

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ МОРЯ И ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН ПРИ ПОМОЩИ ВИДЕОКАМЕРЫ И РЕЙКИ В СВЕТЛОЕ И ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК

С. А. Мысленков^{*1,2,3}, С. М. Морозова², А. Д. Рыбалко¹, Ю. В. Мурзакова¹,
В. В. Очередник¹, В. В. Машура¹, Е. Е. Круглова¹, В. А. Михайлов²,
К. П. Мысленкова^{1,4}, И. А. Рыбаков⁵, С. С. Мухаметов², А. Г. Зацепин¹

¹ Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36;

² Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1;

³ Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН,
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3;

⁴ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

⁵ Институт ботаники и фитоинтродукции,
Казахстан, 050040, г. Алматы, ул. Тимирязева, д. 36д;

*e-mail: stassas@yandex.ru

В работе показана принципиальная возможность использования видеокамеры и специальной измерительной рейки, установленной в прибрежной зоне, для определения уровня моря, параметров ветрового волнения и частотных спектров ветровых волн. Метод основан на кадровом анализе видеозаписи с частотой 30 Гц и автоматическом определении границы «вода–воздух» по профилю яркости. Алгоритм адаптирован как для светлого, так и для темного времени суток, за счет применения светодиодной подсветки, при этом достигается точность определения уровня до 2 см. Методика была апробирована в Черном, Беринговом, Японском и Балтийском морях, при этом использовались различные варианты реек и видеокамер. В статье представлены результаты проведения измерений уровня и параметров ветрового волнения (значительная, максимальная высоты волн, средний и максимальный период) для Черного моря. Представлены волнограммы с частотой 30 Гц для нескольких видеозаписей. Одним из ключевых преимуществ предложенного подхода является низкая стоимость и простота реализации: система может быть собрана с использованием широкодоступных компонентов – видеокамеры, металлической или деревянной рейки и обычного персонального компьютера для обработки данных. Среди выявленных ограничений отмечены необходимость устойчивой фиксации рейки, влияние биологического обрастания, ограниченность размещения оборудования в удаленных районах и погрешность из-за обтекания волной. Однако методика может быть адаптирована под разные условия. Полученные результаты могут быть полезны в научных и прикладных задачах, включая оперативную океанографию и инженерные изыскания при строительстве на шельфе.

Ключевые слова: измерения уровня моря, ветровое волнение, частотный спектр, видеосъемка, автоматическая обработка видео, водомерная рейка

Введение

Уровень моря и характеристики ветрового волнения относятся к числу важнейших гидрометеорологических параметров, влияющих на безопасность и эффективность работ в море (Абузьяров и др., 2009). Измерению этих параметров всегда уделялось много внимания, приборы постоянно совершенствуются, вводятся новые технологии и принципы измерения. В настоящее время чаще всего для получения данных об уровне моря и параметрах ветрового волнения используют следующие приборы: рейка водомерная, датчик гидростатического давления, лазерный или ультразвуковой измеритель, акустические датчики, мареографы, заякоренные буи, радиолокационный высотомер и пр. (Грузинов и др., 2012; Ивонин и др., 2013; Смолов и др., 2020; Зайцев и др., 2024). Одним из наиболее распространенных средств измерения параметров волнения в открытых и прибрежных частях моря являются заякоренные или свободно дрейфующие волновые буи в связи с высокой точностью и автономностью измерений даже в условиях сильного волнения. Примеры использования таких буюв для исследования ветрового волнения в Черном море представлены, в частности, в (Rybalko et al., 2023; Yurovsky et al., 2025). Если измерения уровня моря проводятся с частотой более 4–5 Гц, то по этим данным можно успешно восстанавливать параметры ветровых волн, например, при помощи ультразвукового волнографа (Медведева и др., 2016). Подобные приборы имеют различную точность, разрешение, ограничения по условиям эксплуатации, однако все они являются специализированным гидрометеорологическим оборудованием и, как правило, имеют высокую стоимость.

Анализ режимных и экстремальных характеристик уровня моря и параметров ветрового волнения – один из необходимых разделов при выполнении инженерно-гидрологических изысканий и проектировании берегозащитных сооружений, поэтому данные измерений уровня крайне востребованы (СП 11-114-2004; Елагин и др., 2016). Мониторинг уровня моря играет важную роль в научных и прикладных задачах, связанных с анализом и прогнозом штормовых нагонов, наводнений, приливных колебаний, прогнозом волнения и др. (Захарчук и др., 2021; Войнов и др., 2024). Особенно важны характеристики уровня и ветровых волн в задачах оперативной океанографии (Зацепин и др., 2024).

Наряду с традиционными методами измерений, например, поплавковые датчики, пьезометрические датчики давления, акустические и ультразвуковые сенсоры, в последнее время активно применяются фотограмметрические системы (видеометрические), основанные на методах интеллектуальной обработки изображений, позволяющих детектировать заданные структуры и с высокой точностью определять координаты необходимых точек. Такой подход обладает рядом преимуществ: невысокой стоимостью, простотой установки и возможностью автономного сбора данных с высокой временной и пространственной детализацией. Интенсивно развиваются цифровые технологии, связанные с распознаванием различных образов (например, лицо человека или номер автомобиля) по данным уличных видеокамер. Эту технологию

успешно применяют для измерения уровня воды на реках по данным видеокамеры (Iwahashi et al., 2007; Vandaele et al., 2023). В основном эта технология предназначена для автоматического оповещения о достижении водой критических отметок уровня и имеет недостаточную точность для определения высокочастотных колебаний уровня моря. Интерес к подобным технологиям вызван в первую очередь доступностью камер для видеонаблюдения и возможностью обработки фото- и видеоматериалов на персональных компьютерах.

Существенный вклад в развитие методики измерения параметров волн на мелководье внесли Bostater и Yang (Bostater et al., 2018; Bostater et al., 2014), а также Closson (Closson et al., 2019), предложившие анализировать покадрово данные видеосъемки поверхности моря с погруженной в воду рейкой или других маркеров. Технология регистрации сигналов поверхностного волнения и колебаний уровня моря в прибрежных районах Мирового океана на основе анализа в реальном времени «живого видео» с камер наблюдения была описана в работе (Долгих и др., 2019). В указанной статье волновые характеристики, включая высоту и период, можно извлекать из изображений с высокой точностью и частотой в светлое время суток.

Параллельно развивались и другие подходы. Так, система GaugeCam (Birgand et al., 2022) позволяет измерять уровень воды по видеозаписям рейки, достигая точности около 1.3 см при частоте съемки до 5 кадров в секунду. Другие авторы использовали машинное зрение и нейросетевые модели для оценки уровня воды (Lin et al., 2018), а также стереофотограмметрию для оценки параметров волн (Wanek et al., 2006; Kosnik, Dulov, 2011; Buscombe et al., 2020; Guimarães et al., 2020).

Тем не менее, большинство этих исследований ограничены условиями естественного освещения. Даже при применении инфракрасной видеосъемки (Zhang et al., 2019) или светокорректированных методов съемки (Closson et al., 2019), высота волн по визуальному ориентиру (рейке) в ночное время в полевых условиях не измерялась. Это является существенным недостатком применяемого подхода, так как для задач мониторинга опасных явлений необходимы данные в круглосуточном режиме.

Настоящая работа направлена на развитие метода измерения уровня моря и параметров ветровых волн по данным видеокамеры и рейки через покадровый анализ профиля яркости по изображениям. Проведено тестирование измерительной системы в темное время суток с использованием подсветки. Представлены результаты полевых экспериментов применения данного метода в разных морях России. Полевые испытания проводились, в частности, в Голубой бухте (г. Геленджик), где ранее выполнялись разовые измерения уровня моря (Медведев, Архипкин, 2015); регулярный мониторинг в этой акватории в настоящее время не ведется. Настоящая работа предлагает доступную методику измерений по видеозаписям рейки, подходящую для непрерывного мониторинга уровня моря.

Методика измерений

Принципиальная схема работы измерительной системы

Предлагаемая система измерения уровня моря и параметров волнения состоит из двух основных элементов: видеокамеры и водомерной рейки. Рейка погружается в воду и неподвижно фиксируется таким образом, чтобы верхняя часть возвышалась над водой. Далее на штативе в неподвижном состоянии устанавливается видеокамера, при этом в кадр должна попадать граница «вода–воздух» с учетом возможных максимальных колебаний уровня воды. Затем проводится съемка видео за некий промежуток времени (15–20 минут для определения параметров ветровых волн) или в непрерывном режиме. Схема проведения измерений и получения данных об уровне моря представлены на рисунке 1.

