

Интеграция спутниковых данных и наземных видеонаблюдений в системах мониторинга

В.А. Дубина, В.К. Фищенко, О.Г. Константинов, Л.М. Митник

Учреждение Российской академии наук
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильинчева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43, dubina@poi.dvo.ru

На примере залива Петра Великого показана эффективность совместного применения спутниковых данных и наземных видеонаблюдений для мониторинга прибрежных районов моря. Видеосъёмка морской поверхности позволяет получать количественную информацию о нефтяном загрязнении, речном стоке, ледяном покрове, внутренних и ветровых волнах, субмезомасштабных вихрях. Интеграция спутниковых измерений и наземного видеонаблюдения морской поверхности повышает надёжность алгоритмов интерпретации спутниковых данных.

Ключевые слова: видеомониторинг, спутниковый мониторинг, прибрежная зона, внутренние волны, спиральные вихри.

Введение

Юго-западная часть зал. Петра Великого (Японское море) на протяжении 25 лет служит научно-исследовательским полигоном ТОИ с центром на морской экспедиционной станции (МЭС) «Мыс Шульца» (рис. 1). В этом районе проводятся непрерывные и периодические гидрологические, акустические, сейсмические, оптические и др. наблюдения. Измеренные данные в оперативном режиме через широкополосные радиоканалы поступают в океанологическую информационно-аналитическую систему (ОИАС) (Фищенко и др., 2008). Натурные наблюдения сопровождаются подготовкой и анализом двумерных геопространственных данных, которые состоят из спутниковых измерений, полученных разными сенсорами с нескольких спутников, и изображений, поступающих с видеокамер, установленных в нескольких местах на берегу залива. Для видеомониторинга применяются серийные дистанционно управляемые по протоколу IP купольные PTZ (Panorama/Tilt/Zoom) – видеокамеры и разработанный в ТОИ многофункциональный оптический поляризационный комплекс, который размещен на МЭС «Мыс Шульца» (<http://www.poi.dvo.ru/rus/inno/seamon.html>). Видеоданные используются в виде пространственно-ориентированных ракурсных «статичных» фотографий и панорамных изображений, в виде изображений, трансформированных на поверхность Земли, а также для расчёта скорости и направления распространения маркеров на видеоизображении. В данной работе приведены примеры, показывающие эффективность совместного использования спутниковых данных и наземных видеонаблюдений для мониторинга процессов, оказывающих существенное влияние на прибрежные экосистемы.

Мониторинг нефтяного загрязнения прибрежной зоны

Во многих прибрежных районах вклад малых утечек и сбросов нефти превышает поступление нефти за счёт средних и крупных аварийных разливов (Патин, 2008). Согласно отчёту за 2009 г. Хельсинской комиссии, занимающейся авиамониторингом не-

фтяного загрязнения Балтийского моря, 94 % всех обнаруженных разливов содержали менее 1 м³ нефти (<http://www.helcom.fi/stc/files/shipping/Oilspills2009.pdf>). Такие небольшие разливы трудно регистрировать из-за небольших размеров образующихся пятен и короткого периода их существования. Небольшие разливы характерны для маломерных судов прибрежного плавания, количество которых катастрофически растёт в рекреационных районах. В США вторым по величине источником нефтяного загрязнения прибрежных вод является поступление нефтепродуктов при работе подвесных моторов с двухтактным двигателем, в которых бензин смешивается с машинным маслом и выхлоп поступает в воду (Патин, 2008). Слик от выхлопа двухтактного двигателя сохраняется на поверхности не более минуты. Непрерывный видеомониторинг (или высокочастотная фотосъёмка) является эффективным средством мониторинга таких разливов в светлое время суток. Исследование нефтяного загрязнения с судов с использованием спутниковых радиолокационных изображений показывает, что зал. Петра Великого является самым неблагополучным районом Японского моря (Дубина, Даркин, 2007). На рис. 2 приведён пример регистрации поляризационным видеокомплексом нефтяного разлива со среднетоннажного судна, вышедшего из порта Зарубино 21 октября 2007 г. Слик наблюдался в течение 3,5 часов. За первые три часа площадь пятна плавно увеличилась с 5,2 до 9,3 км², затем полчаса его размеры оставались неизменны, после чего слик исчез при наступлении штиля.

