

## Цифровая голография планктона

В.В. Демин<sup>1</sup>, А.С. Ольшук<sup>1</sup>, Е.Ю. Наумова<sup>2</sup>, Н.Г. Мельник<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

<sup>2</sup>Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская 3

Поступила в редакцию 8.09.2008 г.

Обсуждены особенности планктона как объекта голографической регистрации. Предложены оценки возможностей и ограничений, а также показана высокая информативность цифровой голографии планктона. Приведены экспериментальные результаты по цифровой голографической регистрации байкальского зоопланктона, в том числе по созданию видео на основе голографических данных.

*Ключевые слова:* цифровая голография, планктон, голографическое видео.

### Введение

Высокая информативность голографических методов показана при экспериментальных исследованиях объемных ансамблей частиц в широком перечне задач, например [1–4]. Голография позволяет бесконтактно, за одну экспозицию зарегистрировать весь объем среды, содержащий исследуемые частицы, а в восстановленном изображении определить размер, форму, расположение в пространстве каждой частицы, не требуя при этом предварительной информации об исследуемом объеме.

В последние годы голографические методы активно используются для исследования планктона [4–9]. Актуальность подобных исследований обусловлена тем, что зоопланктон является важным звеном в пищевых цепочках многих водных обитателей, по состоянию планктона можно судить об экологическом состоянии акватории – особенно это важно в районах антропогенного воздействия, в частности при добыче полезных ископаемых. Наконец, исследование видового разнообразия, поведения и состояния самого планктона представляет собой отдельную задачу для биологов, лимнологов, океанологов. Вышеупомянутые уникальные возможности голографии указывают на целесообразность ее использования при решении перечисленных задач. При этом голографические методы обеспечивают определение размера и формы, а следовательно, идентификацию планктонных частиц, позволяют определить местоположение каждой частицы в пространстве, т.е. дают информацию о концентрации и взаимодействии планктонных особей в исследуемом объеме.

Цифровая голография обеспечивает ряд дополнительных возможностей по сравнению с фотоголографией, наиболее значимыми из которых являются возможности: 1) передавать голограмму по линиям связи, что особенно важно при использовании погружаемых голографических камер; 2) определять фазу восстановленной волны в заданной точке для более точного нахождения плоскости наилучшего изображения; 3) создавать видео по голографическим данным для исследования динамических объектов.

Отметим особенности *планктона как объекта голографической регистрации*.

В первую очередь следует обратить внимание на то, что для регистрации планктона в реальных условиях используются погружаемые голографические камеры. Цифровые погружаемые камеры для исследования планктона разработаны и апробированы в натуральных условиях в University of Aberdeen (Великобритания), Johns Hopkins University (США), MIT (США). В России подобные камеры пока не используются из-за отсутствия соответствующих целевых научных программ.

При использовании погружаемой камеры голографирование каждой планктонной частицы производится через оптическую систему «вода – стекло иллюминатора – воздух», что приводит к абберациям в голографическом изображении, восстановленном в воздухе [4, 7, 8, 10]. Уменьшение этих аббераций может осуществляться путем использования различных длин волн на этапе записи голограммы и восстановления голографического изображения [7, 8], а также численной коррекцией этих аббераций [1]. Наиболее эффективным способом представляется минимизация этих аббераций путем использования схемы записи с освещением исследуемого объема на просвет и нормальным падением предметного пучка на плоскость регистрации голограммы [10]. Такую схему можно назвать

\* Виктор Валентинович Демин (dyomin@tsu.ru); Алексей Сергеевич Ольшук (olshukov@mail.ru); Елена Юрьевна Наумова (lena@lin.irk.ru); Наталья Григорьевна Мельник (melnik@lin.irk.ru).

осевой схемой с дополнительным опорным пучком. Отметим, что при записи цифровых голограмм также используется осевая схема, хотя обусловлено это другой причиной — невысоким (по сравнению с голографическими фотоматериалами) разрешением ПЗС- и КМОП-камер. В то же время это позволяет обойтись без специальных мер по коррекции aberrаций, поэтому в данной статье вопрос aberrаций рассматриваться не будет.

Планктонные частицы — это живые объекты, перемещающиеся в пространстве. В настоящей статье обсуждаются оценки, позволяющие сопоставлять скорость движения частицы, размер пикселя и время считывания матрицы. Кроме того, рассматривается запись голографического видео, которая расширяет информативность голографии. В частности, приведены экспериментальные результаты определения скорости планктонных частиц.