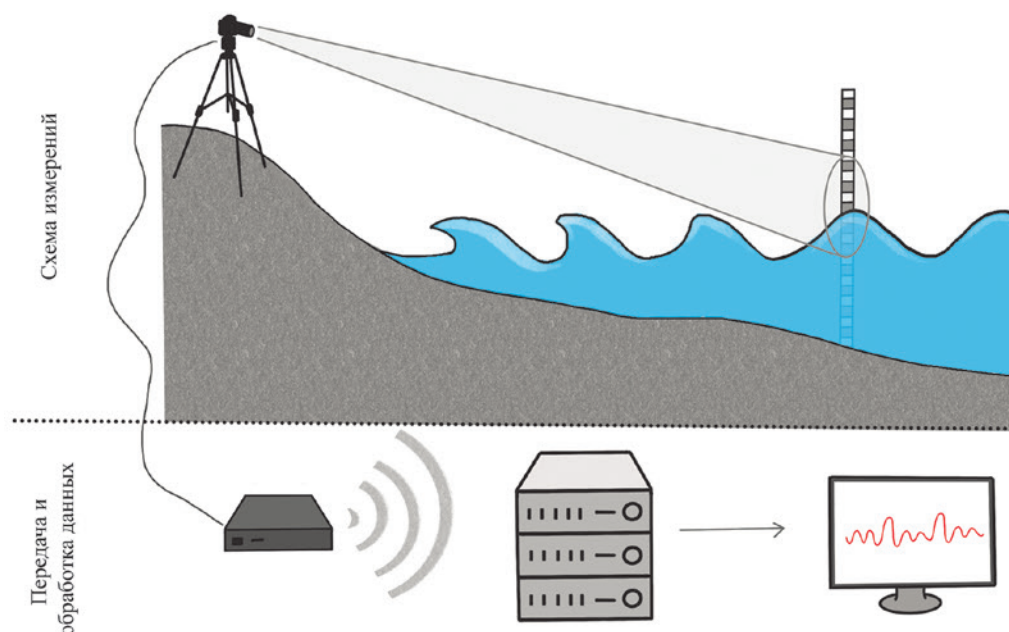


Рис. 1 – Схема постановки эксперимента

Полученное видео обрабатывается с помощью созданного алгоритма распознавания границы «вода–воздух» в среде Matlab. Сначала видеозапись покадрово преобразовывается в изображения. На сегодняшний день недорогие смартфоны или фотоаппараты имеют скорость съемки (кадровая частота) 25–30 кадров в секунду, однако для большинства задач, связанных с измерением параметров ветровых волн, вполне достаточно частоты съемки 5–10 кадров в секунду (характерный минимальный период ветровых волн составляет 2 секунды, следовательно, при частоте регистрации 5 Гц одно колебание описывается 10-ю измерениями). При отклонении рейки от вертикального положения можно повернуть изображение на необходимый угол. Далее изображение конвертируется в числовую матрицу цветов RGB и из каждой матрицы извлекается вертикальный срез (шириной 1 пиксель или среднее из

нескольких срезов исходя из разрешения), проходящий через центр рейки. На полученном срезе та часть рейки, что находится на воздухе, представлена в виде регулярных колебаний яркости канала (контрастные полосы, имеющиеся на рейке), а часть рейки под водой регулярных структур не имеет. Алгоритм производит поиск регулярных колебаний сверху вниз, и когда чередование полос прекращается, в память записывается номер пикселя. Далее номер пикселя пересчитывается в относительный уровень моря, что возможно благодаря известной длине рейки (или части рейки, где есть разметка) и известному количеству пикселей в кадре. Если съемка проводится под большим углом, то учитывается линейное искажение, так как соотношение количества пикселей на единицу длины меняется вдоль рейки. Основным ограничением для корректной работы алгоритма является количество пикселей, приходящихся на одну контрастную полосу в самой нижней части рейки – оно не должно быть менее 3–5 шт. Количество пикселей зависит от разрешения камеры, расстояния между камерой и рейкой и угла съемки. В редких случаях прямо под рейкой может возникать солнечный блик, следовательно, алгоритм поиска работает некорректно и такой кадр удаляется из анализа. Такие случаи возникают достаточно редко, но при условии избыточной частоты измерений 10–30 Гц при достаточных 5 Гц для определения волн полезный сигнал не теряется. Если же необходимо перейти к абсолютным значениям уровня моря, то необходима геодезическая привязка рейки к выбранной системе высот.

Результаты

Опыт использования геодезической рейки

Первые испытания системы измерения уровня моря проводились на Командорских островах, где была установлена геодезическая нивелирная рейка. Рейка была зафиксирована у бетонной стенки причала, глубина в месте установки составляла 3 м. Видеосъемка проводилась 6 мая 2016 г. с расстояния 30 м, с использованием камеры Canon с оптическим зумом. Длительность эксперимента составила 15 секунд, так как рейка не предназначена для длительного погружения в воду. Цель первого эксперимента – протестировать принципиальную возможность использования предлагаемой методики определения уровня моря.

Для полученного ряда изображений был разработан алгоритм распознавания границы «вода–воздух». Для геодезической рейки, имеющей специальную разметку, извлекалось два вертикальных профиля яркости по одному из каналов RGB, где значение 255 соответствует абсолютно белому цвету, значение 0 – черному. Изображение рейки и визуализация вертикальных профилей яркости по синему каналу представлены на рисунке 2. При анализе данных на профилях яркости та часть рейки, которая находилась на воздухе, хорошо выделяется по разной яркости цвета черных и белых полос. На воде четких структур не прослеживается, что позволяет определить границу

«вода–воздух». В нашем случае, из-за настроек контрастности и в условиях естественной освещенности в момент съемки, белому цвету соответствуют значения 250–255, черному – 80–130. Правый и левый профили были совмещены, что позволило получить непрерывный ряд черных и белых полос. При выделении структур (чередование полос) использовали следующую логику: задавая окно высотой в 3 полосы, окно поиска в цикле движется сверху вниз, в окне определяется средняя яркость и определяются точки пересечения графика яркости со средним значением, что позволяет определить начало и конец каждой полосы. Как только появляется полоса с высотой меньше или больше стандартной (она известна заранее), то алгоритм останавливается, из номера текущего пикселя рассчитывается уровень моря. В данном случае высота черных и белых полос в реальности на рейке составляет 1 см, а на кадре 15 пикселей. Для расшифровки изображений в принципе достаточно 4–5 пикселей на каждую полосу, следовательно, можно было использовать полосы с высотой до 0.3 см.

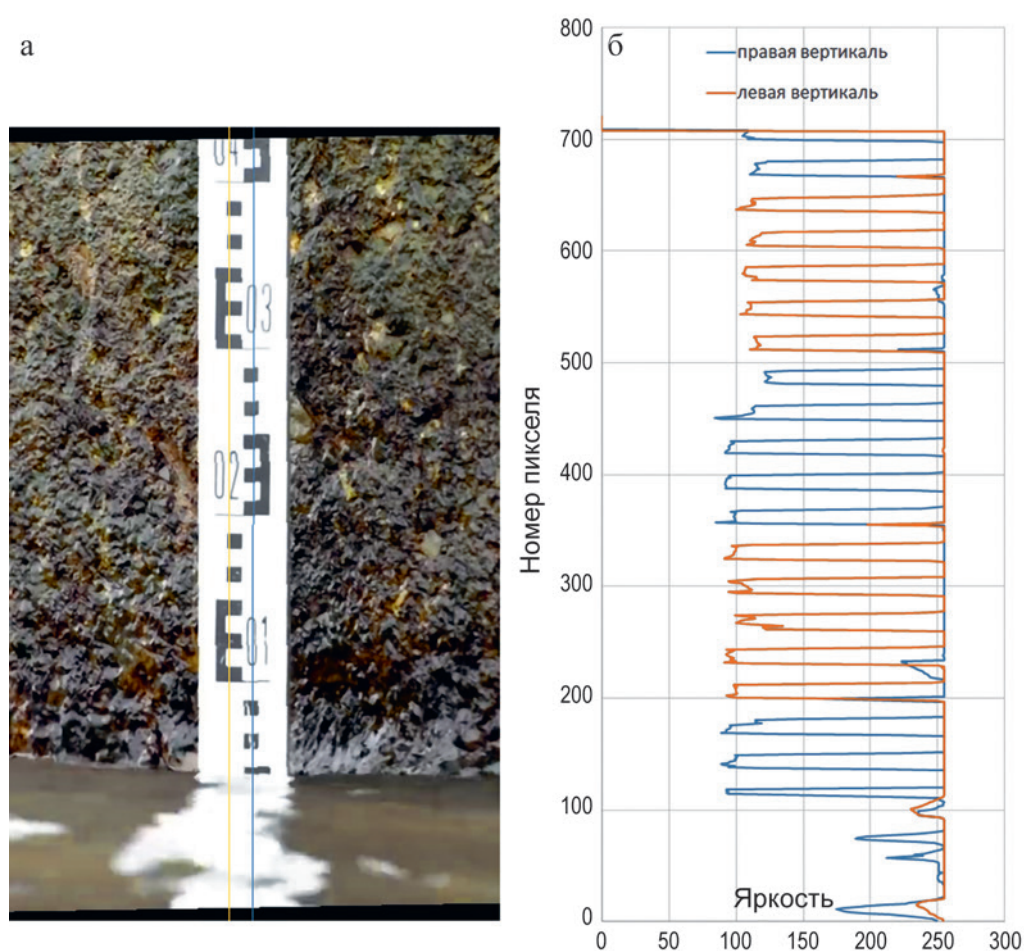


Рис. 2 – Кадр из видеозаписи геодезической рейки (а),
профили яркости вдоль рейки по синему каналу (б)

На следующем этапе при помощи алгоритма граница раздела «вода–воздух» определялась для каждого кадра видеозаписи длиной 15 секунд. В результате был получен ряд значений относительного уровня моря с частотой 30 Гц с точностью 1 см.

Несмотря на небольшую продолжительность видеосъемки, был получен принципиально важный результат – при наличии контрастных полос на рейке при помощи алгоритма можно уверенно определять границу раздела «вода–воздух» на каждом кадре.

Испытания системы измерений на Черном море

Летом 2018 г. в Геленджике на базе ЮО ИО РАН на пирсе в Голубой бухте (рисунок 3) была закреплена стальная рейка длиной 6 м, окрашенная в белый цвет с черными полосами с шагом 2 см (Мысленков, 2019). При помощи фотоаппарата Canon PowerShot SX10 IS производилась видеосъемка рейки с разрешением 640×480 с частотой 30 кадров в секунду с низкого пирса (1.5 м над водой). Расстояние до рейки составило всего 6 м, поэтому использовался только двукратный оптический зум. Видеосъемка проводилась в светлое время суток при различных волновых условиях сериями длительностью по 10 минут. Пример кадра видеозаписи и соответствующий профиль яркости показаны на рисунке 4.

