

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 528.8

**Комплексный контроль состояния
морских акваторий оптическими методами.
Часть 3. Регистрация динамических процессов
по снимкам на морской поверхности**

О.Г. Константинов¹, А.Н. Павлов^{2*}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5

Поступила в редакцию 27.03.2012 г.

Продолжается публикация цикла работ, посвященных созданию технических средств и методик для оперативного и комплексного контроля состояния морских акваторий оптическими методами. Показана возможность применения оптической системы берегового базирования для картирования и определения динамических характеристик океанических вихрей и внутренних волн. Обсуждается возможность применения метода максимума кросскорреляции для восстановления поля скоростей течений в теле вихря и фазовых скоростей внутренних волн по оптическим изображениям морской поверхности.

Ключевые слова: океанический микромасштабный вихрь, внутренние гравитационные волны, слики; small-scale oceanic vortices, internal gravity waves, slicks.

Введение

Область морской поверхности с пониженным мелкомасштабным ветровым волнением принято называть сликом на морской поверхности (МП). Образуя сликовые области способствует наличие на морской поверхности органических пленок, повсеместно распространенных в прибрежных и шельфовых зонах водоемов. Органические вещества, поступающие в море с речными стоками и вследствие жизнедеятельности морской биоты, образуют на морской поверхности пленки поверхностно активных веществ (ПАВ), которые, изменяя поверхностное натяжение морской воды, влияют на модуляцию и затухание мелкомасштабных капиллярных гравитационных волн [1, 2], подавляя тем самым мелкомасштабную компоненту ветрового волнения и образуя слики. Обладая высокой подвижностью, пленки ПАВ свободно перемещаются поверхностным течением, вовлекаясь в вихреобразное движение океанических вихрей, скапливаясь во фронтальных и в конвергентных зонах течений [3, 4].

Взаимосвязь сликов с динамическими процессами в приграничном слое океана и атмосферы позволяет использовать средства пассивного и активного

дистанционного зондирования для их наблюдения и исследования. Возможность регистрации сликов от органической пленки оптическими методами в условиях естественного освещения морской поверхности была продемонстрирована в первой и второй частях данной серии публикаций [5, 6], посвященной использованию панорамной видеосистемы для регистрации загрязнений морской поверхности и определения скорости приповерхностного ветра.

Применение активных методов зондирования для решения аналогичных задач позволяет не только расширить пространственные границы области исследований, но и избавиться от влияния условий освещенности. Вне зависимости от освещения и метеорологических условий радиолокационные методы спутникового зондирования с использованием радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) позволяют с хорошим пространственным разрешением получать статические изображения сликов и по их сигнатурам оценивать местоположение и размеры нефтяных загрязнений [7–10], зон апвеллинга [9], вихревых структур и течений [9, 11], внутренних океанических и атмосферных волн [12–15].

На радиолокационных снимках РСА яркость изображения морской поверхности возрастает с увеличением ее шероховатости в коротковолновом диапазоне ветровых волн. Поэтому слики на радиолокационных снимках, в отличие от фотоснимков, визуализируются в виде темных сигнатур на общем

* Олег Григорьевич Константинов (olegkon@poi.dvo.ru); Андрей Николаевич Павлов (anpavlov@iacp.dvo.ru).

светлом фоне морской поверхности. Более подробную информацию о принципах работы и характеристиках РСА можно получить в [16]. Всепогодный характер и независимость наблюдений от времени суток (условий освещенности морской поверхности), широта обзора поверхности и высокий контраст РСА изображений — несомненные преимущества активного радиолокационного способа контроля морских поверхностей. Однако редкое покрытие спутником одной и той же территории, а иногда и высокая стоимость РСА-изображений не позволяют в полной мере проследить динамику объекта исследований.

Цель настоящей статьи — продемонстрировать возможность оптических систем контроля состояния морской поверхности в наблюдении и оценке динамических характеристик таких процессов, как внутренние волны и микромасштабные вихри, которые играют значительную роль в циркуляции вод прибрежных акваторий и небольших бухт.

1. Поверхностные проявления микромасштабных вихрей

Наряду с системой течений и циркуляцией Лэнгмюра внутренние волны и микромасштабные вихри входят в систему общей циркуляции вод небольших бухт и прибрежных акваторий. Порождаемые барок-

линной неустойчивостью течений и топографией дна, возникающие при обтекании препятствий или вследствие воздействия на морскую поверхность вихревых потоков воздуха мелкомасштабные морские вихри могут существовать достаточно длительное время — от часов до суток. Подобные вихри в небольших бухтах обычно имеют спиралеобразную форму и размеры от сотен метров до нескольких километров, заполняя иногда всю поверхность бухты. Пленки ПАВ, увлекаемая поверхностным течением и скапливаясь в конвергентных областях вихревых потоков, проявляются на оптических изображениях морской поверхности в виде сликков, очерчивающих спиралевидные струи вихря. На рис. 1, *а* приведено панорамное изображение морской поверхности, на котором видны два вихревых образования.

