

УДК 551.461.25.08+[551.466.3.08]:004.738.5

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ВОЛНЕНИЯ И КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИДЕО В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Академик РАН Г. И. Долгих*, В. К. Фищенко, А. А. Гончарова

Поступило 04.06.2019 г.

Описана 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, представленных в сети Интернет. Приводится пример сравнения полученных таким образом сигналов волнения в порту Кротоне (Италия) с данными близкорасположенной станции Глобальной системы наблюдения за уровнем моря – ГЛОСС. Пример демонстрирует высокое, сопоставимое с ГЛОСС, качество регистрации системы сейшевых колебаний порта с периодами от 40 до 2 мин. При этом в отличие от станций ГЛОСС в “видеосигналах” присутствуют отклики ещё более короткопериодных (до десятков секунд) сейш, волн зыби, ветровых и корабельных волн.

Ключевые слова: приливы, сейши, ветровое волнение, зыбь, интернет, IP-камера, видеотрансляция, обработка видео, обработка сигналов.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524886667-672>

Системы наблюдения прибрежных акваторий с использованием IP-камер, способных передавать видеoinформацию по каналам связи, поддерживающим так называемый интернет-протокол (IP), разворачиваются с начала 1990 г. Наиболее известен действующий по настоящее время проект Argus университета штата Орегон в США [1]. Более чем в 60 точках морского побережья были установлены комплексы наблюдения, которые раз в тридцать минут отсылают в единый центр хранения моментальные снимки и составленные из них панорамы. Эта информация служит основой для исследования процессов эрозии береговой зоны и оценки параметров морских процессов, влияющих на эрозию [2–4]. Начиная с 2000-х годов стало возможным пересылать не только статичные снимки, но и видео, что увеличило возможности по исследованию морских процессов. В [5] была описана реализованная в системе видеомониторинга залива Петра Великого [6] технология регистрации сигналов волнения на основе слежения за маркерными объектами на поверхности воды. Её особенностью является то, что анализируются не ранее записанные видеофайлы, а “живое” видео – отображаемая в режиме реального времени на компьютере пользователя видеотрансляция с удалённой IP-камеры. Эта технология является важным дополнением классическим методам, частично описанным в [7], а также некоторым

частным методам, позволяющим исследовать инфрагравитационные морские волны, сейши [8] и внутренние морские волны [9].

Целью настоящей работы является демонстрация возможности применения этой технологии для анализа живого видео морских акваторий, которое выставляется в открытом доступе в сети Интернет. В последние годы таких сервисов видеотрансляции становится всё больше, они охватывают практически всё побережье Мирового океана. Основная мотивация к их размещению в сети Интернет – маркетинговые цели производителей камер и туристических компаний. При этом качество видео часто сопоставимо с качеством видео в современных системах научного видеонаблюдения морских акваторий. Опишем далее кратко саму технологию.

Сначала исследователь запускает на своём компьютере найденную в Интернете видеотрансляцию с интересующей его акватории. Затем загружает программу анализа изображений и видео QAVIS [10, 11], устанавливает непосредственно в окне трансляции нужные измерительные инструменты, производит их настройку и включает режим сохранения регистрируемых сигналов в файлы. Формат хранения данных в файлах очень простой, поэтому по окончании записи полученные сигналы могут быть обработаны любыми офисными программами и математическими пакетами. Мы используем собственную программу OceanSP [12], и все примеры обработки сигналов в этой работе получены с её помощью.

С весны 2018 г. по настоящее время в порядке тестирования возможностей этой технологии нами

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

*E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru



Рис. 1. Схема наблюдений: слева — расположение места видеонаблюдения (нижняя отметка) и ГЛОСС-станции CR08 (верхняя) на карте программы Google Earth; справа — процесс видеорегистрации вертикальных движений кормы катера.

были выполнены исследования в нескольких местах: на западном побережье США, в Бразилии, Чили, Турции, Греции, Италии, Испании. Использовались трансляции “живого видео”, представленные на сайте одного из производителей IP-камер [13]. На основе анализа полученных записей сигналов волнения сделаны оценки параметров приливных и сейшевых колебаний уровня моря, зыби и ветрового волнения, которые в целом представляются непротиворечивыми.