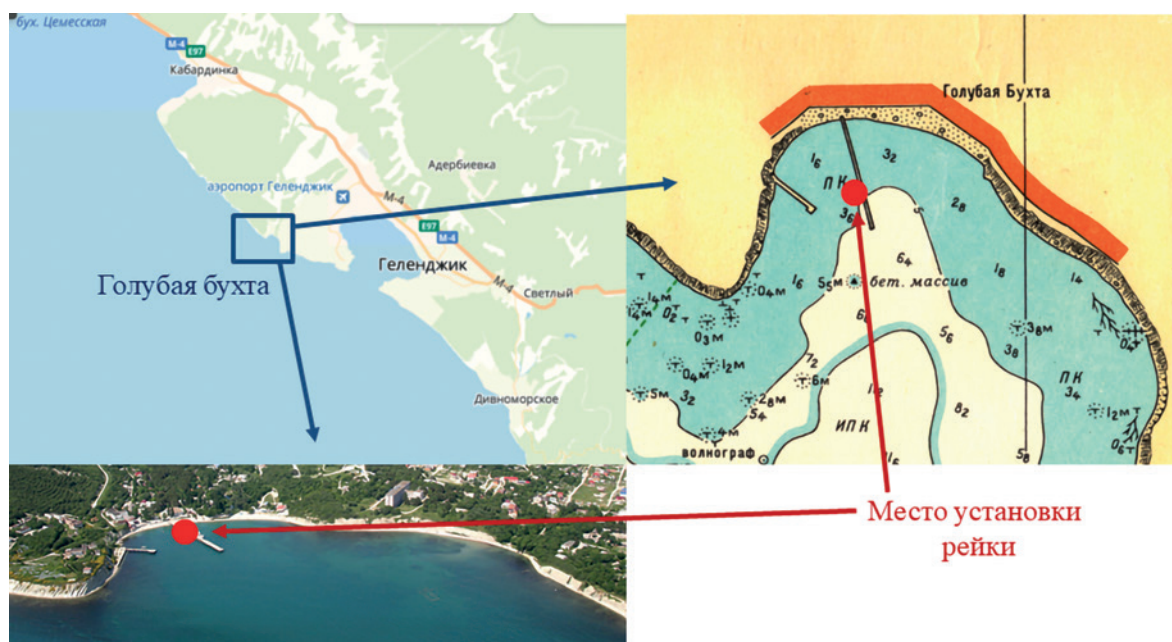


Рис. 3 – Место проведения эксперимента

Далее, используя созданный алгоритм обработки изображений, вычислялся относительный уровень моря для записи длиной 10 минут. На рисунке 5 представлена волнограмма, полученная после обработки изображений, состоящая из 9000 кадров (5 минут с частотой 30 кадров в секунду). На волнограмме видны колебания уровня с амплитудой около 40–50 см. Также на волнограмме присутствуют колебания уровня с периодом около 50–60 секунд, которые можно связать с проявлением инфрагравитационных волн, однако этот вопрос требует отдельного и более детального рассмотрения.

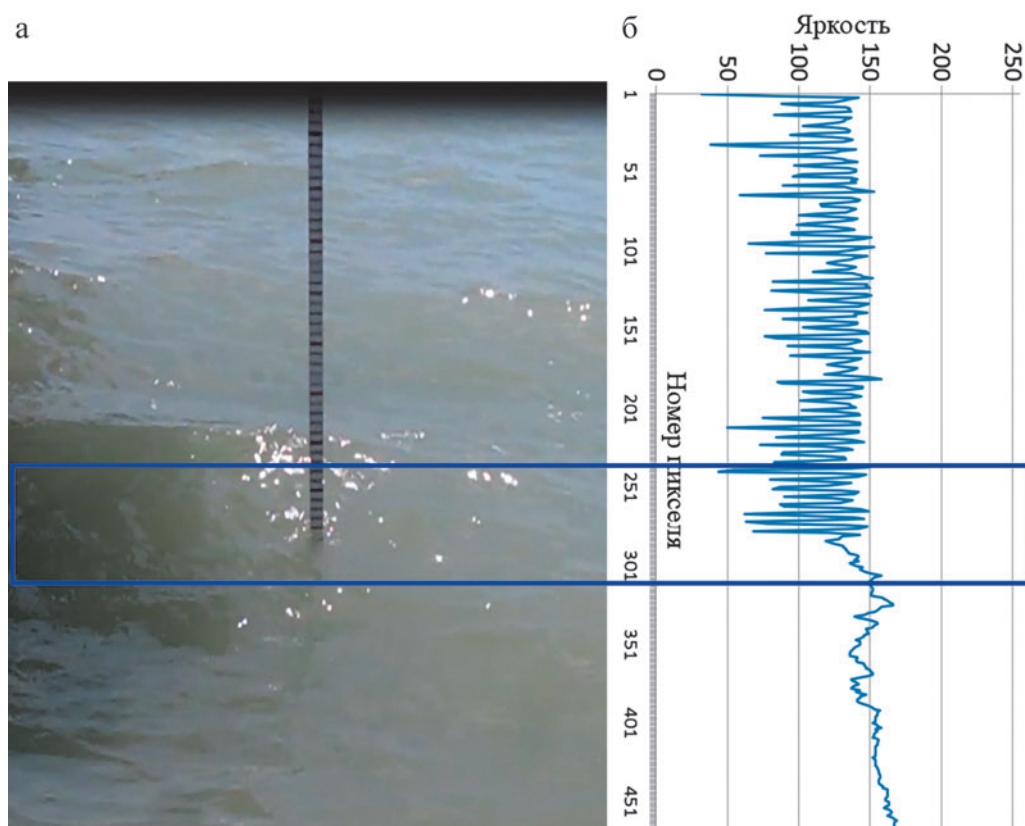


Рис. 4 – Кадр из видеозаписи рейки на пирсе (а),
профиль яркости вдоль рейки по синему каналу (б)

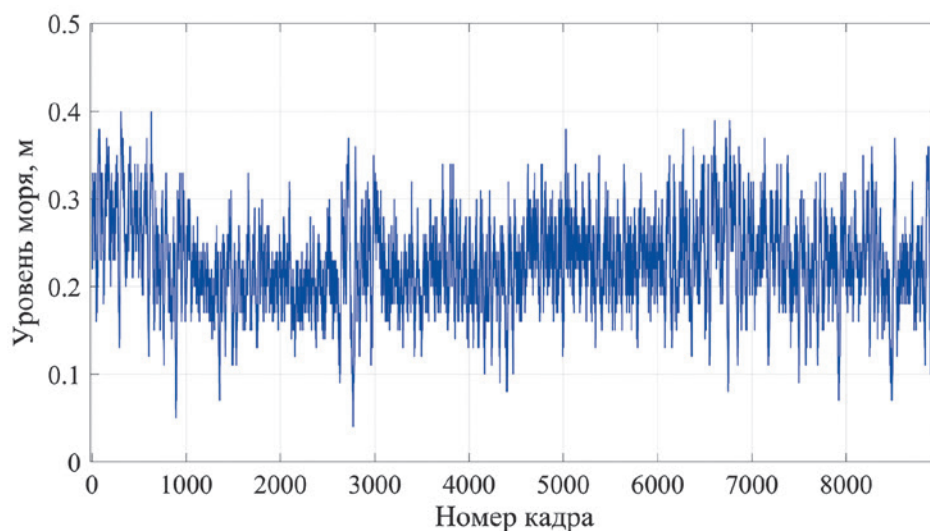


Рис. 5 – Волнограмма по данным расшифровки изображений.
Июнь 2018 г.

На рисунке 6 представлен небольшой отрезок волнограммы длительностью около 30 секунд, где заметны небольшие короткие ветровые волны с высотой около 20 см и периодом около 2 секунд, а также несколько волн с высотой 30–35 см. Также

по данным 10-минутной волнограммы построен частотный спектр (рисунок 6б). На спектре выделяются несколько максимумов на периодах 2–2.6 секунд, а также максимум с периодом 5.8 секунд.

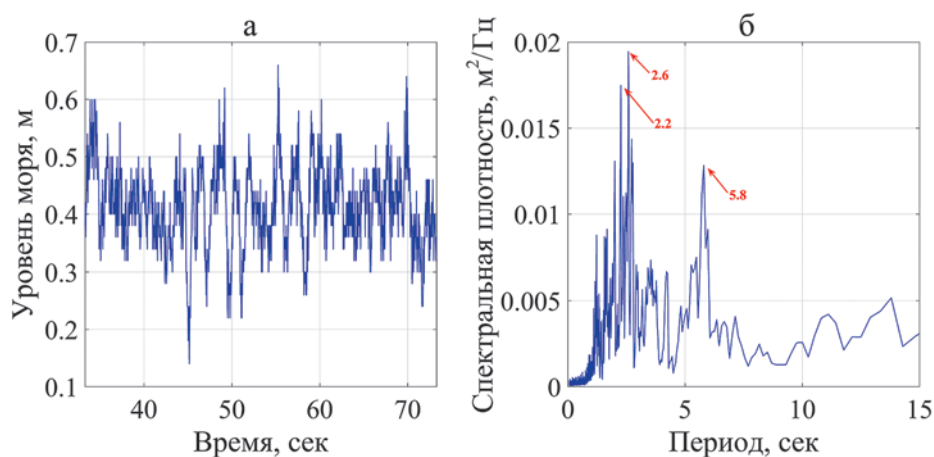


Рис. 6 – Волнограмма (а) и частотный спектр (б) ветровых волн по данным расшифровки изображений в июне 2018 г.