Панорамная поляризационная видеосистема позволяет получать временную последовательность изображений морской поверхности в секторе до 300° с пространственным разрешением 3 м/пиксель и временным разрешением $\Delta t = 16 \text{ с}$. Этого разрешения вполне хватает для детального анализа пространственно-временной изменчивости тела вихря и оценки его динамических характеристик, в первую очередь — поля скоростей поверхностных потоков.

Как видно из рис. 1, *б*, пленки ПАВ, увлекаемые вихревыми потоками, имеют разрывы и яркие неоднородности, величина смещения которых

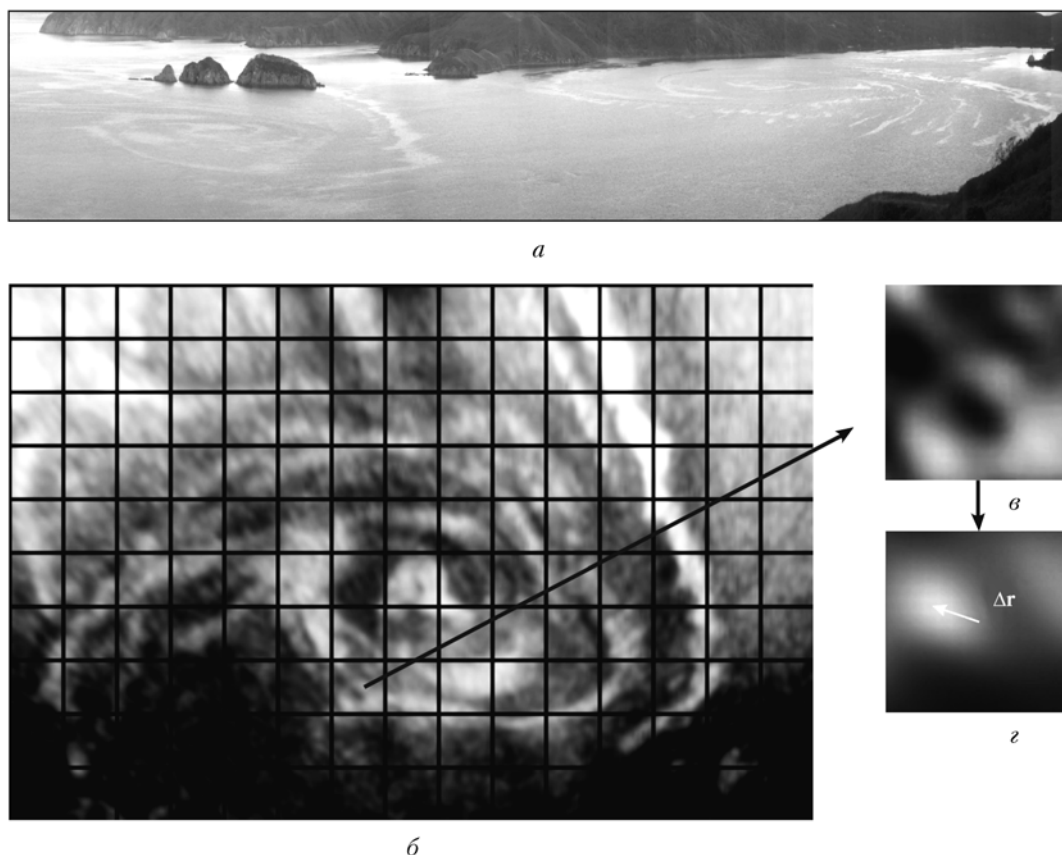


Рис. 1. Изображение микромасштабных вихрей на морской поверхности: *а* — панорамный снимок бухты Витязь; *б* — проекция антициклонического вихря на ровную поверхность моря; *в* — фрагмент морской поверхности; *г* — тоновое изображение кросскорреляционной матрицы для фрагмента *в*

на серии последовательных снимков МП может быть использована в процедуре построения поля скоростей внутри вихря. Один из алгоритмов оценки скоростей течений по перемещению температурных и оптических неоднородностей на последовательных изображениях МП спутниковых радиометров AVHRR и MODIS реализован в методе МСС (Maximum Cross Correlation method) [17, 18], который хорошо зарекомендовал себя при картировании течений и оценке их скоростей [19, 20]. Метод МСС дает достоверные результаты в тех случаях, когда за период времени между двумя последовательными изображениями МП область оптической неоднородности не претерпевает существенного изменения формы, а смещение ее геометрического центра, по крайней мере, превышает пиксельное разрешение изображения МП.

Не вдаваясь в детали самого метода, подробное описание которого можно найти в [19, 20], схематично опишем его основные этапы.

На первом этапе автоматизированной процедуры применения метода МСС осуществляется фрагментация исходного изображения на квадраты, размеры которых несколько превышают характерные размеры оптических неоднородностей. При этом геометрические центры фрагментов находятся в узлах регулярной сетки.

На втором этапе для каждого фрагмента исходного изображения в окрестностях его геометрического центра, но уже на последующем изображении, методами корреляционного анализа двухмерных изображений ищется подобный по текстуре фрагмент МП.

