

**ГЛУБОКОВОДНАЯ ВИДЕОСЪЕМКА
С ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОБООТБОРНЫМ КОМПЛЕКСОМ
В КАЧЕСТВЕ НОСИТЕЛЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ
В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ОКЕАНСКОГО ДНА**

А. А. Кондрашов, В. А. Кречик

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: kondrashoff1984@yandex.ru*

В работе представлен опыт проведения глубоководной видеосъемки поверхности дна в автономном режиме с использованием гидрологического пробоотборного комплекса (батометрической кассеты) в качестве носителя. Представлена конструкция видеосистемы для глубоководных исследований, включая оригинальные осветители, а также механизм включения и отложенного запуска камеры. Дополнительно изложена методика работы на комплексных станциях. Данна оценка поведения розетты во время проведения видеосъемки. Рассмотрен вопрос определения мгновенной пространственной ориентации видеокамеры с использованием данных погружного акустического доплеровского профилографа течений и гидрофизического зонда, установленных на пробоотборном комплексе. Представлены изображения поверхности дна, полученные в 59-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе». По результатам видеосъемки проведена интерпретация изображения для определения вероятного направления и скорости устойчивого придонного течения по особенностям микрорельефа.

Ключевые слова: глубоководная видеосъемка, подводная видеосъемка, морские экспедиционные исследования, глубоководные ландшафты, абиссальная циркуляция, Атлантический океан

Введение

Подводная фото- и видеосъемка является важным и широко применяемым современным методом изучения дна Мирового океана, который позволяет получить недоступную для других способов исследований информацию о микрорельефе поверхности дна и донной фауне. Эти данные особенно актуальны при изучении и картировании глубоководных ландшафтов, а также при исследованиях их изменчивости (Harris and Baker, 2020). Несмотря на то, что абиссаль океана занимает большую площадь, а глубоководные районы являются одной из крупнейших экосистем на Земле, их ландшафты и биологические сообщества остаются малоизученными (Harris et al., 2014; Ramirez-Llodra et al., 2010).

Одним из основателей направления отечественного фотографического исследования дна был Н. Л. Зенкевич, который получил множество глубоководных

фотографий на сконструированную им фотоустановку (Зенкевич, 1970). Дальнейшему развитию оборудования для подводной фото- и видеосъемки способствовало совершенствование фотокамер и их оптических систем, появление телевизионных камер, а также устройств записи видеоданных (Ястребов, 1981). Детальное описание подводных видеосистем и методов их применения в иностранных исследованиях, начиная с 1952 г., можно найти в работе (Mallet, Pelletier, 2014). Наибольшее распространение как самые продуктивные получили буксируемые системы для маршрутных глубоководных наблюдений с передачей видеопотока по кабелю, активно применяемые в настоящее время (Пронин, 2017; Анисимов и др., 2019; Purser et al., 2019).

В связи с развитием электроники в последние годы стали доступны малогабаритные записывающие видеокамеры, обладающие высокими техническими характеристиками. На их основе возможно создание компактных подводных видеокомплексов, в том числе глубоководного исполнения. Что особенно важно, такие комплексы, помимо возможности осуществления продолжительной видеосъемки с высоким качеством изображения, обладают достаточно малыми габаритами, чтобы использоваться в качестве дополнительной полезной нагрузки для исследовательского океанологического оборудования. Наиболее перспективной платформой для установки системы видеосъемки являются гидрологические пробоотборные комплексы (розетты), которые используются повсеместно в океанологических исследованиях для отбора проб воды набором батометров на различных глубинах и, как правило, достигают придонного слоя. Такой способ установки обеспечивает комплексность получаемой информации, поскольку одновременно с видеорядом позволяет фиксировать ряд абиотических характеристик: температуру и соленость, гидрохимические данные, а также параметры течений у дна.

Помимо расширения содержательной части исследований, у данного метода имеются и технические преимущества. В частности, установка малогабаритной видеокамеры, работающей в автономном режиме, на раму розетты не требует какой-либо доработки комплекса. Кроме того, отбор проб воды на станциях подразумевает удержание судна в точке, без буксировки находящегося за бортом оборудования. При этом пробоотборный комплекс снабжен средствами контроля приближения ко дну, такими как акустические альтиметры и пингеры, которые предоставляют оператору на судне текущее расстояние от поверхности дна до прибора в режиме реального времени. Сочетание этих факторов существенно снижает вероятность потери дорогостоящего оборудования при зацепе и в то же время снимает необходимость установки приборов контроля расстояния до дна непосредственно на видеомодуль. Еще одно преимущество такого подхода заключается в том, что он не требует отдельных погружений оборудования для проведения видеосъемки. Это особенно актуально при работах на станциях с большой глубиной, зондирование на которых занимает несколько часов, в течение этого времени судно вынуждено удерживаться в заданных координатах. Отрицательной стороной такого метода является ограничение объема получаемых видеоданных. Тем не менее, работы с использованием розетты для видеосъемки поверхности дна эпизодически проводятся (Linke et al., 2015).

Целью работы было создание и экспериментальное использование дополнительного видеомодуля для гидрологического пробоотборного комплекса, а также оценка возможности применения полученных данных при комплексных исследованиях абиссальных областей океана на примере глубокодонного прохода.

Материалы и методы

Для целей проведения подводной видеосъемки в 59-м рейсе НИС «Академик Иоффе» с использованием розетты подготовлен комплект оборудования на основе герметичного корпуса с плоскопараллельным иллюминатором, представляющего собой глубоководную (до 6000 м) аналоговую видеокамеру Simrad Osprey TV3500Z (производства США), предназначенную для трансляции на внешний видеорегистратор. Диаметр ее корпуса из нержавеющей стали составляет 202 мм (в большей части), высота – 265 мм. Устаревший модуль видеокамеры был извлечен и в освободившемся внутреннем объеме смонтировано шасси с цифровой компактной видеокамерой Sony FDR-X3000R, аккумуляторами для внешних светодиодных осветителей, сервопривод управления видеокамерой, преобразователи напряжения и управляющий микроконтроллер. Прочный корпус оснащен герметичным кабельным вводом, который был задействован для подключения двух осветителей. Характеристики примененной видеокамеры представлены в таблице 1.