Полученные результаты показали, что предлагаемый метод является перспективным для измерения уровня моря и параметров ветровых волн, однако требует дополнительной оценки качества, которую планируется провести в будущем. По данным видеосъемки могут быть определены высоты и периоды индивидуальных волн, а также частотные спектры.

Испытания системы измерений в темное время суток

В 2025 г. на пирсе в Голубой бухте был проведен новый эксперимент. В период 2–4 апреля было выполнено несколько видеосъемок рейки при разных условиях освещенности. Использовалась камера FujiFilm FinePix S1, позволяющая получать видео с разрешением 1920×1080 с частотой 30 кадров в секунду. В качестве рейки использовалась профильная труба 20×40 мм длиной 10 м. Особенностью данного эксперимента являлось проведение съемки не только в светлое, но и в темное время суток. Для корректной работы системы в темное время суток на рейке был закреплен прозрачный силиконовый шланг диаметром 16 мм, а внутри шланга были расположены красная и желтая светодиодные ленты. Контрастные полосы были нанесены синей изоляционной лентой с шагом 2 см. Пример изображений рейки с подсветкой для темного времени суток с интервалом 3 секунды представлен на рисунке 7. Полосы, которые были закрыты синей изоляцией, отображаются преимущественно в красных тонах, а те полосы, где был прозрачный шланг, преимущественно видны как ярко-белые. При эксплуатации выявлено, что использование подсветки в светлое время также способствует более стабильной яркости при распознавании полос на изображениях рейки.

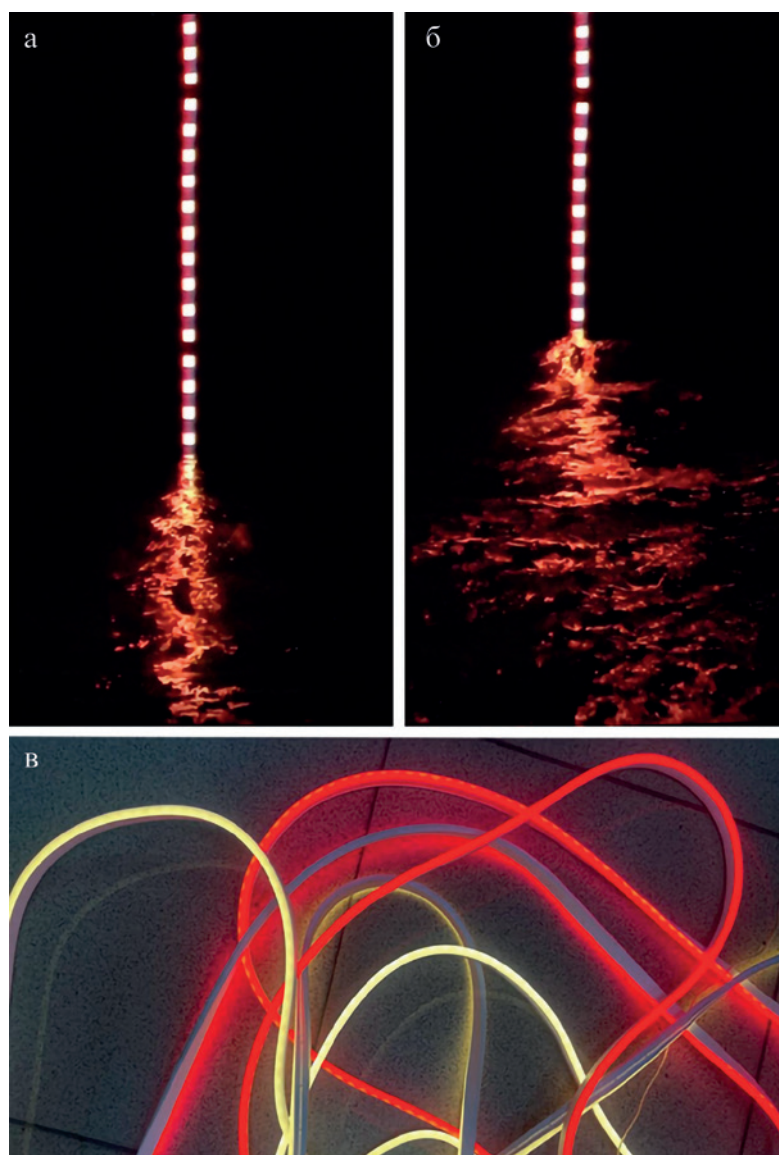


Рис. 7 – Пример кадров из видеозаписи в Голубой бухте в апреле 2025 г.:
а – ложбина волны, б – гребень волны, в – светодиодная лента

Для определения уровня моря использовался разработанный ранее алгоритм с некоторыми модификациями. В данном случае рейка была закреплена с отклонением от строго вертикального положения, поэтому каждый кадр поворачивается на заранее заданный угол для корректности работы алгоритма. Из каждого кадра извлекалась двумерная матрица красного канала RGB-изображения. Затем для каждого вертикального профиля яркость сглаживалась при помощи скользящего среднего (с окном 10 пикселей) для снижения влияния шума. Далее применялась пороговая бинаризация для выделения индексов пикселей (номер пикселя сверху вниз), которые относятся к белым полосам рейки. Для определения границы «вода–воздух» по бинаризованной матрице определяется максимальный индекс найденных белых полос. На рисунке 8а представлен повернутый кадр с рейки, а 8б – соответствующая бинарная маска по уровню яркости в канале.

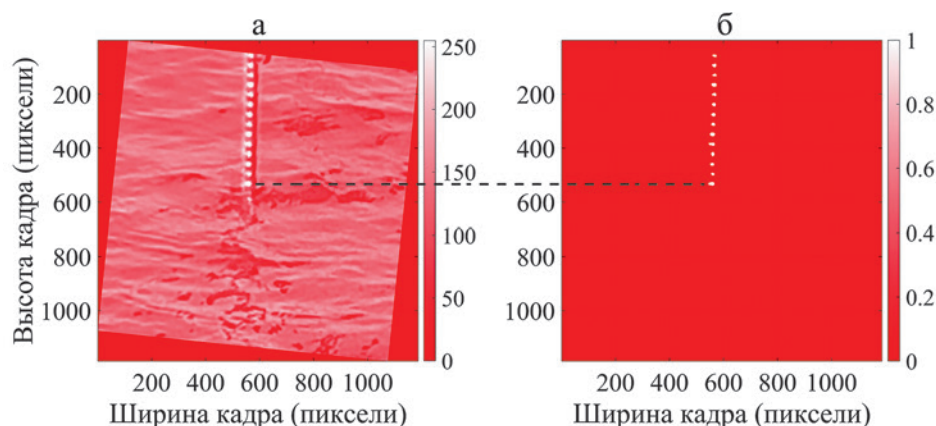


Рис. 8 – Кадр из видеозаписи рейки: **а** – исходное изображение в красном канале, **б** – соответствующая бинарная маска белых пикселей, пунктирная линия – граница «вода–воздух»

Такая методика может использоваться при определенных условиях, но является недостаточно эффективной из-за ярких бликов на поверхности воды, что приводит к некорректному определению уровня. Поэтому применен алгоритм, учитывающий как цвет, так и геометрическую структуру объекта. По вертикальному профилю яркости (рисунок 9) в красном канале отчетливо прослеживаются участки с чередующимися высокими и низкими значениями яркости, соответствующими красным и белым полосам на рейке. Далее выполняется поиск периодически чередующихся полос фиксированной ширины. Отраженные в воде блики от подсветки имеют искаженную форму, таким образом алгоритм анализа профиля останавливается при обнаружении области с нарушенной вертикальной периодичностью, и в базу данных записываются значения относительного уровня моря. Таким образом, алгоритм позволяет определить положение ближайшей к воде белой полосы и максимальная ошибка определения уровня (если уровень будет в самом низу синей полосы) будет равна толщине полосы разметки, и в данном случае это было 2 см.

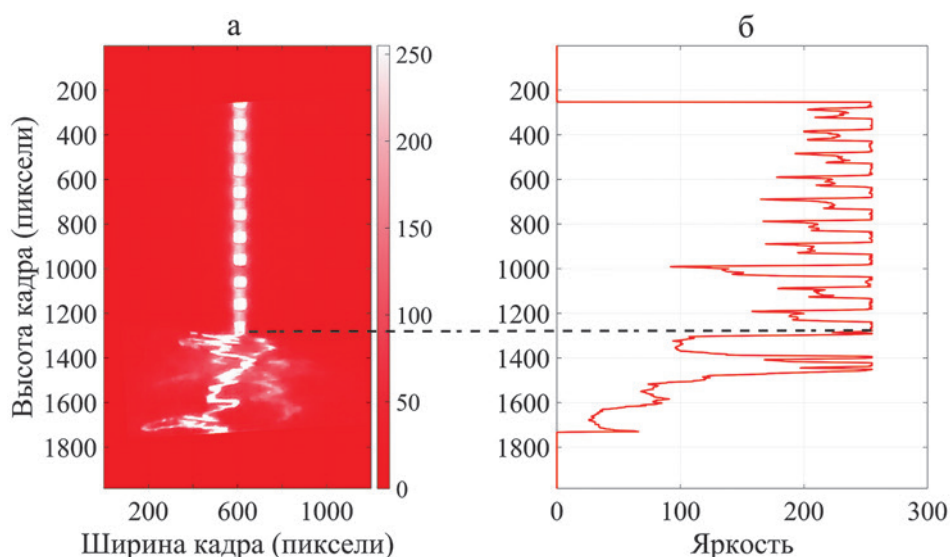


Рис. 9 – Кадр из видеозаписи: **а** – исходный кадр, **б** – вертикальный профиль, соответствующий положению рейки на кадре слева

Далее, используя описанный выше модифицированный алгоритм обработки изображений, вычислялся относительный уровень моря для записи длиной 15 минут. На рисунке 10 представлена волнограмма, полученная после обработки изображений, состоящая из 27 000 кадров (15 минут с частотой 30 кадров в секунду). На волнограмме видны колебания уровня с амплитудой около 0.4–0.5 м.