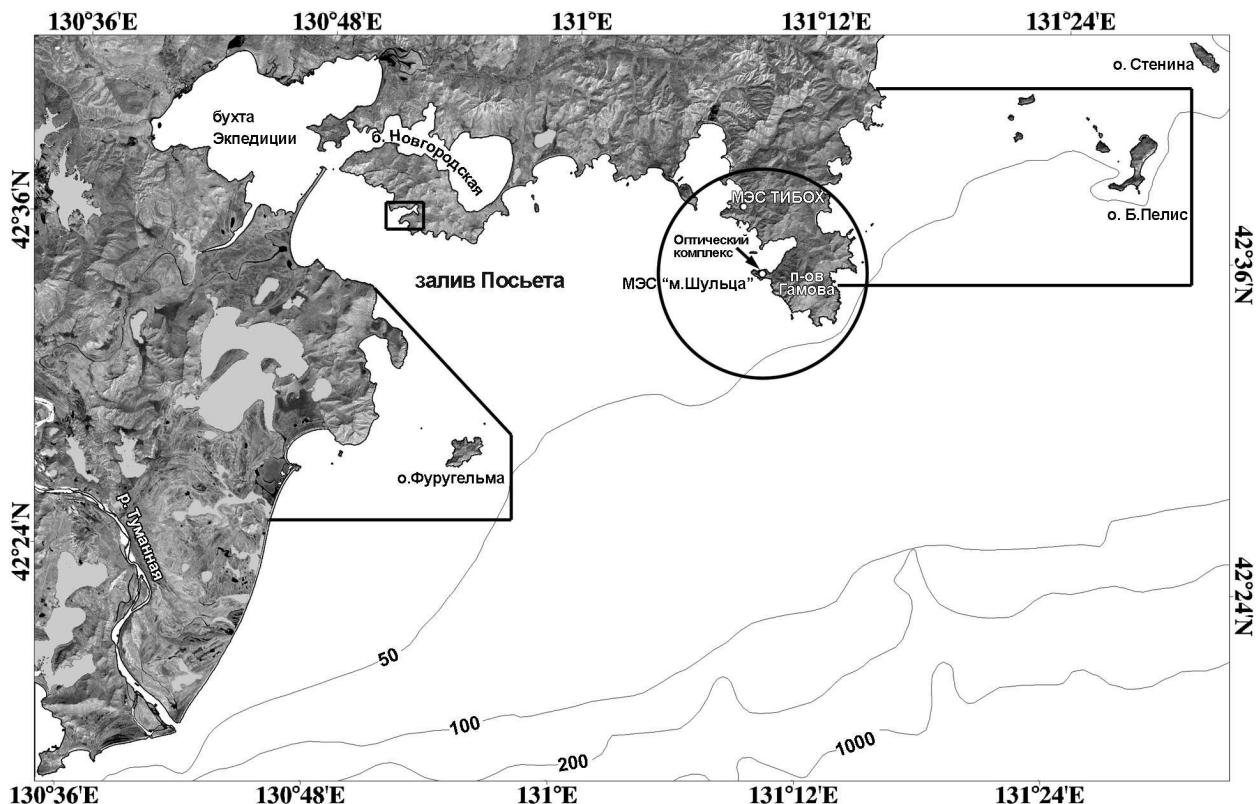


Рис. 1. Юго-западная часть зал. Петра Великого. Прямые линии очерчивают границы морского заповедника. Окружность радиусом 7 км показывает границы эффективной видимости поляризационного оптического комплекса

