Комплексный космический мониторинг прибрежных акваторий

В.Г.Бондур*

Научный центр проблем аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС», Mockba - vgbondur@online.ru,

Abstract – Рассматриваются возможности применения космических средств для мониторинга прибрежных акваторий морей и океанов. Проанализированы значимые параметры водной среды, регистрируемые современными космическими средствами, и задачи, решаемые с их помощью. Приводятся некоторые результаты комплексного космического мониторинга антропогенных воздействий на прибрежную акваторию бухты Мамала (г. Гонолулу, Гавайи), выполненного в 2002-2004 гг. На основании анализа результатов обработки оптических (панхроматических, многоспектральных, гиперспектральных) И радиолокационных космических изображений, полученных при мониторинге, выявлены проявления антропогенных воздействий на прибрежную акваторию, связанные с изменениями: гидродинамических параметров. гидробиологических гидрооптических И характеристик приповерхностного слоя океана. Обнаружены эффекты генерации «квазимонохроматических» спектральных гармоник морского волнения (Л~10...150 м), связанные с проявлениями ультракоротких внутренних волн, обусловленных заглубленным стоком. Выявленные по изображениям космическим параметры этих гармоник совпадают с параметрами внутренних волн, зарегистрированных подспутниковыми средствами. На основании результатов комплексного мониторинга разработаны рекомендации по природоохранным мероприятиям в исследуемой рекреационной зоне у

острова Оаху (Гавайи), которые могут быть реализованы и в других прибрежных акваториях.

Ключевые слова: космический мониторинг, прибрежные акватории, антропогенные воздействия, подспутниковые измерения.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее важных направлений изучения Мирового океана является исследование его прибрежных зон. Это обусловлено тем, что в прибрежных зонах проживает более половины населения Земли и они подвергаются интенсивным антропогенным воздействиям. Кроме того, в настоящее время шельф и континентальный склон начинают интенсивно осваивать для добычи природных ресурсов, что существенно усиливает антропогенную нагрузку на эти области.

Основными источниками антропогенных воздействий на моря и океаны, и прежде всего на прибрежные акватории, являются: промышленное производство; добыча полезных ископаемых и углеводородного сырья; сброс промышленных и хозяйственных вод непосредственно в море или с речным стоком; поступление с суши различных веществ, применяемых в сельском и лесном хозяйствах; преднамеренное захоронение в море загрязняющих, в том числе радиоактивных, веществ; утечка различных веществ в процессе судовых операций; аварии на морском транспорте и военных кораблях; аварийные выбросы с подводных трубопроводов; туристическая и рекреационная деятельность; перенос загрязняющих веществ через атмосферу и т.п. [Израэль, 1989; Долотов, 1996; Бондур, 2004]. Неуклонное нарастание суммарного воздействия многих источников загрязнений приводит к прогрессирующей эвтрофикации микробиологическому загрязнению морской воды, что существенно затрудняет её использование для различных нужд человека. Высокая концентрация загрязняющих веществ антропогенного происхождения в приповерхностном слое океана вызывает нарушение баланса экосистем и снижение биопродуктивности акваторий. В связи с этим актуальными становятся организация мониторинга морской среды и создание соответствующих систем, важное место среди которых занимают аэрокосмические средства [Бондур, 2004]. В настоящей работе рассматриваются возможности применения современных космических методов и средств для мониторинга прибрежных акваторий. Приводятся некоторые результаты, полученные при мониторинге комплексном антропогенных воздействий на акваторию бухты Мамала в Южной части Oaxv (Гавайские острова острова), выполненном в 2002-2004 гг.

2. РОЛЬ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ

За последнее время достигнуты значительные успехи в области развития аэрокосмических методов и технологий дистанционного зондирования океана. Перспективность их использования для решения задач мониторинга акваторий, в том числе прибрежных, основана на возможности регистрации современной дистанционной аппаратурой широкого спектра значимых параметров водной среды. К ним относятся, прежде всего [Бондур, 2004]:

 вариации гидрооптических характеристик, в первую очередь цвета и мутности, за счет флуктуаций коэффициентов рассеяния и поглощения света при изменениях концентрации взвешенных и поглощающих веществ;

- изменения гидродинамических параметров (поля течений, внутренние волны, турбулентность, циркуляционные движения и др.), приводящие к деформациям поверхностного волнения и изменениям характеристик приповерхностного слоя океана;