В качестве критерия подобия фрагментов на исходном и последующем изображениях МП используется коэффициент кросскорреляции. На рис. 1, а приведены изображения одного из фрагментов МП с рис. 1, б и яркостное изображение кросскорреляционной матрицы (рис. 1, в), на которой стрелкой отмечен вектор смещения максимума коэффициента корреляции относительно центра исходного фрагмента изображения МП. Величина и направление вектора соответствуют смещению Δr яркостной неоднородности на выбранном фрагменте за межкадровый период Δt за счет адвекции оптических неоднородностей поверхностным течением. Расчет вектора скорости поверхностного течения производится в этом случае по формуле $\mathbf{V} = k\Delta r/\Delta t$ (где k – пиксельное разрешение изображения в м/пиксель).

Применяя эту процедуру ко всем фрагментам поверхности, можно получить поле скоростей поверхностных течений на равномерной сетке всего изображения МП. Пространственное разрешение и временной интервал между изображениями МП определяют нижний порог восстановления поля скоростей V_{\min} , который для нашей оптической системы при использовании соседних пар последовательности изображений составляет 25 см/с. С целью понижения этого порога в процедуре МСС мы использовали не близлежащие пары изображений, а отстоящие друг от друга на пятикратный межкадровый временной интервал, т.е. (1, 6), (2, 7), (3, 8) и т.д. пары изображений МП при временном интервале между изображениями $\Delta t = 80$ с.

Следует заметить, что не в каждом узле сетки присутствуют хорошо выраженные оптические неоднородности МП, поэтому для повышения надежности восстановления вектора скорости из расчета Δr исключались все кросскорреляционные матрицы, максимальные значения которых не превышали 0,85. Предполагая далее, что за интервал времени порядка 5 мин поле скоростей в теле вихря не претерпевает значительных изменений, в процедуру обработки может быть вовлечено порядка 20 пар снимков МП, что позволяет набрать статистику и получить в каждом узле регулярной сетки изображения МП ансамбль векторов. При этом предполагается, что среднестатистический по ансамблю вектор характеризует направление и величину скорости потока. На заключительном этапе процедуры МСС выполняется дополнительная фильтрация. Отбраковываются те ансамбли векторов, разброс углов которых превышает 50° .

На рис. 2, а приведены результаты применения метода МСС для восстановления поля скоростей двух мелкомасштабных вихрей: циклонического (справа вверху) и антициклонического (слева внизу).

Для сопоставления скоростей потоков с их векторными изображениями на диаграмме рис. 2, в приведено распределение скоростей в теле каждого вихря. Используя основную идею метода МСС в отношении определения смещения оптической неоднородности по местоположению максимального элемента в матрице кросскорреляции, можно организовать процедуру определения ее траектории (рис. 2, б). В отличие от классического метода МСС, перемещение неоднородности определяется не в регулярной сетке фрагментов МП, а в динамическом окне, отслеживающем на каждом этапе ее местоположение.

Оптический мониторинг морской поверхности, выполняемый панорамной поляризационной видеосистемой в течение нескольких лет, позволил определить наиболее вероятное местоположение центров зарождения циклонических (рис. 2, в) и антициклонических (рис. 2, г) вихрей, зарегистрированных в бухте Витязь Японского моря в период с 2006 по 2011 г.

2. Поверхностные проявления внутренних волн

Изучение внутренних гравитационных волн (ВГВ) имеет важное научное и прикладное значение. С помощью ВГВ реализуется основной механизм вертикального перемешивания морских вод и горизонтального переноса импульса и энергии [21, 22]. Кроме того, знание особенностей распространения ВГВ и их параметров в данном районе имеет существенное значение для обеспечения безопасности подводного мореплавания.

Научный интерес в области изучения свойств ВГВ связан с выявлением основных механизмов генерации ВГВ [23], исследованием проявления нелинейности во внутренних волнах шельфа [24], изучением влияния ВГВ на распространение звука [25]

