

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ КОСМОСА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ОКЕАНЕ

B.B.Пустовойтенко

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: pust@satg.mhi.iuf.net

Рассматриваются информационные возможности спутниковых радиолокационных систем – станций бокового обзора (РЛС БО) и альтиметров, как средство наблюдения катастрофических явлений на поверхности океана и в системе «оcean-атмосфера». Приведены примеры радиолокационного наблюдения тропических ураганов, разливов нефтепродуктов, сверхвысоких волн и волн цунами.

Введение. История развития спутниковой радиолокации морских акваторий насчитывает немногим более 30 лет. В 1973 г. на борту орбитальной космической станции «SKYLAB» был проведен эксперимент S-193, основной задачей которого была проверка идей по использованию радиолокационных (РЛ-) систем для мониторинга морской поверхности из космоса.

Выходу РЛ-систем в космос предшествовала многолетняя работа ученых многих стран. К этому времени были всесторонне исследованы основные закономерности явления рассеяния радиоволн морской поверхности, установлен его механизм и разработана электродинамическая модель, получившая название – двухмасштабная, математически описывающая это явление. Приоритет в ее разработке принадлежит украинским ученым [1]. Она настолько удачна, что за годы, прошедшие с момента первого опубликования, электродинамическая часть модели не претерпела каких-либо изменений. Все последующие уточнения затрагивают ее гидродинамическую составляющую и, в частности, описание структуры морской поверхности в различных гидрометеорологических условиях.

В 1978 г. США был запущен специализированный океанографический космический аппарат (КА) «SeaSat», оснащенный РЛ-комплексом дистанционного зондирования в составе: РЛ-альтиметра RA (с небольшими доработками он эксплуатирует-

ся на различных КА до настоящего времени), скаттерометра SASS (система до настоящего времени находится в состоянии отработки – изменяется количество лучей, их взаимное расположение, меняются принципы обзора морской поверхности и т.д.) и РЛС БО с синтезируемой апертурой приемной антенны SAR.

В СССР работы по созданию государственной космической эксплуатационной системы исследования природных ресурсов Земли «Ресурс» и ее космической подсистемы «Океан» начаты в 1976–1977 гг. Создавалось три вида спутниковых РЛС: РЛС БО с синтезированием апертуры приемной антенны (РСА) для пилотируемых и беспилотных долговременных орбитальных станций «Салют» («Алмаз»), РСА для автоматических КА типа «Ресурс» и РЛС БО с реальной апертурой приемной антенны для автоматических КА типа «Космос» («Океан»). Первые два типа РЛС БО разрабатывались предприятиями и организациями Москвы и Московской области, третий тип – разрабатывался в Украине силами академических институтов (МГИ АН УССР, ИРЭ АН УССР) в содружестве с проектно-конструкторскими и производственными предприятиями других ведомств.

Летно-конструкторские испытания отдельных систем создаваемой в Украине спутниковой РЛС БО были проведены на борту КА «Космос-1151» (запущен в 1978 г.), ее опытная эксплуатация осуществлена на борту КА «Космос-1500» (запущен в 1983 г.) и «Космос-1602» (запущен в 1984 г.). Штатная эксплуатация началась запуском в 1986 г. КА «Космос-1766». Последний запуск состоялся в 2004 г. на борту КА «Січ-1М».

Физические основы РЛ-наблюдения морской поверхности. Не вдаваясь в детали, напомним, что для спутниковых РЛ-систем характеристики формируемого морской поверхностью РЛ-сигнала определяются спектральной плотностью резонансных морских волн, длина которых сопоставима с длиной волны РЛС, облучающей поверхность. Ими являются волны ряби. При этом крупные энергонесущие морские волны непосредственно в формировании РЛ-сигнала не участвуют (при наблюдении с борта КА), но изменяют характеристики ряби, находящейся в поле их уклонов, ускорений и орбитальных скоростей [1].

Высокая чувствительность ряби к возмущающим воздействиям, таким как вариа-

ции скорости ветра в приводном слое атмосферы, вариации скорости и направления поверхностных течений, наличие поверхностно-активных веществ (ПАВ) и др. предопределяет проявление следов этих воздействий на РЛ-снимках морской поверхности и, следовательно, возможность их РЛ-наблюдения. Однако, чувствительность ряби к широкому спектру воздействий создает проблемы при решении задачи селекции влияния одного из этих воздействий на фоне других.

Рассмотрим информационные возможности спутниковых РЛ-систем в приложении к задачам мониторинга катастрофических явлений.