Приведём пример одного исследования, выполненного на основе анализа видеотрансляции с яхтенной стоянки в порту Кротоне (Италия). Его особенностью является то, что в сети Интернет удалось найти синхронные данные с расположенной всего лишь в 400 м от камеры гидрологической станции CR08, входящей в Глобальную систему наблюдения за уровнем моря (ГЛОСС) [14]. Это позволило сравнить данные обоих методов наблюдения и тем самым оценить качество измерений колебаний уровня моря, обеспечиваемое технологией видеорегистрации.

На рис. 1 слева на карте программы Google Earth показано расположение камеры наблюдения (внизу) и станции CR08 (вверху). Справа на рисунке показан наблюдаемый камерой маркерный объект — корма катера, стоящего вблизи берега. Несколько канатных растяжек ограничивают его движения по поверхности воды, не сильно ограничивая при этом вер-

тикальные движения под действием волнения и колебаний уровня моря.

Пользователь QAVIS выставил инструмент “Корреляция” (окопирован прямоугольной рамкой) на фрагмент видеопотока с кормой катера, зафиксировал первоначальную сцену и включил процесс регистрации. Программа с заданной частотой, по умолчанию 5 Гц, считывает из видеопотока изображение в рамке, рассчитывает взаимную корреляционную функцию с начальным кадром (отображается в отдельном информационном окне) и сохраняет в выходной файл координаты корреляционного максимума. Вертикальная координата фиксирует измеренное в пикселях вертикальное смещение кормы катера относительно её первоначального положения. Последовательность таких смещений фактически представляет собой сигнал изменения уровня воды $h(t)$ в месте нахождения катера — сигнал волнения. Для пересчёта значений $h(t)$ из пикселей в сантиметры нужен масштабный коэффициент k — линейный размер одного пикселя в сантиметрах. Последний может быть оценен путём сопоставления реальных и измеренных в пикселях размеров каких-нибудь объектов в плоскости наблюдения. В нашем случае с учётом предполагаемых габаритов катера была получена оценка $k = 1,1$ см/пиксел. Впоследствии с учётом ГЛОСС-данных она была уточнена: $k = 1,16$ см/пиксел.

На рис. 2 вверху показаны синхронные трёхсуммарные осциллограммы сигнала колебаний уровня моря, измеренного в период с 17 по 20 февраля