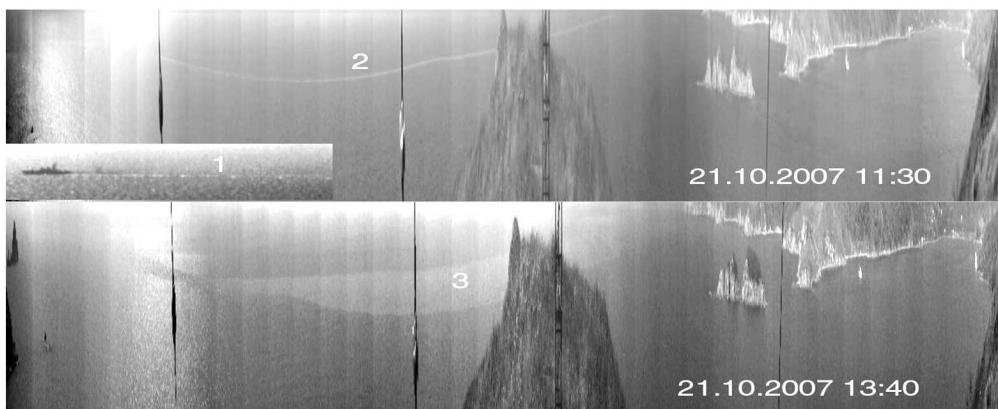


Рис. 2. Регистрация поляризационным видеокомплексом нефтяного разлива со среднетоннажного судна, вышедшего из порта Зарубино 21 октября 2007 г.

*1 – изображение судна, проводившего разлив, 2 – изображение пятна в 11:30,
3 – изображение пятна в 13:40 местного времени. Площадь пятна загрязнения на изображении
за 13:40 более 9 км²*

Регистрация внутренних волн

Заметную роль в обмене энергией в прибрежных районах играют гравитационные внутренние волны (ВВ). Контактные измерения, проводимые в прибрежной зоне залива, регистрируют короткопериодные волны длиной 60-510 м и с периодами 4-17 мин (Серебряный, 1985). На спутниковых изображениях с пространственным разрешением 15-30 м поверхностные проявления ВВ таких горизонтальных масштабов трудно идентифицировать. На РЛ- и видимых изображениях сигнатуры этих волн представляют собой, как правило, слабоконтрастные тёмные линии, почти неотличимые от узких полос сливов ПАВ. Совместный анализ спутниковых изображений и наземной видеосъёмки позволяет уверенно идентифицировать короткопериодные волны и определять их характеристики.

На рис. 3 показан пример регистрации ВВ в зал. Посьета 22 июня 2008 г. На рис. 3а приведено PCA- изображение, принятое со спутника Envisat в 12:59 Гр. Между м. Шульца и о. Фуругельма в виде тёмных дугообразных линий шириной не более 100 м наблюдаются внутренние волны, распространяющиеся в нескольких направлениях, в том числе, по направлению к м. Шульца. Индикации ВВ на изображении мешают плёнки ПАВ и волны зыби. Правильность интерпретации изображения подтверждают видео наблюдения, выполненные дистанционно управляемой PTZ-видеокамерой, установленной на МЭС «Мыс Шульца» (рис. 3б, в). На рис. 3г представлен пример спектрального анализа фрагмента изображения при помощи программы RTimage, специально разработанной для математической обработки видеосигнала. При создании этого программного продукта были использованы оптимизированные по скорости вычисления программные коды, реализующие алгоритмы корреляционно-спектрального анализа статичных изображений. Современные вычислительные мощности позволяют программе в режиме реального времени проводить корреляционно-спектральный анализ видеосигнала, восстанавливая длину поверхностных волн, скорость дрейфа льда и т.п.

Согласно видеонаблюдению скорость перемещения лидирующей волны оценивается в 0,2 м/с, а период волн в пакете составляет примерно 9 минут, что соответствует многочисленным контактным измерениям. Спутниковое изображение зафиксировало, что волны

с указанными характеристиками перемещаются в заливе Посыта практически во всех направлениях. Таким образом, ставится по сомнению гипотеза о том, что ВВ в этом районе генерируются на кромке шельфа и смещаются в сторону берега (Серебряный, 1985).

