорегастратор зоопланктона. Патент РФ 2670713. Бюл. № 30.
- Оленин А.Л.* 2019. О видеорегастрации мезопланктона *in situ* // Современные методы и средства океанологических исследований. Мат. XVI Всероссий. науч.-техн. конф. «МСОИ-2019». Т. 2. С. 252–253.

*Поступила в редакцию 29.07.2020 г.
Принята после рецензии 10.08.2020 г.*

Equipment for fisheries research**Development of experimental technology platforms and research on their basis in order to create a new laser plankton meter***D.E. Levashov, N.P. Bulanova*

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow, Russia

Four versions of two types of experimental technological platforms were developed and tested to create a new laser plankton meter. The possibility of registering tilapia larvae (6–8 mm) and sturgeon larvae (12–15 mm long) in fish breeding tanks on their basis was tested. The field tests were also conducted both in the tanks with water (200 l and more) in the open air with self formed biocenosis, and in the natural water bodies within Moscow and its region such as the Yauza, the Vondiga Rivers and Lake Torbeevo. The influence of sun parasitic illumination at a daytime is estimated and ways to minimize it are proposed. The analysis of tests of the developed “KEP” type technological platforms (models) and the results of experimental studies carried out on their basis shows the correct selected design solutions. The model of “KEP-2” type became the most favorable version. The selected design solutions will be used in the development of the working model of the device as a new research tool.

Keywords: RV, CTD, device meters, plankton, particle, calculator, sensor, probe, laser, photoreceiver, register.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-182-182-190

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] // *Morskije suda dlya rybopromyslovykh issledovanij 2010–2015 gg.* M.: Izd-vo VNIRO. S. 180–182.
- Levashov D.E.* 2004. Instrumental'nye metody ocenki kormovoj bazy rybnih skoplenij na osnove opticheskikh principov izmerenij [The Instrumental Methods for Estimating Fish Stocks Food Base Using Optical Measurement Principles] // *Trudy VNIRO.* T. 152. S. 57–72.
- Levashov D.E., Bulanova N.P.* 2016. Sovremennye metody i osnovnye opticheskie skhemy, ispol'zuemye pri issledovanii planktona in situ. [Modern methods and general optical schemes for studying plankton in situ] // *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy.* Vyp. 6 (26). S.14–22.
- Levashov D.E., Bulanova N.P.* 2014. Podvodnyj videoregistrator planktona [Plankton underwater video recorder]. Patent RF 148827. Bul. № 35.
- Ostrovskij A.G., Olenin A.L.* 2018. Videoregistrator zooplanktona [Zooplankton video recorder]. Patent RF 2670713 Bul. № 30.
- Olenin A.L.* 2019. O videoregistracii mezoplanktona in situ [About video recording of zooplankton in situ] // *Covremennye metody i sredstva okeanologicheskikh issledovanij. Mat. XVI Vseros. nauch.-tekhn. konf. «MSOI-2019»:* T. 2. S. 252–253.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Photos of models КЭП-1а (top), КЭП- 1б (lower)

Fig. 2. Functional scheme of model КЭП-1б: 1 — case; 2 — frame; 3 — holders; 4 — video recorder module; 5 — direction of the field of view; 6 — light source module; 7 — light plane; 8 — reference volume; 9 — power source module; 10 — hermetic connector; 11 — power button for device; 12 — power button for Wi-Fi.

Fig. 3. Fragments of frames when shooting sturgeon larvae without a light filter (left), carp larvae without a light filter in a darkened tank (in the middle), better larvae with a light filter (right)

Fig. 4. Shoot conditions for the fragments shown in Fig. 3 — sturgeon larvae without a light filter (left) and carp larvae without a light filter, but in a darkened tank (right)

Fig. 5. Photo of the КЭП-2 model (left), its functional scheme (center) and modification КЭП-2S: 1, 2 — beams; 2 — frame; 3 — collars; 4 — video recorder module; 5 — direction of the field of view; 6 — light source module; 7 — light plane; 8 — reference volume

Fig. 6. Examples of screenshots of some frames showing microorganisms recorded with a model КЭП-2S and a light filter OC-14: on the left — a mosquito larva under daytime illumination, in the middle — probably a Cyclops (the Yauza River), on the right — probably daphnia (Lake Torbevo, pier)