

УДК 535.016

А.Н. Павлов, О.Г. Константинов, К.А. Шмирко

Видеокомплекс аппаратуры для экологического мониторинга окружающей среды и океанологических исследований

Представлен аппаратный комплекс на основе нескольких видеосистем. Комплекс предназначен для мониторинга поверхностных загрязнений морской поверхности, исследования динамики вихревых образований, поверхностных проявлений внутренних волн, проведения подспутниковых экспериментов, контроля интенсивности судоходства. Анализ временной последовательности трансформированных на плоскость панорамных изображений, полученных с помощью видеосистемы, позволяет оценивать поле скоростей вихревых образований, фазовую скорость поверхностных проявлений внутренних волн и скорость ветра над поверхностью, источники, интенсивность и динамику поверхностных загрязнений. Приведены примеры регистрации океанических микровихрей, внутренних волн и органических пленок естественного и антропогенного происхождения.

Ключевые слова: поляризационная видеосъемка, внутренние волны, вихревые образования, слики на морской поверхности.

В настоящее время трудно указать ту область деятельности человека, где бы не использовались системы видеонаблюдения и видеоконтроля. Невысокая стоимость, простота эксплуатации видеосистем и высокая информационная емкость видеосигнала – это те основные факторы, которые обеспечивают их широкое использование в охранных системах зданий и территорий, устройствах контроля транспортных средств на дорожных магистралях. Тем не менее приходится удивляться тому, что до последнего времени системы видеоконтроля не находили должного применения в многоуровневых системах экологического мониторинга окружающей среды. Лишь в последнее время в средствах массовой информации прошло сообщение об организации в Хабаровском крае системы видеонаблюдения за пожароопасной обстановкой лесных массивов.

В Тихоокеанском океанологическом институте ДВО РАН разработан и работает на протяжении ряда лет специализированный видеокомплекс, предназначенный для мониторинга прибрежной зоны в оптическом диапазоне, картирования органических пленок на морской поверхности и контроля судоходства в поле зрения видеосистемы [1].

В состав комплекса входят поляризационная сканирующая видеосистема для регистрации объектов на морской поверхности и две оптические системы определения характеристик морского волнения (уклоны и высоты). Поляризационная сканирующая видеосистема состоит из бескорпусной видеокамеры в термостабильном корпусе, закрепленной на валу шагового двигателя, обеспечивающего дискретное сканирование морской поверхности в секторе 270° с шагом по азимуту $7,2^\circ$. Азимутальная погрешность положения камеры не превышает $0,02^\circ$. Полное время формирования панорамного изображения составляет 17 с. Для повышения контраста объектов на морской поверхности перед объективом видеокамеры размещен поляризатор-анализатор, выделяющий P -компоненту излучения, рассеянного и отраженного морской поверхностью. Перепады яркости на стыках фрагментов, неизбежные при использовании камеры с автоматической подстройкой яркости и делающие невозможным анализ панорамного изображения по всему полю, устраняются программно с учетом информации о передаточной характеристике камеры и результатов сравнения яркостей области перекрытия кадров (около 10%). Математическое обеспечение комплекса автоматически переносит панорамное изображение на карту местности для оценки динамических характеристик объектов и их координат в каждый момент времени. Дискретное позиционирование видеокамеры, когда для каждого кадра панорамного изображения известно точное время съемки и положение видеокамеры в пространстве, а именно: высота расположения, зенитный и азимутальный углы оптической оси камеры в географической системе координат с известным фокусным расстоянием объектива, позволяет трансформировать панорамные изображения на карту с высокой точностью. Перепады яркости на стыках фрагментов, неизбежные при использовании камеры с автоматической подстройкой яркости и делающие невозможным анализ панорамного изображения по всему полю, устраняются программно с учетом информации о передаточной характеристике камеры и результатов сравнения яркостей области перекрытия кадров (около 10%).

Начиная с 2007 г. панорамная система видеоконтроля морской поверхности работает в режиме мониторинга на морской экспериментальной станции Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН на мысе Шульца полуострова Гамова на берегу залива Петра Великого (МЭС «м. Шульца»). За это время была отработана и апробирована технология видеомониторинга морской акватории прибрежной зоны [2–4].