Радиолокационное наблюдение тропических штормов и ураганов. Тропические штормы и ураганы наносят человечеству катастрофические экономические потери, уносят многие человеческие жизни. Типичный атлантический ураган занимает область, имеющую радиус от 100 до 400 км, тихоокеанский – от 200 до 900 км. Начальной фазой урагана является шторм, который, по мере развития и усиления скорости ветра, переходит в тропический ураган. Напомним, что по классификации, введенной Бофортом в 1802 году, шторм – это тропический циклон со скоростью ветра более 17 м/с, он переходит в ураган при достижении скоростью ветра 33 м/с и становится главным ураганом при скоростях ветра свыше 50 м/с. Известны ураганы, скорость ветра в которых превышала 100 м/с.

Обзорные РЛ-системы, (КА «Океан-О», «Січ-1», «Січ-1М», ENVISAT и др.) с успехом могут использоваться для ранней диагностики тропических ураганов, дополнения и уточнения при этом информацию, получаемую традиционными средствами наблюдения. При этом возможны не только выявление ураганов на ранних фазах их развития, но и определение скорости ветра, а, следовательно, оценка мощности и возможных последствий урагана.

На рисунке 1 в качестве примера приведены изображения ураганов «Диана» (а), полученное с помощью РЛС БО КА «Космос-1500» 11 сентября 1984 г.¹, и урагана «Катрина» (б), полученное с помощью комплекса ДЗЗ КА ENVISAT: радиолокационное – прибор ASAR, и оптическое – прибор MERIS. Подчеркнем, что РЛ-изображения (РЛС БО – «Космос-1500», ASAR – ENVISAT) отражают структуру

шероховатости морской поверхности и, следовательно, содержат информацию непосредственно о скорости ветра в приводном слое.

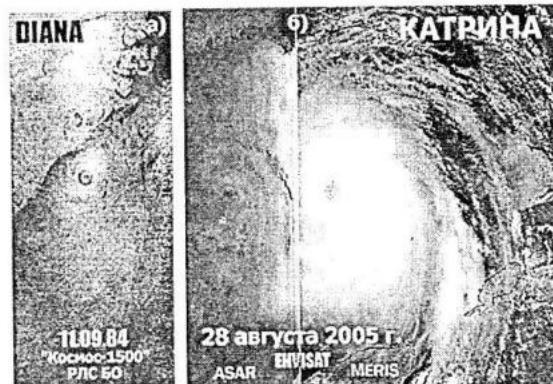


Рисунок 1 – Спутниковые изображения тропических ураганов «Диана» (а) и «Катрина» (б)

Оптическое же изображение (MERIS – ENVISAT) отображает структуру верхнего слоя облачности.

Радиолокационное наблюдение загрязнений морской поверхности нефтепродуктами. Известно, что около 30% нефтепродуктов попадает в моря со стоком рек, около 23% приходится на сбросы в море промывочных, балластных и льяльных вод с судов, до 17 % составляют сбросы в портах и припортовых акваториях, включая протечки при загрузке наливных судов, около 6% поступающих в море нефтепродуктов приходится на аварии и катастрофы судов и буровых установок. В Черном и Азовском морях этот пресс усугубляется рядом природных факторов, таких, как удаленность от океана, ограниченный водообмен с соседними морскими бассейнами, значительное расслоение вод по плотности, замедленный вертикальный обмен водных масс, большая площадь водосбора (2,3 млн. км²), существование в северо-западной части моря обширной мелководной шельфовой зоны и т.д.

По имеющимся оценкам, (см. например [2]), в настоящее время в Черное море ежегодно поступает около 110 тыс. тонн нефтепродуктов, и, по-видимому, их количество будет увеличиваться, *во-первых* – в связи с интенсификацией работ по разведке и добывче нефти в акватории Азовского и Черного морей, а *во-вторых* – в связи с интенсификацией морских перевозок нефти.

Находящиеся на морской поверхности пленки нефтепродуктов и других ПАВ, давляя рябь, проявляются на РЛ-снимках в

виде областей пониженной, в сравнении с соседними участками, интенсивности РЛ-сигнала – в виде участков с пониженной яркостью. Контраст проявления пленки ПАВ (слика) зависит от многих факторов (толщина пленки, наличие разрывов, относительная величина пространственной разрешающей способности РЛС, длина волны РЛС и т.д.) и изменяется от единиц до десятков децибелл (см., например [3, 4]).