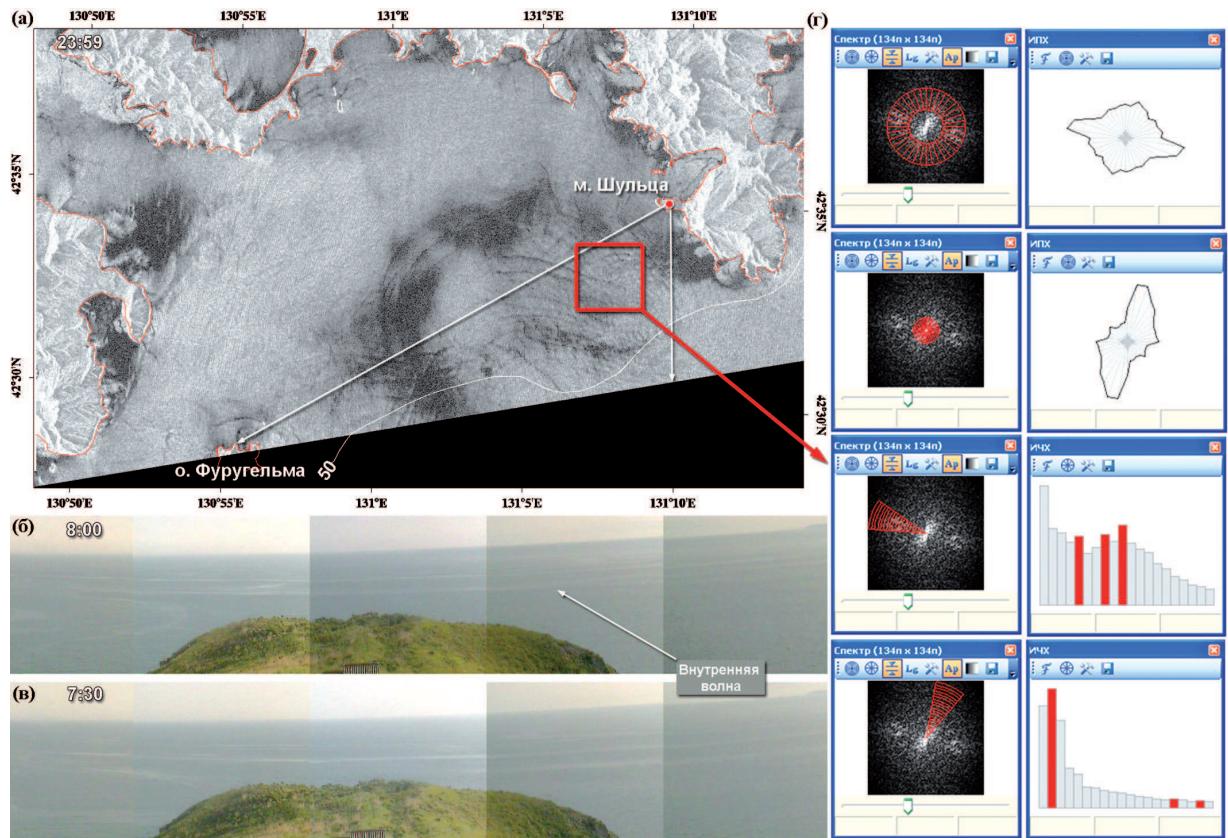


Рис. 3. Внутренние волны в прибрежной зоне зал. Петра Великого 22 июня 2008 г.

(а) – на PCA-изображении, принятом со спутника Envisat в 12:59 Гр.
(тёмные дугообразные линии между м. Шульца и о. Фуругельма).

(б), (в) – на фрагментах панорамных изображений, выполненных при помощи дистанционно управляемой PTZ-видеокамеры в 7:30 (б) и 8:00 Гр. (в) (стрелками показан гребень лидирующей волны).

Границы панорам отмечены на рисунке (а) линиями.

(г) – пример спектрального анализа фрагмента PCA-изображения

Исследование спиральных субмезомасштабных вихрей

В последнее десятилетие резко возрос интерес исследователей к субмезомасштабной (в отечественной литературе используют чаще термин мезомасштабной) динамике. Для океана под субмезомасштабными подразумеваются явления с горизонтальными масштабами от 100 м до 10 км, вертикальными – порядка 10 м и временем жизни порядка одних суток. Процессы таких пространственных и временных масштабов имеют различную природу и зарегистрированы во всей толще океана. Наибольшее внимание уделяется субмезомасштабным динамическим явлениям в верхнем квазиоднородном слое, в первую очередь, вихревым структурам. Значимость субмезомасштабной динамики в общей циркуляции океана определяется тем, что в явлениях такого масштаба вертикальные скорости течений на порядок выше, чем в мезомасштабных (в отечественной литературе – «синоптических»). Поэтому субмезомасштабные процессы рассматриваются как основной инструмент переноса энергии и вещества в верхнем однородном слое океана. Несмотря на значительные