 вариации температуры в областях полей течений, апвеллинга, взаимодействия турбулентности и внутренних волн с водной поверхностью и др.;

 - флуктуации параметров физико-химических полей океана, приводящие к изменениям температуры, солености, диэлектрической проницаемости, концентрации тяжелых металлов и т.п.;

- вариации биологических параметров (концентрация основных биогенных элементов (азота, кислорода,

фосфора), кислотность, состояние фитопланктона в океане и др.);

- появления нефтяных пленок и изменения концентрации пленок поверхностно-активных веществ за счет растворенной органики, приводящие к изменениям цвета, температуры, амплитудно-частотных характеристик волнения;

 вариации уровня океана, вызванные приливноотливными процессами, геострофическими течениями, волнами цунами и т.п.

Кроме этого, достаточно высокий уровень достигнут в области обработки космических данных, а также в усвоении больших потоков информации, полученной при комплексном мониторинге различных физических, химических и биологических полей океана с использованием спутниковых и подспутниковых средств. При космическом мониторинге прибрежных акваторий могут решаться следующие задачи [Бондур, 2004]:

- исследование динамики прибрежных вод (поверхностных течений, океанических фронтов, турбулентности и циркуляционных движений различных масштабов, взаимодействия внутренних и поверхностных волн, механизмов переноса массы и энергии и т.д.).

- исследование различных гидрофизических полей в толще вод прибрежных акваторий по эффектам на поверхности и в приповерхностном слое;

 - оценки углеродного бюджета прибрежных вод и оценка их вклада в углеродный цикл;

- исследование биопродуктивности и биоразнообразия прибрежных акваторий;

- выявление загрязнений прибрежных вод, обусловленных различными источниками;

 изучение изменения экосистем в прибрежных зонах морей и океанов под влиянием естественных и антропогенных факторов;

- комплексные исследования состояния и изменчивости прибрежных акваторий, в том числе при антропогенных воздействиях;

- изучение зон апвеллинга;

- мониторинг ледовой обстановки (в северных морях);

 определение рельефа дна в шельфовых зонах и его изменений под воздействием разных процессов;

 исследование приливно-отливных явлений в региональном масштабе;

- предупреждение катастрофических природных процессов в прибрежных акваториях (цунами, подводные землетрясения и т.п.) и оценка их последствий.

Перечисленный (не исчерпывающий) набор задач, решаемых космическими средствами дистанционного зондирования океана, свидетельствует об их широких возможностях. Поэтому космические методы и средства уже сегодня играют значительную роль в мониторинге океана и его прибрежных зон. В ближайшем будущем их значение для решения этой актуальной задачи будет существенно возрастать.

3. ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ У О. ОАХУ (ГАВАЙИ)

Комплексный мониторинг антропогенных воздействий на прибрежную акваторию бухты Мамала (г. Гонулулу, Гавайи) осуществлялся в 2002-2004 гг. в рамках международного проекта. Основной целью этого проекта являлось выявление негативных воздействий заглубленных стоков в акваторию бухты Мамала на рекреационную зону побережья о. Оаху и, прежде всего, зону Вайкики Бич.

При проведении мониторинга осуществлялась периодическая съемка акватории бухты с помощью:

 оптической аппаратуры высокого разрешения спутников IKONOS и QuickBird, обеспечивающей получение панхроматических изображений поверхности океана с разрешением 0,61-1,0 м (панхроматический режим) и 2,44-4,0 м (многоспектральный режим);

- радиолокационной аппаратуры спутников RADARSAT (разрешение 8 и 25 м, длина волны $\lambda \Box 5,6$ см, поляризация HH) и ENVISAT (разрешение ~ 25 м, длина волны $\lambda = 5,6$ см, поляризация HH, VV, VH);

аппаратуры гиперспектральной Hyperion (разрешение ~ 30 м, 220 спектральных каналов в диапазоне 0,4...2,5 мкм), а также многоспектральной (разрешение ~ 10 аппаратуры ALI м в панхроматическом режиме И 30 в м режиме, 10 спектральных многоспектральном каналов в диапазоне 0,4-2,4 мкм) спутника ЕО-1;

- аппаратуры ASTER (разрешение 15 м в видимом и ближнем ИК-диапазоне, 30 м в среднем и 90 м в дальнем ИК-диапазоне спектра) спутника TERRA;

- многоспектральной аппаратуры MODIS (разрешение 250 м – в видимом и ближнем ИКдиапазоне, 500 м – в среднем и 1км – в дальнем ИКдиапазонах) спутников TERRA и AQUA.