Табл. 1 – Характеристики видеокамеры Sony FDR-X3000R

Фокусное расстояние объектива	17 мм, 23 мм, 32 мм
Тип сенсора	CMOS-матрица 8.2 МП
Разрешение	от 800×480 до 3840×2160 пикс.
Частота кадров в секунду	30 при съемке в формате 4К (3840×2160 пикс.) 60 при съемке в формате FullHD (1920×1080 пикс.)
Тип поддерживаемой памяти	Memory Stick Micro™ и Micro SD/SDHC/SDXC
Время автономной работы от встроенного аккумулятора	около 1.5 часов при съемке в формате FullHD (1920×1080 пикс.) и 30 кадрах в секунду
Размеры (Ш x В x Г)	29.4×47.0×83.0 мм

Корпуса осветителей оригинальной конструкции были изготовлены в АО ИО РАН из алюминиевого сплава, иллюминатор – из органического стекла. Каждый из двух осветителей был снабжен герметичным электрическим разъемом. Развитие оптоэлектронники и минимизация сверхъярких светодиодов позволили добиться малой металлоемкости в конструкции осветителей и использования относительно тонкого (10 мм) плоского иллюминатора (рисунок 1). Несмотря на использование такого иллюминатора, осветители могут выдерживать значительное давление внешней среды, расчетное значение которого превышает 600 бар. Всего в каждом из двух осветителей использовалось по три включенных последовательно светодиода Cree XP-G2 с цветовой температурой 6000 – 7000К.

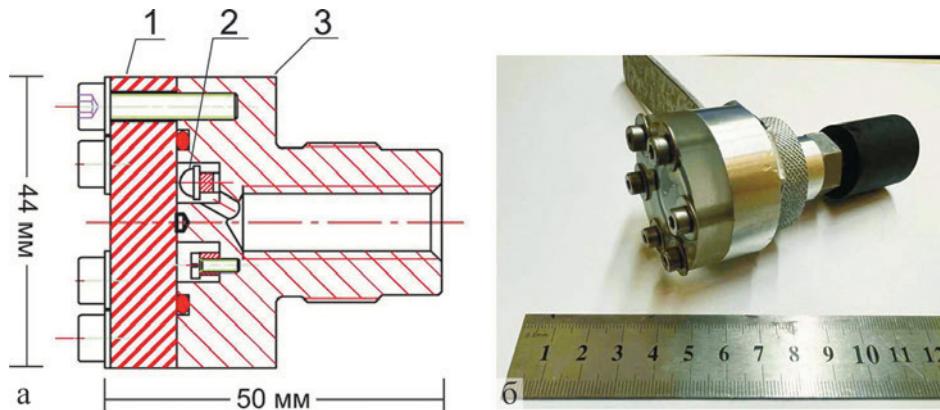


Рис. 1 – Конструкция осветителя: **а** – эскиз корпуса в продольном сечении, где:
1 – иллюминатор, 2 – светодиод, 3 – корпус; **б** – его фотография в сборе

Таким образом, весь комплект для проведения глубоководной видеосъемки состоял из основного прочного герметичного корпуса с иллюминатором, видеокамеры, двух осветителей, соединительного кабеля и кронштейна для крепления на раму розетты (рисунок 2).



Рис. 2 – Фото комплекта для осуществления подводной видеосъемки в автономном режиме

Продолжительность записи использованной видеокамеры в автономном режиме при работе от встроенного аккумулятора составляет до 1.5 часов. Этого времени недостаточно для работы в течение выполнения всей океанологической станции. Обычно погружение розетты до дна производится со скоростью 0.5–1 м/с и может занимать более двух часов на больших глубинах. Включение видеокамеры и активация режима записи осуществлялись по временной задержке с начала спуска и выполнялись по команде микроконтроллера. Для этого использовалась сервомашинка MG90S, которая через заданный промежуток времени с помощью системы тяг и рычагов приводила в движение толкатели. Эти толкатели, в свою очередь, последовательно нажимали кнопки включения питания и старта записи на камере (рисунок 3).

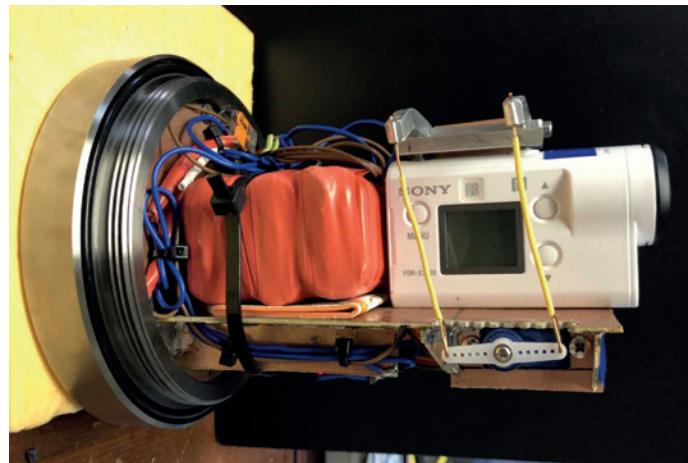


Рис. 3 – Размещение видеокамеры на шасси с осуществлением ее управления при помощи сервомашинки

Все элементы внутри прочного корпуса размещались на шасси, спаянном из фольгированного стеклотекстолита. Помимо видеокамеры и сервомашинки, на него были смонтированы импульсный понижающий регулятор для питания светодиодных осветителей, транзисторный ключ и управляющий микроконтроллер, в качестве которого применена плата Arduino Nano. В качестве аккумуляторов использовалась сборка из шести литий-ионных элементов типоразмера 18650 общим напряжением 12.6 В и емкостью 4400 мА/ч. Такой батареи достаточно для работы осветителей по меньшей мере в течение 3–4 часов. От этой батареи также питана электроника системы управления. Питание видеокамеры осуществлялось от ее штатного внутреннего аккумулятора.

Углы обзора собранной видеокамеры были определены в лабораторных условиях путем калибровки в сосуде с водой с использованием мерных линеек. Полученные значения составили 77.2° по горизонтали и 52.2° по вертикали. Знание этих углов и расстояния от камеры до дна (измеренного с помощью акустического альтиметра Teledyne Benthos PSA-916, входившего в состав гидрологического пробоотборного комплекса) позволяет в процессе постобработки рассчитать реальные размеры объектов в поле зрения камеры. Данный метод оценки размеров, как отмечается в литературе (Harvey et al., 2010; Wakefield, Genin, 1987), имеет некоторую погрешность.

