

СТАТЬИ

УДК 551.46.077

**РАЗВИТИЕ ГЛУБОКОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВИЗУАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ РЕЛЬЕФА ДНА И ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**<sup>1</sup>Анисимов И.М., <sup>1,2</sup>Римский-Корсаков Н.А., <sup>1</sup>Тронза С.Н.**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru;*

<sup>2</sup>*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва*

Разработка подводной техники для визуальных наблюдений поверхности океанского дна началась в Институте океанологии им. П.П. Ширшова в конце 1950-х гг. Вначале это были беззатворные фотокамеры с короткофокусными объективами типа «Гидроусар», в которых время экспозиции определялось длительностью вспышки импульсного осветителя. С помощью таких камер были получены уникальные данные о геологическом строении, животных и растениях океанского дна, в том числе дна Марианской впадины. В 1970-х гг. появились образцы систем подводного телевидения, сконструированные на базе аппаратуры, использовавшейся в то время для нужд космонавтики. Развитие фототехники продвигалось в это же время по пути совершенствования оптики и светотехники, а также создания фотограмметрических систем для измерения микрорельефа и деталей подводных объектов. В 1980-х гг. были созданы глубоководные привязные аппараты, оборудованные высокочувствительными телевизионными системами, которые дополнялись стереофотокамерами, а также гидроакустической и магнитометрической аппаратурой. К концу 1990-х гг. все эти аппараты были утрачены. В настоящее время в Институте океанологии создан буксируемый необитаемый подводный аппарат (БНПА) «Видеомодуль» с глубиной погружения 6 км, оборудованный видео- и фотосистемами для исследования микрорельефа дна, донной фауны и растений. Первые испытания БНПА прошли в 2015 г. в Карском море. Научное оборудование БНПА состояло из аналоговой RGB камеры и двух светильников общей мощностью 100 Вт. В настоящее время БНПА оснащен двумя аналоговыми видеокамерами, цифровой видеокамерой с разрешением Full HD, глубометром, гидролокатором бокового обзора и лазерной системой масштабирования фото- и видеоизображений. В статье рассмотрены новые разработки технического направления Института океанологии в области глубоководных фото- и видеосистем БНПА.

**Ключевые слова:** фотосистема, видеосистема, подводный буксируемый аппарат, оптоволоконная линия, маршрутная съемка, фоторазрез

**BOTTOM RELIEF AND UNDERWATER OBJECTS VISUAL DEEP-WATER OBSERVATIONS TECHNOLOGIES DEVELOPMENT**

**<sup>1</sup>Anisimov I.M., <sup>1,2</sup>Rimskiy-Korsakov N.A., <sup>1</sup>Tronza S.N.**

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru;*

<sup>2</sup>*Bauman Moscow State Technical University, Moscow*

The underwater equipment development for visual ocean bottom observations has began at Shirshov Oceanology Institute in the late 50s of the last century. Initially, these were shutterless cameras with short focus «Hydrorusar» type lenses, in which the exposure time was determined by the duration of the flash lamp flash. Using these cameras, unique data were obtained on the geological structure, animals and plants of the ocean floor, including the bottom of the Mariana Trench. In the 70s there were samples of underwater TV systems designed on the basis of equipment used at that time for cosmonautics needs. The development of photographic equipment was advancing at the same time along the path of improving optics and lighting technology, as well as creating photogrammetric systems for measuring micro relief and details of underwater drawn objects. In the 80s, deep towed vehicles equipped with high sensitive TV systems were created. They were supplemented by stereo cameras, sonars and marine magnetometers. By the end of the 90s, all these devices were lost. At present, the Shirshov Oceanology Institute has created a towed unmanned underwater vehicle (TUUV) «Video module» with 6 km diving depth which is equipped by video and photo systems for bottom micro relief, fauna and plants studying. The first tests of the TUUV were held in 2015 at Kara Sea. The scientific part of TUUV equipment at that time included the RGB camera and two lamps with a total power of 100 watts. Currently, TUUV is equipped with 2 analog TV cameras, Full HD camera, a depth gauge, an altimeter, a side-scan sonar and a laser system for scaling photos and video images. The article discusses the Shirshov Oceanology Institute Marine Engineering Department new developments in the field of TUUV deep-sea photo and video systems.