Планктон характеризуется разнообразием размеров и форм — в одном объеме могут присутствовать частицы различных форм и размеров — от нескольких микрометров до нескольких миллиметров. В связи с этим необходимо оценивать диапазон характерных пространственных частот картины интерференции опорной и предметной волн, зависящий от диапазона размеров регистрируемых частиц и их деталей, которые необходимо разрешить, и сравнивать их с величиной пикселя и размером матрицы для записи голограмм. Эти оценки также обсуждаются в данной статье.

Планктонные частицы могут быть целиком или частично полупрозрачными, оптически мягкими. Известно, что голография позволяет визуализировать такие частицы. В то же время контраст голографических изображений таких частиц может быть недостаточным для их идентификации. Для улучшения распознавания частицы может применяться алгоритм оконтуривания ее голографического изображения, рассмотренный нами в [11, 12].

Кроме того, в восстановленном с цифровой голограммы изображении присутствуют шумы, обусловленные дискретностью и ограниченностью массива при записи голограммы. В данной статье обсуждается алгоритм уменьшения таких шумов и иллюстрируется его работоспособность.

Следует отметить, что последующее восстановление информации с голографического изображения объема протяженностью около 0,5 м даже при сечении пучка (совпадающем с размером матрицы) около 25 мм занимает довольно большое время, которое при использовании различных алгоритмов может достигать нескольких часов. По этой причине проблема обработки информации с голограммы планктона (как цифровой, так и фотоголограммы) — это отдельная задача, которая является темой отдельной статьи.

Экспериментальные данные, представленные в статье, получены на оз. Байкал, во время работы в составе двух экспедиций Лимнологического института СО РАН. Первая экспедиция проводилась в зимнее время, отбор проб осуществлялся на ледовой станции в 3 км от м. Ивановский (в районе

нейтринного телескопа), вторая — в летнее время — с НИС «Верецагин». При отборе проб использовали вертикальные замыкающие сети Джеди ( $1/10 \text{ м}^2$ , ячейя фильтрующего газа 90 мкм) и ДжоМ (океаническая модель Джеди) ( $1/2 \text{ м}^2$ , 160 мкм) для глубин от 0 до 1400 м. Живой планктон из пробы помещали в кювету с водой размерами  $4 \times 4 \times 3 \text{ см}$ , проводили его голографическую съемку, после чего материал фиксировали в 4%-м растворе формалина для последующего изучения обычными методами. Всего зарегистрировано около 15 000 голограмм планктона, часть из которых использована в качестве иллюстраций в данной статье.

## Запись и восстановление цифровых голограмм частиц

Кратко напомним основные принципы цифровой голографии. На этапе записи голограммы картина интерференции опорной и предметной волн регистрируется не на фотоматериал, а на ПЗС- или КМОП-камеру. Как уже упоминалось, для записи цифровых голограмм используется осевая схема (рис. 1) из-за невысокой (по сравнению с голографическими фотоматериалами) разрешающей способности ПЗС (КМОП)-приемника.

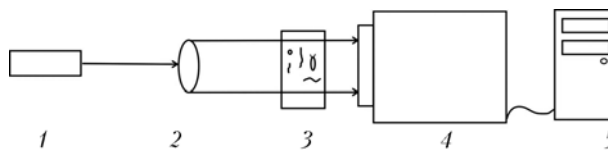


Рис. 1. Осевая схема записи цифровых голограмм

Излучение лазера 1, сформированное коллиматором 2 в пучок необходимого сечения, просвечивает регистрируемый объем 3, в нашем случае — это объем воды, в которой находятся исследуемые планктонные частицы. Излучение, рассеянное на частицах, представляет собой предметную волну, излучение, прошедшее мимо частиц, — опорную. Картина интерференции этих когерентных волн регистрируется цифровой камерой 4 и сохраняется в памяти компьютера 5 в виде дискретного двумерного массива интенсивностей.

В экспериментах, представленных в данной статье, использовались He–Ne-лазер с длиной волны 633 нм и камера «Видеоскан -2020».

Рассмотрим требования, которым должна удовлетворять цифровая камера. Очевидно, что камера должна обеспечивать достаточно детальную регистрацию картины интерференции опорной и предметной волн. Для оценки требуемых характеристик камеры рассмотрим регистрацию осевой голограммы непрозрачной сферической частицы радиусом  $a$ , расположенной на расстоянии  $z$  от плоскости записи голограммы. В случае регистрации в дальней зоне дифракции картина интерференции опорной и предметной волн представляет собой картину Эйри, промодулированную синусоидой [13]. Если пред-

положить, как это сделано в ряде работ, что для неискаженной регистрации информации о форме частицы необходимо зарегистрировать центральный и три боковых максимума картины Эйри, то легко оценить радиус голограммы одиночной частицы, он равен  $2\lambda z/a$  ( $\lambda$  — длина волны излучения), а также период интерференционной картины на краю голограммы частицы —  $a/2$  [13].