Методика работы на станциях

Методика работы с комплектом подводной съемки подразумевала вскрытие герметичного корпуса при каждой подготовке к пуску, необходимого для заряда аккумуляторов, подготовки карты памяти и программирования времени задержки включения видеокамеры. При подключении к схеме основного аккумулятора сервомашинка выполняла проверочный цикл включения видеокамеры, последовательно «нажимая» на кнопки включения и записи для проверки работоспособности (далее запись

останавливалась вручную). После чего схема управления переходила в ждущий режим, в котором могла находиться при необходимости несколько суток. Герметичный корпус устанавливался в нижнюю часть рамы розетты. Один из двух осветителей, помимо своей основной функции, являлся ключом для активации временной задержки. Для этого непосредственно перед погружением розетты он подключался при помощи герморазъема с дополнительным контактом. Была реализована функция контроля режима ожидания на палубе, которая заключалась в редком (период 30 сек) коротком включении второго осветителя.

После истечения установленного времени задержки, когда ожидался подход розетты ко дну, посредством транзисторного ключа включались осветители и активировалась запись на видеокамере. Отключение видеокамеры не было предусмотрено – она производила непрерывную видеозапись до полного разряда своего аккумулятора. После подъема розетты на борт судна герметичный корпус видеокамеры снимался и вновь осуществлялись описанные выше процедуры подготовки для следующего пуска и архивирование полученных данных.

Для работы на комплексных станциях видеокамера и осветители устанавливались в нижней части приборной рамы, как показано на рисунке 4.



Рис. 4 – Размещение приборов на малогабаритном кассетном пробоотборнике карусельного типа SBE-32 SC Carousel Water Sampler

При погружении розетта останавливалась за 3–5 м от дна, где удерживалась несколько минут, в течение которых, помимо отбора пробы придонной воды, осуществлялась видеосъемка. Контроль расстояния от дна до розетты осуществлялся при помощи установленного на ее раму акустического пингера производства ОКБ Океанологической техники РАН ([Носов и др., 2022](#)) или пингера Benthos 2216. Контроль дистанции от дна в ближней зоне осуществлялся акустическим альтиметром Teledyne Benthos PSA-916, установленным на кассетный пробоотборник карусельного типа Sea-Bird Electronics SBE-32 SC Carousel Water Sampler. Также на розетте были

смонтированы гидрофизический зонд Sea-Bird Electronics SBE 19plusV2 и погружной акустический доплеровский профилограф течений (LADCP) Teledyne RD Instruments Workhorse Sentinel 300 кГц в глубоководном (до 6000 м) исполнении. Погружение гидрологического комплекса осуществлялось штатной судовой лебедкой, при этом использовался кабель-трос диаметром 10 мм с двойной встречной намоткой силовых жил.

Анализ данных альтиметра и датчика давления, установленных на гидрологический зонд, а также данных пространственной ориентации LADCP, позволили оценить поведение розетты у поверхности дна. Очевидно, что слишком быстрое движение видеокамеры относительно дна или ее вращение приведет к смазыванию изображения. По полученным данным розетта испытывала как осцилляции вокруг продольной оси, так и вертикальные возвратно-поступательные движения, обусловленные качкой судна на волне (рисунок 5).

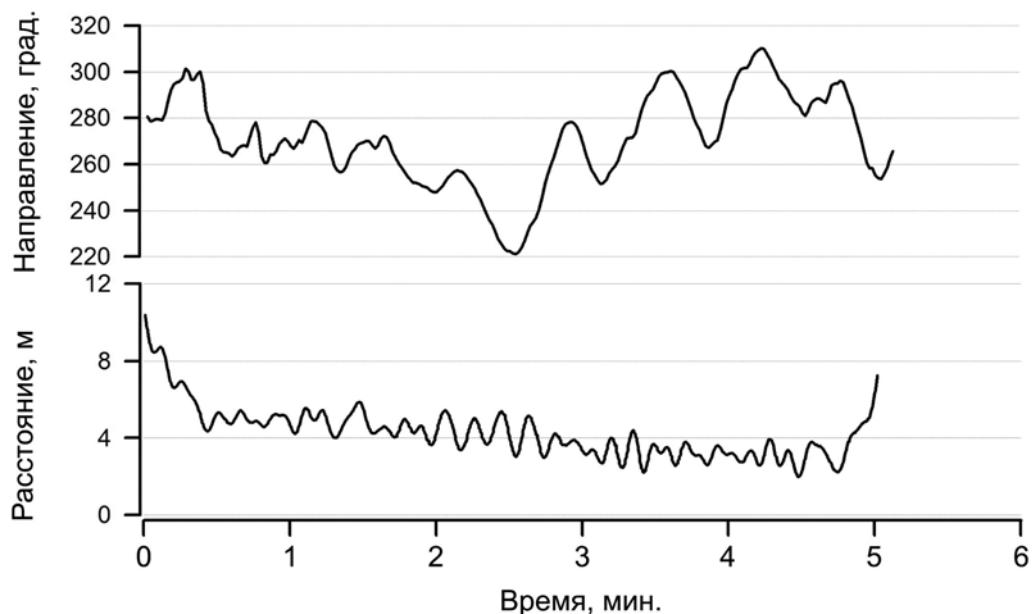


Рис. 5 – Графики, иллюстрирующие поведение розетты у дна на станции АИ59017 (глубина 5005 м). Сверху – азимут LADCP, снизу – расстояние от дна по акустическому альтиметру

Установленный на батометрической кассете LADCP, помимо своей основной функции по измерению параметров течений, предоставляет данные о направлении на магнитный полюс за счет встроенного магнитного компаса. Зная ориентацию LADCP относительно видеокамеры, можно получить информацию о текущем угле разворота видеоизображения относительно направления на север. Пространственная ориентация видеокамеры в текущий момент определялась на основе данных ориентации LADCP с учетом поправки на магнитное склонение в районе работ. После каждого пуска происходил демонтаж видеокамеры и затем новая ее установка, что требовало уточнения смещения угла для каждого пуска.

Недостатком использованной видеокамеры является отсутствие функции наложения меток времени на изображение, что исключало прямую синхронизацию с LADCP, телеметрические данные которого используются для ориентации в пространстве. Для решения этой задачи был использован временной маркер – четко идентифицируемый на видеозаписи момент начала выборки розетты, сопровождающийся резким уменьшением глубины погружения. Поскольку в данных LADCP отсутствовала информация о давлении, эти данные были получены с помощью зонда, установленного на батометрической кассете. В процессе постобработки время для любого интересующего видеокадра определялось относительно этого маркера. Непосредственно перед началом станции время в LADCP синхронизировалось со временем GPS, которое также используется при записи данных, поступающих с зонда гидрологического пробоотборного комплекса.

