УДК 551.465

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДВОДНОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО НАХОЖДЕНИЯ ГРАНИЦ ГОРИЗОНТОВ ПОВЫШЕННОЙ МУТНОСТИ *IN SITU*

Оленин А.Л.*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: olenin.al@ocean.ru*

При проведении экспедиций в прибрежной зоне возникают задачи исследования вод повышенной мутности, как то: речных пломов, потоков, выносимых тающими ледниками или возникающих от возмущений при дноуглубительных работах. Традиционно для таких исследований используются различные нефелометры, основанные на регистрации рассеянного света одиночным фотоприемником. В статье рассматривается применение для регистрации мутной воды подводной видеокамеры со специальной системой освещения. Это погружаемая видеокамера для видеорегистрации частиц взвеси и зоопланктона. Камера оснащена также высокоточным датчиком абсолютного гидростатического давления, позволяющим определять текущую глубину, на которой производится видеосъемка. Видеосъемка частиц взвеси или зоопланктона имеет свои отличия, позволяющие применить ее для регистрации сильно рассеивающей водной среды. Показана схема используемой камеры с системой освещения. Камера выполнена в глубоководном исполнении. Осветительная система представляет собой несколько герметичных светодиодных осветителей со сравнительно узким световым пучком белого света. Используемая схема защищена от естественной световой помехи, существующей в приповерхностном слое воды. Показан внешний вид зонда, в состав которого входит камера. Представлены результаты измерений, выполненных в 81 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе – сентябре 2020 г. в Карском море. Продемонстрирована эффективность метода исследования границ мутных горизонтов с помощью видеокамеры для исследования частиц взвеси, оснащенной специальной системой освещения.

Ключевые слова: дноуглубление, нефелометр, видеокамера, взвесь, рассеяние

USING AN UNDERWATER VIDEO CAMERA TO QUICKLY LOCATE WATER LAYERS OF INCREASED TURBIDITY *IN SITU*

Olenin A.L.*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: olenin.al@ocean.ru*

During expeditions in the coastal zone, the tasks arise of studying waters of increased turbidity, such as river plumes, streams carried out by melting glaciers or arising from disturbances during dredging operations. Traditionally, for such studies, various nephelometers are used, based on the registration of scattered light with a single photodetector. The article discusses the use of an underwater video camera with a special lighting system for recording turbid water. This is a submersible video camera for video recording of particulate matter and zooplankton. The camera is also equipped with a high-precision absolute hydrostatic pressure sensor that allows you to determine the current depth at which video is being filmed. Videography of particulate matter or zooplankton has its own differences, allowing it to be used for recording a highly scattering aquatic environment. Shown is a diagram of a used camera with a lighting system. The camera is made in deep-sea design. The lighting system consists of several sealed LED illuminators with a relatively narrow white light beam. The used circuit is protected from natural light interference existing in the near-surface water layer. Shown is the appearance of the probe, which includes the camera. Presented are the results of measurements performed on cruise 81 of the R / V Akademik Mstislav Keldysh in August-September 2020 in the Kara Sea. The efficiency of the method for studying the boundaries of turbid waters using a video camera for studying suspended matter particles equipped with a special lighting system has been demonstrated.

Keywords: dredging, nephelometer, video camera, suspension, dispersion

При проведении исследований в прибрежной зоне существуют задачи исследования вод повышенной мутности, как то: речных пломов, потоков, выносимых тающими ледниками, возникающих при дноуглубительных работах [1, 2]. Традиционно для измерений *in situ* при этом используются различные нефелометры, основанные на регистрации рассеянного света одиночным фотоприемником. Нефелометры при этом вводятся в состав погружаемой зондирующей аппаратуры. Потенциально возможно использование для оперативной регистрации повышенной мутности погружаемых видеокамер, что косвенно под-

тверждается опытом проведения подводно-технических работ в придонных условиях, на мелководье, в мутной речной воде и т.п. В статье рассматривается применение для регистрации мутной воды подводной видеокамеры со специальной системой освещения.