Исходя из того, что картина регистрируется дискретно расположенными пикселями конечных размеров, зададим заведомо жесткую оценку требуемого размера пикселя как  $a/10$  и получим, что, например, камера «Hitachi KP-M1AP» (размер матрицы  $8,72 \times 6,52$  мм, размер пикселя  $11,6 \times 11,2$  мкм) обеспечивает разрешение (регистрацию частиц или их деталей) размером 116 мкм и выше. Камера SK-2005 (размер матрицы  $3,6 \times 4,8$  мм, размер пикселя  $9,8 \times 6,3$  мкм) обеспечивает разрешение 98 мкм. В наших экспериментах использовалась камера «Видеоскан-2020» (размер матрицы  $11,84 \times 8,88$  мм, размер пикселя  $7,4 \times 7,4$  мкм, минимальная экспозиция  $35 \cdot 10^{-6}$  с), обеспечивающая разрешение 74 мкм.

При регистрации излучением с длиной волны 633 нм максимальное расстояние между частицей и плоскостью регистрации (глубина сцены), при котором выполняется введенная выше оценка на размер голограммы, составляет 300, 140, 260 мм для вышеперечисленных размеров частиц соответственно.

В интересующем нас случае регистрации движущейся частицы оценкой для предельной скорости ее движения будем считать скорость, при которой за время экспозиции картина интерференции предметной и опорной волн сместится на 0,1 своего минимального периода, т.е. на  $a/20$  (или, что то же самое, не более чем на половину пикселя). Тогда для перечисленных камер с минимальным временем экспозиции порядка  $10^{-5}$  с частица размером 100 мкм может быть зарегистрирована, если ее скорость не превышает 50 см/с. Это условие, конечно же, выполняется для планктонных особей.

Отметим также, что сравнение вышеприведенных оценок разрешения с параметрами, например, байкальского зоопланктона [14] показывает возможность распознавания большинства видов планктонных особей по их голографическим изображениям.

Наконец, необходимо учесть особенности регистрируемой картины, огибающей которой является картина Эйри, характеризующаяся большим диапазоном интенсивностей на различных участках. Так, например, величина третьего максимума на три порядка меньше величины центрального максимума интенсивности картины Эйри. Исходя из этого, можно оценить, что камера должна обеспечить рядность оцифровки сигнала не хуже чем 12.

Если ПЗС (или КМОП)-камера удовлетворяет вышеперечисленным требованиям, можно считать, что реализуется режим записи цифровой голограммы, который в традиционной голографии называется идеальным [15]. В этом случае зарегистрированный камерой двумерный массив распределения интенсивности картины интерференции опорной

и предметной волн с точностью до константы может быть использован как комплексная амплитуда  $u(x_1, y_1)$  восстановленной волны в плоскости  $(x_1, y_1)$  непосредственно за голограммой. Тогда, для того чтобы рассчитать комплексную амплитуду и интенсивность восстановленной волны  $u(x_2, y_2)$  в любой интересующей нас плоскости  $(x_2, y_2)$  на заданном расстоянии  $z$  за голограммой, можно использовать известный дифракционный интеграл

$$u(x_2, y_2) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u(x_1, y_1) \exp\left[\frac{ik}{2z}((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)\right] dx_1 dy_1, \quad (1)$$

где  $k$  — волновое число.

Для расчета данного дифракционного интеграла можно использовать различные алгоритмы, например метод свертки, который включает расчет двух прямых и одного обратного преобразования Фурье. В настоящей статье использовалась программа, основанная на прямом расчете дифракционного интеграла, чтобы минимизировать погрешности, вносимые различными приближениями.

## Предварительная обработка голограммы

В изображении, восстановленном с цифровой голограммы, наблюдаются шумы в виде системы полос (рис. 2, *в*), основными причинами которых являются дискретность и ограниченность массива данных. Если бы голограмма восстанавливалась традиционным оптическим способом, рассматриваемые шумы можно было бы интерпретировать как картину дифракции на краю голограммы. Тогда, с физической точки зрения, эти шумы можно уменьшить, либо увеличив размеры голограммы, либо сгладив границу кадра.

Нами апробированы различные способы дополнения голограммы: мультипликация кадра со всех сторон голограммы, дополнение кадрами со средней интенсивностью голограммы и т.п. [12]. Наиболее эффективным зарекомендовал себя следующий алгоритм, используемый в настоящей статье: голограмма (рис. 2, *а*) аппроксимируется бикубическими сплайнами и экстраполируется со всех сторон таким образом, чтобы на краях полученного кадра интенсивность и ее производная были равны нулю (рис. 2, *б*).