Результаты и обсуждение

Всего за время экспедиции было осуществлено 16 погружений видеосистемы, из которых 10 при ее установке на раму гидрологического пробоотборного комплекса. Замечания по надежности работы отсутствовали. Средняя продолжительность удержания розетты у дна составляла 5 минут, максимальная глубина погружения составила 5658 м, минимальная – 269 м. Были получены видеозаписи поверхности дна в месте проведения комплексных исследований в северо-восточной части Атлантического океана ([Баширова и др., 2022](#)). Работы выполнялись в том числе в двух глубоководных проходах Восточно-Азорского хребта: Дискавери и Западном. В Западном проходе, разделяющем абиссальные котловины Мадейра и Иберийская, было выполнено 7 погружений подводной видеосистемы на розетте в комплексе с гидрофизическими и гидрохимическими измерениями (рисунок 6).

Наиболее интересные результаты были получены на входном пороге глубоководного прохода Западный, где было выполнено 6 комплексных станций. В придонном слое входного порога было зафиксировано наличие модифицированной Антарктической донной воды (мААДВ) с потенциальной температурой менее 2 °С. Она располагалась вблизи дна в центральной и северо-восточной частях разреза. Толщина слоя в центральной части на станции АИ59019 составила 87 м. По данным измерений LADCP в этом слое наблюдалось снижение значений меридиональной компоненты скорости течения. Скорость и направление течения в 100-метровом придонном слое составили в среднем 22.5 ± 1.8 см/с и 317.8 ± 2.6 °, соответственно. Далее мААДВ обнаруживалась на южном склоне котловины прохода (станция АИ59017, 5005 м), где течение в придонном слое толщиной 100 м было направлено на север (4.0 ± 1.1 °), а его средняя скорость увеличилась до 29.2 ± 5.3 см/с. На станции АИ59022 (4876 м) по данным измерений LADCP значения зональной и меридиональной компонент скорости течения снижались с глубиной. Средняя скорость течения в придонном стометровом слое на данной станции составляла 2.2 ± 0.04 см/с, а среднее направление течения – 47.3 ± 1.3 °.

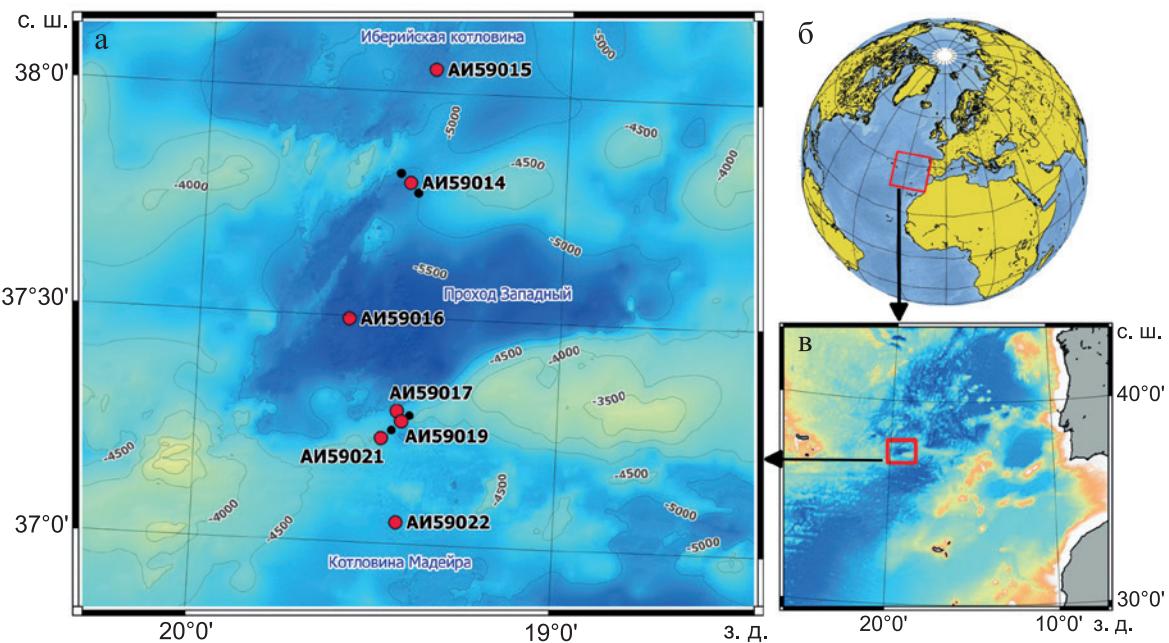


Рис. 6 – Район исследования в проходе Западный: **а** – большими красными точками с подписями отмечены станции, где выполнялась подводная видеосъемка дна. Маленькие черные точки маркируют станции без глубоководной видеосъемки; **б, в** – расположение места проведения работ в Северной Атлантике

Высокие скорости придонных течений на станциях АИ59019 и АИ59017 хорошо согласуются с результатами видеосъемки дна. На южном склоне прохода Западный (станция АИ59017) видеосъемка дна показала выраженные следы размыва и наличие на дне крупного обломочного материала (рисунок 7а). Сопоставление ее результатов с матрицей соотношения форм рельефа дна и скорости течений (Stow et al., 2009) позволило предположить наличие сильного течения (20–30 см/с) в северном направлении. Контактные измерения, как указано выше, подтвердили такие значения скоростей и направление течения.

Более сильные следы размыва были обнаружены на станции АИ59019 (4768 м), расположенной на входном пороге прохода Западный. Анализ видеоматериала с использованием матрицы из (Stow et al., 2009) показал, что скорости течения здесь достигают 30–40 см/с. Однако следует отметить, что наличие на дне крупного обломочного материала, песчано-гравийных полос, гравийных волн и крупных форм, называемых «следы комет», позволяет предположить периодическое наличие здесь течений со скоростями до 50 см/с (рисунки 7б, в). Среднее значение скорости течения в стометровом придонном слое станции по данным контактных измерений не достигало указанных значений, но расхождения в направлении течения и ориентации форм микрорельефа составило всего около 6–7°. При этом абсолютное максимальное значение скорости в придонном слое составило 25.6 см/с, а ядро течения со скоростями, превышающими 30 см/с (до 33.7 см/с), находилось в диапазоне глубин 4384–4470 м.