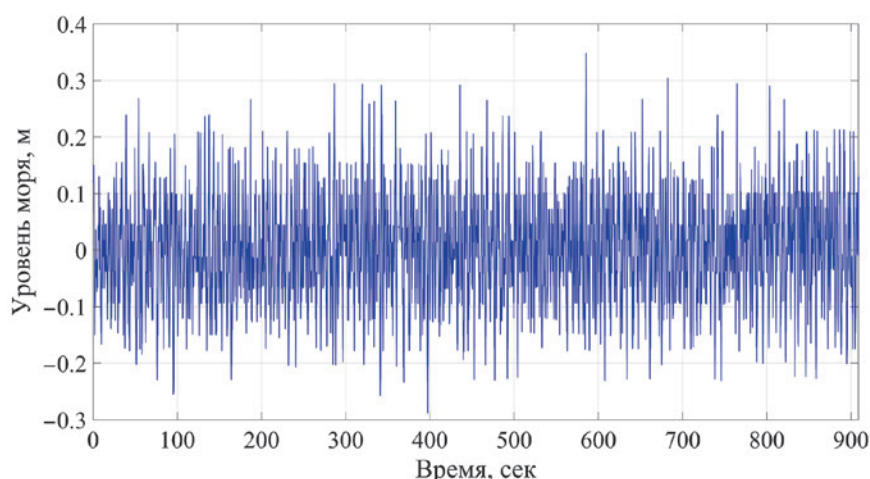


Рис. 10 – Волнограмма по данным расшифровки изображений. Апрель 2025 г.

Спектр ветрового волнения рассчитан с помощью быстрого преобразования Фурье – БПФ (метод Уэлча). Для оценки спектральной плотности использованы следующие параметры: длина окна – 4096 отсчетов (~136 секунд), перекрытие между окнами – 50 %, количество точек БПФ – 4096. На рисунке 11 представлен полученный спектр в логарифмическом масштабе частот.

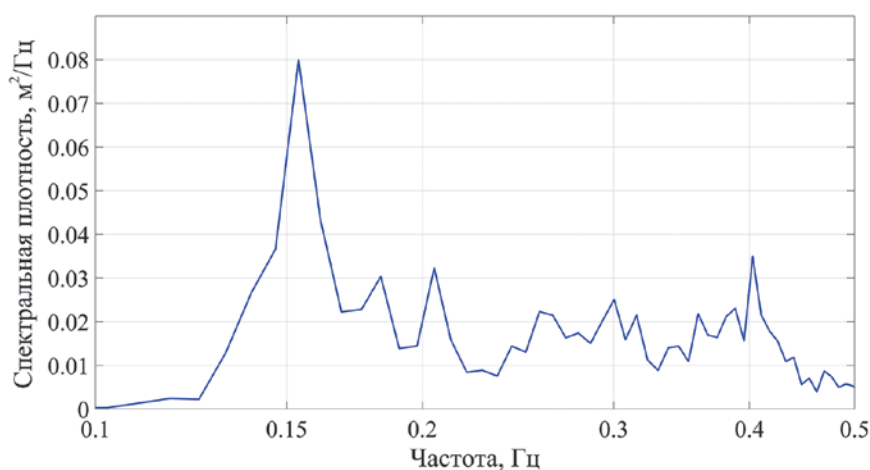


Рис. 11 – Частотный спектр ветровых волн по данным расшифровки изображений в апреле 2025 г.

Выраженный пик спектральной плотности $0.08 \text{ м}^2/\text{Гц}$ приходится на частоту 0.154 Гц , что соответствует периоду около 6.49 секунд. Значительная высота волн, рассчитанная как $H_s = 4 \times \sqrt{m_0}$, где m_0 – это нулевой момент спектра из площади волнового

спектра, составила 0.36 м. Также расчет параметров волнения проводился по пересечению среднего уровня (zero-crossing). Получены следующие значения: значительная высота волн (H_s) = 0.31 м; максимальная высота волны (H_{\max}) = 0.46 м; средний период T_{zero} = 2.69 сек; максимальный зарегистрированный период (T_{\max}) = 7.00 сек. По данным метеостанции на момент измерений зафиксирована скорость ветра 5–6 м/с, направление ветра – юго-восточное. К сожалению, измерений параметров волнения другими приборами не проводилось, поэтому выполнить интеркалибровку в данном случае невозможно.

Применение методики в разных модификациях

Испытания предлагаемой методики измерения уровня и параметров ветрового волнения проводились в различных условиях в Беринговом, Черном, Японском и Балтийском морях. При этом использовались разные типы видеокамер, измерительных реек и способы их крепления. Примеры различных типов реек для измерения уровня и волнения представлены на рисунке 12. Во всех экспериментах проводилась настройка алгоритма распознавания под конкретные условия и удалось получить относительный уровень моря, волнограммы и частотные спектры ветровых волн.

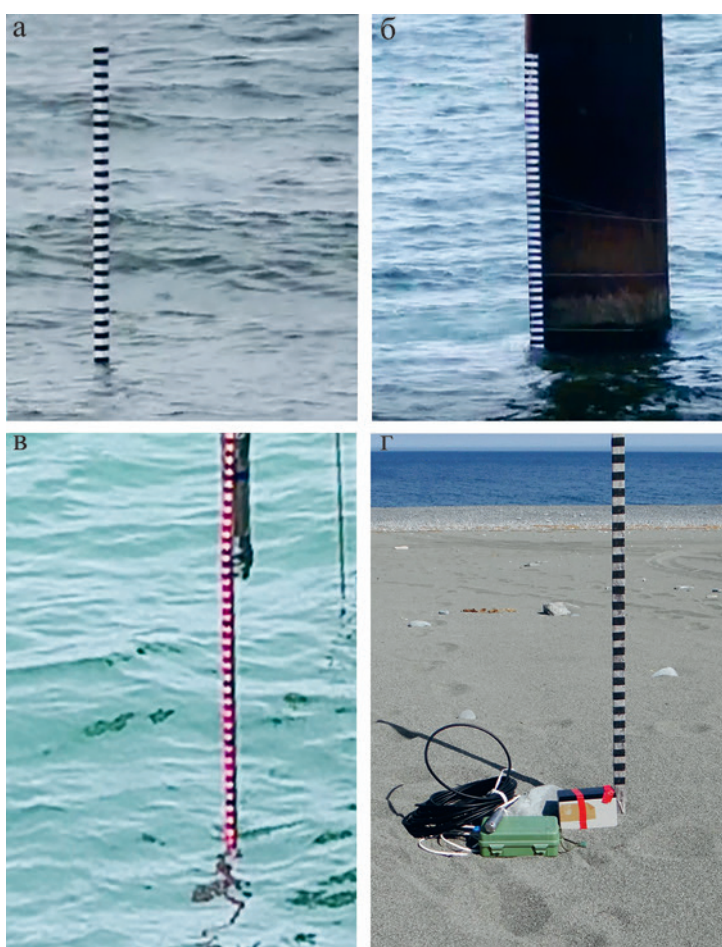


Рис. 12 – Примеры выполнения измерений уровня и параметров ветрового волнения в Балтийском (а и б), Черном (в) и Японском (г) морях

Обсуждение

Испытания предлагаемой системы измерения уровня моря и параметров волнения при помощи видеокамеры и водомерной рейки признаны успешными, в результате были получены волнограммы с частотой 30 Гц и высокой точностью определения уровня моря. Одним из главных преимуществ предлагаемой системы является ее низкая стоимость и простота монтажа. Например, изготовление рейки из металлической трубы длиной 10 м обойдется около 4000 руб. с покраской. Стоимость камеры видеонаблюдения с разрешением 8 Мп составляет около 8000 руб. Для использования системы в темное время суток добавляется стоимость подсветки – это диодная лента около 1000 руб. за 10 м и силиконовый шланг 800 руб. за 10 м. Следует отметить, что использование светодиодной ленты имеет ряд ограничений, связанных с ее долговечностью и обслуживанием. В качестве альтернативы можно использовать светоотражающую ленту или краску, нанесенную на рейку, что позволит упростить конструкцию и сделает ее более надежной, особенно при длительных измерениях в морской воде. Также большие перспективы для измерений в ночное время имеет съемка с использованием ИК-подсветки.

