

УДК 551.46

## МЕТОДИКА СБОРА И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ВИДЕОСЪЁМКИ ПОВЕРХНОСТИ ДНА С ПОМОЩЬЮ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО БУКСИРУЕМОГО АППАРАТА «ВИДЕОМОДУЛЬ»

Пронин А.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: pronin@ocean.ru*

Рассмотрен вопрос сбора и представления материалов подводной видеосъёмки дна при океанологических исследованиях с помощью необитаемых подводных буксируемых аппаратов. Предложено деление вспомогательных данных, необходимых для камеральной обработки видеоматериалов, на смысловые «блоки», в зависимости от их значимости для интерпретации данных. Выделены «блоки» абсолютно необходимых и желательных данных, обосновано их разделение в разных районах Российской Арктики. Описана реализация такого подхода при получении данных для целей количественного учета пространственного распределения бентоса в арктических экосистемах. Приведены примеры использования данной методики в экспедиционных исследованиях 2015–2017 годов в 63, 66 и 69 рейсах научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в морях – Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском, с помощью необитаемого подводного буксируемого аппарата «Видеомодуль».

**Ключевые слова:** подводные аппараты, видеосъёмка дна, экосистемы Арктики, количественный учет бентоса, морские экспедиционные исследования

## COLLECTION AND REPRESENTATION DATA VIDEO MOVIES OF BOTTOM SURFACE IN OCEANOLOGICAL INVESTIGATIONS WITH UNDERWATER TOWING EQUIPMENT

Pronin A.A.

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: pronin@ocean.ru*

The issue of collection and presentation of underwater video footage of the seabed in oceanographic studies with the help of uninhabited underwater towed vehicles is considered. It is proposed to divide the auxiliary data necessary for the cameral processing of video materials into semantic «blocks», depending on their significance for the interpretation of the data. The «blocks» of absolutely necessary and desirable data are identified, their separation is justified in different regions of the Russian Arctic. The implementation of such an approach is described when obtaining data for the purposes of quantifying the spatial distribution of benthos in Arctic ecosystems. Examples of the use of this technique in expeditionary studies of 2015–2017 in 63, 66 and 69 flights of the research vessel «Akademik Mstislav Keldysh» in the seas – Karsky, Laptev and East Siberian, with the help of the unmanned underwater towed vehicle «Videomodule» are given.

**Keywords:** underwater vehicles, video bottom survey, Arctic ecosystems, quantitative benthos counting, marine expeditionary research

В различных областях океанологии при проведении исследований дна нашла широкое применение фото, а позже видеосъёмка. Анализ визуальных изображений поверхности дна используется в геологических, геоморфологических, эколого-биологических и даже гидрофизических исследованиях. В СССР начало широкому применению подводной и глубоководной фотосъёмки для научных исследований положил сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова Никита Львович Зенкевич [1]. Им получены более четырёх тысяч фотографий дна, в том числе в глубоководных желобах, на глубинах более 7 км. Конструкция фотоустановки Н.Л. Зенкевича оказалась настолько удачной, что применялась даже в начале XXI века [2]. Фотографии, полученные им и его сотрудниками, использовались в исследованиях Н.А. Айбулатова, В.Г. Богорова, А.В. Живаго, Л.И. Москалева, Г.Б. Удинцева и др. Основные требования к набору

дополнительных данных, необходимых для полноценной научной интерпретации изображений дна, определились в самом начале применения подводной фотосъёмки. Развитие современных технологий позволяет расширить круг параметров, который фиксируется при производстве подводной видеосъёмки, организовать более удобный доступ исследователя к различной вспомогательной информации, характеризующей материалы видеосъёмки дна.

Для маршрутных глубоководных видео наблюдений в ИОРАН разработан буксируемый необитаемый подводный аппарат (БНПА) «Видеомодуль», который уже на протяжении 3 лет, совершенствуясь, эксплуатируется в Арктических экспедициях. В 2015 г, в 63 рейсе научно-исследовательского судна (НИС) «Академик Мстислав Келдыш» началось использование БНПА «Видеомодуль» для изучения экосистем донных сообществ Карского моря, прежде

всего количественной оценки пространственного распределения представителей донной фауны [3].