**Keywords:** photosystem, video system, underwater towed vehicle, fiber optic line, route shooting, photo section

Разработка глубоководных средств визуальных наблюдений дна океана в Институте океанологии РАН насчитывает почти 70 лет. Так уже в 1960-х гг. были получены первые уникальные подводные снимки дна Марианской впадины. В 1970-х гг. появились образцы систем подводного телевидения, а в 1980-х гг. были созданы глубоковод-

ные привязные аппараты, оборудованные высокочувствительными телевизионными системами, стереофотокамерами, а также гидроакустической и магнитометрической аппаратурой.

Целью исследования, представленного в настоящей работе, является анализ опыта создания в Институте океанологии

(ИО РАН) глубоководных средств визуальных наблюдений и синтез на его основе инновационных систем для исследования микрорельефа дна, донных животных и растений, а также идентификации и контроля состояния подводных объектов естественного и искусственного происхождения. При этом преследуется цель снизить затраты на построение систем наблюдения за счет использования серийных элементов фото- и светотехники.

Материалом для анализа принципов и подходов к созданию глубоководной техники для визуальных дистанционных наблюдений являются телевизионные и фотоустановки БНПА, которые создавались в 1980-х гг. для исследования морфологии микрорельефа дна океана, донной флоры и фауны, а также фрагментов техногенных объектов. В состав фотосистем входили беззатворные фотокамеры, использующие фотопленку чувствительностью 400 ед. ГОСТ, с короткофокусными объективами типа «Гидрорусар». Время экспозиции определялось длительностью вспышки импульсного осветителя. Телевизионные системы создавались на базе высокочувствительных телекамер космических аппаратов, которые совмещались с подводными люминесцентными (галлиевыми) источниками заливающего света. Детальное описание таких систем можно найти в работе [1].

В настоящее время существует интерес к глубоководным системам для ресурсных и поисковых исследований на континентальном склоне и глубоководных участках шельфа, в том числе в морях Российской Арктики и на Черном море [2–4]. Наряду с сейсмоакустическими средствами для таких исследований используются аппараты, оборудованные приборами для визуального дистанционного наблюдения придонной области океана в оптическом диапазоне. Такие системы используют, как правило, оптоволоконные линии связи, позволяющие передавать видеосигнал на большие расстояния в высоком качестве. Методы подводного видеонаблюдения также широко используются для изучения донных животных и растений. Применение видеоаппаратуры позволяет оперативно получить информацию о характере дна, определить видовой состав донного сообщества, а также произвести качественный и количественный учет отдельных организмов, дополняя траловые исследования и сохраняя при этом целостность учитываемых сообществ. Разрешающая способность видеоаппаратуры Full HD является достаточной для проведения исследований сообществ мегабентоса (размер более 5 см). Однако этого разрешения

не хватает для изучения макробентоса (0,5–5 см). С другой стороны, при исследованиях макробентоса нет необходимости в получении непрерывного видеоизображения, так как для изучения пространственного распределения организмов и проведения их учета достаточно иметь ряд дискретных изображений в различных точках исследуемого района. Для этой цели широко применяется фотосъемка дна с использованием импульсных источников света на маршрутах, прокладываемых, как правило, вдоль или поперек изобат. Такие фоторазрезы позволяют изучать микрораспределение представителей донной фауны в зависимости от характера рельефа дна, производить учет животных, не попадающих в пробу трала или дночерпателя, а также вести более точный учет прикрепленных организмов.

Исследование метода и аппаратуры для придонных наблюдений с помощью фоторазрезов проводилось на платформе БНПА «Видеомодуль», созданного в Институте океанологии [5–7] на основе результатов анализа опыта предыдущих разработок БНПА. БНПА «Видеомодуль» представляет собой пространственную раму из нержавеющей стали, внутри которой на кронштейнах закреплены прочные корпуса с электронным оборудованием, элементами питания, светильниками и видеокамерами, ГБО, альтиметром и глубометром. Корпуса соединены между собой подводными кабелями с герметичными электрическими разъемами. Рама имеет узел регулируемой подвески к кабель-тросу и 12 грузов для его устойчивого заглубления и балансировки по дифференту. Фотография аппарата приведена на рис. 1, основные технические характеристики – в таблице.