Для обработки данных достаточно обычного ноутбука или ПК. Таким образом, за 15 000 руб. можно получить достаточно точный прибор для измерения спектров ветрового волнения, что в разы дешевле других упоминаемых во введении приборов. В самом простом случае для кратковременных разовых наблюдений рейка может быть изготовлена из деревянного бруска, риски можно нанести изолентой или краской, а съемку проводить на камеру мобильного телефона. В этом случае стоимость системы уменьшается до 2000 руб. Предлагаемый подход может использоваться на прибрежных гидрометеорологических станциях и постах, помимо оперативных оценок уровня и волнения, видеозапись также может быть полезна для мониторинга других процессов и явлений. Однако при организации круглогодичного мониторинга возникает ряд дополнительных затрат и сложностей: рейка должна выдерживать сильное волновое воздействие во время штормов и быть устойчивой к коррозии, а организация видеонаблюдения должна включать сбор данных на сервер с автоматической непрерывной обработкой данных или сервер с большой системой хранения (потокные видео занимают большой объем). Также возникает необходимость стационарного всепогодного электроснабжения системы. Тем не менее, сильного удорожания системы не предполагается, а задачи с электроснабжением и организацией системы онлайн мониторинга в том или ином виде характерны для приборов любого типа.

Существуют серьезные ограничения и технические проблемы, которые в ряде случаев не позволяют использовать данный метод измерений. Во-первых, установка рейки возможна только на небольшом расстоянии от берега и, как правило, на небольшой глубине. Установка заякоренного варианта рейки (вехи) возможна, но это уже приводит ко множеству технических сложностей, сопутствующих полноценной установке заякоренной станции. Размещение видеокамеры возможно только на берегу

или на причале/пирсе, а следовательно, при удалении рейки от камеры реальный размер одного пикселя увеличивается и возникает необходимость в хорошем оптическом зуме, что приводит к удорожанию камеры. Во-вторых, для продолжительного круглогодичного мониторинга необходимо электропитание, а сама рейка должна быть жестко зафиксирована, что возможно осуществить только при использовании конструкции пирсов и причалов. В-третьих, камера должна быть установлена выше уровня моря и не далее, чем на расстоянии, соответствующем длине волны, так как высокий гребень волны может заслонить рейку и в измерениях возникнут ошибки. В-четвертых, возникает проблема биологического обрастания рейки (будет меняться цвет полос на изображении) и ошибки могут возникать при распознавании. Пример такого обрастания представлен на рисунке 13, где показано как падают значения интенсивности цвета за 3 недели в летний период в Черном море. При использовании подсветки эта проблема частично решается, пока слой обрастания не очень большой, но в дальнейшем желательно ежемесячное обслуживание.

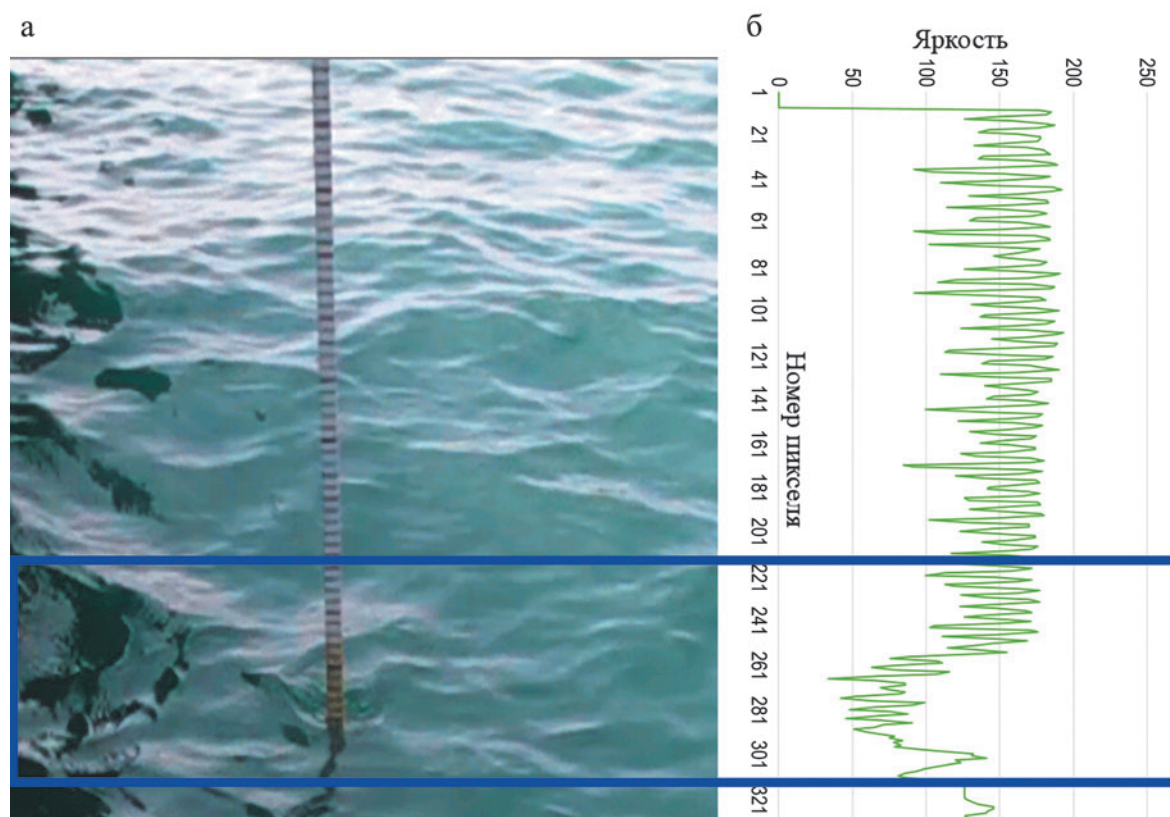


Рис. 13 – Изменение яркости цвета в результате обрастания

Представленной в статье системой измеряли только относительный уровень моря, а многим исследователям нужны абсолютные значения уровня, например, в Балтийской системе высот. Осуществить привязку можно при помощи нивелирных измерений при наличии отметки с известной высотой, либо при использовании геодезического GPS/GNSS приемника.

Точность измерений также зависит от обтекания рейки волной. Если рейка широкая и плоская (например, геодезическая), ориентированная широкой частью к фронту волны, то верхняя часть гребня волны при прохождении через рейку может искажаться, что повлияет на точность измерений. Для минимальных искажений оптимально использовать, например, квадратную профильную трубу, закрепленную ребром к волне.

Довольно сложным представляется вопрос определения направления волны. По данным съемки одной рейки направление определить нельзя. При установке 3-х или 4-х реек появляется возможность по разности фаз прохождения гребней на разных рейках определить направление волны, однако возникает ряд сложностей с установкой реек, определением необходимого расстояния между ними и с разработкой дополнительного модуля расчета.

Одним из дискуссионных моментов является ручная настройка алгоритма поиска границы «вода–воздух» при каждой новой постановке рейки. Это вызывает определенные неудобства, например, при краткосрочных выездных измерениях, так как при каждой установке меняется расстояние от камеры до рейки, меняется угол съемки, что требует отладки алгоритма. Также этот момент существенно ограничивает использование данного метода исследователями, не имеющими достаточных компетенций в программировании.

В дальнейшем возможно создание более продвинутого алгоритма с элементами машинного зрения, который самостоятельно определит расположение рейки в кадре и проведет расчет реального размера пикселя по заданным параметрам толщины полос разметки на рейке. Создание универсального программного обеспечения, которое будет получать на входе видеофайл и толщину полос, а на выходе – записывать волнограмму, позволит расширить круг потребителей и повысить доступность метода.

Заключение

Проведенные исследования демонстрируют перспективность использования водомерной (уровенной) рейки и видеокамеры для определения уровня моря, параметров ветрового волнения и их частотных спектров. В ходе экспериментов получены волнограммы с частотой до 30 Гц, которая соответствует параметрам скорости видеосъемки. Разработанный программный алгоритм обработки видеоряда позволяет уверенно определять границу раздела «вода–воздух», а точность измерений будет зависеть от толщины полосок на рейке и разрешения камеры. В нашем случае точность определения уровня составила 1–2 см. По полученным волнограммам были определены высота значительных волн и средний период, а также восстановлен частотный спектр колебаний уровня моря.

Мониторинг уровня моря при помощи видеокамеры и рейки в сочетании с автоматизированной обработкой открывает новые возможности для изучения ветрового волнения и уровня моря в прибрежной зоне, что имеет важное значение для широкого

спектра научных и прикладных задач, в том числе связанных с инженерными изысканиями. Измерения с использованием сертифицированной и проверенной геодезической рейки могут рассматриваться как эталонные по отношению к другим методам, поскольку обеспечивают метрологическую точность результатов.

Измерения и предварительные результаты, полученные в различных морях России, подтверждают универсальность предложенной методики. В дальнейшем предполагается развитие автоматизированной круглогодичной системы мониторинга уровня моря и параметров волн в прибрежной зоне Черного моря, а также интеграцию этой системы в структуру Гидрофизического полигона ИО РАН. В качестве первого этапа планируется постановка стационарной рейки в Голубой бухте для непрерывной регистрации уровня моря с автоматической обработкой данных в реальном времени.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № 8.5).