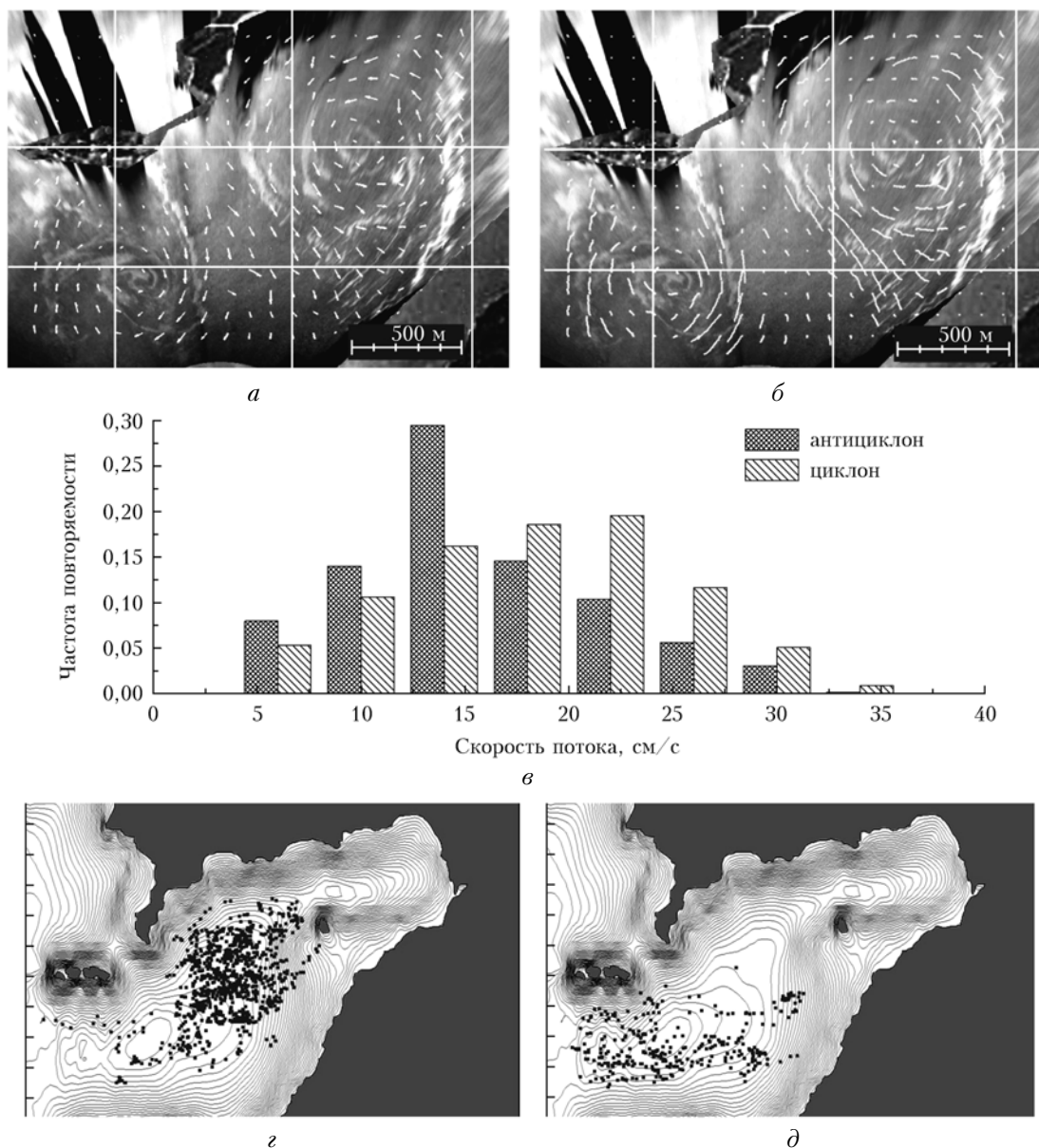


Рис. 2. Результаты применения метода максимальной кросскорреляции к временному ряду оптических изображений морской поверхности: *а* – поле скоростей в теле океанических вихрей; *б* – траектории перемещения оптических неоднородностей; *в* – диаграмма распределения величин скоростей потоков в вихрях; *г*, *д* – местоположение центров циклонических и антициклонических вихрей за период наблюдения с 2006 по 2011 г.

и разработкой новых методов дистанционного измерения характеристик ВГВ [26]. Вблизи береговой черты источником внутренних волн могут быть выходящие на шельф внутренние сейши, распад апвеллинга и прибрежные мезомасштабные вихри. Регистрируемые в прибрежных районах ВГВ имеют характерные длины волн 60–500 м и периоды колебаний от 4 до 17 мин [27]. Физические механизмы воздействия ВГВ на ветровое волнение различны в разных диапазонах длин волн ветрового волнения [9]. Пленочный механизм формирования сликов получил прямое экспериментальное подтверждение в высокочастотной области спектра ветрового волнения (капиллярные волн) [28]. Для метровых и дециметровых длин волн характерно непосредственное влияние пе-

ременных течений в поле ВГВ на спектральные характеристики поверхностного ветрового волнения [29]. Кроме того, последние исследования воздействия ВГВ на спектральные характеристики ветрового волнения говорят о существовании каскадного механизма опосредованного воздействия ВГВ на мелкомасштабную рябь через дециметровую компоненту ветрового волнения [30].

На радиолокационных и оптических снимках морской поверхности ВГВ обычно проявляются в виде чередующихся квазипараллельных систем светлых и темных полос, объединенных в пути (рис. 3).