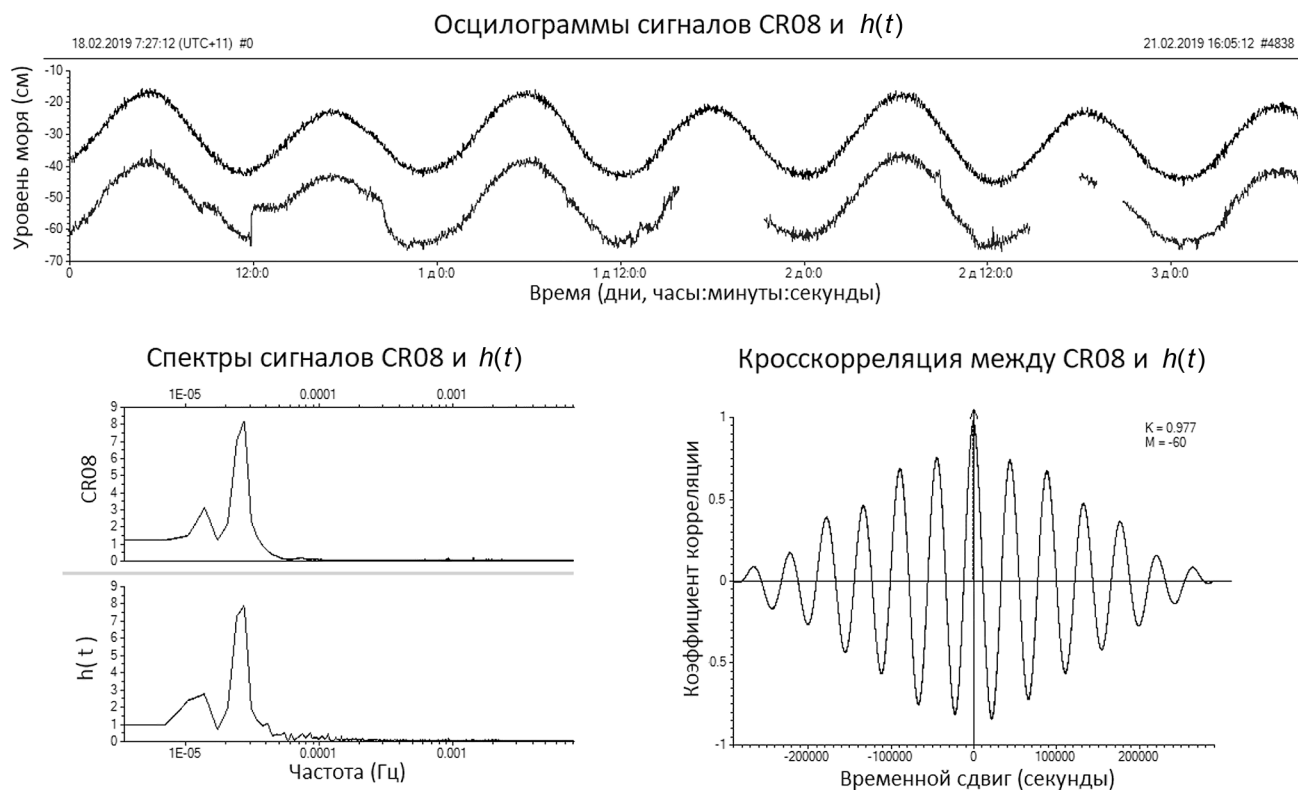


Рис. 2. Синхронные наблюдения приливных компонент: сверху — трёхсуточные записи колебаний уровня моря на ГЛОСС-станции CR08 (выше) и яхтенной стоянке (ниже); внизу слева — спектры сигналов; справа — взаимная корреляционная функция.

2019 г. на станции CR08 (выше) и на яхтенной стоянке с помощью IP-камеры (ниже). Сигнал $h(t)$ подвергнут процедуре децимации частоты дискретизации от 5 до 0,01666667 Гц (1 отсчёт в минуту), принятой в ГЛОСС. Графики немного разнесены по вертикали для лучшей визуальной различимости. Пропуски в сигнале $h(t)$ с камеры обусловлены техническими перерывами в её работе. Сигналы в целом похожи, средняя высота приливов примерно 20–25 см. Отклонения в ряде мест сигнала $h(t)$ от “приливной траектории”, возможно, обусловлены изменением осадки катера вследствие посещения его командой, заноса либо выноса тяжёлых грузов. На рис. 2 внизу слева приведены спектры сигналов CR08 и $h(t)$. На обоих видны пики суточных и полусуточных приливных колебаний, причём соотношения амплитуд пиков примерно одинаковы.

На рис. 2 внизу справа показана взаимная корреляционная функция. В ней очевиден значительный пик $K=0,977$ при временном сдвиге в 1 мин. Если отфильтровать только приливные компоненты сигналов, то максимум корреляции будет ещё выше, $K=0,991$, а сдвиг станет нулевым, как это и должно быть для столь близких точек наблюдения. В целом полагаем, что методика видеорегистрации доста-

точно эффективна для исследования приливных колебаний в порту Кротоне.

На рис. 3 демонстрируются возможности обсуждаемой технологии для регистрации сейшевых колебаний. Особенностью порта Кротоне является “богатая” сейшевая структура, обусловленная его географическим расположением. При анализе непрерывной годичной записи сигнала колебаний уровня моря на станции CR08 нами было зафиксировано около 20 устойчивых сейшевых компонент с периодами от 3 мин до 2 ч.

На рис. 3 сверху приведены осциллограммы непрерывных четырнадцатичасовых фрагментов сигналов CR08 и $h(t)$. На рис. 3 внизу слева показаны спектры сигналов в диапазоне периодичностей от 2 до 40 мин. В спектре сигнала CR08 (верхний график) зрительно хорошо заметны 10 спектральных пиков, идентифицирующих сейши с периодами от 6 до 28 мин. В спектре сигнала $h(t)$ (нижний график), полученного с помощью IP-камеры, также видны эти же 10 компонент, причём у них не только совпадают основные частоты и амплитуды, но даже формы некоторых пиков визуально похожи. На рис. 3 внизу справа приведены одночасовые осциллограммы вы-