На рис. 1, *а* представлен фрагмент панорамы бухты Витязь с отчетливыми изображениями двух океанических микровихрей – циклонического и антициклонического. А на рис. 1, *б* представлено изображение тех же микровихрей в географической системе координат с нанесенными векторами скоростей поверхностного течения в их телах. Расчет векторов скорости течений и приповерхностного ветра выполнен по временной последовательности изображений с использованием алгоритмов максимальной кросскорреляции (maximum cross-correlation method – MCC) [5].

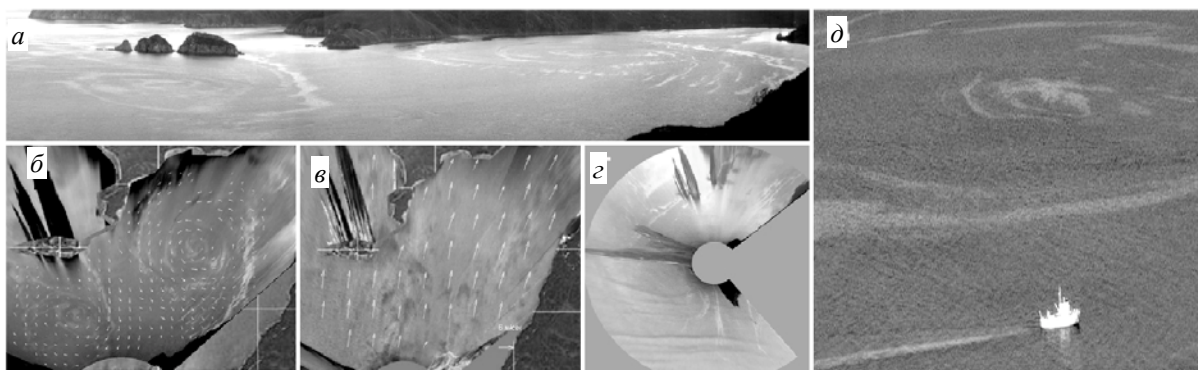


Рис. 1. Фрагмент панорамного снимка бухты Витязь – *а*; *б–г* – изображения, трансформированные на горизонтальную поверхность: *б* – микромасштабные вихри; *в* – скорость и направление приповерхностного ветра; *г* – поверхностные проявления внутренних волн; *д* – положение судна относительно микромасштабного вихря

На динамику пространственных характеристик оптических неоднородностей на морской поверхности влияет и приповерхностный ветер, скорость и направление которого могут быть оценены по перемещению так называемых «кошачьих лапок» – областей морской поверхности, турбулентно возмущенных ветровыми потоками. Расчет поля вектора скорости ветра по перемещению «кошачьих лапок» приведен на рис. 1, *в*.

Не менее интересные результаты по изучению динамики внутренних волн, процессов их взаимодействия с рельефом дна и вихревыми структурами могут быть получены по временной последовательности видеоизображений морской поверхности. В качестве примера на рис. 1, *г* приведено изображение цуга внутренних волн, изменяющего свою форму в прибрежной зоне.

При использовании современных средств коммуникаций данный видеокomплекс позволяет определять и корректировать положение судов, проводящих гидрофизические исследования в прибрежной зоне (рис. 1, *д*).

Возможность наблюдения динамических процессов, в том числе и вихревой структуры на морской поверхности, обусловлена физическими эффектами гашения мелкомасштабного волнения органическими пленками, повсеместно распространенными в прибрежных акваториях и называемых в литературе пленками поверхностно-активных веществ (ПАВ). Пленки ПАВ, увлекаясь поверхностным течением в теле вихря, проявляются на изображениях морской поверхности в виде сликков (областей с пониженным ветровым волнением), оконтуривающих спиралевидные рукава океанического вихря. Области вне сликков приобретают более темный оттенок на изображениях морской поверхности из-за того, что при малых углах наблюдения к поверхности и развитом мелкомасштабном волнении в поле зрения наблюдателя попадает сравнительно большее число площадок морской поверхности, повернутых в сторону наблюдателя, уменьшая тем самым средний коэффициент отражения морской поверхности, а значит, и яркость отраженного морем излучения неба. Оценки контраста яркости пикселей изображений внутри и вне сликка с использованием модели уклонов морской поверхности Мунка [6] приведены в таблице.

Возможность использования видеосистемы для экологического контроля загрязнений морской поверхности продемонстрирована на рис. 2, где приведен пример сброса льяльных вод сторожевым пограничным катером (левый верхний угол рисунка).