Современные спутниковые РЛ-системы позволяют:

- обнаруживать на морской поверхности присутствие пленок ПАВ;
- определять границы областей морских акваторий, подвергшихся загрязнению нефтепродуктами, наблюдать пути их перемещения и прослеживать их эволюцию во времени и в пространстве;
- оценивать толщину пленок ПАВ и на этой основе оценивать объем разлитого ПАВ и т.д.

В качестве иллюстрации возможностей космических РЛС БО на рисунке 2 приведено РЛ-изображение района катастрофы танкера «Престиж», полученное с помощью PCA KA «ENVISAT» 17 ноября 2002 г. [5] спустя четверо суток после катастрофы.



Рисунок 2 – Радиолокационное изображение района катастрофы танкера «Престиж», полученное с помощью PCA KA «ENVISAT» 17.11.2002 г.

Стрелкой отмечено положение танкера в момент проведения съемки

На РЛ-изображении хорошо видно, что вытекающий из танкера нефтепродукт рас текается двумя своеобразными «реками», одна из которых уходит от побережья Испании, а вторая, к моменту съемки, уже

обрушилась на побережье, произведя там катастрофическое опустошение.

На снимке (см. рис. 2) присутствует еще несколько областей с пониженной яркостью, которые также можно трактовать, как участки, покрытые пленками ПАВ.

Попутно заметим, что причина этой катастрофы в какой-то степени «рукотворная»: танкер просил разрешения на заход в один из портов Испании для укрытия от непогоды, но не получил его. В результате – в океан попало более 30 тыс. тонн нефтепродукта, что привело к загрязнению более 1000 км побережья Испании, Португалии и Франции. К сожалению, такой сценарий развития событий далеко не единичный.

Изучение специалистами Европейского космического агентства объемных серий РЛ-снимков Балтийского и Средиземного морей позволило им составить карты распределения сливов на поверхности названных морей [6]. Как и ожидалось, наиболее вероятными районами появления сливов являются пути транспорта нефти. Это же в полной мере можно отнести и к акватории Черного моря, что подтверждается результатами многочисленных работ (см., например [7-9]). На рисунке 3 приведена карта интенсивности загрязнения акватории Черного моря, заимствованная из работы [7], на которой хорошо видна загрязненность районов вблизи Одессы и вблизи пролива Босфор, а также на трассе «Босфор-Новороссийск».

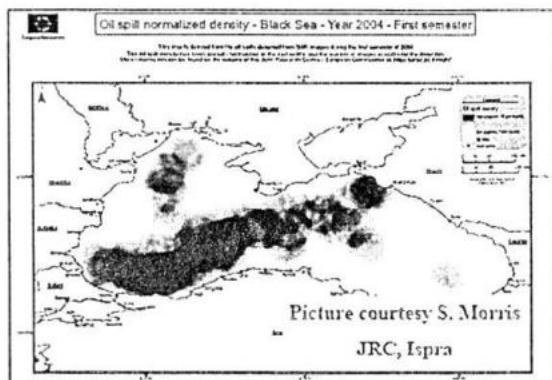


Рисунок 3 – Расположение наиболее загрязненных нефтепродуктами участков в акватории Азовского, Черного и Мраморного морей, полученное сотрудниками JRC (Объединенный исследовательский центр) [7]

Аналогичные по содержанию карты, построенные по ограниченной выборке снимков, приуроченных к судоходным трассам приведены и в [8, 9]. Попутно отметим, что

одной из причин высокой загрязненности прибосфорского района является скопление здесь танкеров, ждущих своей очереди для прохода через пролив. Срок ожидания иногда достигает месяца.

Какова природа загрязнений судоходных трасс нефтесодержащими продуктами и другими поверхностно-активными веществами? По-видимому, основной источник их поступления в воду не столько аварийные разливы, сколько «плановые» сбросы балластных вод. К сожалению, это неизбежные издержки, присущие морским перевозкам.