БНПА представляет собой пространственную раму из нержавеющей стали, внутри которой на кронштейнах закреплены прочные корпуса с электронным оборудованием, элементами питания и видеокамерами, а также установлены гидрофизический зонд SBE и подводный гамма-спектрометр РЭМ-26. Корпуса соединены между собой подводными кабелями с герметичными электрическими разъемами. Рама имеет узел регулируемой подвески БНПА к кабель-тросу и 12 грузов для его устойчивого заглубления и балансировки по дифференцу. Фотография аппарата приведена на рис. 1, основные технические характеристики – в таблице. Буксируемый носитель связан с судном-носителем с помощью кабель-троса с волоконно-оптической линией связи (ВОЛС). В свою очередь, на судне находится лебедка с вращающимся оптическим переходом и аппаратура управления, контроля и сбора данных, поступающих от погружного блока и других судовых систем (навигации, эхолота и т.п.). Использование оптического волокна обеспечивает абсолютную защищенность линии связи от электромагнитных, электростатических помех и атмосферного электричества, позволяет передавать значительно больший объём информации на большие расстояния.

При проектировании и изготовлении НПБА «Видеомодуль» потребовалось выявление перечня параметров, которые, кроме непосредственно видеозаписи дна, необходимо фиксировать при производстве подводной видеосъёмки, чтобы полученные данные удовлетворяли современным требованиям, предъявляемым к видеоматериалам, используемым для количественного анализа пространственного распределения различных представителей донных сообществ. На основе опыта, имеющегося в ИО РАН [4], публикаций в российской [5–7] и иностранной [8] печати, консультаций с специалистами был определен перечень параметров, необходимых для интерпретации материалов подводной видеосъёмки, используемых при биолого-экологических исследованиях. В качестве этих параметров были выбраны:

- координаты (широта, долгота и глубина);
- масштаб изображения (высота камеры над грунтом);
- ориентация видеокадра по сторонам света (курс движения буксируемого тела НПБА);
- гидрофизические параметры (температура и солёность);

– углы наклона снимка относительно вертикали;

– специальные параметры (например, данные гамма-спектрометра, что может быть актуально при работах в некоторых заливах Новой Земли [9]).

Кроме параметров, относящихся непосредственно к отдельному снимку, необходимо знать плановое и высотное положение трансекты, профиль гидрофизических параметров (температура, солёность) по разрезу.

Выбранные параметры можно разделить по следующим критериям: однозначно необходимые и те, которые могут повысить качество и удобство интерпретации подводной видеосъёмки, но в случае больших технических сложностей при их реализации от их фиксации можно отказаться. К первым, безусловно, относятся координаты и глубина съёмки, масштаб изображения. С другой стороны, можно разделить параметры на те, которые необходимы в реальном времени, и те, которые нужны при постобработке. Перечисление критериев, по которым делятся необходимые параметры, можно продолжить. Причем в различных условиях приоритет этих критериев может меняться. Поэтому было принято решение о блочном представлении данных, получаемых с помощью НПБА «Видеомодуль». В первый блок входят видеозаписи трёх камер – высокого разрешения, обзорной и перспективной в стандартных форматах видеозаписи. Видеокамера высокого разрешения выполняет плановую съёмку и по её данным проводятся количественные определения (измерение) размеров представителей донной фауны. Две другие в основном служат для пилотирования подводного аппарата, и их данные могут служить дополнением к видеозаписи основной камеры в случае необходимости. Во второй блок входят навигационные данные о местоположении судна, глубине места, курсе и углах наклона буксируемого тела. В третий – данные гидрофизического зонда, установленного на подводном аппарате. В последующие блоки входит информация о наклонных дальностях до аппарата, данные гамма-спектрометра и т.д. Количество блоков не ограничено и может увеличиваться при необходимости. В ряде случаев выявленные параметры потребовали изменения аппаратной части подводного аппарата и установки дополнительных функциональных блоков. В процессе эксплуатации НПБА «Видеомодуль» также вносились необходимые изменения в систему сбора и представления данных и в ее аппаратное обеспечение.