Видеоматериалы, полученные на станции АИ59022, расположенной перед входным порогом глубоководного прохода в котловине Мадейра, показали, что дно здесь выполнено, сложено тонкодисперсным материалом и не имеет следов размыва (рисунок 7г). Матрица соотношения форм рельефа дна и скорости течений (Stow et al., 2009) позволяет предполагать здесь незначительные скорости течения, как и показали данные LADCP.

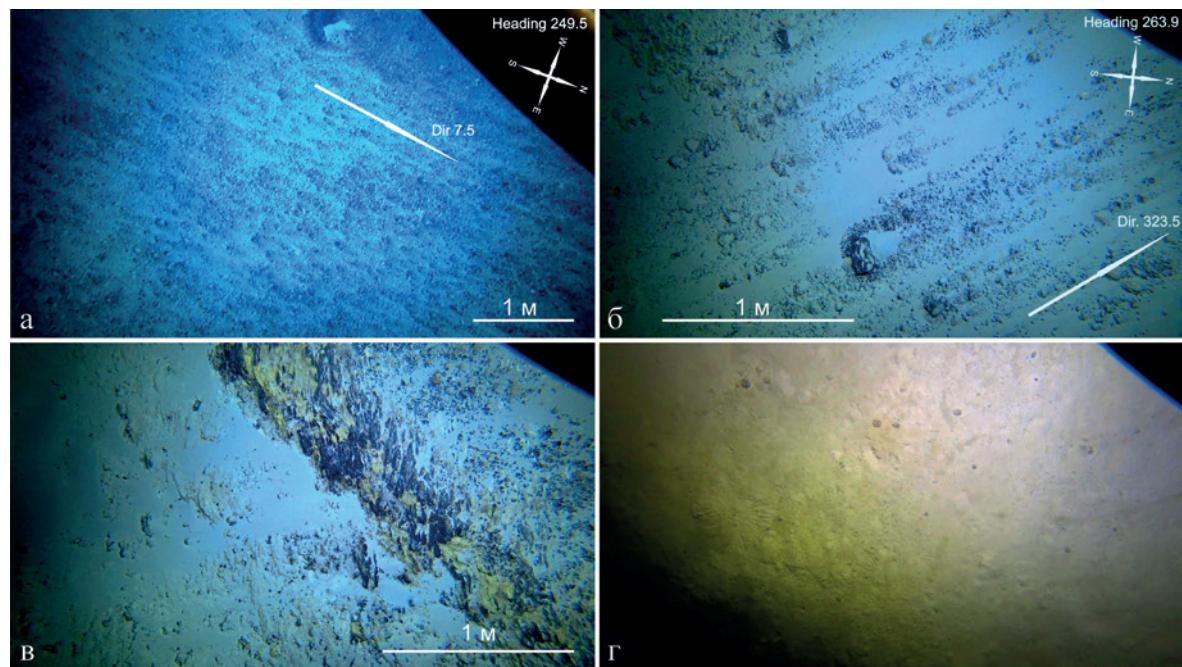


Рис. 7 – Фотографии поверхности дна, полученные в ходе экспедиции на станциях: **а** – АИ59017; **б, в** – АИ59019; **г** – АИ59022. Стрелками указано направление течения, визуально определенное по формам микрорельефа

Видеосъемка позволила также зафиксировать придонные организмы и следы их жизнедеятельности. На станции АИ59015 (5287 м) в Иберийской котловине обнаружена форма микрорельефа, напоминающая прокопанный в осадках ход (рисунок 8а). Следует отметить, что данная форма рельефа закольцована. Также на станции были обнаружены, предположительно, ракообразные.

Станция АИ59016 (5658 м) была самой глубокой, выполненной в данном рейсе. Здесь выявлены следы жизнедеятельности бентосных организмов в виде норок с расходящимися радиально вмятинами на верхнем слое осадка. Подобные следы также встречались в проходе Дискавери, однако на данной станции найден самый крупный из подобных элементов микрорельефа (рисунок 8б). На станции АИ59022 в котловине Мадейра зафиксированы 2 экземпляра животных (рисунок 9в). Группа живых организмов также наблюдалась на станции АИ59019 (рисунок 8г). При этом на расположенной неподалеку, в западной части входного порога прохода Западный, станции АИ59021 (4540 м) интересных объектов на дне не зафиксировано. Дно выполнено и не имеет следов размыва. Такая же ситуация наблюдалась и на выходном пороге прохода (АИ59014).