Второе оптическое устройство для оценки дисперсии уклонов морской поверхности, высоты волнения, низкочастотных колебаний уровня морской поверхности, связанных с сейшмами и приливными явлениями, основано на видеонаблюдении и дальнейшем расчете высоты подъема и наклонов закоренного тонкого пенопластового диска. При известной ориентации камеры по отношению к диску и его нормали расчет этих величин осуществляется по изменению положения центра диска и ориентации эллипса его изображения. Использование дисков разного диаметра позволяет разделить вклады гравитационных и капиллярных волн морского волнения в статистику уклонов морской поверхности.

Третье оптическое устройство на основе поляризационной видеокамеры со специальной насадкой, включающей в себя зеркала и поляроиды-анализаторы, предназначено для исследования пространственно-временных характеристик морского волнения. Изображение морской поверхности при ориентации оси поляроидов 0, 45 и -45° к вертикальной плоскости, проходящей через оптическую ось камеры, представлено на рис. 3, а. Одновременно в поле зрения объектива на морской поверхности находились калибровочные поплавки, по смещениям которых производилась оценка уклонов и высот морского волнения для верификации метода реконструкции рельефа морской поверхности. Эксперименты проводились в пасмурную погоду в предположении отсутствия поляризации излучения неба. Результаты верификации поляризационных измерений приведены на рис. 3, б.