На рис. 2, *в, г* представлены изображения планктонной частицы, восстановленные с голограмм рис. 2, *а, б* соответственно. Видно, что данный алгоритм эффективно подавляет шумы, обусловленные дискретностью и ограниченностью массива.

Все последующие голограммы, приведенные в данной статье, предварительно обрабатывались описанным алгоритмом.

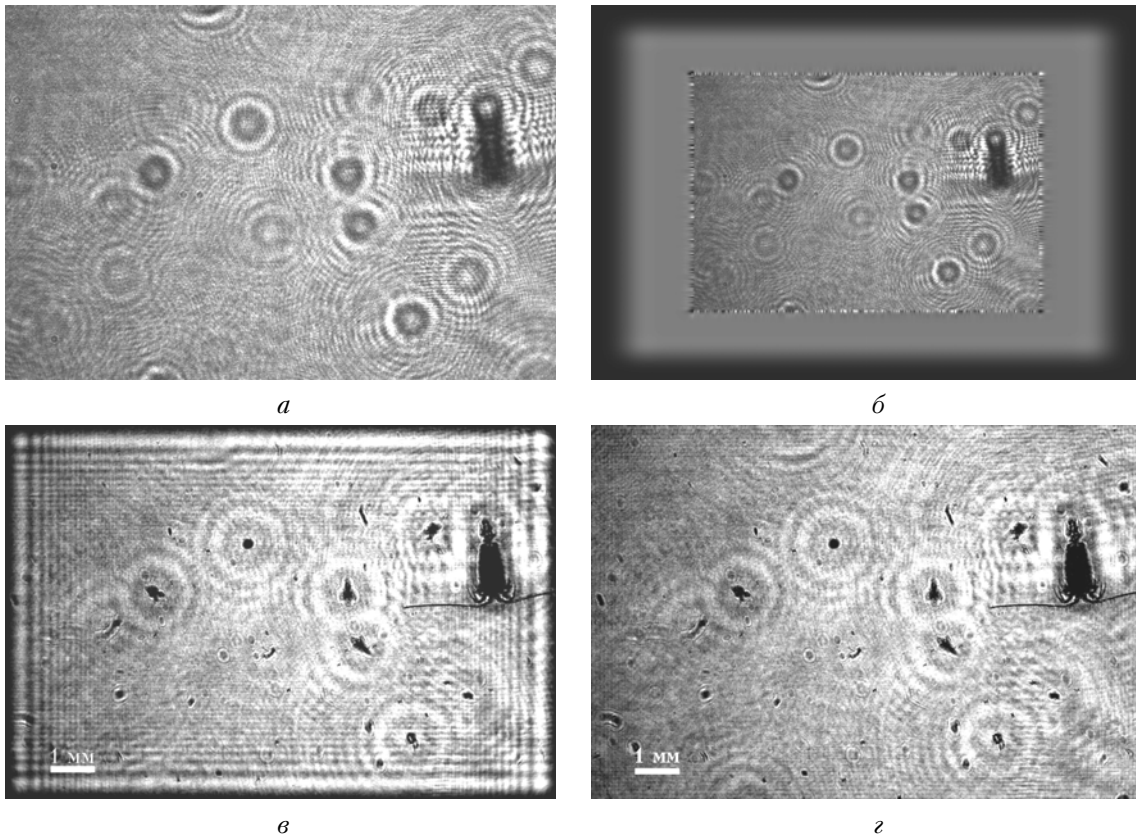


Рис. 2. Устранение шумов в голографическом изображении частицы за счет предварительной обработки голограммы: *а* — исходная голограмма планктонной частицы; *б* — дополненная голограмма планктонной частицы; *в* — голографическое изображение планктонной частицы, восстановленное с исходной голограммы (*а*); *г* — голографическое изображение планктонной частицы, восстановленное с дополненной голограммы (*б*)

### Восстановление единичной голограммы

Процесс послойного восстановления изображения объема с планктонными частицами схематично проиллюстрирован на рис. 3, *а*, а примеры изображений различных плоскостей объема, полученные экспериментально, — на рис. 3, *в–д*.

На рис. 3, *в* отсутствуют резкие изображения частиц, это расстояние соответствует плоскости 1 (рис. 3, *а*). Изменяя расстояние восстановления  $z$  в интеграле (1) с заданным шагом  $\Delta z$ , можно обнаружить плоскость 2 (см. рис. 3, *а*), в которой резко изображена планктонная особь в верхней правой части кадра (рис. 3, *г*), и плоскость 3, в которой резко изображена особь, расположенная в левой нижней части кадра (см. рис. 3, *д*).