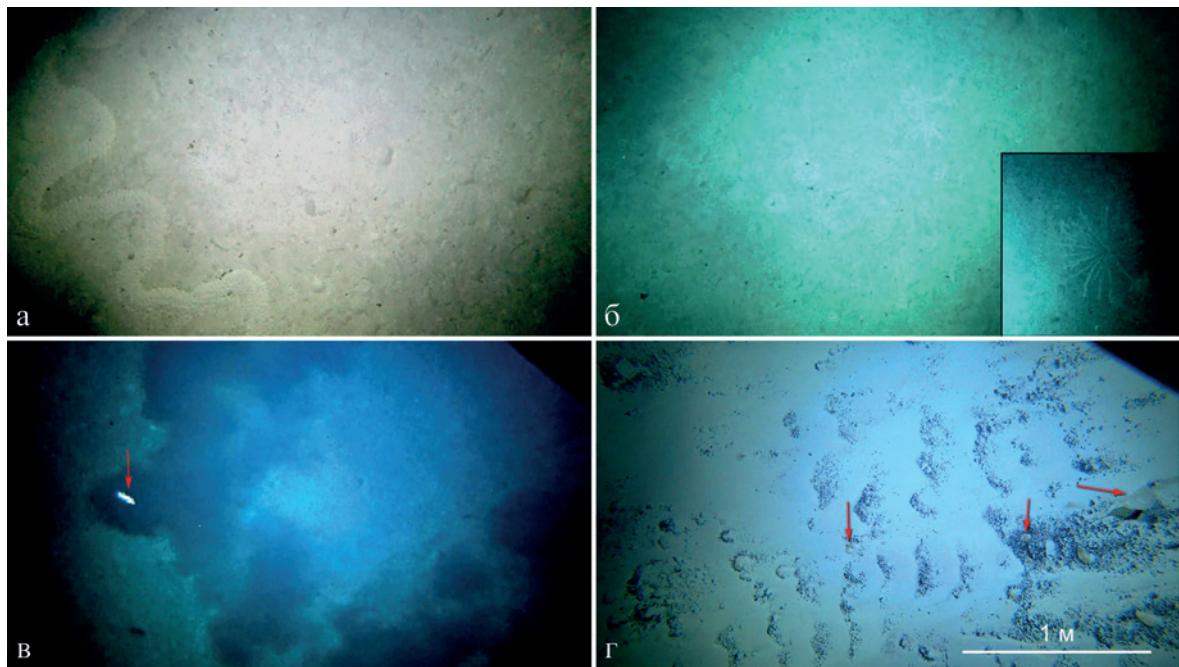


Рис. 8 – Фотографии живых организмов и следов их жизнедеятельности на дне:
а – микрорельеф дна станции АИ59015 (5287 м) в Иберийской котловине; б – фрагмент дна со следами жизнедеятельности бентосных организмов на станции АИ59016 (5658 м), на врезке показан самый крупный из подобных объектов; в – животное, снятое у дна на станции АИ59022 (4876 м) (отмечено стрелкой); г – гравийные волны и группа животных (отмечены стрелками) на дне станции АИ59019 (4768 м)

Выводы

Несмотря на незначительную площадь видеосъемки поверхности дна, полученные в ходе экспедиции видеоматериалы дополнили единичные одномоментные измерения погружным LADCP в глубоководных проходах, каналах и разломах, позволив получить представление о преобладающих в точках измерений параметрах абиссальной циркуляции по типу донных осадков, а также условиям их залегания. Видеоданные выявили выраженные следы размыва и наличие крупного обломочного материала на входном пороге прохода Западный, что указывает на высокие скорости придонных течений, которые были подтверждены контактными измерениями. В то же время дно абиссальных котловин оказалось выпуклым и сложенным тонкодисперсным материалом, что свидетельствует о низких скоростях течений, подтвержденных данными LADCP. Зафиксированные здесь признаки жизнедеятельности бентосных организмов, такие как норки, ходы в осадках и радиальные вмятины, расширяют понимание биоразнообразия глубоководных экосистем и указывают на важную роль биологических процессов в формировании донного ландшафта. Полученные результаты подчеркивают важность глубоководной видеосъемки для изучения абиссальных зон в северо-восточной части Атлантического океана.

Видеомодуль, рассмотренный в статье, находится на уровне подводных видеокамер, выпускаемых отечественной промышленностью (завод «Энергия», г. Санкт-Петербург). Уступая по глубине работы камере КТ-1200, видеосистема показывает схожие характеристики со второй моделью КТ-441 и даже превосходит их в разрешении получаемого видеоряда. Упомянутые изделия завода «Энергия» применяются, обычно, на базе необитаемых подводных аппаратов (например, «Витязь-Д»). Ввиду этого, несомненным преимуществом является описываемая в статье оригинальная методика проведения видеосъемки, позволяющая не затрачивать судовое время и ресурсы, необходимые для запуска подводных аппаратов. Использование системы автоматического удержания местоположения судна на станциях минимизирует дрейф, что вместе с непрерывным контролем расстояния от поверхности дна позволяет подводить розетту на единицы метров для проведения видеосъемки и существенно снижает вероятность потери оборудования. Анализ видеоданных показал, что смещение розетты вдоль поверхности дна за время проведения видеосъемки составляло первые десятки метров.

По результатам выполненных испытаний в рабочих условиях планируется ряд мероприятий по модернизации видеоустановки. В частности, планируется добавление лазерных указок для оценки размеров объектов на дне. Разработка и применение осветителей с большей яркостью свечения и специально подобранным спектром для сохранения цветовой палитры объектов и получения более качественных изображений. Также существенно повысить качество «картинки» может применение постобработки фотографий, полученных в водной среде (Anwar et al., 2018). Кроме того, планируется разработка технического решения для наложения на изображение автономной видеокамеры информации о текущем времени и пространственной ориентации. В качестве источника информации об азимуте видеоустановки может использоваться заполненный жидкостью магнитный или цифровой компас, попадающий в поле зрения видеокамеры. Такое усовершенствование значительно упростит синхронизацию видеоряда с данными, получаемыми другими приборами, установленными на пробоотборном комплексе.

Результаты, полученные видеомодулем, показали перспективность его применения при проведении исследований в придонном слое глубоководных районов океана. Дополнение видеоматериалами данных натурных измерений параметров течений позволяет получить информацию о превалирующих в месте измерений характеристиках абиссальной циркуляции, анализируя тип и условия залегания донных осадков. Видеоданные существенно повышают информативность интерпретации геологических данных, а также результатов съемок многолучевыми эхолотами и гидролокаторами бокового обзора. В биологических исследованиях при выполнении донных траплений и точечном отборе бентоса данные видеосъемки помогут корректно проанализировать пространственное распределение организмов, их плотность и ассоциации с определенными типами субстрата, а также идентифицировать виды непосредственно в их естественной среде обитания. Кроме того, видеосъемка не разрушает место исследования, что особенно важно для уникальных или уязвимых участков и особо охраняемых акваторий.

Таким образом, собранная в АО ИО РАН видеоустановка и рассмотренная методика выполнения съемки являются современными инструментами исследования дна океана, позволяющими получить уникальные данные о подводных экосистемах, рельефе морского дна и динамике в абиссальных зонах. Дополнение видеинформацией получаемых традиционными методами данных дает возможность создавать комплексную картину дна исследуемого района.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Сагалевичу А. М. и [Паке В. Т.] за предоставленную подводную видеокамеру Simrad Osprey. Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИО РАН № FMWE-2024-0025.

Экспедиционные работы выполнены с использованием оборудования ПС «Академик Иоффе» (<https://rv.ocean.ru/flat/abf/nis-akademik-ioffe>) из состава ЦКП «Научный флот ИО РАН».