Материалы и методы исследования

В литературе, касающейся исследования степени мутности воды, наиболее часто встречается понятие «турбидиметр» (turbidimeter, от англ. turbidity – мутность) и соответствующее название метода анализа «турбидиметрия». В русскоязычной ли-

температуре можно встретить названия «мутномер» и «нефелометр» и даже «анализатор взвешенных частиц» [3, 4]. С формальной точки зрения принято считать, что турбидиметр – это анализатор мутности, использующий фотометрический принцип и определяющий поглощение в слое анализируемого вещества при условии, что источник излучения и детектор расположены на одной оси. В нефелометрах для определения мутности используется принцип светорассеяния, определяемого под различными углами к источнику.

В последние два года мы ведем работу по видеорегистрации частиц взвеси и зоопланктона с помощью погружаемой видеокамеры со специализированной системой освещения. Камера оснащена также высокоточным датчиком абсолютного гидростатического давления, позволяющим определять текущую глубину, на которой производится видеосъемка.

Эту камеру оказалось возможно использовать при вертикальном зондировании водной толщи для оперативного выявления горизонтов с повышенной мутностью воды, о чем и будет рассказано ниже.

Особенностью подводной видеосъемки является использование осветительной системы наблюдаемого объекта, создающей минимальную фоновую засветку. Засветка образуется за счет рассеяния на частицах взвеси, проплывающих между иллюминатором видеокамеры и объектом. При традиционной видеосъемке объекты находятся на достаточно большом расстоянии, определяемом ближней границей резко изображаемого пространства. Объектами могут быть морское дно, расположенные на нём предметы (в том числе животные, растения), гидротехнические сооружения, находящиеся в толще воды представители ихтиофауны или морские животные.

Видеосъемка таких объектов имеет следующие особенности:

- масштаб изображения значительно меньше единицы (объекты изображаются на матрице с сильным уменьшением);
- необходима достаточная мощность системы освещения;
- система освещения – это, как правило, направленный вперед на объект ансамбль светильников, расположенных сбоку от поля зрения камеры для уменьшения фонового рассеяния назад.

Видеосъемка частиц взвеси или зоопланктона имеет свои отличия:

- масштаб изображения немного меньше единицы (объекты изображаются на матрице с небольшим уменьшением);

– объектив задиафрагмирован (работает на больших диафрагменных числах), поэтому требуется мощная система освещения;

– система освещения должна освещать находящиеся в поле зрения, ограниченном глубиной резкости, частицы, находящиеся в толще воды относительно недалеко от входного иллюминатора видеокамеры.

Схема используемой нами камеры с системой освещения показана на рис. 1. Все узлы камеры выполнены в глубоководном исполнении. Осветительная система 1 представляет собой несколько герметичных светодиодных осветителей со сравнительно узким световым пучком белого света. Осветители расположены в воде вокруг объема поля зрения камеры 2 (объем поля зрения камеры представляет собой осеченную пирамиду с размерами примерно 60 мм×80 мм×20 мм). Большое количество одиночных осветителей обеспечивает гарантированное заполнение светом всего резко изображаемого объема.

Рис. 1. Схема применяемой камеры
(1 – осветитель; 2 – объем поля зрения камеры; 3 – входной иллюминатор; 4 – прочный корпус; 5 – объектив; 6 – матрица видеокамеры)

Регистрация частиц взвеси и планктона не является предметом данной статьи, речь будет идти о регистрации повышенной мутности воды.

Внешний вид зонда, в состав которого входит камера, представлен на рис. 2. Для обеспечения измерений использована измерительно-технологическая платформа (ИТП) разработки ИО РАН, обеспечивающая для погружаемого устройства зондирование на оптико-волоконном кабеле на глубину до 200 м, канал связи Ethernet с судовым блоком. Подробнее работа с подобными зондами с помощью ИТП описана в [5].

Рис. 2. Общий вид зонда (1 – камера видеорегистрации; 2 – блок связи и питания, содержит датчик глубины; 3 – CTD-датчик; 4 – несущая рама)

Система освещения включается оператором кнопкой на пульте управления.

Мгновенно регистрируемый камерой объем зонда 60 мм×80 мм×20 мм с минимально регистрируемым размером частицы 0,5 мм. Использована цифровая видеокамера SONY RX0 с модифицированной оптической схемой. Видеоизображение с зонда в реальном времени отображается на экране оператора в разрешении примерно 2 Мп. Стоп-кадры более высокого качества (15 Мп) делаются оператором в любой нужный момент кнопкой на экране и сохраняются во Flash-памяти камеры видеорегистрации. Глубина погружения измеряется датчиком давления, находящимся в блоке связи и питания зонда с точностью $\pm 0,25\%$ от диапазона и отображается на экране оператора одновременно видеоизображением с камеры.