### Запись и восстановление голографического видео

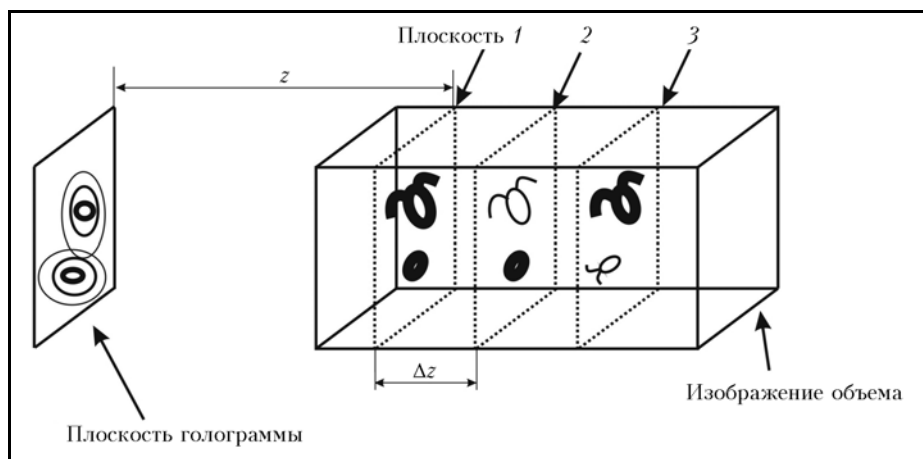
Голографическим видео мы называем видеофильм, созданный на основе голографических данных. Для этого при помощи ПЗС (КМОП)-камеры производятся непрерывная (с частотой следования кадров камеры) регистрация картины интерференции опорной и предметной волн и запись этой информации в компьютер в виде AVI-файла. Затем

полученный AVI-файл делится на отдельные BMP-файлы (кадры). При этом каждый полученный кадр является голограммой, записанной в известный момент времени и содержащей информацию обо всем исследуемом объеме в данный момент времени. Далее производится предварительная обработка каждой из этих единичных голограмм, и с каждой голограммы восстанавливается голографическое изображение.

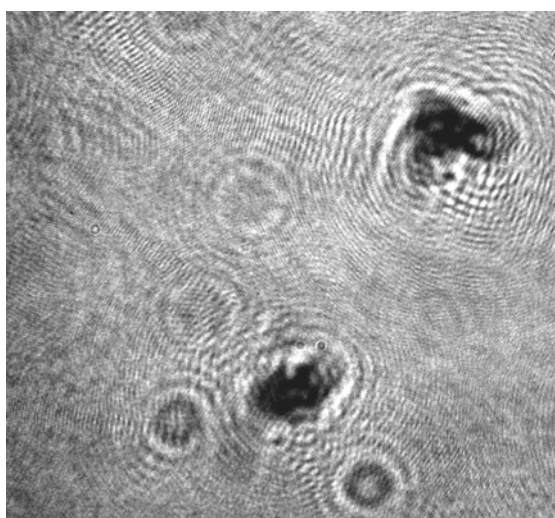
Отметим, что имеются различные возможности выбора плоскости восстановления изображения. Так, например, если при восстановлении изображения с каждой голограммы (кадра) определяется плоскость наилучшего изображения для конкретной исследуемой частицы, то эта частица всегда будет изображаться резко и появляется возможность анализировать ее динамику во время процесса записи голографического видео. Если зафиксировать плоскость восстановления изображения, то обеспечивается возможность пронаблюдать все частицы, проходящие через эту плоскость объема за время записи. После этого восстановленные изображения (кадры) снова сшиваются в видеофильм.

Примеры голографического видео можно найти в Интернете по следующим ссылкам:

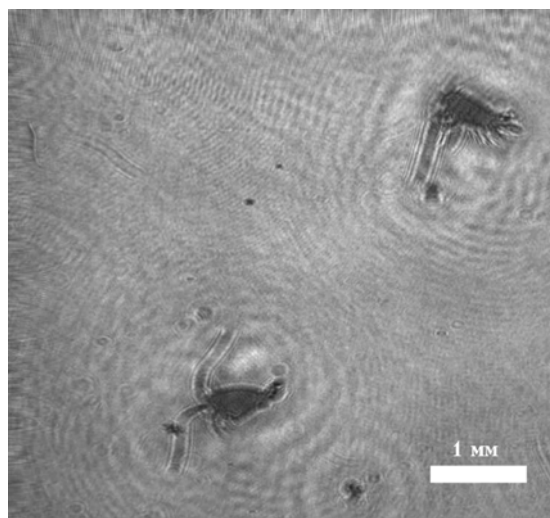
<ftp://nfpk:nfpk@video.tsu.ru/geo/plane.avi>;  
<ftp://nfpk:nfpk@video.tsu.ru/geo/video1.avi>;  
<ftp://nfpk:nfpk@video.tsu.ru/geo/video2.avi>.