Кроме этого, использовалась многоспектральная аппаратура Международной космической станции (разрешение ~ 2 м в панхроматическом режиме и ~ 5 м в многоспектральном режиме) и привлекались данные спутников «Метеор-ЗМ», «Ресурс-О», NOAA и GOES.

На рис. 1. представлена схема проведения комплексного мониторинга. На этом рисунке приведена карта с указанием мест установки стационарных буйковых станций для измерений временных зависимостей вертикальных профилей температуры – термисторы (TS), а также характеристик полей скоростей течений (ADP). Показано местоположение сбросового устройства с о.Санд, диффузор которого состоит из 282 отверстий и располагается на глубине 70 м в 3.8 км от берега. Здесь же показаны трассы кораблей для CTDгидрооптических измерений, определения характеристик (прибор АС-9 и Секки-диски) и гидробиологических параметров, а также трассы волновых буев (WB) для измерения спектров поверхностного волнения. Пунктиром обозначена пределах область акватории, В которой осуществлялись вертикальные и горизонтальные измерения с помощью погружаемых и буксируемых микроструктурных зондов.

На рис. 1 представлены изображения основных космических аппаратов, кораблей, некоторых датчиков, используемых при комплексном мониторинге, а также удаленных платформ NOAA, на которых производились измерения ветрового режима. Описания датчиков, используемых при проведении подспутниковых измерений, и особенности анализа данных, полученных с их помощью, приводятся в работах [Keeler et al., 2004, 2005; Bondur, Filatov, 2003, Wolk et al., 2004].



Рис. 1. Схема проведения комплексного мониторинга прибрежной акватории у о.Оаху (Гавайи)

4. РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА

Полученные в процессе мониторинга космические систематизировались, подвергались изображения предварительной И тематической обработке. Первоначальная обработка осуществлялась в темпе поступления изображений непосредственно на месте проведения мониторинга в г. Гонолулу. Детальная обработка осуществлялась после получения всех подспутниковых и сопроводительных данных (Бондур, Цидилина, 2005; Бондур, 2004).

Ниже приведены некоторые результаты обработки оптических (многоспектральных и панхроматических) космических изображений. На рис. 2 в качестве примера представлены результаты обработки многоспектральных космических изображений, снятых спутником QuickBird 14 сентября 2003 г. (время съемки 11:16 LT). На этом рисунке приведены: фрагмент изображения (размером 16.5 х 16.5 км²), синтезированного из RGB каналов исходного изображения - (а); промежуточный результат обработки, заключающийся в получении попиксельных отношений канальных сигналов синий/зеленый (B/G), в свертке с маской и классификации с последующим сглаживанием - (б); результат объединения близких по яркости классов с изменением цветовой палитры - (в); итоговый результат обработки, полученный путем повторного объединения классов, выделения И оконтуривания аномалий - (г). Анализ конечного результата обработки многоспектрального космического изображения высокого пространственного разрешения показывает, что в области диффузора сбросового устройства с о. Санд (справа на рис. 2,г) уверенно

выделяется аномалия гидрооптических характеристик подповерхностного слоя океана. Максимальный размер



Рис. 2. Пример обработки многоспектральных изображений, полученных со спутника QuickBird: а) обрабатываемый фрагмент; б) классификация со сглаживанием; в) объединение классов; г) конечный результат с оконтуренной аномалией

данной аномальной зоны составляет ~ 6 км. Внутри этой зоны выделяется более контрастная протяженная аномалия (длина ~ 3,5 км), ориентированная в южном юго-восточном направлении. Четко проявляется также поверхностная аномалия (в центре), обусловленная пятном нефтепродуктов, вследствие их утечки с танкера в процессе перекачки в береговые резервуары. Эта аномалия выделяется и на исходном космическом изображении до обработки. Слева на рис. 2,г выделена сравнительно небольшая также аномалия гидрооптических характеристик, связанная с другим выбросом (Гоноулиули) в акваторию бухты Мамала. Аналогичные результаты получены в процессе обработки других многоспектральных космических изображений, полученных при мониторинге (Бондур, 2004; Бондур, Зубков, 2005).