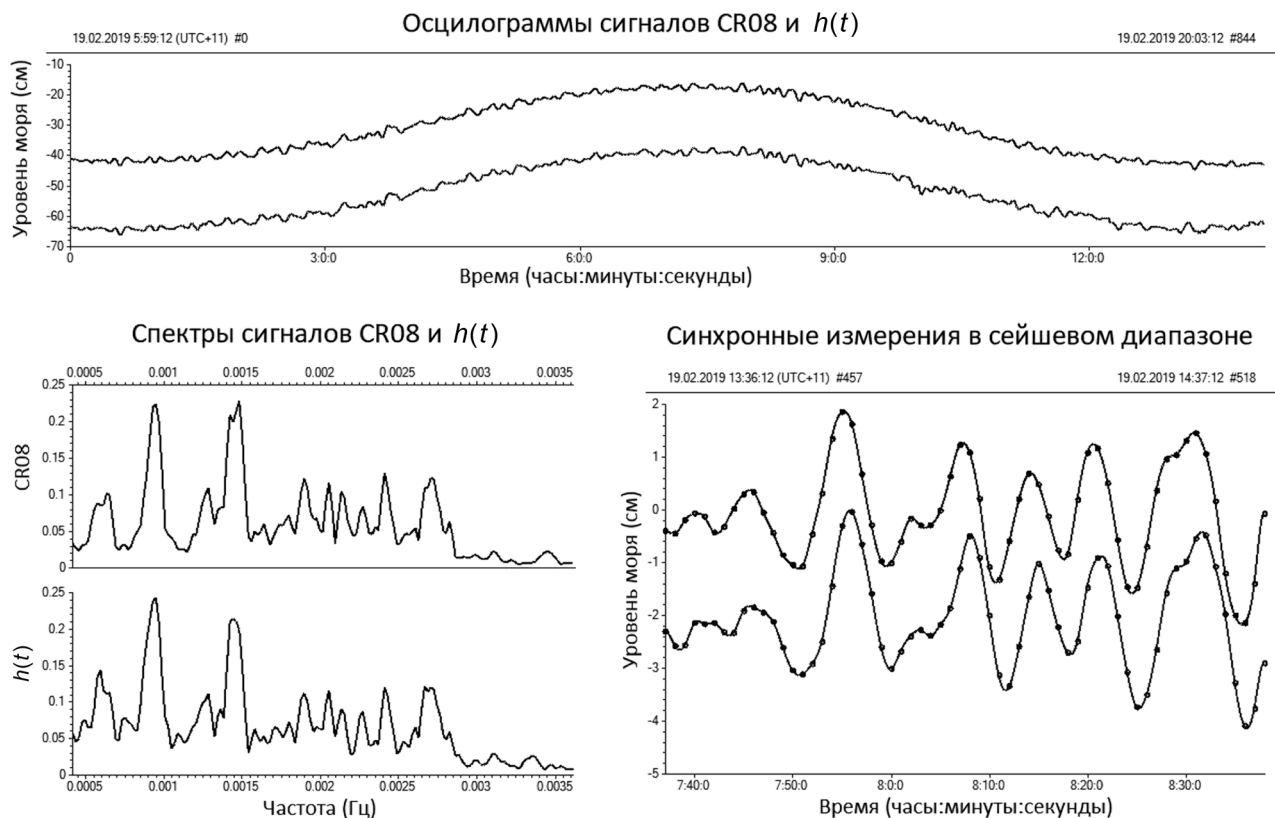


Рис. 3. Синхронные наблюдения сейшей сверху — четырнадцатичасовые фрагменты сигналов на станции CR08 (выше) и яхтенной стоянке (ниже); внизу слева — спектры сигналов (диапазон частот сейшевых колебаний); справа — одночасовые фрагменты сейшевых компонент.

деленных методами частотной фильтрации компонент сигналов CR08 и $h(t)$, включающих эти 10 частотных пиков. Хорошо видно, что синхронно регистрируемые двумя очень разными методами в двух несколько разнесённых местах акватории сигналы сейшевых колебаний очень похожи.