Рис. 1. БНПА «Видеомодуль» во время спуска под воду с борта НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море в июле 2019 г.: слева в корме БНПА – цилиндрические прочные корпуса для электронных блоков и источников электропитания, справа вверху – перспективная видеокамера, справа внизу – обзорная аналоговая камера

Основные технические характеристики БНПА «Видеомодуль»

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Масса, кг	550
2	Габариты, м	2,1×1,0×0,7
3	Максимальная рабочая глубина, м	6000
4	Тип буксирной линии	Кабель-трос КГ1х3Е-70-60-3
5	Информационный канал связи	Оптическое волокно (3 шт.)
6	Информационный интерфейс	RS232
7	Энергосистема	Бортовая аккумуляторная батарея (Pb)
8	Напряжение/емкость батареи В/Ачас	12/50
9	Минимальная автономность, час	2
10	Телекамера 1	Цв. цифровая IP HD BeWard BD3270Z
11	Телекамера 2	Цв. аналоговая Pal EC-007A
12	Телекамера 3	Цв. аналоговая Pal EC-007A
13	Источник заливающего света (ИЗС)	Светодиодная матрица Epistar XY-J45
14	Максимальная электрическая мощность ИЗС, Вт	180 = (30*6 шт.)
15	СТД-зонд	SBE 19plus
16	Датчик давления глубомера	MLH 08KPSB01A Honeywell
17	Альтиметр (эхолот)	На базе Mark-4 фирмы Lawrence Inc.
18	Система оптического масштабирования	M65051 US-Lasers

Начиная с 2015 г. для информационной и механической связи с БНПА применяется кабель-трос КГ1х3Е-70-60-3, с тремя волоконно-оптическими линиями связи. Он был разработан и изготовлен специально для БНПА «Видеомодуль» на предприятии «Псковгеокабель» и отличается от аналогов наличием двух резервных оптоволоконных линий и меньшим диаметром при той же прочности, что позволяет намотать на лебедку трос большей длины. Использование оптического волокна обеспечивает абсолютную защищенность линии связи от электромагнитных, электростатических помех и атмосферного электричества. В прочных корпусах БНПА размещено следующее оборудование:

- система управления, навигации и передачи данных;
- аккумуляторы и вторичные источники питания системы автономного энергопитания;
- обзорная видеокамера и видеокамера высокого разрешения, с трансфокатором;
- видеокамера, служащая для управления БНПА; эта камера направлена вперед и позволяет получать видеоизображение препятствий впереди по ходу движения БНПА;
- гидролокатор бокового обзора с рабочей частотой 240 кГц;
- глубиномер, альтиметр и указатели масштаба;
- шесть источников заливающего света со светодиодными матрицами.

Для изучения макробентоса методом маршрутной фотосъемки БНПА «Видеомо-

дуль» был дополнительно оснащен фотосистемой на базе фотокамеры высокого разрешения SONY ILCE 7RM2, позволяющей получать изображения разрешением 7952 на 5304 пикселя, а также импульсным осветителем на основе источника освещения Godox AD200 мощностью 200 Вт. Источник света закрыт прочным стеклоколпаком, имеющим внешний параболический рефлектор с зеркальным покрытием для формирования направленного освещения места съемки. Электронный и программный интерфейс камеры совмещен с интерфейсом системы телеуправления БНПА, что позволяет дистанционно управлять параметрами фотосъемки (светочувствительностью, значениями диафрагмы и выдержки) и ее режимом: задавать временной интервал между отдельными снимками, либо производить съемку вручную в требуемый момент времени. Фотоизображения передаются по волоконно-оптической линии связи и автоматически загружаются на жесткий диск судовой ЭВМ комплекса БНПА. На рис. 2 приведена функциональная схема фотосистемы. Оптическая и электронная аппаратура подводной фотокамеры и импульсного осветителя заключена в соответствующие прочные герметичные корпуса.