После завершения зондирования и подъема зонда на палубу судна производится извлечение Flash-карты из камеры и перенос фотоснимков на компьютер оператора.

Результаты исследования и их обсуждение

В 81 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе – сентябре 2020 г.

нами проводились зондирования описанным выше зондом с целью видеорегистрации частиц взвеси в акватории Карского моря. Среди прочего, работы проводились в зонах выноса талых вод ледников Новой Земли, насыщенных взвешенным веществом. Традиционно прозрачность воды в рейсах меряют прозрачномерами, которые в области мутной воды показывают резкое увеличение показателя ослабления направленного света, вплоть до зашкаливания приборов [1].

Особенностью описанной выше видеокамеры является достаточно сильная расходимость освещающих пучков отдельных осветителей осветительной системы. Это приводит к наличию паразитного рассеяния на частицах, не находящихся в поле зрения камеры. Свет из этих пучков падает на частицы под различными углами, в том числе часто реализуются углы, свойственные нефелометрическим измерителям. В случае достаточно мутной воды это приводит к тому, что в поле зрения камеры попадает много рассеянного водой света. Оператор видит это на экране как яркий белый туман, закрывающий все поле зрения. Таким образом, появление в поле зрения такого тумана однозначно говорит о наличии сильного рассеяния света водой, а значит, её мутности.

Причем при работе днем в приповерхностных водах, в силу небольшого относительного отверстия объектива и малого времени экспозиции, в кадрах отсутствует световая помеха от поверхностной дневной освещенности. Дело в том, что в данной схеме видеорегистрации требуемая освещенность от системы освещения гораздо больше возможной естественной освещенности в поверхностных и тем более глубинных горизонтах. При выключенной системе освещения экран оператора однозначно темный.

Нами был проведен эксперимент по вертикальному зондированию зондом с нашей видеокамерой нижней границы такого мутного слоя, в данном случае поверхностного.

На одной из станций, находясь в зоне выноса вод от ледника с борта корабля, мы наблюдали визуально сильно грязную мутную воду. Было выполнено зондирование с визуальным наблюдением поля зрения камеры на экране оператора. При этом регистрировалась глубина погружения по датчику давления, делались стоп-кадры для дальнейшей расшифровки и записывались CTD-параметры с датчика. Результаты зондирования представлены на рис. 3.

Рис. 3. Результаты регистрации границы горизонтов разной мутности

В левой части рисунка вертикально расположены снимки с горизонтов, глубина которых отмечена рядом, в правой части приведена таблица с данными температуры STD-датчика. Кадры, снятые в мутной воде, всегда с белым фоном, снятые же в воде чистой значительно темнее. Граница между мутным поверхностным и чистым нижележащим горизонтами легко обнаруживается оператором визуально и отмечается с экрана по индикатору глубины. В данном случае граница располагалась на глубине 13,7–14 м. Справа представлена таблица вертикального профиля температуры.

Выводы

Продemonстрирована эффективность метода исследования границ мутных горизонтов с помощью видеокамеры для исследования частиц взвеси, оснащенной специальной системой освещения. Это может быть использовано при проведении исследовательских работ в прибрежной зоне,

в зонах выноса ледников, дноуглубительных работах.

Список литературы

1. Артемьев В.А., Реджепова З.Ю. Результаты сопоставления данных по концентрации взвешенного вещества и показателю ослабления света в экстремально мутных водах арктических морей России // Геология морей и океанов: материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. 2019. С. 27–31.
2. Назирова К.Р., Лаврова О.Ю., Краюшкин Е.В. и др. Особенности выявления параметров речного плюма контактными и дистанционными методами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 227–243.
3. Белозёрова Е.В., Чалов С.Р. Определение мутности речных вод оптическими методами // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2013. № 6. С. 39–45.
4. Левашов Д.Е. Техника экспедиционных исследований: Инструментальные методы и технические средства оценки промыслово-значимых факторов среды. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 400 с.
5. Смирнов Г.В., Матишов Г.Г., Оленин А.Л., Аистов Е.А., Григоренко К.С., Степаньян О.В. Морские испытания многоканальной измерительно-технологической платформы // Вестник южного научного центра. 2014. Т. 10. № 3. С. 54–60.