Эффективность применяемой технологии обработки подтверждается тем, что на исходных изображениях аномалии, связанные со стоком, не проявляются. Наличие аномалий гидрооптических характеристик в районе глубинных стоков подтверждают также результаты подспутниковых гидрооптических измерений с помощью прибора AC-9 и диска Секки, а также гидробиологические данные.

обработки некоторые Методика И результаты космических панхроматических изображений, полученных при мониторинге бухты Мамала, изложены в работе (Бондур, 2004), а также в работе (Бондур, 2005), представленной в материалах Воробьев, настоящего Симпозиума. На рис. 3 в качестве примера приведены результаты пофрагментного пространственного спектрального анализа космического изображения, полученного со спутника QuickBird 3 сентября 2004 г. На этом рисунке представлены: исходное космическое изображение с выделенным ареалом распространения поверхностной аномалии, обусловленной глубинным стоком - (a); двумерные пространственные спектры фрагментов размером 1x1...2.5x2.5 км² в области аномалии непосредственно южнее диффузора - (б) и в области фона - (в). Как видно из рис. 3, в аномальном спектре отчетливо проявляется многомодовая структура узких спектральных гармоник, которые отсутствуют в фоновом спектре (рис. 3,в). Важной особенностью пространственного спектра, представленного на рис. 3,6, является наличие целой системы достаточно узких спектральных гармоник со

средними длинами $\Lambda = 43; 86; 99; 117$ и 160 м. Средняя ширина этих гармоник $\Delta \Lambda \sim 5 - 7$ м. Таким образом

выполняется условие ∆Л << Л, что позволяет назвать выявленные спектральные составляющие «квазимонохроматическими». Подобные «квазимонохроматические» гармоники проявляются для всех фрагментов в зоне поверхностной аномалии (см. рис.

всех фрагментов в зоне поверхностнои аномалии (см. рис. 3,а). Разная интенсивность проявления таких аномалий представлена разным тоном (цветом) локальных фрагментов. Впервые такие «квазимонохроматические» составляющие в спектрах поверхностного волнения описаны в работах (Бондур, 2001; 2004).

Появление поверхностных аномалий, связанных со сбросами пресной воды в соленую морскую среду, вызывается рядом гидрофизических механизмов (турбулентность, всплывающие вихри, внутренние волны и др.) основным из которых считается взаимодействие короткопериодных внутренних волн с поверхностным волнением (Бондур, 2001; 2004; Бондур, Гребенюк, 2001). Для подтверждения этого физического механизма проанализируем спектральные характеристики внутренних волн вблизи и на удалении от диффузора. Для этого используем результаты измерений (с дискретом 30 с) профилей температуры с помощью заякоренных Thermistor String (см. рис. 1).

Исследование высокочастотных внутренних волн проведем путем анализа спектров глубин залегания изотермы 27.5°С, выбранной в ядре термоклина, для двухчасового интервала времени (с 10 до 12 LT). На рис. 3,г представлен такой спектр, построенный по данным станции TS-5, установленной в 600 метрах южнее диффузора сбросового устройства (см. рис. 3,а). На рис. 3,д приведен аналогичный спектр для станции TS-2, установленной вдали от диффузора в районе Вайкики Бич (см. рис. 3,а).

В спектре глубин залегания изотермы T=27.5°C вблизи диффузора (станция TS-5), в отличие от фонового спектра (станция TS-2), отчетливо проявляются сверхвысокочастотные спектральные компоненты (периоды от 4.1 мин до 8 мин), обусловленные солитонами внутренних волн, генерируемых глубинным стоком.

Длины таких ультракоротких внутренних волн, оцененные на основании результатов измерений их периодов с использованием дисперсионного соотношения для таких волн и измеренных в эксперименте частот Брента-Вяйсяля $N=(gd\rho/\rho dz)^{1/2}$ (где ρ – плотность, z - глубина) составили величины $\Lambda = 42$; 90; 120 и 155 м (см. рис. 3,г). Подобные гармоники отсутствуют в фоновом спектре внутренних волн (см. рис. 3,д). Это свидетельствует об их непосредственной связи с таким детерминированным источником как постоянно действующий глубинный сток.