Корпуса соединены между собой подводным кабелем с герметичными разъемами, по которым от камеры подается сигнал на срабатывание фотовспышки, а также транзитом подводится бортовое электропитание =12В, которое преобразуется блоком питания

(БП) импульсного осветителя до номинала  $=14,5В$ . Аппаратура подводной фотокамеры в прочном корпусе включает собственно камеру SONYa7r, два интерфейса связи и блок питания, который преобразует бортовое электропитание  $=12В$  к номиналу  $=5В$  для питания камеры. Первый интерфейс связи преобразует выходные данные (изображения), получаемые с помощью камеры из формата HDMI в формат PAL для передачи с помощью системы телеметрии в судовую часть комплекса БНПА. Второй интерфейс связи позволяет передать команды управления, в том числе синхросигналы, которые поступают на вход фотокамеры через систему телеуправления из судовой части БНПА. Через систему телеуправления БНПА может быть изменен режим работы фотокамеры, в частности включен режим «авто», при котором камера срабатывает автоматически через заданный заранее интервал времени и запускает фотовспышку.

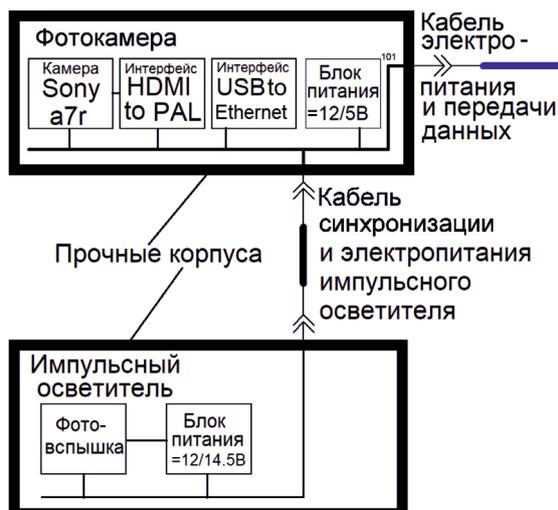


Рис. 2. Функциональная схема подводной фотосистемы высокого разрешения БНПА «Видеомодуль»

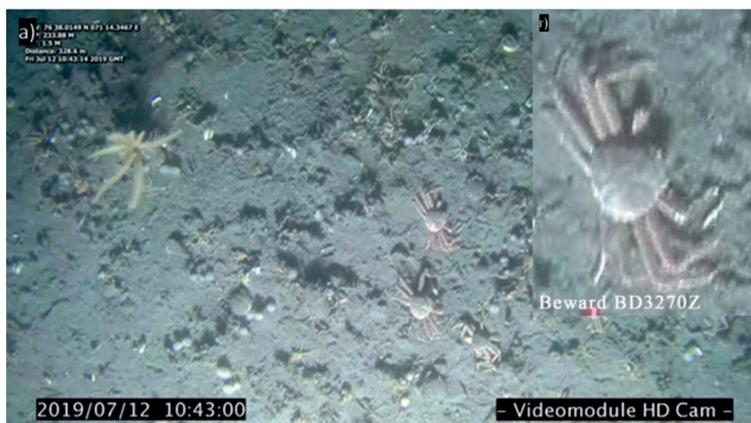


Рис. 3. Кадр видеозаписи, полученной с помощью HD видеокамеры Beward BD3270Z БНПА «Видеомодуль». В левом верхнем углу увеличенный фрагмент видеоизображения



Рис. 4. Кадр видеозаписи, полученной с помощью фотосистемы БНПА «Видеомодуль» на базе цифрового фотоаппарата SONY ILCE7RM2. В правом верхнем углу увеличенный фрагмент видеоизображения

Испытания и экспериментальные исследования с использованием фотосистем, установленной на борту БНПА «Видеомодуль», были проведены в экспедиции 76 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море на континентальном склоне и в Новоземельской впадине Карского моря на глубинах до 400 м. Исследовалась популяция животных вселенцев – краба-стригуна опилио (*Chionoecetes opilio*) [8, 9]. На рис. 3 приведен кадр видеозаписи, полученной в экспедиции в процессе маршрутной видеосъемки на континентальном склоне в Карском море.