Список литературы

1. *Анисимов И. М., Римский-Корсаков Н. А., Тронза С. Н.* Развитие глубоководных технологий визуальных наблюдений рельефа дна и подводных объектов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10. Ч. 1. С. 149–153. EDN: OZHFLM. <https://doi.org/10.17513/mjpf1.12883>
2. *Баширова Л. Д., Кулешова Л. А., Кречик В. А., Капустина М. В., Глазкова Т., Уразмуратова З. Ф., Двоеглазова Н. В., Муратова А. А., Казакова Д. М., Рихман М. А., Кривошлийк П. Н., Бочерикова И. Ю., Ежов В. Е., Родригес С., Кондрашов А. А.* Комплексные исследования Атлантического океана в 59-м рейсе ПС «Академик Иоффе» (сентябрь–октябрь 2021 г.) // Океанология. 2022. Т. 62. № 2. С. 334–336. EDN: UEJOQW. <https://doi.org/10.31857/S0030157422020022>
3. *Зенкевич Н. Л.* Атлас фотографий дна Тихого океана. М.: Наука, 1970. 134 с. https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_rc_3276519/?ysclid=mifrf6tpwm648107925
4. *Носов А. В., Демидова Т. А., Тихонова Н. Ф.* Технические средства контроля погружения приборов в океане // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022. № 2. С. 28–32. EDN: HEUBBC. <https://doi.org/10.17513/mjpf1.13354>
5. *Пронин А. А.* Методика сбора и представления материалов видеосъемки поверхности дна с помощью необитаемого подводного буксируемого аппарата «Видеомодуль» // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 12–1. С. 142–147. EDN: ZXJXZT. <https://doi.org/10.17513/mjpf1.11980>
6. *Ястребов В. С.* [ред.] Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований: Справочник. Л.: Судостроение, 1981. 304 с. https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001078626/?ysclid=mifs3rmx8r506873241
7. *Anwar S., Li C., Porikli F.* Deep Underwater Image Enhancement // ArXiv. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.03528>
8. *Harris P. T., Baker E. K.* GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats—Synthesis and lessons learned. Seafloor Geomorphol. Benthic Habitat. 2020. P. 969–990. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00060-9>
9. *Harris P. T., Macmillan-Lawler M., Rupp J., Baker E. K.* Geomorphology of the oceans // Mar. Geol. 2014. Vol. 352. P. 4–24. EDN: SRKPNL. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>
10. *Harvey E. S., Goetzze J., McLaren B., Langlois T., Shortis M. R.* Influence of range, angle of view, image resolution and image compression on underwater stereo-video measurements: high-definition and broadcast-resolution video cameras compared // Marine technology society journal. 2010. Vol. 44 (1). P. 75–85. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.44.1.3>

11. *Linke P., Schmidt M., Rohleder M., Al-Barakati A., Al-Farawati R.* Novel online digital video and high-speed data broadcasting via standard coaxial cable onboard marine operating vessels // *Marine Technology Society Journal*. 2015. Vol. 49 (1). P. 7–18. EDN: **WUDTOV**. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.49.1.2>
12. *Mallet D., Pelletier D.* Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: A review of sixty years of publications (1952–2012) // *Fisheries Research*. 2014. Vol. 154. P. 44–62. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.01.019>
13. *Purser A., Marcon Y., Dreutter S., Hoge U., Sablotny B., Hehemann L., Lemburg J., Dorschel B., Biebow H., Boetius A.* Ocean Floor Observation and Bathymetry System (OFOBS): A New Towed Camera/sonar system for deep-sea habitat surveys // *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 2019. Vol. 44 (1). P. 87–99. EDN: **SCRHME**. <https://doi.org/10.1109/JOE.2018.2794095>
14. *Ramirez-Llodra E., Brandt A., Danovaro R., De Mol B., Escobar E., German C. R., Levin L. A., Martinez-Arbizu P., Menot L., Buhl-Mortensen P., et al.* Deep, diverse and definitely different: Unique attributes of the world's largest ecosystem // *Biogeosciences*. 2010. Vol. 7. Iss. 9. P. 2851–2899. <https://doi.org/10.5194/bg-7-2851-2010>
15. *Stow D. A. V., Hernandez-Molina F. J., Llave E., et al.* Bedform-velocity matrix: The estimation of bottom current velocity from bedform observations // *Geology*. 2009. Vol. 37 (4). P. 327–330. <https://doi.org/10.1130/G25259A.1>
16. *Wakefield W. W., Genin A.* The use of a Canadian (perspective) grid in deep-sea photography // *Deep Sea Research. Part A. Oceanographic Research Papers*. 1987. Vol. 34 (3). P. 469–478. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(87\)90148-8](https://doi.org/10.1016/0198-0149(87)90148-8)

Статья поступила в редакцию 22.07.2025, одобрена к печати 24.11.2025.

Для цитирования: Кондрашов А. А., Кречик В. А. Глубоководная видеосъемка с гидрологическим пробоотборным комплексом в качестве носителя и ее применение в междисциплинарных исследованиях океанского дна // Океанологические исследования. 2025. Т. 53. № 4. С. 213–228. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(4\).12](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(4).12)

DEEP-SEA VIDEO SURVEY USING A HYDROGRAPHIC SAMPLING COMPLEX AS A PLATFORM AND ITS APPLICATION IN INTERDISCIPLINARY STUDIES OF THE OCEAN FLOOR

A. A. Kondrashov, V. A. Krechik

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: kondrashoff1984@yandex.ru*

This paper presents a method for autonomous deep-sea video survey of the seafloor using a hydrographic water sampling system as a carrier platform. The design of a deep-sea video system is described, including custom-developed lights and a mechanism for camera activation and delayed recording. The methodology for complex station operations is also outlined. The behavior of the hydrographic water sampling system during video recording is assessed. The study addresses the determination of the camera's instantaneous spatial orientation using data from a submerged Acoustic Doppler Current Profiler and a hydrophysical probe mounted on the sampling system. Images of the seafloor obtained during the 59th cruise of the R/V "Akademik Ioffe" are presented. The video data were interpreted to determine the probable direction and velocity of near-bottom steady-state currents based on microtopography features.

Keywords: deep-sea videography; underwater video; marine expedition research; deep-sea landscapes; abyssal circulation; Atlantic Ocean

Acknowledgment: The authors are grateful to A. M. Sagalevich and V. T. Paka for providing the Simrad Osprey underwater video camera. The research was carried out within the framework of the State Assignment of the IO RAS on topic No. FMWE-2024-0025. Field studies were carried out using the equipment of the R/V “Akademik Ioffe” as part of the Center for the collective use of scientific equipment “Scientific fleet of IO RAS”.