Отметим, что в отличие от ГЛОСС-станций технология видеорегистрации дополнительно позволяет исследовать колебания уровня водной поверхности в диапазоне периодичностей от долей секунды до 2 мин, включающем короткопериодные сейши, зыбь, ветровое волнение, корабельные волны. На рис. 4 слева показан Фурье-спектр часового фрагмента зарегистрированного сигнала, отображён диапазон периодичностей от 2 мин до 1 с. В нём очевидны три основных пика. Первый соответствует периодичности около 50 с, это, скорее всего, отклик сейш самой яхтенной стоянки. Второй пик (период 12 с), скорее всего, является откликом волн зыби. Третий пик (период 2,3 с) характерен для ветровых волн.

Представленная на рис. 4 справа спектрограмма двенадцатичасового фрагмента зарегистрированного сигнала демонстрирует существенную временную динамику спектрального состава волнения в диапа-

зоне поверхностных волн и короткопериодных сейш. Следует отметить, что волновая интерпретация результатов анализа должна проводиться осторожно, поскольку на регистрируемый сигнал могут оказывать влияние причальная стенка и собственные колебания катера. К сожалению, найти в интернете данные прямых синхронных измерений волнения в этом диапазоне периодичностей не удалось, такие измерения не проводятся на регулярной основе. В двух случаях для оценки качества технологии видеорегистрации сигналов волнения зыби мы использовали данные береговых сейсмических станций [15], расположенных сравнительно недалеко, в 50–60 км от камер. Была подтверждена визуальная похожесть спектров и спектрограмм зарегистрированных по видео сигналов волнения со спектрами и спектрограммами первичных микросейсм, синхронно зарегистрированных сейсмостанциями.

В целом считаем, что рассмотренная в работе технология исследования морских процессов может быть востребована океанологами. Знания о колебаниях уровня моря и поверхностном волнении в прибрежных зонах Мирового океана важны для многих приложений. При этом инструментальных средств для

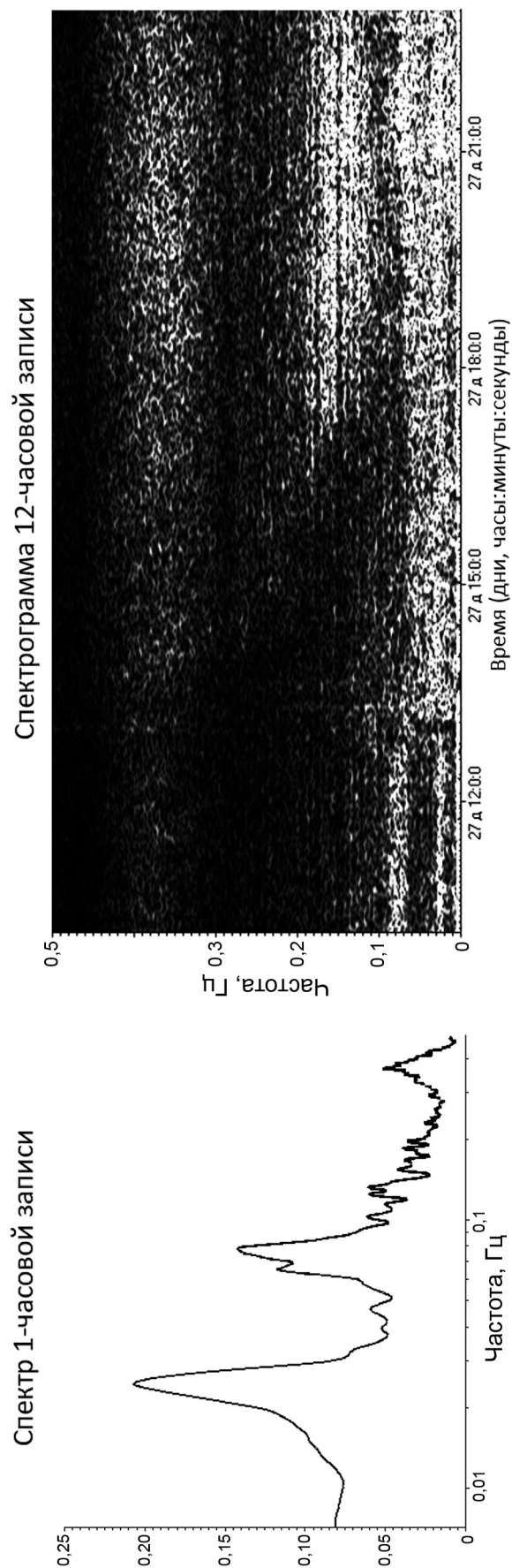


Рис. 4. Регистрация и исследование волновых процессов в диапазоне ветровых волн и короткопериодных сейшей: слева — Фурье-спектр односторонней записи, справа — спектрограмма двенадцатичасовой записи.