Сопоставление длин спектральных гармоник солитонов внутренних волн (для станции TS-5) с «квазимонохроматических» лпинами гармоник двумерного пространственного спектра фрагмента космического изображения в районе этой станции (см. рис. 3), свидетельствует об их хорошем совпадении (различие ~ 1 - 5 %). Это свидетельствует справедливости «внутриволновой» 0 гипотезы генерации многомодовой системы «квазимонохроматических» поверхностных структур, вызываемых глубинным стоком.

На рис. 4 (верх) представлена схема проведения радиолокационных съемок исследуемой акватории с борта спутников RADARSAT и ENVISAT. На этом же рисунке (внизу) в качестве примеров приведены несколько исходных и предварительно обработанных радиолокационных изображений, полученных в различные дни проведения экспериментов при различных гидрометеорологических условиях. В работе [Бондур, 2004] описаны физические основы формирования радиолокационных изображений поверхности океана, регистрируемые при этом параметры и некоторые примеры выделения аномалий, вызванных заглубленным стоком в акваторию бухты Мамала. В материалах настоящего Симпозиума (работа Бондур, Старченков) описаны автоматизированной примеры классификации аномалий, вызванных таким антропогенным воздействием на акваторию бухты Мамала по радиолокационным изображениям спутников RADARSAT и ENVISAT.



Рис. 3. Выявление «квазимонохроматических» компонент волнения по спектрам космического изображения : исходное изображение (QuickBird, 3 сентября 2004 г.) с областью проявлений глубинного стока - (а); спектр с многомодовой системой гармоник- (б); фоновый спектр - (в); спектры внутренних волн у диффузора (станция TS-5) - (г) и вне аномалии (станция TS-2) - (д)



Fig. 4. Схемы съемок акватории с помощью спутников RADARSAT и ENVISAT и примеры исходных и обработанных радиолокационных изображений, полученных в различные дни



Рис. 5. Зоны распространения аномалий, связанных с глубинным стоком в акваторию бухты Мамала (Гавайи), выделенные по оптическим (а) и радиолокационным (б) космическим изображениям в различные дни при различных гидрометеоусловиях

На рис. 5 обобщены контуры зон распространения аномалий, вызванных заглубленным стоком, выделенных пространственной спектральной обработки путем космических оптических изображений (а) и космических радиолокационных изображений (б). Эти результаты получены в различные дни проведения комплексного мониторинга (с 2002 по 2004 гг.) при различных гидрометеорологических условиях (фазы приливов-отливов, скорости и направления течений и ветра, характер поверхностного волнения, положение термоклина и др.). Анализ рис. 5 показывает, что при значительных различиях поверхностных проявлений исследуемого типа антропогенного воздействия (размеры, форма, зоны распространения) они имеют определенные общие особенности для каждого класса данных, полученных с помощью различной аппаратуры. Эти особенности проявляются в достаточной локальности проявления подобных аномалий. относительной стабильности их формы для каждого типа датчиков. Исключение составляет лишь аномалия, выделенная по изображению спутника RADARSAT (11 сентября 2003 г.) при практически полном штиле (скорость ветра 1...1,5 м/с) (Бондур, 2004).

Различие в проявлении аномалий, выявленных по оптическим и радиолокационным изображениям, свидетельствуют о различных значимых параметрах среды, регистрируемых этими типами аппаратуры.

Результаты, полученные на сновании обработки космических изображений, совместно с данными, полученными "in situ", позволяют не только выявить закономерности проявлений таких антропогенных воздействий на прибрежную акваторию, но и выработать рекомендации по природоохранным мероприятиям.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ представленных результатов свидетельствует об эффективности аэрокосмических методов и технологий для мониторинга антропогенных воздействий на прибрежные акватории.

Проведенный мониторинг акватории бухты Мамала (Гавайи) показал, что гидродинамический и метеорологический режим у южного берега о.Оаху нестабилен. Он определяется сезонной и суточной изменчивостью метеопараметров и находятся под сильным влиянием приливно-отливных процессов. Это приводит к изменению характера полей течений в исследуемой бухте, сильным вариациям полей температуры, изменчивости положения термоклина, а следовательно, и ряда важнейших гидрофизических параметров акватории.