References

1. Anisimov, I. M., N. A. Rimsky-Korsakov, and S. N. Tronza, 2019: Development of deep-sea technologies for visual observations of bottom topography and underwater objects. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, **10** (1), 149–153, EDN: [OZHFLM](#), <https://doi.org/10.17513/mjpfi.12883>
2. Anwar, S., C. Li, and F. Porikli, 2018: Deep Underwater Image Enhancement. *ArXiv*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.03528>
3. Bashirova, L. D., L. A. Kuleshova, V. A. Krechik, M. V. Kapustina, T. Glazkova, Z. F. Urazmuratova, N. V. Dvoeglazova, A. A. Muratova, D. M. Kazakova, M. A. Rikhman, P. N. Krivoshlyk, I. Yu. Bocherikova, V. E. Ezhov, S. Rodrigues, and A. A. Kondrashov, 2022: Complex oceanological research during the 59th cruise of the Research Vessel “Akademik Ioffe” in the Northeastern Atlantic (September–October 2021). *Oceanology*, **62** (2), 334–336, EDN: [UEJOQW](#), <https://doi.org/10.31857/S0030157422020022>
4. Harris, P. T. and E. K. Baker, 2020: *GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats—Synthesis and lessons learned*. *Seafloor Geomorphol. Benthic Habitat*. 969–990, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00060-9>
5. Harris, P. T., M. Macmillan-Lawler, J. Rupp, and E. K. Baker, 2014: Geomorphology of the oceans. *Mar. Geol.*, **352**, 4–24, EDN: [SRKPNL](#), <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>
6. Harvey, E. S., J. Goetzze, B. McLaren, T. Langlois, and M. R. Shortis, 2010: Influence of range, angle of view, image resolution and image compression on underwater stereo-video measurements: high-definition and broadcast-resolution video cameras compared, *Marine technology society journal*, **44** (1), 75–85, <https://doi.org/10.4031/MTSJ.44.1.3>
7. Linke, P., M. Schmidt, M. Rohleder, A. Al-Barakati, and R. Al-Farawati, 2015: Novel online digital video and high-speed data broadcasting via standard coaxial cable onboard marine operating vessels. *Marine Technology Society Journal*, **49** (1), 7–18, EDN: [WUDTOV](#), <https://doi.org/10.4031/MTSJ.49.1.2>
8. Mallet, D. and D. Pelletier, 2014: Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: A review of sixty years of publications (1952–2012). *Fisheries Research*, **154**, 44–62, <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.01.019>
9. Nosov, A. V., T. A. Demidova, and N. F. Tikhonova, 2022: Technical means of control of immersion in the ocean. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, **2**, 28–32, EDN: [HEUBBC](#), <https://doi.org/10.17513/mjpfi.13354>
10. Pronin, A. A., 2017: Collection and representation data video movies of bottom surface in oceanological investigations with underwater towing equipment. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, **12** (1), 142–147, EDN: [ZXJXZT](#), <https://doi.org/10.17513/mjpfi.11980>
11. Purser, A., Y. Marcon, S. Dreutter, U. Hoge, B. Sablotny, L. Hehemann, J. Lemburg, B. Dorschel, H. Biebow, and A. Boetius, 2019: Ocean Floor Observation and Bathymetry System (OFOBS):

- A new towed camera/sonar system for deep-sea habitat surveys. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, **44** (1), 87–99, EDN: SCRHME, <https://doi.org/10.1109/JOE.2018.2794095>
12. Ramirez-Llodra, E., A. Brandt, R. Danovaro, B. De Mol, E. Escobar, C. R. German, L. A. Levin, P. Martinez Arbizu, L. Menot, P. Buhl-Mortensen, B. E. Narayanaswamy, C. R. Smith, D. P. Tittensor, P. A. Tyler, A. Vanreusel, and M. Vecchione, 2010: Deep, diverse and definitely different: Unique attributes of the world's largest ecosystem. *Biogeoscience*, **7** (9), 2851–2899, <https://doi.org/10.5194/bg-7-2851-2010>
13. Stow, D. A. V., F. J. Hernández-Molina, E. Llave, M. Sayago-Gil, V. Díaz del Río, and A. Branson, 2009: Bedform-velocity matrix: The estimation of bottom current velocity from bedform observations. *Geology*, **37** (4), 327–330, <https://doi.org/10.1130/G25259A.1>
14. Wakefield, W. W. and A. Genin, 1987: The use of a Canadian (perspective) grid in deep-sea photography. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, **34** (3), 469–478, [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(87\)90148-8](https://doi.org/10.1016/0198-0149(87)90148-8)
15. Yastrebov, V. S., 1981: *Sistemy i elementy glubokovodnoy tekhniki podvodnykh issledovaniy: spravochnik* (Systems and elements of deep-sea underwater research technology: a reference book). Leningrad, Sudostroenie, 304 p., https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001078626/?ysclid=mifs3rmx8r506873241
16. Zenkevich, N. L., 1970: *Atlas fotografii dna Tikhogo okeana* (Atlas of Photographs of the Pacific Ocean Floor). Moscow, Nauka, 134 p., https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_rc_3276519/?ysclid=miifr6tpwm648107925

Submitted 22.07.2025, accepted 24.11.2025.

For citation: Kondrashov, A. A. and V. A. Krechik, 2025: Deep-sea video survey using a hydrographic sampling complex as a platform and its application in interdisciplinary studies of the ocean floor. *Journal of Oceanological Research*, **53** (4), 213–228, [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(4\).12](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(4).12)

利用水文采水器阵列作为载体的深海视频观测及其在海底多学科研究中的应用

A. A. Kondrashov, V. A. Krechik

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 邮编: 117997, Russia,
电子邮件: kondrashoff1984@yandex.ru*

本文介绍了利用水文采水器阵列作为载体平台，自主开展海底表面深海视频观测的经验。文章阐述了深海视频观测系统的结构设计，包括自主研制的照明装置、相机触发与延时启动机制，并介绍了综合站点作业方法。评估了视频拍摄过程中采水器阵列的运动状态，探讨了如何利用集成于采样系统上的声学多普勒流速剖面仪与水文物理探头数据来确定摄像机的瞬时空间方位。展示了在第59次“Akademik Ioffe”号科考船航次中获得的海底图像，并通过对视频影像的微地形特征分析，解读了海底稳定底层流的可能流向与流速。

关键词：深海视频观测·水下视频拍摄·海洋科考调查·深海地形·深渊环流·大西洋

致谢：作者感谢 A. M. Sagalevich 与 **V. T. Paka** 提供 Simrad Osprey 水下摄像机。本工作由俄罗斯科学院希尔绍夫海洋研究所国家任务(课题编号 FMWE-2024-0025)资助支持。科考工作使用了“Akademik Ioffe”号科考船 (<https://rv.ocean.ru/plot/abf/nis-akademik-ioffe>) 的设备，该船隶属于俄罗斯科学院海洋研究所“科考船队”中心共享平台。