успехи в области аналитического, математического и лабораторного моделирования субмезомасштабной динамики, наблюдается очевидный недостаток натурных наблюдений и экспериментальный сведений. Для адекватной оценки причин зарождения субмезомасштабных явлений и характера обмена энергией и веществом между ними и процессами больших и меньших масштабов требуются высокочастотные площадные измерения с высоким пространственным разрешением. За рубежом для получения площадных данных чаще всего используют спутниковые, самолётные и береговые радиолокаторы. Пространственное разрешение (до 1 м) радиолокационных станций с синтезированной апертурой спутникового и самолётного базирования позволяет оценивать характеристики субмезомасштабных явлений, но временное разрешение недостаточно для того, чтобы получить представление об их временной изменчивости. С помощью береговых РЛС восстанавливают поле скорости поверхностных течений с высоким времененным разрешением, но пространственное разрешение таких полей составляет несколько сот метров, что явно недостаточно для изучения явлений с горизонтальными размерами 10 м – 10 км. Авторы работы, в которой изложены результаты проведенного возле о. Св. Катерины комплексного эксперимента по изучению спиральных вихрей (Marmorino et al., 2010), делают вывод, что для эффективного изучения субмезомасштабных вихрей требуется высокочастотная съёмка и в качестве решения проблемы рассматривают возможную установку на острове Веб камеры.

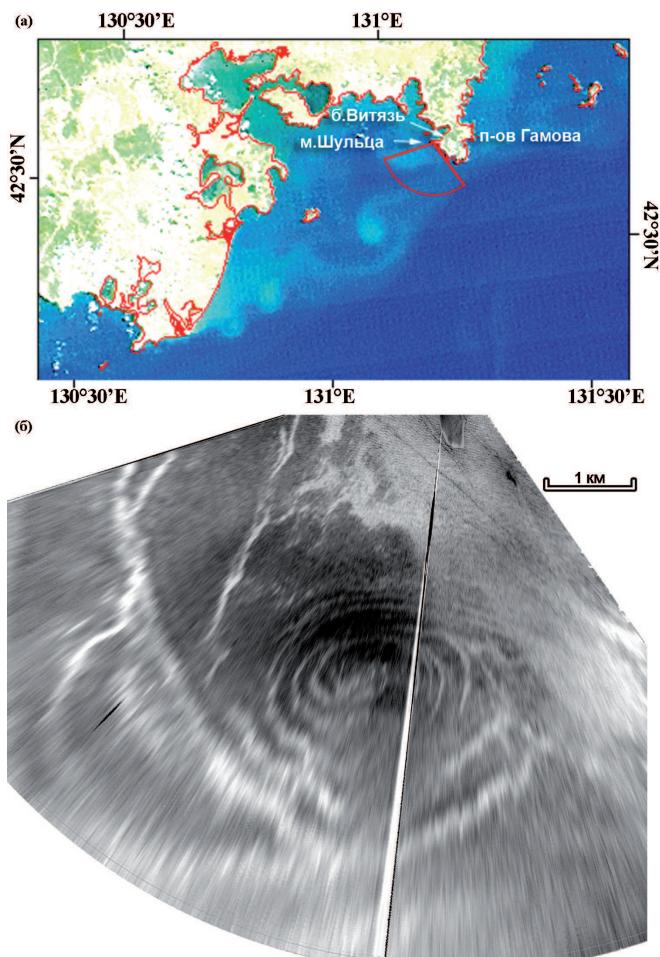


Рис. 4. Субмезомасштабный циклогенез в зал. Петра Великого 29 августа – 3 сентября 2009 г. (а) – изображение MODIS Aqua, полученное в 04:25 Гр. 2 сентября. Красным сектором отмечены границы панорам, сделанных оптическим поляризационным комплексом, фрагмент одной из которых (время съемки 30 августа в 03:50 Гр.) показан на рисунке (б)

Сpirальные вихри регулярно регистрируются на спутниковых изображениях зал. Петра Великого как в открытых районах, так и в отдельных заливах и бухтах, в том числе в б. Витязь. Береговые видеонаблюдения позволяют проследить процесс зарождения и эволюции вихрей в бухте в светлое время суток при наличии плёнок ПАВ и благоприятных ветровых условиях (1-6 м/с) (Дубина и др., 2010). Природа циклонических вихрей, наблюдавшихся видеокамерами с южной стороны м. Шульца, прояснилась при совместном анализе видеонаблюдений и спутниковых данных в 2009 г. В августе-сентябре 2009 г. циркуляция вод в юго-западной части зал. Петра Великого определялась синоптическим антициклоном диаметром 50-70 км. По его периферии вдоль юго-западного побережья залива со скоростью 0,2-0,3 м/с смещались субмезомасштабные циклонические вихри, которые формировались с суточным периодом возле устья р. Туманной. Вихри перемещались, увеличиваясь в диаметре от 3 до 8-10 км, по направлению к м. Шульца, огибая с востока о. Фуругельма (рис. 4а). Оптический комплекс регистрировал в рассматриваемый период циклонические вихри по плёнкам поверхностно-активных веществ, формировавшим четкие яркостные контрасты. Вихри смешались мимо мыса на восток со скоростью 0,25 м/с (рис. 4б). Орбитальные скорости течения на границе вихря составляли 0,4-0,5 м/с.