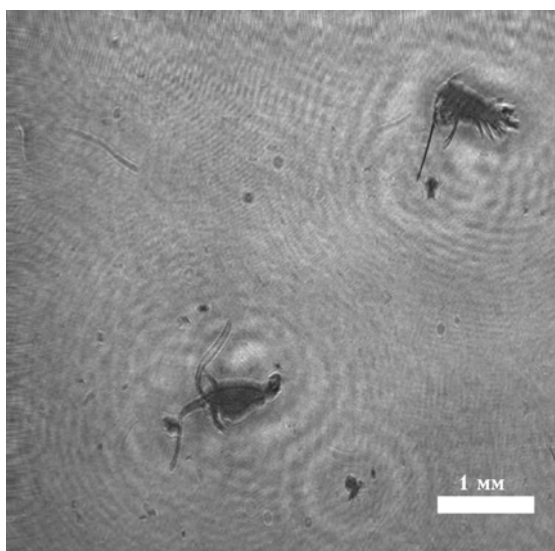
*a*



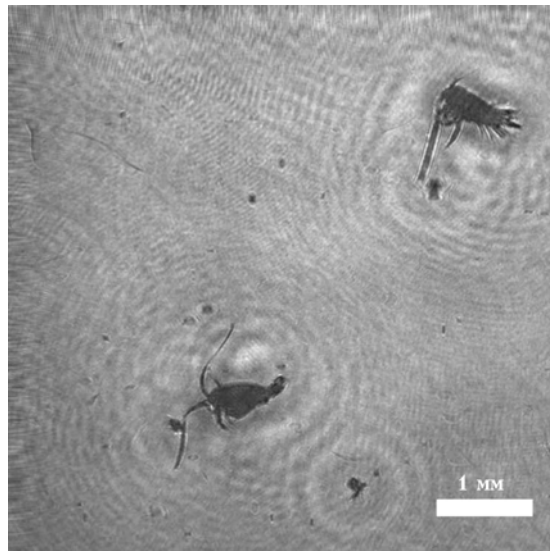
*б*



*в*



*г*



*д*

Рис. 3. Процесс послойного восстановления голографического изображения объема, содержащего планктонные частицы: *a* – схематичное представление; *б* – цифровая голограмма планктона; *в*, *г*, *д* – изображения, восстановленные на различных расстояниях от голограммы, мм: *в* – 184, *г* – 194, *д* – 199