На рис. 4 приведен фотоснимок того же участка дна, сделанный с помощью фотосистемы БНПА. В углах видеокadra и фотоснимка приведены их увеличенные фрагменты с изображениями животных. Хорошо видно, что фотоизображение, в отличие от видео, можно существенно масштабировать без потери качества. Таким образом экспериментально доказано преимущество фотосъемки при изучении морфологии донных животных.

Анализ энергетической эффективности показал, что функционирование БНПА в режиме фоторазреза значительно выгоднее маршрутной видеосъемки. Импульсный источник света мощностью 200 Вт обеспечивает освещенность эквивалентную освещенности, создаваемой шестью источниками заливающего света (ИЗС) мощностью по 30 Вт. При длительности импульса вспышки 1/200 с и интервале фотографирования 10 с средняя мощность импульсного источника света составляет около 0,1 Вт. Надо отметить, что для корректной работы системы автоматической фокусировки фотокамеры необходима минимальная постоянная освещенность объекта съемки (поверхности дна). Для создания такой освещенности, как показали натурные испытания фотосистемы, достаточно одного ИЗС мощностью 30 Вт. Таким образом, при съемке в режиме фоторазреза требуемая освещенность может быть создана в шесть раз меньшими затратами энергии, нежели при видеосъемке. Это особенно важно при использовании автономного электропитания БНПА от бортовой аккумуляторной батареи.

### Выводы

Выполненные экспериментальные исследования показали эффективность использования метода подводного фотографиро-

вания наряду с маршрутной видеосъемкой, в первую очередь в части разрешающей способности, для визуальных наблюдений и исследований подводных объектов, как-то: форм микрорельефа, донных животных, растений и техногенных фрагментов. Показано, что помимо разрешающей способности применение фотосъемки позволяет сократить электропотребление бортовой аппаратуры БНПА.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0011) при частичной поддержке РФФИ (проект Арктика № 18-05-60070 и Рго\_а №17-05-41041).*

*Авторы выражают признательность Я.И. Белевитневу, С.В. Жаворонкову и А.А. Пронину за помощь в подготовке экспериментальных исследований.*

### Список литературы

1. Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований: справочник / Под ред. В.С. Ястребова. Л.: Судостроение, 1981. 304 с.
2. Коваленко В.В. О современной стратегии исследования Мирового океана // Морской сборник. 2017. № 12. С. 42–52.
3. Флинт М.В. Экспедиция «Экосистемы Российской Арктики 2017» // Освоение морских глубин. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2018. С. 52–56.
4. Иванов В.В., Коротаев В.Н., Мысливец В.И., Порохов А.В., Пронин А.А., Римский-Корсаков Н.А., Тихонова Н.Ф. Геофизические и гидрографические изыскания на восточном шельфе полуострова Крым (Феодосия – Керчь – Анапа) // Океанологические исследования. 2018. Т. 46. № 1. С. 82–101. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(1).7.
5. Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Флинт М.В. Технические аспекты исследований окружающей среды западной части Карского моря. // Океанологические исследования. 2017. Т.45. № 1. С. 171–186. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).13.
6. Пронин А.А. Методика сбора и представления материалов видеосъемки поверхности дна с помощью обитаемого подводного буксируемого аппарата «Видеомодуль» // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 12–1. С. 142–147.
7. Анисимов И.М., Белевитнев Я.И. Буксируемый обитаемый подводный аппарат для осмотровых и поисковых работ // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. XV Всерос. научно-технической конференции. М., 2017. Т. 2. С. 267–270.
8. Мокиевский В.О. Подводная видеосъемка как метод количественного изучения бентоса // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. XIV Международной научно-технической конференции. М., 2015. Т. 2. С. 311–315.
9. Исаченко А.И., Горин С.А., Цетлин А.Б. Применение фотосъемки для изучения структуры донных сообществ // Комплексные исследования ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов: Труды Беломорской биостанции МГУ Москва, 2012. Т. 11. С. 88–103.