Заключение

Для мониторинга быстроизменяющихся процессов в системе океан-атмосфера требуются высокочастотные или даже непрерывные наблюдения. В настоящее время неотъемлемой составляющей современных геоинформационных сервисов и ресурсов (геоИнтерфейсов) стали фото- и видеоматериалы, полученные с поверхности Земли. Видеосъёмка морской поверхности позволяет обнаруживать и следить за плавсредствами, людьми, морскими млекопитающими; регистрировать и получать количественную информацию о нефтяном загрязнении, речном стоке, ледяном покрове, внутренних и ветровых волнах, субмезомасштабных вихрях. Видеоданные могут использоваться в виде пространственно-ориентированных ракурсных изображений, в виде изображений, трансформированных на поверхность Земли, а также для расчёта скорости и направления распространения маркеров на видеоизображении. Интеграция спутниковых измерений и наземного видеонаблюдения морской поверхности повышает надёжность алгоритмов интерпретации спутниковых данных и позволяет более полно анализировать пространственно-временную изменчивость субмезомасштабных процессов, оказывающих существенное влияние на прибрежные экосистемы. Плодотворность такого подхода продемонстрирована на примере мониторинга зал. Петра Великого.

Литература

1. Адрианов А.В., Тарасов В.Г., Щербатюк А.Ф. Применение и перспективы сезонного видеомониторинга на особо охраняемых морских акваториях залива Петра Великого (Японское море) // Вестник ДВО РАН, 2005. № 1. С. 19-26.
2. Дубина В.А., Даркин Д.В. Спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения // В сб. «Дальневосточные моря России». В 4 кн. Гл. ред. В.А. Акуличев. Книга 4. Физические методы исследования. Отв. ред. Г.И. Долгих. М: Наука, 2007. С. 538-556.

3. Дубина В.А., Митник Л.М., Фищенко В.К., Константинов О.Г. Совместное использование наземных видеонаблюдений и спутниковых данных в задаче мониторинга залива Петра Великого Японского моря // Открытое образование, 2010. № 5. С. 31-40.
4. Патин С.А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. М.: Издательство ВНИРО, 2008. 508 с.
5. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 725 с.
6. Серебряный А.Н. Внутренние волны в прибрежной зоне приливного моря // Океанология, 1985. Т. XXV. Вып. 5. С. 744-751.
7. Фищенко В.К., Голик А.В., Антушев С.Г. О проекте корпоративной океанологической информационно-аналитической системы ДВО РАН и задаче развертывания глобальной GRID-инфраструктуры отделения // Открытое образование, 2008. №4(69). С.47-64.
8. Marmorino G.O., Holt B., Molemaker J. et al. Airborne synthetic aperture radar observations of “spiral eddy” slick patterns in the Southern California Bight // J. Geophys. Res., 2010. V. 115. C05010, doi:10.1029/2009JC005863.
9. Shoulejkin Was. A New Method of Investigating Sea Waves // Nature, 1924. № 114. P. 498-499. doi:10.1038/114498a0.

Integration of satellite data and ground based video data in the monitoring systems

V. A. Dubina, V. K. Fischenko, O. G. Konstantinov, L. M. Mitnik

*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
e-mail:dubina@poi.dvo.ru*

Efficiency of the joint using satellite data and ground based video for the coastal monitoring is shown on example of the Peter The Great Bay. . The video of the sea surface allows to detect and receives quantitative information on oil pollution, river discharge, ice cover, internal waves, wind waves, submesoscale eddies. The integration of the satellite measurements and video of sea surface raises reliability of the satellite data interpretation algorithms.

Keywords: video monitoring, satellite monitoring, coastal zone, internal waves, spiral eddies.