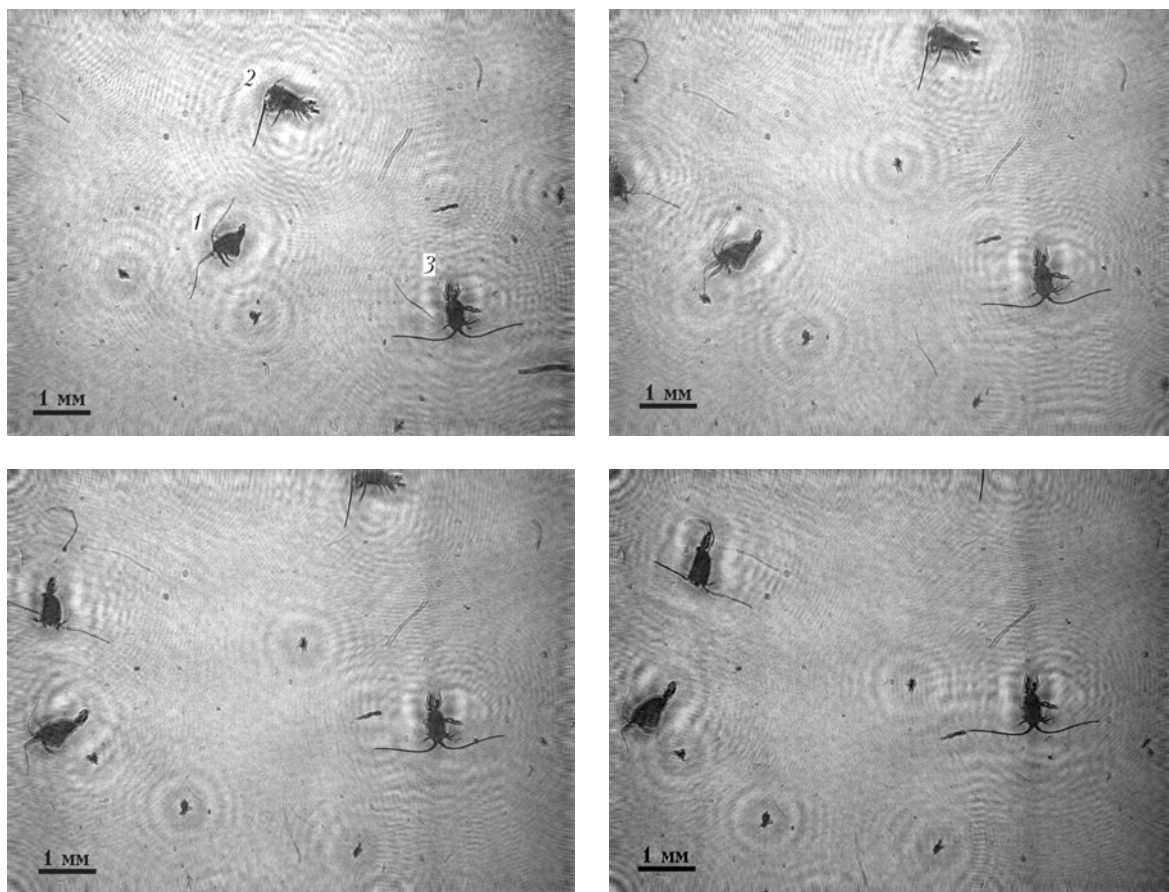


Рис. 4. Последовательность кадров голографического видео. Частица 3 всегда в фокусе

Процесс настройки на резкость (перефокусировки) проиллюстрирован в файле <ftp://nfrk:nfrk@video.tsu.ru/geo/focusing.avi>.

На рис. 4 приведена последовательность из четырех кадров голографического видео для случая, когда плоскость восстановления привязана к сфокусированному изображению частицы, обозначенной цифрой 3. Благодаря этому данная частица на всех кадрах видна отчетливо, в то время как резкость остальных частиц меняется от кадра к кадру.

### Измерение скорости планктонных частиц

Очевидно, что голографическое видео позволяет дополнить информацию о геометрических параметрах частицы, ее расположении в пространстве информацией о ее скорости и перемещениях в пространстве. Действительно, координаты частицы можно определить в каждом кадре голографического видео, а время между этими кадрами определяется характеристиками и режимом работы ПЗС-камеры.

В таблице приведен пример таких измерений для особи под номером 1 (см. рис. 4).

Для вычислений здесь использованы 14 последовательных кадров, что соответствует 2,8 с, в течение которых производилась запись (частота следо-

вания кадров в используемой в данных экспериментах камере «Видеоскан-2020» составляла 5 кадр./с). Средние скорости движения частиц 1, 2, 3 (см. рис. 4), определенные за это время, составили 3,9, 2,47 и 1,22 мм/с соответственно.

Номер кадра	Координата, мм			Скорость, мм/с
	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
1	4,57	6,72	194	1,15
2	4,5	6,94	194	6,56
3	3,87	6,39	193	10,74
4	3,09	6,28	191	0,74
5	3,09	6,42	191	0,42
6	3,08	6,51	191	0,82
7	3,07	6,67	191	5,48
8	2,63	6,55	190	7,91
9	1,14	6,03	190	5,09
10	1,03	6,18	189	5,05
11	0,96	6,31	190	0,97
12	0,86	6,48	190	0,7
13	0,86	6,62	190	5,01
14	0,85	6,68	189	1,15

Чтобы измерить скорость перемещения частицы в промежутке времени между кадрами, для каждой голограммы (кадра) определялась плоскость наилучшего восстановления и измерялись координаты выбранной характерной детали частицы. При необходимости исключить погрешность, связанную



с поворотами частицы, можно использовать двухракурсную запись одного и того же объема среды.

Таким образом, создание голографического видео позволяет исследовать каждую частицу объема как в пространстве, так и во времени. Очевидно, что при этом появляется возможность построить траекторию движения каждой планктонной особи.

### Заключение

Приведенные в статье оценки и экспериментальные данные показывают высокую информативность цифровой голографии для исследования планктона. Так же как в фотоголографии, имеется возможность бесконтактно получать информацию о геометрических параметрах (размере, форме, расположении в пространстве) каждой планктонной частицы исследуемого объема. Кроме того, к достоинствам голографических методов добавляются преимущества цифровой голографии: возможность передавать голограммы по линиям связи, возможность создавать голографическое видео и другие.

В то же время традиционная фотоголография имеет преимущество по разрешению и глубине сцены, что обусловлено малыми размерами и невысокой (по сравнению с голографическими фотоматериалами) разрешающей способностью современных ПЗС-матриц. Например, в натуральных экспериментах [7] с импульсной записью голограмм на голографические фотопластины достигалось разрешение деталей планктона от 10 мкм при глубине сцены до 470 мм. В настоящей статье разрешение также оценено по известным размерам деталей планктона и составляет 90 мкм. Глубина сцены была ограничена размером используемой кюветы (30 мм), хотя в предыдущих экспериментах нами достигалась глубина сцены до 400 мм. Очевидно, что при использовании камер с большим размером матрицы и меньшим размером пикселя имеется возможность достигать более высокого разрешения и большей глубины сцены.