Рис. 1. БНПА «Видеомодуль»

#### Основные технические характеристики

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Масса, кг	550
2	Габариты, м	2.1 x 1.0 x 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)
6	Информационный интерфейс	RS232
7	Энергосистема	Бортовая аккумуляторная батарея
8	Напряжение/емкость батареи В/Ачас	12/50
9	Автономность не менее, час	2
10	Телекамера 1	Цв. цифровая IP HD BeWard BD3270Z
11	Телекамера 2	Цв. аналоговая Pal EC-007A
12	Телекамера 3	Цв. комбинированная HD Xiaomi Yi
13	Источник заливающего света (ИЗС)	Светодиодная матрица Epistar XY-J45
14	Максимальная электрическая мощность ИЗС, Вт	180 = (30*6штг)
15	СТД-зонд	SBE 19plus
16	Датчик глубомера	MLH 08KPSB01A Honeywell
17	Гамма-спектрометр	РЭМ-26
18	Система оптического масштабирования	M65051 US-Lasers

В настоящее время, по результатам экспедиции 69 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш», проведенной в августе – октябре 2017 г., описываемая методика выглядит следующим образом. В реальном времени при буксировке «Видеомодуля» параллельно фиксируются координаты судовой и автономной антенн систем GPS-ГЛОНАСС; данные датчика давления, пересчитанные в глубину; курс, крен и дифферент НПА (определяются с помощью электронного компаса-инclinометра Rion DCR 260B). Эти данные

пишутся в протокол погружения и в специальный файл титров (рис. 2), которые, по желанию оператора, можно выводить на видеозображения дна. Кроме этого, в отдельные файлы пишутся данные судового эхолота и гидрофизического зонда SBE-19, которые отображаются в реальном времени на отдельных мониторах. Масштаб изображения видеокадров можно определить с помощью лазерных указателей масштаба, представляющих из себя лазерные мини-модули в герметичных корпусах, размещенные на постоянной

и известной базе. Таким образом, первичные данные представляют три или более блоков информации, синхронизированных по времени. Первый блок содержит данные видеокамер, второй навигационную информацию, а именно: координаты судна, глубину, на которой находится буксируемая платформа подводного аппарата, курс, крен дифферент. Третий блок содержит батиметрическую информацию, полученную с помощью судового эхолота, четвертый – гидрофизические данные. В пятом и последующих блоках представлена информация, получаемая с дополнительных устройств, например с гамма-спектрометра. Далее, данные второго блока корректируются в режиме постобработки. Вычисляются координаты положения буксируемого тела с учетом наклонной дальности, определенной по маяку-ответчику во время буксировки и офсетов антенн спутниковой навигации. Далее, вычисляются моменты времени, в которые видеокамера располагалась на заданных расстояниях от начала трансекты вдоль генерального направления маршрута. Для этих моментов производится «нарезка» видеозаписи на отдельные кадры, их масштабирование и ориентирование (разворот, чтобы при наложении на планшет север находился сверху, аналогично географической карте). Первоначально планировалось, что эти кадры будут трансформированы в соответствии с углами крена и дифферента, но практика показала, что эти углы малы и не оказывают практического влияния на метрические свойства изображения. В результате

для окончательной обработки специалист получает следующие данные: видеозапись видеокамеры высокого разрешения с титрами и масштабными метками, план и профиль движения НПБА (видеокамеры) в определенном масштабе с временными отметками (рис. 3), «нарезку» кадров видеозаписи через заданный пространственный интервал, график изменения гидрофизических параметров по траектории движения подводного аппарата с привязкой по времени (рис. 4).

Используя представленные таким образом данные специалист-биолог может определять изменение количества и размеров интересующих его животных, рассчитывать площадь покрытия дна донными организмами и определять их суммарную биомассу на единицу площади. Важным условием при использовании таких определений является сопоставление данных, полученных с помощью видеосредств с данными традиционных методов применяемых в морской биологии – дночерпательными пробами и результатами лова донным тралом. Нельзя не сказать еще об одном существенном ограничении при выполнении подобных измерений по материалам видеосъемки, которые вызваны оптическими свойствами (прежде всего прозрачностью) воды в местах производства наблюдений. В ряде случаев, например в некоторых заливах Новой Земли и приустьевых участках, прозрачность воды не позволяет обнаружить и идентифицировать на видеоматериалах мелкие организмы, что может ухудшить достоверность определений.