Наиболее часто внутренние волны возбуждаются приливом около границы материкового склона в зоне резкого перепада глубин и на ранней стадии, как

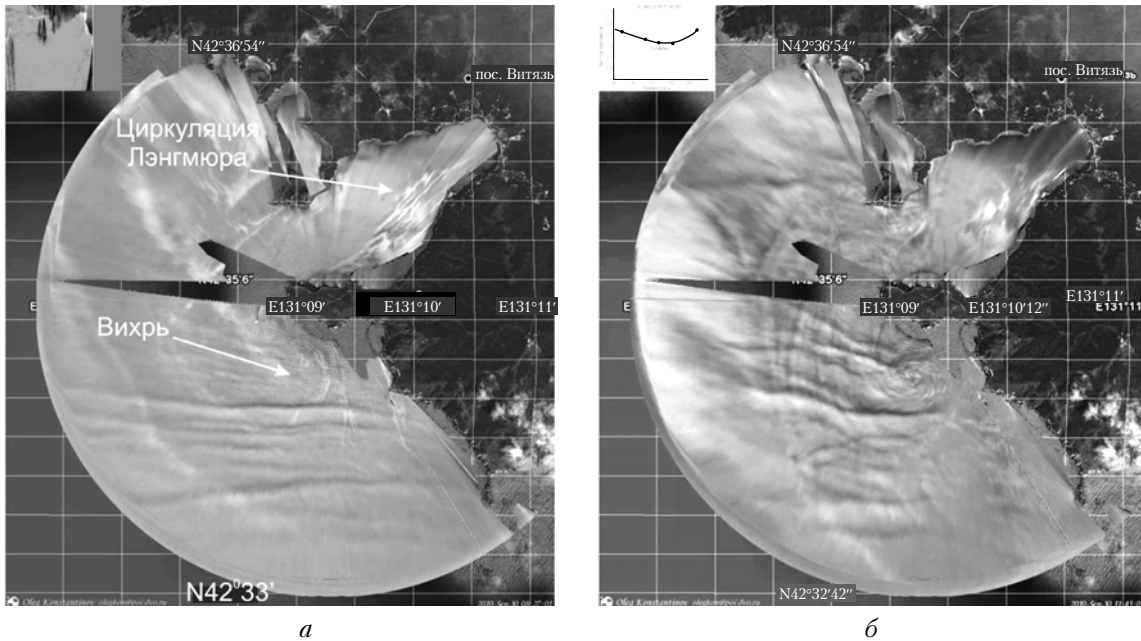


Рис. 3. Изображение морской поверхности в эпизоде взаимодействия ВГВ с микромасштабным вихрем 30.09.2010: *а* – начальная фаза (08:49 по местному времени); *б* – активная фаза (11:45)

правило, имеют вид уединенной волны – солитона. В вертикальной плоскости такие волны выглядят как одиночные локальные провалы пикноклина (волны понижения). При уменьшении глубины уединенная волна начинает распадаться на серию более мелких солитонов, формируя цуг ВГВ, и при этом наблюдается интересное явление, предсказанное теорией распространения нелинейных волн на шельфе. Начиная с некоторых глубин, наблюдается трансформация волны понижения в волну повышения. Происходит как бы смена знака солитона, что на оптических изображениях морской поверхности проявляется в смене темной полосы, определявшей ранее фронт солитона, на светлую [32, 33]. При выходе на мелкую воду цуг ВГВ разрушается, трансформируясь в придонные течения и вихри [31].

На рис. 3 и 4 показаны изображения морской поверхности в присутствии морских внутренних волн, распространяющихся в прибрежной области п-ва Гамова, а на рис. 5 – проявление атмосферных внутренних волн.

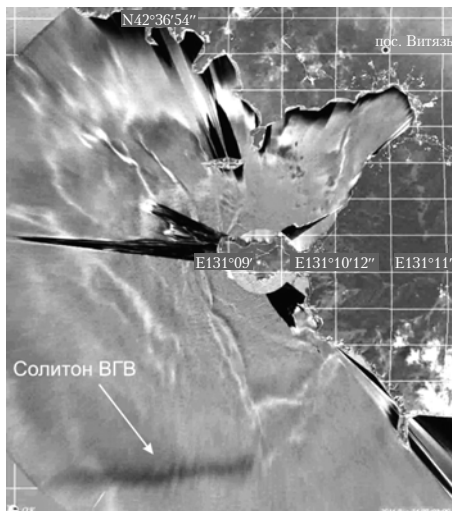
Изображения на рис. 3 получены утром 30.09.2010 при западном ветре ($V = 3$ м/с). На рис. 3, *а* кроме цуга внутренних волн в южном секторе в прибрежной зоне прослеживаются слабые контуры мало подвижного мелкомасштабного вихря, в направлении которого с фазовой скоростью 40 см/с (определено методом МСС) перемещается лидирующая внутренняя волна. Достигнув тела вихря (рис. 3, *б*), внутренние волны начинают активно взаимодействовать с ним, что проявляется не только в рефракции и рассеянии ВГВ, но и в резком увеличении размеров вихря, его вращательной скорости и движении вихря как целого в противоположном распространению ВГВ направлении. Приблизительно через 2 ч после начала взаимодействия с ВГВ мало подвижный ранее

вихрь к 11:45 местного времени приобрел следующие поверхностные проявления: диаметр – 300 м, линейная скорость вращения на внешней границе – 26 см/с, перемещение как целого в юго-юго-восточном направлении со скоростью 28 см/с.