Дополнительные возможности дает голографическое видео, которое обеспечивает исследование динамики и взаимодействия частиц, измерение их скорости, возможность построения траектории движения частицы. Допустимая скорость движения частиц определяется минимальным временем экспозиции камеры, а временное разрешение — частотой следования кадров. В настоящей статье камера «Видео-скан-2020» позволяла регистрировать 5 кадр./с, поэтому временное разрешение составляло 0,2 с. При использовании более высокоскоростных камер временное разрешение можно повысить.

1. Демин В.В., Степанов С.Г. Голографические исследования прозрачных микрочастиц // Оптика атмосф. и океана. 1998. Т. 11. № 7. С. 671–676.

2. Демин В.В., Донченко В.А., Чистякова Л.К. Голографические исследования микроструктуры аэрозоля при воздействии наносекундных импульсов излучения // Оптика атмосф. 1988. Т. 1. № 4. С. 57–63.
3. Демин В.В., Степанов С.Г. Исследование ориентационных характеристик модельных кристаллических аэрозолей голографическим методом // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 9. С. 833–836.
4. Демин В.В., Половцев И.Г., Макаров А.В., Мазур В.А., Тарасенко А.А., Ковбасюк Н.Н., Мельник Н.Г. Погружаемая голографическая камера для исследования микрочастиц: проблемы и решения // Оптика атмосф. и океана. 2003. Т. 16. № 9. С. 846–855.
5. Katz J., Donaghay P.L., Zhang J., King S., Russell K. Submersible holocamera for detection of particle characteristics and motions in the ocean // Deep-Sea Res. 1999. V. 46. N 8. P.1455–1481.
6. Malkiel E., Alquaddoomi O., Katz J. Measurements of plankton distribution in the ocean using submersible holography // Meas. Sci. and Technol. 1999. V. 10. N 12. P. 1142–1152.
7. Watson J., Alexander S., Graig G., Hendry D.C., Hobson P.R., Lampitt R.S., Marteau J.M., Nareid H., Player M.A., Saw K., Tipping K. Simultaneous in-line and off-axis subsea holographic recording of plankton and other marine particles // Meas. Sci. and Technol. 2001. V. 12. N 8. L9–L15.
8. Hobson P.R., Watson J. The principles and practice of holographic recording of plankton // J. Opt. A: Pure and Appl. Opt. 2002. V. 4. N 4. P. S34–S49.
9. Демин В.В., Макаров А.В., Половцев И.Г. Регистрация планктона с помощью имитатора погружаемой голографической камеры // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19. № 4. С. 312–318.
10. Dyomin V.V., Watson J., Benzie P.W. Reducing the Aberrations of Holographic Images of Underwater Particles by Using the Off-axis Scheme with Normal Incidence of Object Beam // Conf. Proc. of the «Oceans'07». Aberdeen, Scotland, 18–21 June 2007. Paper No. 070131-036 (2007). IEEE Catalog Number: 07EX1527C; ISBN: 1-4244-0635-8; Library of Congress: 2006932314.
11. Мазур В.А., Макаров А.В., Ольшук А.С. Разработка программного обеспечения для восстановления и обработки голографических изображений частиц // Тр. Первой конф. студенч. научно-исслед. инкубатора / Под ред. В.В. Демина. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. С. 9–15.
12. Мазур В.А., Макаров А.В., Ольшук А.С. Повышение качества изображений, восстановленных с цифровых голограмм // Тр. Второй конф. студенч. научно-исслед. инкубатора / Под ред. В.В. Демина. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. С. 9–14.
13. Thompson B.J. Holographic particle sizing techniques // J. Phys. E: Scientific Instruments. 1974. V. 7. Iss. 10. P. 781–788.
14. Тимошкин О.А., Мазепова Г.Ф., Мельник Н.Г. и др. Атлас и определитель пелагиобонтов Байкала (с краткими очерками по их экологии). Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1995. 694 с.
15. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. М.: Мир, 1979. 686 с.

V.V. Dyomin, A.S. Olshukov, E.Yu. Naumova, N.G. Melnik. **Digital Holography of Plankton.**

Plankton peculiarities as an object for holographing are discussed. Estimations of potentialities and limitations are suggested as well as the high informativity of the plankton digital holography is shown. Experimental results on digital holographing of Baikal zooplankton including creation of holographic video are presented.