**Зависимость контраста
слик/чистая поверхность от скорости
ветра при наблюдении под углом
10° к морской поверхности**

Скорость ветра, м/с	Контраст, %
3	3,5
5	5,8
7	7,6
9	9,0

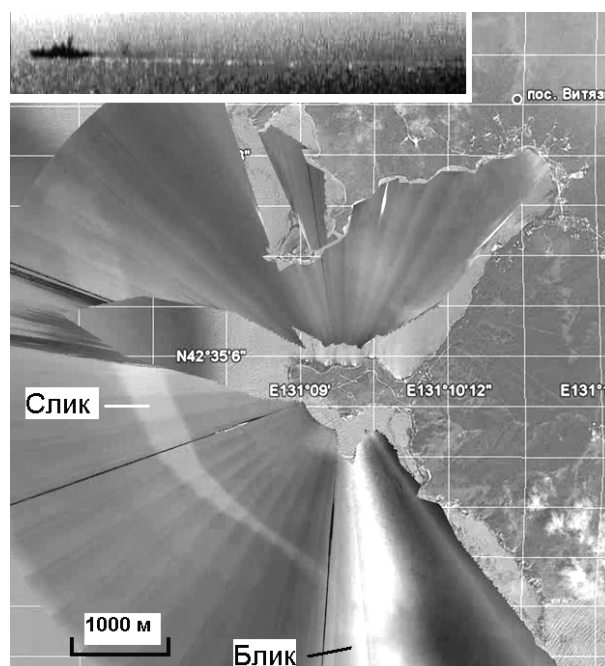


Рис. 2. Слик на морской поверхности от органической пленки льяльных вод

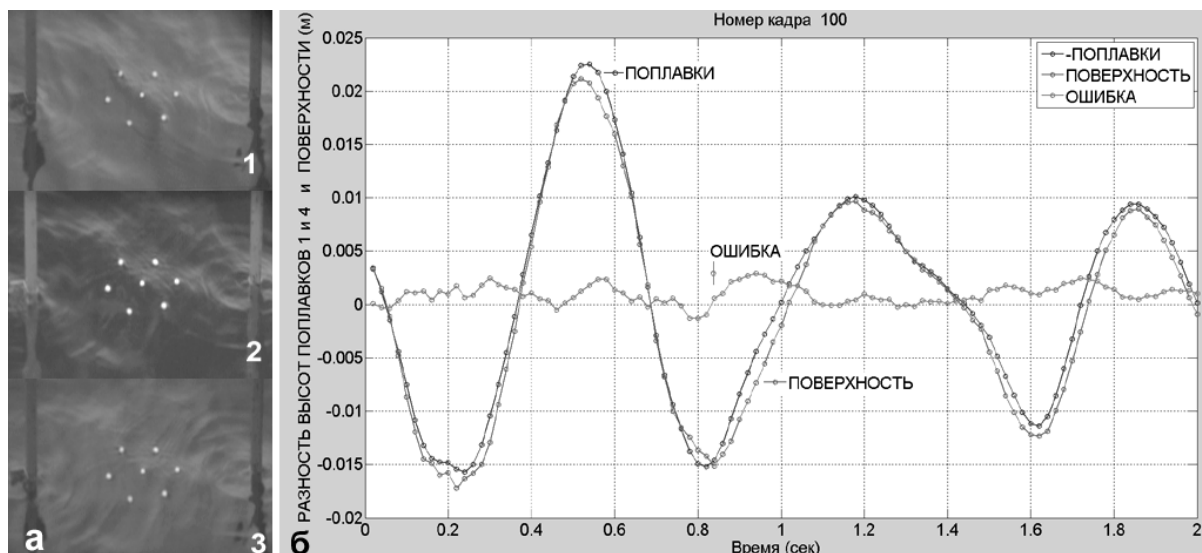


Рис. 3. Изображение морской поверхности с поплавками, расположенными на вертикальных направляющих: а – положение поляроида 0, 45, -45° (сверху вниз); б – сравнение разности высот крайних левого и правого поплавков, полученных фотограмметрическим и поляризационным методами

Заключение. Применение методов цифровой обработки временной последовательности панорамных изображений, полученных с помощью поляризационной видеосистемы и привязанных к

географической системе координат, позволяет изучать гидродинамические процессы в верхнем слое океана по их поверхностным проявлениям, может использоваться как средство наведения научных судов на местоположение вихрей и внутренних волн в прибрежной зоне для их детального изучения гидрологической и акустической аппаратурой, а также может служить в качестве первого уровня системы мониторинга загрязнений морской поверхности органическими пленками. Она позволяет обнаруживать слики, оценивать их динамические характеристики – изменение пространственных координат, площади, скорости и направления перемещения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по постановлению П218, договор № 02.G25.31.0116 между Открытым акционерным обществом «Центр судоремонта «Дальзавод»» и Министерством образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Константинов О.Г. Видеосистема контроля состояния морской поверхности / О.Г. Константинов, А.Н. Павлов // Приборы и техника эксперимента. – 2012. – № 6. – С. 121–123.
2. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. – Ч. 1: Концепция построения многоуровневых оптических систем для экологического мониторинга морских акваторий / Ю.Н. Кульчин, О.А. Букин, О.Г. Константинов и др. // Оптика океана и атмосферы. – 2012. – Т. 25, № 7. – С. 633–637.
3. Константинов О.Г. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. – Ч. 2: Регистрация загрязнений на морской поверхности / О.Г. Константинов, А.Н. Павлов // Оптика океана и атмосферы. – 2012. – Т. 25, № 10. – С. 902–908.
4. Константинов О.Г. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. – Ч. 3: Регистрация динамических процессов по слайкам на морской поверхности / О.Г. Константинов, А.Н. Павлов // Оптика океана и атмосферы. – 2012. – Т. 26, № 1. – С. 32–39.
5. An objective method for computing advective surface velocities from sequential infrared satellite images / W.J. Emery, A.C. Thomas, M.J. Collins, W.R. Crawford, D.L. Mackas // J. Geophysical Res. – 1986. – Vol. 91, Issue C11. – P. 12865–12878.
6. Cox C. Measurement of the Sea surface from photographs of the Sun's glitter / C. Cox, W. Munc // Journal of the optical society of America. – 1954. – Vol. 44, №11. – P. 838–850.

Павлов Андрей Николаевич

Д-р физ.-мат. наук, зав. лаб. Института автоматизации и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН

Тел.: 8 (423-2) 31-09-11

Эл. почта: anpavlov@iacp.dvo.ru

Константинов Олег Григорьевич

Канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН

Тел.: 8 (423-2) 31-21-58

Эл. почта: olegkon@poi.dvo.ru

Шмирко Константин Александрович

Канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник ИАПУ

Тел.: 8 (423-2) 31-09-11

Эл. почта: kshmirko@iacp.dvo.ru

Pavlov A.N., Konstantinov O.G., Shmirko K.A.

Video system for environmental ecological monitoring and oceanological research

The research presents the equipment complex based on multiple video systems. The system is designed for monitoring the dynamic characteristics of sea surface pollution, researching the dynamic of vortex formations, the surface visualization of internal waves. It can be used for ground truth experiments, monitoring ship traffic. The analysis of the temporal sequence of panoramic images obtained by the video system allows to estimate the velocity field of vortex formations, the phase velocity of surface manifestations of internal waves and the near-surface wind speed, the sources, the intensity and dynamics of sea surface pollution. The examples of registration ocean microvortices, internal waves and organic films of anthropogenic origin are given.

Keywords: polarization videography, internal waves, vortex formation, sea surface slicks.