Рис. 2. Пример видеоизображения дна, полученного НПБА «Видеомодуль» в 69 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море с титрами (в левом нижнем углу) и масштабными метками (две красные точки в центре)

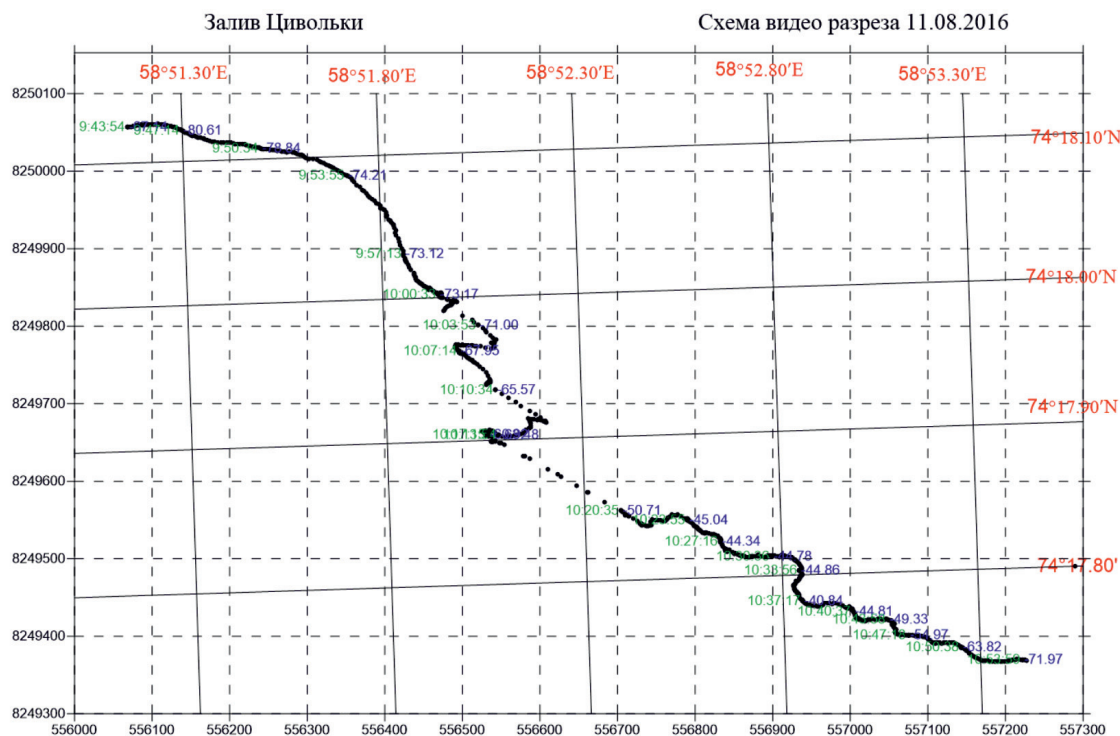


Рис. 3. Пример плановой привязки видеоизображений дна, полученных НПБА «Видеомодуль» в 66 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море