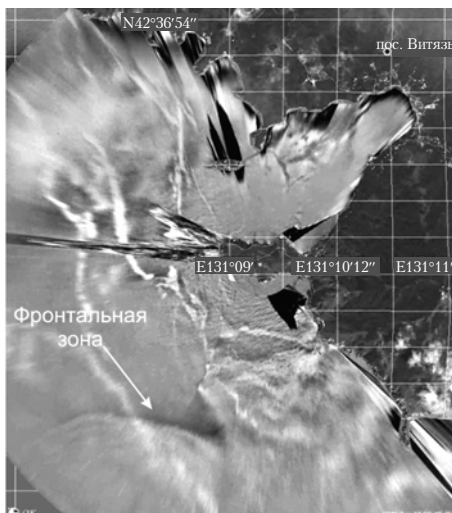
Интересный эпизод трансформации солитона ВГВ в цуг короткопериодных волн наблюдался 24.06.2011 (см. рис. 4). Появление уединенной волны в секторе обзора видеосистемы впервые было зарегистрировано в 06:08 местного времени. Местоположение солитона ВГВ на 07:03 представлено на рис. 4, *а*. До 08:50 (см. рис. 4, *б*) одиночное возмущение в виде узкой полосы слоя с длиной фронта порядка 3,5 км перемещалось под углом к берегу с юга на северо-запад. Испытывая рефракцию, свойственную ВГВ на прибрежном склоне, волновой фронт разворачивался по часовой стрелке в сторону береговой черты и имел разные фронтальные скорости на левом и правом краях: 40 и 24 см/с соответственно.

Далее (см. рис. 4, *б*) началась быстрая трансформация одиночной волны в цуг внутренних волн, изображение которого представлено на рис. 4, *в* (время 10:03). К этому моменту протяженность фронта лидирующей волны составляла 3 км, его скорость – 21 см/с, а длины волн изменялись от 145 м в начале цуга до 110 м в его тылу. Высокое временное разрешение видеосистемы позволило детально проследить все фазы трансформации ВГВ – от эффекта «смены знака солитона» до его постепенного многократного распада на более мелкие солитоны.

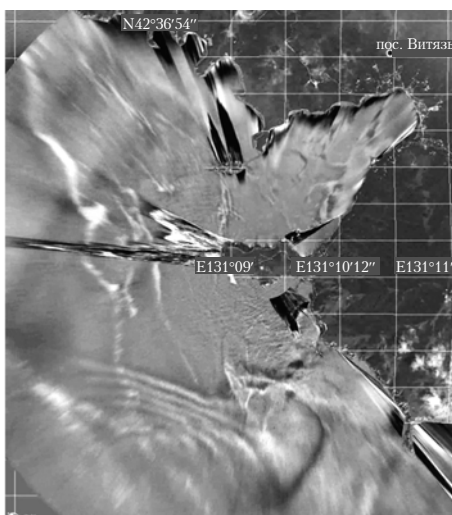
Другой пример – проявление атмосферных гравитационных волн (АГВ) на видеоизображениях морской поверхности, продемонстрирован на рис. 5. АГВ могут образоваться с подветренной стороны орографических препятствий при устойчивой стратификации набегающего потока [34]. Атмосферные



a



б



в

Рис. 4. Фазы трансформации солитона ВГВ в прибрежной зоне п-ва Гамова 24.06.2011: *a* – изображение исходного солитона (07:03 местного времени); *б* – изображение солитона в начальной фазе трансформации (08:50); *в* – активная фаза трансформации солитона в цуг ВГВ (10:03)

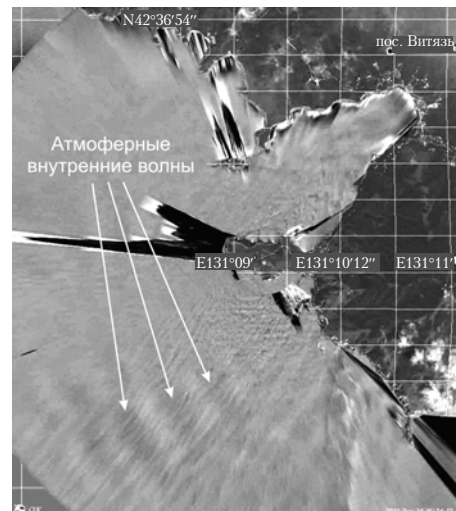


Рис. 5. Изображение атмосферных внутренних волн на морской поверхности 24.06.2011 в 16:34 местного времени

внутренние волны, как и морские ВГВ, на изображениях морской поверхности проявляются в виде чередующихся светлых и темных полос. По расстоянию между полосами и по скорости их перемещения могут быть получены оценки соответственно длины волны атмосферной внутренней волны и ее фазовой скорости. Применение методики МСС для случая регистрации атмосферных волн 24.06.2011 в 16:34 позволило определить их характеристики: при длине волны 800 м ее фазовая скорость соответствовала 4,7 м/с. Интересно отметить, что направление распространения АГВ отличалось от направления скорости приводного ветра, определенного по «кошачьим лапкам», на 15°.