Список литературы

1. Абузяров З. К., Думанская И. О., Нестеров Е. С. Оперативное океанографическое обслуживание. Москва, 2009. 288 с. <https://www.morkniga.ru/p839146.html>
2. Войнов Г. Н., Лебедев Н. В., Морозова С. М. Приливы вдоль западного побережья Новой Земли // Российская Арктика. 2024. Т. 6. №. 1 (24). С. 33–47. EDN: QLKIMW. <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-33-47>
3. Грузинов В. М., Борисов Е. В., Григорьев А. В. Прикладная океанография. Обнинск: Артифекс, 2012. 384 с. EDN: QKLBPV
4. Долгих Г. И., Фищенко В. К., Гончарова А. А. О возможности регистрации волнения и колебаний уровня моря в прибрежных районах Мирового океана на основе анализа видео в сети Интернет // Доклады Академии наук. 2019. Т. 488. № 6. С. 667–672. EDN: OFMTVE. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524886667-672>
5. Елагин А. А., Демидов А. Л. Анализ методов определения колебаний уровня моря при гидрографических работах // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2016. №. 2 (36). С. 78–89. EDN: VTNQAZ. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2016-8-2-78-89>
6. Зайцев А. И., Долгих Г. И., Долгих С. Г., Пелиновский Е. Н. Технические, аппаратные и программные решения для мониторинга природных процессов в южной части Охотского моря // Вестник Российской академии наук. 2024. Т. 94. №. 8. С. 760–770. EDN: FCLDKZ. <https://doi.org/10.31857/S0869587324080071>
7. Захарчук Е. А., Сухачев В. Н., Тихонова Н. А. Штормовые нагоны в Финском заливе Балтийского моря // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. Т. 66. №. 4. С. 781–805. EDN: LLMELS. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.408>
8. Зацепин А. Г., Коваленко В. В., Куклев С. Б., Телегин В. А. Прибрежная оперативная океанография – современный метод мониторинга шельфовосклоновой зоны морей и океанов // Океанология. 2024. Т. 64. № 6. С. 1023–1025. EDN: FHMKYW. <https://doi.org/10.31857/S0030157424060143>
9. Ивонин Д. В., Мысленков С. А., Чернышов П. В., Архипкин В. С., Телегин В. А., Куклев С. Б., Чернышова А. Ю., Пономарев А. Ю. Система мониторинга ветрового волнения в

- прибрежной зоне Черного моря на основе радиолокации, прямых наблюдений и моделирования: первые результаты // Проблемы региональной экологии. 2013. №. 4. С. 172–183. EDN: [RNETIN](#)
10. *Медведева А. Ю., Мысленков С. А., Медведев И. П., Архипкин В. С., Кречик В. А., Добролюбов С. А.* Моделирование ветрового волнения в Балтийском море на прямоугольной и неструктурной сетках на основе реанализа NCEP/CFSR // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. №. 362. С. 37–54. EDN: [XBWOVN](#)
 11. *Медведев И. П., Архипкин В. С.* Колебания уровня моря в Голубой бухте (Геленджик) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 3. С. 70–78. EDN: [UJXNYZ](#)
 12. *Мысленков С. А., Михайлов В. А.* Измерение параметров волн в голубой бухте (Геленджик) при помощи видеокамеры и рейки // Комплексные исследования Мирового океана: материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых. Севастополь: Морской гидрофизический институт РАН, 2019. С. 372–373. EDN: [FMKWWN](#)
 13. *Смолов В. Е., Розвадовский А. Ф.* Применение платформы Arduino для регистрации ветровых волн // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36. №. 4 (214). С. 467–479. EDN: [AKIIBG](#). <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-4-467-479>
 14. СП 11-114-2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. Москва: ФГУП «ПНИИИС» Госстроя России, 2004. С. 88. <https://docs.cntd.ru/document/1200037608>
 15. *Birgand F., Smith A. M., Bassiouni M. et al.* Field performance of the GaugeCam image-based water level measurement system // PLoS Water. 2022. Vol. 1. No. 7. P. e0000032. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000032>
 16. *Bostater Jr. C. R., Yang B.* Shallow water surface gravity wave imaging, spectra and their use in shallow water dredging operations // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2014. SPIE, 2014. Vol. 9240. P. 126–134. <https://doi.org/10.1117/12.2070184>
 17. *Bostater Jr. C. R., Yang B.* Video Measurements and Analysis of Surface Gravity // Surface Waves: New Trends and Developments. 2018. P. 127–143. <https://doi.org/10.5772/intechopen.73042>
 18. *Buscombe D. et al.* Optical wave gauging using deep neural networks // Coastal Engineering. 2020. Vol. 155. P. 103593. EDN: [PHRAVG](#). <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103593>
 19. *Closson J.* Measurements and Synthetic Imaging of Water Surface Gravity Waves using Optical Techniques. 2019. <https://repository.fit.edu/etd/1227>
 20. *Guimarães P. V. et al.* A data set of sea surface stereo images to resolve space-time wave fields // Scientific data. 2020. Vol. 7. No. 1. 145 p. EDN: [XUXPPL](#). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0492-9>
 21. *Iwahashi M., Udomsiri S., Imai Y., Muramatsu S.* Water level detection for functionally layered video coding // 2007 IEEE International Conference on Image Processing. IEEE. 2007. Vol. 2. P. II-321-II-324. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2007.4379157>
 22. *Kosnik M. V., Dulov V. A.* Extraction of short wind wave spectra from stereo images of the sea surface // Measurement science and technology. 2011. Vol. 22. No. 1. P. 015504. EDN: [VDELTU](#). <https://doi.org/10.1088/0957-0233/22/1/015504>
 23. *Lin Y. T., Lin Y. C., Han J. Y.* Automatic water-level detection using single-camera images with varied poses // Measurement. 2018. Vol. 127. P. 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.100>
 24. *Rybalko A., Myslenkov S., Badulin S.* Wave buoy measurements at short fetches in the Black Sea nearshore: Mixed Sea and energy fluxes // Water. 2023. Vol. 15. No. 10. P. 1834. EDN: [BXQHYY](#). <https://doi.org/10.3390/w15101834>

25. Vandaele R., Dance S. L., Ojha V. Calibrated river-level estimation from river cameras using convolutional neural networks // *Environmental Data Science*. 2023. Vol. 2. P. e11. EDN: KVQFAK. <https://doi.org/10.1017/eds.2023.6>
26. Wanek J. M., Wu C. H. Automated trinocular stereo imaging system for three-dimensional surface wave measurements // *Ocean engineering*. 2006. Vol. 33. No. 5–6. P. 723–747. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2005.05.006>
27. Yurovsky Y. Y., Kudinov O. B. Methods and Errors of Wave Measurements Using Conventional Inertial Motion Units // *Physical oceanography*. 2025. Vol. 32. No. 1. P. 63–83. EDN: WTGOVI
28. Zhang Z. et al. In-situ water level measurement using NIR-imaging video camera // *Flow Measurement and Instrumentation*. 2019. Vol. 67. P. 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.04.004>

Статья поступила в редакцию 17.09.2025, одобрена к печати 21.10.2025.

Для цитирования: Мысленков С. А., Морозова С. М., Рыбалко А. Д., Мурзакова Ю. В., Очередник В. В., Машура В. В., Круглова Е. Е., Михайлов В. А., Мысленкова К. П., Рыбаков И. А., Мухаметов С. С., Зацепин А. Г. Измерения уровня моря и параметров поверхностных волн при помощи видеокамеры и рейки в светлое и темное время суток // *Океанологические исследования*. 2025. Т. 53. № 4. С. 229–250. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(4\).13](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(4).13)

MEASUREMENT OF SEA LEVEL AND SURFACE WAVE PARAMETERS USING A VIDEO CAMERA AND A LEVELING ROD IN DAYLIGHT AND NIGHTTIME CONDITIONS

S. A. Myslenkov^{*1,2,3}, S. M. Morozova², A. D. Rybalko¹, Y. V. Murzakova¹,
V. V. Ocherednik¹, V. V. Mashura¹, E. E. Kruglova¹, V. A. Mikhailov²,
K. P. Myslenkova^{1,4}, I. A. Rybakov⁵, S. S. Mukhametov², A. G. Zatsepin¹

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia;

² Lomonosov Moscow State University,
1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia;

³ Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences,
3, Pyzhevskii per., Moscow, 119017, Russia;

⁴ National Research University Higher School of Economics,
20, Myasnitskaya Street, Moscow, 101000, Russia;

⁵ Institute of Botany and Phytointroduction,
36d, Timiryazev Street, Almaty, 050040, Kazakhstan;

*e-mail: stassas@yandex.ru

The study demonstrates the possibility of using a video camera and a special leveling rod, installed in the coastal zone, to determine sea level, wind wave parameters, and wave frequency spectra. The method is based on frame-by-frame of 30 Hz video recordings and automatic detection of the water–air boundary using a brightness profile. The algorithm is adapted for both daylight and nighttime conditions due to the use of LED illumination, enabling a level determination with an accuracy of up to 2 cm. The methodology has been tested in the Black, Bering, Japan, and Baltic Seas using various types of rods and videos cameras. The article presents measurement results for sea level and wind wave parameters (significant and maximum wave heights, average and maximum wave periods) for the Black Sea. Waveforms with a sampling rate of 30 Hz are

provided for several video sequences. One of the key advantages of the proposed approach is its low cost and ease of implementation: the system can be assembled using widely available components – a video camera, a metal or wooden rod, and a standard personal computer for data processing. Identified limitations include the need for stable rod fixation, the impact of biological fouling, the limited placement of equipment in remote areas, and errors caused by wave run-up. However, the methodology can be adapted to various conditions. The results obtained may be useful for both scientific and applied purposes, including offshore engineering surveys and operational oceanography.

Keywords: sea level measurement, wind waves, frequency spectrum, video recording, automatic video processing, wave gauge rod

Acknowledgments: This work was carried out as part of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (project No. 8.5).