Учитывая сильную антропогенную нагрузку на акваторию бухты Мамала (объемы стоков ~ 70 млн. галлонов/сутки), поступление значительного количества вредных веществ, а также высокие требования к состоянию воды в рекреационной зоне у Гонолулу, на основании результатов космического мониторинга предположены следующие меры по снижению антропогенной нагрузки на экосистему исследуемой акватории.

1. Рекомендации по управлению режимами сброса.

В неблагоприятных условиях (приливы, направление течений и ветров в сторону берега и Вайкики Бич, отсутствие термоклина) целесообразно максимально снижать сброс, заполняя специальные резервуары WWTP.

В благоприятных ситуациях (отливы, направления

течений и ветров на юг и юго-запад, явно выраженный термоклин) увеличивать сброс, т.к. в этом случае создаются наилучшие условия для его дампинга.

2. Информационное обеспечение.

Для обеспечения достоверной информацией 0 благоприятных и неблагоприятных условиях И экологическом состоянии акватории необхолимо обеспечить постоянный космический мониторинг с борта различных спутников, обработку и анализ полученных изображений, а также сопоставление результатов дистанционного зондирования с результатами измерений «in situ» (поля течений, СТД-измерения, биологические измерения, поля ветра и т.д.).

3. Технологические и технические мероприятия.

Увеличивать плотность сбрасываемых вод (например, путем добавления соли или разбавления морской водой) для их лучшего захоронения. Уменьшение объема сбрасываемых вод в сторону берега путем перекрытия части отверстий диффузора с северной стороны. Улучшение степени очистки сбрасываемых сточных вод путем применения новых технологий.

Эти природоохранные мероприятия, предложенные на основании результатов космического мониторинга, позволяют существенно снизить антропогенную нагрузку на исследуемую акваторию. Они могут быть применены и в других акваториях, подвергающихся интенсивному антропогенному влиянию.

ЛИТЕРАТУРА

Бондур В.Г. Аэрокосмические методы в современной океанологии. // В кн. "Новые идеи в океанологии". T1: Физика. Химия. Биология / Отв. ред. М.Е. Виноградов, С.С. Лаппо. - М.: Наука, 2004, с. 55 – 117.

Бондур В.Г. Проблемы аэрокосмического мониторинга океана // Исследования в области океанологии, физики атмосферы, географии, экологии, водных проблем и геокриологии. М.: Геос, 2001. С. 87-94.

Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В. Дистанционная индикация антропогенных воздействий на морскую среду, вызванных заглубленными стоками: моделирование, эксперименты// Исследование Земли из космоса, 2001, №6, с. 49-67. Бондур В., Зубков Е. Выделение мелкомасштабных неоднородностей оптических характеристик верхнего слоя океана по многоспектральным спутниковым изображениям высокого разрешения. Исследования Земли из космоса, № 4, 2005, 15 с.

Bondur V., Filatov N. Study of physical processes in coastal zone for detecting anthropogenic impact by means of remote sensing. Proceeding of the 7 Workshop on Physical processes in natural waters, 2-5 July 2003, Petrozavodsk, Russia. p.p. 98-103.

Bondur V., Starchenkov S. Monitoring of Anthropogenic Influence on Water Areas of Hawaiian Islands Using RADARSAT and ENVISAT Radar Imagery. Proceed. of 31st Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, St.Petersburg, 2005

Bondur V., Tsidilina M. Features of Formation of Remote Sensing and Sea truth Databases for The Monitoring of Anthropogenic Impact on Ecosystems of Coastal Water Areas. Proceed. of 31st Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, St.Petersburg, 2005

Bondur V., Vorobev V. Monitoring of Anthropogenic Influence on Mamala Bay Water Area (Hawaii) Using IKONOS and QuickBird Imagery. Proceed. of 31st Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, St.Petersburg, 2005

Долотов Ю.С. Проблемы рационального использования и охраны прибрежных областей Мирового океана. М.: Научный мир, 1996. 30 с.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 528 с.

Keeler R., Bondur V., Vithanage D. Sea truth measurements for remote sensing of littoral water //Sea technology, April 2004, p. 53-58.

Wolk F., Prandke H., Gibson C. Turbulence Measurements Support Satellite Observations // Sea Technology, v. 45, No 8, 2004