Заключение

Несмотря на то что к настоящему времени накоплен большой экспериментальный материал в области исследования таких динамических процессов в океане, как внутренние волны и вихри, остается еще много вопросов относительно механизмов их возникновения, распространения и эволюции. Применение дистанционных радиофизических методов мониторинга поверхности океана и атмосферы значительно расширило уровень понимания пространственных, временных и динамических характеристик этих процессов. Благодаря спутниковой информации сформировались представления об их масштабности и вкладе в общую циркуляцию вод океана.

Во многом изменились представления о взаимосвязи и взаимной обусловленности динамических процессов в океане и атмосфере и, в частности, о роли нелинейных эффектов в процессе эволюции ВГВ и океанических вихрей. В современной практике средства спутникового зондирования стали основным инструментом изучения динамики вод открытого океана. Однако в шельфовой зоне, где динамика вод не только зависит, но и обусловлена рельефом дна, стратификацией водного столба, приливо-отливными течениями, нагонными явлениями и т.д.,

однозначную интерпретацию данных дистанционного зондирования осуществить невозможно без привлечения полноценных океанологических измерений. В этом смысле применение оптической системы берегового базирования для мониторинга поверхности океана на экспериментальной станции, где регулярно проводится гидрологический и акустический контроль акватории, позволяет эффективно использовать оптические данные для исследования океанических вихрей [35] и внутренних гравитационных волн [36].

Исследования выполнялись с использованием разработанного в ТОИ ДВО РАН видеоинформационного комплекса для контроля и оценки состояния поверхности моря, установленного на морской экспериментальной станции в бухте Витязь, и оборудования, уникальных стендов и установок Центра коллективного пользования «Лазерные методы исследования конденсированных сред, биологических объектов и мониторинга окружающей среды» Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации и грантов РФФИ № 10-05-00770а, 11-05-00025а, 11-05-10024к, 11-05-98505-р_восток_а.

1. *Ермаков С.А., Сергиевская И.А., Гуцин Л.А.* Пленки на морской поверхности и их дистанционное зондирование // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. Т. 2, вып. 3. С. 86–98.
2. *Ермаков С.А.* Влияние пленок на динамику гравитационно-капиллярных волн. Н. Новгород: ИПФ РАН, 2010. 165 с.
3. *Grodsky S., Kudryavtsev V., Ivanov A.* Quasisynchronous observations of the Gulf Stream frontal zone with Almaz-1 SAR and measurements taken on board the R/V Akademik Vernadsky // The Global Atmos. and Ocean Syst. 2000. N 7. P. 249–272.
4. *Ivanov A.Yu., Ginzburg A.I.* Oceanic eddies in synthetic aperture radar images // Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.). 2002. V. 111, N 3. P. 281–295.
5. *Кульчин Ю.Н., Букин О.А., Константинов О.Г., Вознесенский С.С., Павлов А.Н., Гамаюнов Е.Л., Майор А.Ю., Столярчук С.Ю., Коротенко А.А., Попик А.Ю.* Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 1. Концепция построения многоуровневых измерительных систем для экологического мониторинга прибрежных акваторий // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 7. С. 633–637.
6. *Константинов О.Г., Павлов А.Н.* Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 2. Регистрация загрязнений на морской поверхности // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 10. С. 902–908.
7. *Иванов А.Ю.* Нефтяные загрязнения моря на радиолокационных изображениях КА «Космос-1870» и «Алмаз-1» // Исслед. Земли из космоса. 1977. № 6. С. 73–86.
8. *Espedal H.A., Johannessen O.M., Johannessen J.A., Dano E., Lyzenga D., Knulst J.C.* COASTWATCH'95 ERS 1/2 SAR detection of natural film on the ocean surface // J. Geophys. Res. C. 1998. V. 92, N 11. P. 24969–24982.
9. *Иванов А.Ю.* Снимки и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 3. С. 73–96.