References

1. Abuzjarov, Z. K., I. O. Dumanskaya, and E. S. Nesterov, 2009: *Operational oceanographic support*. Moscow, 288 p., <https://www.morkniga.ru/p839146.html>
2. Birgand, F., A. M. Smith, and M. Bassiouni et al., 2022: Field performance of the GaugeCam image-based water level measurement system. *PLoS Water*, **1** (7), P e0000032, <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000032>
3. Bostater, Jr. C. R. and B. Yang, 2014: Shallow water surface gravity wave imaging, spectra and their use in shallow water dredging operations. *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2014, SPIE*, **9240**, 126–134, <https://doi.org/10.1117/12.2070184>
4. Bostater, Jr. C. R. and B. Yang, 2018: Video Measurements and Analysis of Surface Gravity. *Surface Waves: New Trends and Developments*, 127–143, <https://doi.org/10.5772/intechopen.73042>
5. Buscombe, D. et al., 2020: Optical wave gauging using deep neural networks. *Coastal Engineering*, **155**, 103593, EDN: PHRAVG, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103593>
6. Closson, J., 2019: *Measurements and Synthetic Imaging of Water Surface Gravity Waves using Optical Techniques*, <https://repository.fit.edu/etd/1227>
7. Dolgikh, G. I., V. K. Fishchenko, and A. A. Goncharova, 2019: On the possibility of recording wave activity and sea level oscillations in coastal regions of the World Ocean based on Internet video analysis. *Doklady Akademii Nauk.*, **488** (6), 667–672, EDN: OFMTVE, <https://doi.org/10.31857/S0869-56524886667-672>
8. Elagin, A. A. and A. L. Demidov, 2016: Analysis of methods for determining sea level fluctuations during hydrographic work. *Vestnik of the Admiral S. O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*, **2** (36), 78–89, EDN: VTNQAZ, <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2016-8-2-78-89>
9. Gruzinov, V. M., E. V. Borisov, and A. V. Grigoriev, 2012: *Applied oceanography*. Obninsk, Artefaks Publ., p. 384, EDN: QKLBPV
10. Guimarães, P. V. et al., 2020: A data set of sea surface stereo images to resolve space-time wave fields. *Scientific data*, **7** (1), 145 p., EDN: XUXPPL, <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0492-9>
11. Ivonin, D. V., et al., 2013: Wind wave monitoring system in the coastal zone of the Black Sea based on radar, direct observations and modeling: first results. *Problems of Regional Ecology*, **4**, 172–183, EDN: RNETIN

12. Iwahashi, M., S. Udomsiri, Y. Imai, and S. Muramatsu, 2007: Water level detection for functionally layered video coding. *2007 IEEE International Conference on Image Processing. IEEE*, 321–324, <https://doi.org/10.1109/ICIP.2007.4379157>
13. Kosnik, M. V. and V. A. Dulov, 2011: Extraction of short wind wave spectra from stereo images of the sea surface. *Measurement science and technology*, **22** (1), 015504, EDN: VDELTU, <https://doi.org/10.1088/0957-0233/22/1/015504>
14. Lin, Y. T., Y. C. Lin, and J. Y. Han, 2018: Automatic water-level detection using single-camera images with varied poses. *Measurement*, **127**, 167–174, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.100>
15. Medvedeva, A. Yu., S. A. Myslenkov, I. P. Medvedev, V. S. Arkhipkin, V. A. Krechik, and S. A. Dobrolyubov, 2016: Modeling of wind waves in the Baltic Sea on rectangular and unstructured grids based on NCEP/CFSR reanalysis. *Proceedings of the Russian Hydrometeorological Center*, **362**, 37–54, EDN: XBWOVN
16. Medvedev, I. P. and V. S. Arkhipkin, 2015: Sea level fluctuations in Golubaya Bay (Gelendzhik). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Series 5. Geography*, **3**, 70–78, EDN: UJXNYZ
17. Myslenkov, S. A. and V. A. Mikhaylov, 2019: Measurement of wave parameters in the Blue Bay (Gelendzhik) using a video camera and a measuring rod. *Comprehensive Studies of the World Ocean: Proceedings of the 4th All-Russian Scientific Conference of Young Scientists*, Sevastopol, April 22–26, Sevastopol, Marine Hydrophysical Institute of RAS, 2019, 372–373, EDN: FMKWVN
18. Rybalko, A., S. Myslenkov, and S. Badulin, 2023: Wave buoy measurements at short fetches in the Black Sea nearshore: Mixed Sea and energy fluxes. *Water*, **15** (10), 1834, EDN: BXQHYX, <https://doi.org/10.3390/w15101834>
19. Smolov, V. E. and A. F. Rozvadovsky, 2020: Application of the Arduino platform for wind wave recording. *Marine Hydrophysical Journal*, **4** (214), 467–479, EDN: AKIIBG, <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-4-467-479>
20. SP 11-114-2004. Engineering surveys on the continental shelf for the construction of offshore oil and gas field facilities. Moscow: FGUP “PNIIS” of Gosstroy of Russia, 2004, P. 88, <https://docs.cntd.ru/document/1200037608>
21. Vandaele, R., S. L. Dance, and V. Ojha, 2023: Calibrated river-level estimation from river cameras using convolutional neural networks. *Environmental Data Science*, **2**, e11, EDN: KVQFAK, <https://doi.org/10.1017/eds.2023.6>
22. Voinov, G. N., N. V. Lebedev, and S. M. Morozova, 2024: Tides along the western coast of Novaya Zemlya. *Rossiyskaya Arktika*, **6** (1), 33–47, EDN: QLKIMW, <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-33-47>
23. Wanek, J. M. and C. H. Wu, 2006: Automated trinocular stereo imaging system for three-dimensional surface wave measurements. *Ocean engineering*, **33** (5–6), 723–747, <https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2005.05.006>
24. Yurovsky, Y. Y. and O. B. Kudinov, 2025: Methods and Errors of Wave Measurements Using Conventional Inertial Motion Units. *Physical oceanography*, **32** (1), 64, 63–83, EDN: WTGOVI
25. Zaytsev, A. I., et al., 2024: Technical, hardware and software solutions for monitoring natural processes in the southern part of the Sea of Okhotsk. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, **94** (8), 760–770, EDN: FCLDKZ, <https://doi.org/10.31857/S0869587324080071>
26. Zakharchuk, E. A., V. N. Sukhachev, and N. A. Tikhonova, 2021: Storm surges in the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Earth Sciences*, **66** (4), 781–805, EDN: LLMELS, <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.408>
27. Zatsepin, A. G., V. V. Kovalenko, S. B. Kuklev, and V. A. Telegin, 2024: Coastal operational oceanography as a modern method for monitoring the shelf-slope zone of seas

- and oceans. *Oceanology*, **64** (6), 1023–1025, EDN: FHMKYW, <https://doi.org/10.31857/S0030157424060143>
28. Zhang, Z. et al., 2019: In-situ water level measurement using NIR-imaging video camera. *Flow Measurement and Instrumentation*, **67**, 95–106, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.04.004>

Submitted 17.09.2025, accepted 21.10.2025.

For citation: Myslenkov, S. A., S. M. Morozova, A. D. Rybalko, Y. V. Murzakova, V. V. Ocherednik, V. V. Mashura, E. E. Kruglova, V. A. Mikhailov, K. P. Myslenkova, I. A. Rybakov, S. S. Mukhametov, and A. G. Zatsepin, 2025: Measurements of sea level and surface wave parameters using a video camera and a leveling rod in daylight and nighttime conditions. *Journal of Oceanological Research*, **53** (4), 229–250, [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(4\).13](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(4).13)

基于摄像机与水位尺的昼夜海面水位及表面波参数测量

S. A. Myslenkov^{*1,2,3}, S. M. Morozova², A. D. Rybalko¹, Y. V. Murzakova¹,
V. V. Ocherednik¹, V. V. Mashura¹, E. E. Kruglova¹, V. A. Mikhailov²,
K. P. Myslenkova^{1,4}, I. A. Rybakov⁵, S. S. Mukhametov², A. G. Zatsepin¹

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 邮编: 117997, Russia;

² Lomonosov Moscow State University,
1, Leninskie Gory, Moscow, 邮编: 119991, Russia;

³ Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences,
3, Pyzhevskii per., Moscow, 邮编: 119017, Russia;

⁴ National Research University Higher School of Economics,
20, Myasnitskaya Street, Moscow, 邮编: 101000, Russia;

⁵ Institute of Botany and Phytointroduction,
36d, Timiryazev Street, Almaty, 邮编: 050040, Kazakhstan;

*电子邮件: stassas@yandex.ru

在本研究中, 我们验证了利用布设在近岸带的摄像机与水尺来定义海面高度、波浪参数及波谱的可行性。该方法基于帧率为30 Hz的视频逐帧分析, 并通过亮度剖面自动识别水-气界面。借助LED补光, 该算法可适用于昼夜条件, 水位判定精度可达2 cm。该方法已在黑海、白令海、日本海和波罗的海进行了试验, 使用了多种水尺与摄像机配置。文中以黑海为例, 给出了水位及波浪参数的测量结果 (包括显著波高、最大波高、平均周期与最大周期), 并展示了数段频率为30 Hz的波形记录示例。

该方法的关键优点是成本低、实现简便: 该系统可由商用现货部件组装而成, 包括摄像机、金属或木质水尺以及用于数据处理的普通个人计算机。本方法的局限性包括: 需要对水尺进行稳固固定、生物污损的影响、在偏远海域布放设备的困难, 以及因波浪绕流导致的误差。然而, 该方法可根据不同环境进行适配。所得结果可服务于科研与应用场景, 包括大陆架工程勘察与业务化海洋观测等。

关键词: 海平面测量, 风浪, 波谱, 视频观测, 视频自动化处理, 水尺

致谢: 本工作在俄罗斯联邦科学与高等教育部面向俄罗斯科学院海洋学研究所的国家任务资助框架下完成 (课题编号 8.5)。