проведения прямых измерений явно недостаточно. Перспективные методики спутникового мониторинга океана, как правило, плохо работают именно у береговой черты. Описанная в работе очень простая технология позволяет исследователю прямо на своем рабочем месте в режиме реального времени проводить достаточно качественные измерения сигналов колебаний уровня моря и поверхностного волнения в различных точках побережья Мирового океана.

Источник финансирования. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (18–05–80011, опасные явления) и программы ДВО РАН на 2018–2020 гг. (проект № 18–1–004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Holman R.A., Stanley J. // Coastal Engineering. 2007. V. 54. № (6–7). P. 477–491.
2. Holman R.A., Sallenger A.H., Lippmann T.C., Haines J.W. // Oceanography. 1993. V. 6. № 3. P. 78–85.
3. Holland K.T., Holman R.A., Lippmann T.C., Stanley J., Plant N. // IEEE J. Oceanic Engineering. 1997. V. 22. № 1. P. 81–92.
4. Suanda S.H., Barth J.A., Holman R.A., Stanley J. // J. Atmosph. and Ocean. Technol. 2014. V. 31. P. 714–728.
5. Фищенко В.К., Долгих Г.И., Зимин П.С., Суботэ А.Е. // ДАН. 2018. Т. 482, № 3. С. 338–341.
6. Фищенко В.К., Голик А.В., Суботэ А.Е., Зацерковный А.В., Дубина В.А. // Геоинформатика. 2011. № 4. С. 30–41.
7. Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. СПб: Гидрометеоздат, 1993. 325 с.
8. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Смирнов С.В., Чупин В.А., Швеиц В.А., Яковенко С.В. // ДАН. 2011. Т. 441. №1. С. 98–102.
9. Давыдов А.В., Долгих Г.И., Ильичев В.И. // ДАН. 1994. Т. 336. №4. С. 538–541.
10. Фищенко В.К., Гончарова А.А. Программа для ЭВМ “Программа экспресс-анализа изображений и видео (QAVIS)” // Свидетельство о регистрации № 2017611593. РФ. Бюл. 2017. № 2.
11. QAVIS: a Quick Analyzer of Video and Images for Scientists) [электронный ресурс], URL: <http://oias.poi.dvo.ru/qavis/> (дата обращения: 02.05.2019).
12. Фищенко В.К., Гончарова А.А. Программа для ЭВМ “Программа анализа океанологических сигналов (OceanSP)” // Свидетельство о регистрации № 2018611821. РФ. Бюл. 2018. № 2.
13. Beach Live Cams and Top Sea Destinations. URL: www.skylinewebcams.com/en/live-cams-category/beach-cams.html (дата обращения 06.05.2019)
14. The Global Sea Level Observing System (GLOSS). URL: www.gloss-sealevel.org (дата обращения 06.05.2019)
15. Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). MetaData Aggregator. URL: <http://ds.iris.edu/mda/> (дата обращения 06.05.2019)

ABOUT THE POSSIBILITY OF REGISTRATION OF WAVES AND SEA LEVEL FLUCTUATIONS IN COASTAL AREAS OF THE WORLD OCEAN BASED ON ANALYSIS OF VIDEO ON THE INTERNET

Academician of the RAS G. I. Dolgikh, V. K. Fishchenko, A. A. Goncharova

*Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch,
Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

Received June 4, 2019

The paper describes a technology of recording surface wave signals and sea level fluctuations in coastal areas of the World Ocean based on real-time analysis of live video from surveillance cameras presented on the Internet. A wave signal obtained with described method in the port of Crotona (Italy) is compared with data from nearby station of the Global Sea Level Observing System (GLOSS). The example demonstrates the high recording quality of the seiche oscillation system of the port with periods from 40 to 2 minutes, which is comparable to GLOSS. At the same time, unlike the GLOSS stations, signals obtained through video contain responses of even shorter-period (up to tens of seconds) seiches, swell waves, wind and ship waves.

Keywords: tides, seiches, wind waves, Internet, IP camera, video broadcast, video processing, signal processing.