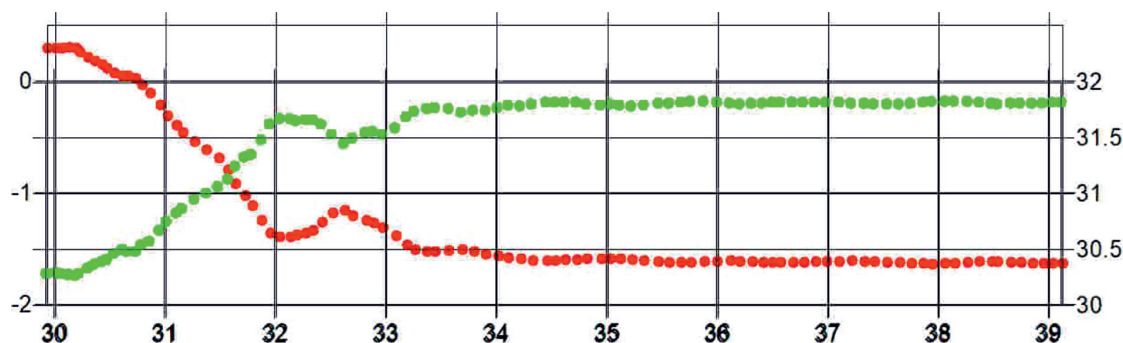


Рис. 4. Аномалии температуры – солёности (соответственно показаны красным и зеленым цветами) на ст. 5606, 69 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», зафиксированные зондом SBE-19 при выполнении видеоразреза НПБА «Видеомодуль»

Описанная методика представления данных видеосъёмки поверхности дна использовалась в 2015–2017 годах в 63, 66 и 69 рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Российской Арктике, где она показала свою эффективность при эколого-биологических исследованиях, в частности при определении пространственного распределения плотности расселения донных организмов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты Кар а 14-05-05001, Рго а 13-05-41001), а также РНФ (проект 14-50-00095).

Автор выражает благодарность руководителям экспедиции – чл.-корр., д.б.н. М.В. Фленту, д.т.н. Н.А. Римскому-Корсакову, С.Г. Пояркову за помощь и поддержку, предоставление возможности участия в рейсах и выполнения работы, С.В. Галкину, В.О. Мокиевскому, А.А. Удалову, А.А. Недоспасову, Я.И. Белевиту, И.М. Анисимову и другим коллегам, совместно с которыми проводились работы с БНПА «Видеомодуль» в Институте и экспедициях.

## Список литературы

1. Зенкевич Н.Л. Фотокамеры для съёмки дна на больших глубинах / Зенкевич Н.Л. // Тр. Института океанологии АН СССР. – 1960. – Т. XLIV. – С. 66–80.
2. Марков Ю.Д., Можеровский А.В., Ващенко Н.Г. Металлоносные осадки активной зоны рифта восточно-тихоокеанского поднятия / Ю.Д. Марков, А.В. Можеровский, Н.Г. Ващенко // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23, № 5. – С. 40–53.
3. Флинт М.В., Римский-Корсаков Н.А., Поярков С.Г. Экосистемы Российской Арктики – 2015 (63 рейс научно – исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») / М.В. Флинт, Н.А. Римский – Корсаков, С.Г. Поярков // Океанология. – 2016. – Т. 56, № 3. – С. 499–501.
4. Римский-Корсаков Н.А., Долотов Ю.С., Пронин А.А. Технические средства исследования рельефа дна и осадочной толщи эстуарных зон Белого моря / Римский-Корсаков Н.А., Долотов Ю.С., Пронин А.А. // Океанология. – 2009. – Т. 49, № 3. – С. 468–473.
5. Мокиевский В.О. Подводная видеосъёмка как метод количественного изучения бентоса // Современные методы и средства океанологических исследований: сб. ст. XIV международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ 2015)». – Т. II. – М., 2015. – С. 311–315.
6. Исаченко А.И., Горин С.А., Цетлин А.Б. Применение фотосъёмки для изучения структуры донных сообществ // Комплексные исследования ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов. (Труды Беломорской биостанции МГУ, Т. 11). – М., 2012. – С. 88–103.
7. Шашков А.Л., Оленин С.Н. Применение дистанционной подводной видеосъёмки для количественного анализа признаков донных биотопов и их идентификация // Комплексные исследования ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов. (Труды Беломорской биостанции МГУ – Т. 11). – М., 2012. – С. 64–73.
8. Jose Nuno Gomes-Pereira, Vincent Auger et al. Current and future trends in marine image annotation software// Progress in Oceanography. – 2016. – v.149. – P. 106–120.
9. Казеннов А.Ю., Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А. Исследование подводных потенциально опасных объектов в Карском море: монография. – М.: ФГБНУ «Аналитический центр» Минобрнауки России. – 2017. – С. 274.