10. *Бочарова Т., Vyfield V., Gade M., da Silva J., Ермаков С., Костяной А., Лаврова О., Мамедов Р., Станичный С.* Международный проект MOPED: Мониторинг нефтяных загрязнений морской поверхности: синтез разнородных данных многих сенсоров и спутников // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Т. 2, вып. 5. М.: Азбука-2000, 2008. С. 33–41.
11. *Лаврова О.Ю.* Снимки как индикаторы вихревой активности в прибрежной зоне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Т. 1, вып. 2. С. 118–123.
12. *Ермаков С.А., Салашин С.Г.* Модуляция гравитационно-капиллярных волн в поле внутренней волны // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1984. Т. 20, № 5. С. 394–404.
13. *Ermakov S.A., Pelinovsky E.N.* Variation of the spectrum of wind ripple on coastal waters under the action of internal waves // Dyn. Atmos. Oceans. 1984. V. 8, iss. 1. P. 95–100.
14. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Сабинин К.Д.* Возможные механизмы генерации внутренних волн в северо-восточной части Черного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Т. 2, вып. 5. М.: Азбука-2000, 2008. С. 128–136.
15. *Clemente-Colon P., Yan X.-H.* Low-backscatter ocean features in synthetic aperture radar imagery // Johns Hopkins Appl. Technol. Digest. 2000. V. 21, N 1. P. 116–121.
16. *Неронский Л.Б., Михайлов В.Ф., Брагин И.В.* Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны. СПб.: СПбГУАП, 1999. 177 с.
17. *Emery W.J., Thomas A.C., Collins M.J., Crawford W.R., Mackas D.L.* An objective method for computing advective surface velocities from sequential infrared satellite images // J. Geophys. Res. C. 1986. V. 91, N 11. P. 12865–12878.
18. *Ninnis R.M., Emery W.J., Collins M.J.* Automated extraction of pack ice motion from advanced very high resolution radiometry // J. Geophys. Res. C. 1986. V. 91, N 9. P. 10725–10734.
19. *Bowen M.M., Emery W.J., Wilken J., Tildesley P.C., Barton I.J., Knewton R.* Extracting multi-year surface currents from sequential thermal imagery using the maximum cross correlation technique // J. Atmos. Ocean. Technol. 2002. V. 19, N 10. P. 1665–1676.
20. *Crocker R.I., Matthews D.K., Emery W.J., Baldwin D.* Computing Coastal Ocean Surface Currents From Infrared and Ocean Color Satellite Imagery // Geosci. and Remote Sens. 2007. V. 45, N 2. P. 435–447.
21. *Коняев К.В., Сабинин К.Д.* Волны внутри океана. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 272 с.
22. *Монин А.С., Красицкий В.П.* Явления на поверхности океана. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 375 с.
23. *Сабинин К.Д., Серебряный А.Н.* «Горячие точки» в поле внутренних волн в океане // Акуст. ж. 2007. Т. 53, № 3. С. 410–436.
24. *Серебряный А.Н.* Эффекты нелинейности во внутренних волнах на шельфе // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1990. Т. 26, № 3. С. 285–293.
25. *Flatte S.M., Rozner G.* Calculations of internal-wave-induced fluctuations in ocean-acoustic propagation // J. Acoust. Soc. Amer. 2000. V. 108, N 2. P. 526–534.

26. *Бондур В.Г.* Аэрокосмические методы в современной океанологии // Новые идеи в океанологии. Т. 1. Физика. Химия. Биология. М.: Наука, 2004. С. 55–117.
27. *Серебряный А.Н.* Внутренние волны в прибрежной зоне приливного моря // Океанология. 1985. Т. 25, вып. 5. С. 744–751.
28. *Da Silva J.C., Ermakov S.A., Robinson I.S.* The role of surface films in SAR signatures of internal waves on the shelf. III. Mode transition // J. Geophys. Res. C. 2000. V. 105, N 10. P. 24089–24104.
29. *Баханов В.В., Таланов В.И.* Трансформация нелинейных поверхностных волн в поле неоднородных течений // Приповерхностный слой океана. Физические процессы и дистанционное зондирование / Под ред. Е.Н. Пелиновского, В.Е. Талинова. Н. Новгород: ИПФ РАН, 1999. Т. 1. С. 81–106.
30. *Ермаков С.А., Сергеевская И.А., Зуйкова Э.М., Куяшко С.В.* Об эффекте изменения доплеровских сдвигов частоты радиолокационных сигналов в присутствии пленок на морской поверхности // Докл. РАН. 2003. Т. 388, № 1. С. 109–112.
31. *Коняев К.В., Сабинин К.Д.* Волны внутри океана. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 271 с.
32. *Liu A.K., Chang S.Y., Hsu M.-K., Liang N.K.* Evolution of nonlinear internal waves in East and South China Seas // J. Geophys. Res. C. 1998. V. 103, N 4. P. 7995–8008.
33. *Hsu M.-K., Liu A.K.* Nonlinear internal waves in the South China Sea // Can. J. Remote Sens. 2000. V. 26, N 2. P. 72–81.
34. *Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М.* Мезометеорологические процессы. М.: МГУ, 2006. 101 с.
35. *Дубина В.А., Фищенко В.К., Константинов О.Г., Митник Л.М.* Интеграция спутниковых данных и наземных видеонаблюдений в системах мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 3. С. 214–222.
36. *Новотрясов В., Константинов О.Г.* Поверхностные проявления внутренних волн на оптических изображениях прибрежной зоны Японского моря // Физ. атмосф. и океана (в печати).

O.G. Konstantinov, A.N. Pavlov. **Complex monitoring of sea areas state by optical methods. Part 3. The dynamic processes registration by slices on the sea surface.**

This is the third in a series of papers devoted to the development of technical tools and techniques for rapid and comprehensive analysis of the ecological status of coastal waters by optical methods. The possibility of shore-based optical systems to map and to determine the dynamic characteristics of ocean eddies and internal waves are shown. The efficiency of the maximum cross-correlation method to recover the velocity field of the flow in the vortex body and the phase velocities of internal waves, using optical images of the sea surface is discussed.