Известно, что на долю морского транспорта приходится более 80% мировых перевозок, при которых различными типами судов ежегодно по всему земному шару переносится до 10 млн. тонн водяного балласта. Напомним, что балласт идущего под погрузку танкера, как правило, составляет до 30% его грузоподъемности. При изменении осадки судна балласт либо принимается в балластные танки, либо сливается из них за борт, т.е. суда, заходящие в Черное море из Мраморного *сливают* балласт за борт. Более того, если балластные воды судна по уровню загрязненности хуже, чем предусмотрено санитарными нормами порта, в который оно направляется, капитан судна обязан слить балласт и промыть балластные танки в открытом море. Правила, действующие в Украине, предписывают проводить эту операцию вне ее территориальных вод. Лондонская конвенция 2004 г. предписывает проводить операции с балластом на расстояниях не менее 50 морских миль от ближайшего берега и на глубине не меньше 200 м. Этой же конвенцией предписывается иметь на каждом судне планы управления балластными водами и журналы операций с ними. В журналах должна регистрироваться информация о том, когда производился сброс или обработка балластных вод.

Таким образом, как при аварийных разливах нефтепродуктов, так и при технологических операциях с балластными водами, по-крайней мере теоретически, в каждом случае известно место разлива, тип и объем выливающегося из судна продукта и т.д. Естественно, при этом нет необходимости ни в обнаружении разлива, ни в распознавании типа разлитого загрязняющего вещества.

Большую опасность представляют балластные воды с содержанием нефтепродуктов, близким к ПДК. Такие загрязнения не обна-

руживаются, а поступающий с ними в море объем нефтепродуктов велик.

Представляется, что спутниковые средства наблюдения могут эффективно использоватьсь для общего обзора морских акваторий с целью изучения фоновой обстановки. Вряд ли целесообразна ставка на них, как на средства оперативного контроля территориальных вод и припортовых акваторий.

Более эффективно эта задача решается с помощью специализированных самолетов, оснащенных радиолокационной станцией бокового обзора (SLAR – Side-Looking Airborne Radar), сканерами инфракрасного (ИК-) и ультрафиолетового (УФ-) диапазонов и другими системами ДЗЗ [10, 11]. Так, Швеция имеет 3 таких самолета, Финляндия – 2. Их годовой налет составляет около 1 000 часов. Самолеты используются в любых погодных условиях. До 30% полетов совершается в ночное время.

Заметим, что МЧС Украины также располагает подобным самолетом-лабораторией АКДЗ-30, созданным совместными усилиями специалистов ЦРЗЗ им. А.И. Калмыкова НАН Украины и НКАУ (Харьков), ЦАКИЗ ИГН НАН Украины (Киев) и АНТК им. Антонова (Киев) [12]. Но используется он не столь интенсивно.

Известно (см., например [11]), что РЛС БО «видит» пленки толще (3-5) мкм, сканер ИК-диапазона – толщиной свыше 10 мкм, сканер УФ-диапазона – от 1 мкм и более. (Анализ спектров люминесценции в УФ-диапазоне позволяет определить содержатся ли нефтепродукты в слике или нет.

Проекты ERUNET и OSCSAR. «Интернациональность» проблемы возрастающего загрязнения морских акваторий нефтепродуктами требует объединения и координации усилий многих стран. С 2004 г. Украина участвует в выполнении проектов ERUNET и OSCSAR [13].

Цель проекта ERUNET – мониторинг загрязнений нефтепродуктами Черного и Азовского морей, контроль состояния нефте- и газопроводов в Западной Сибири и в Карпатах с использованием данных, получаемых с помощью КА ENVISAT и других европейских, украинских и российских КА ДЗЗ. Украину в проекте представляют Одесский национальный университет и ГНПЦ «Природа» (г. Киев).

Проект OSCSAR предусматривает выполнение радиолокационного мониторинга загрязнений нефтепродуктами акватории

Черного моря и морей Северного региона. В нем от Украины участвуют Морской гидрофизический институт НАН Украины и ГКБ «Южное».

Безусловно, разрабатываемые в проектах проблемы обнаружения и автоматизации распознавания нефтяных загрязнений морских акваторий весьма актуальны. Но, при этом хотелось бы обратить внимание на то, что, как в Украине, так и в России, проекты выполняются организациями, далекими от практических проблем морской добычи нефти и ее транспортировки. Их принадлежность к «космическому сообществу» приводит к переоценке возможностей космической техники в приложении к затрагиваемой проблеме.

Реалии сегодняшнего дня таковы, что при высоких потенциальных возможностях космических комплексов ДЗЗ, практическая оперативность работы с ними оставляет желать лучшего. Так, в Украине заявки на выполнение космических съемок (даже с помощью отечественных средств наблюдения) подаются 1 раз в квартал с возможностью корректировки за 30 суток до выполнения съемки, а задержка в получении снимков, при использовании существующих схем их распространения, достигает нескольких суток. Для целей оперативного мониторинга этого недостаточно.

По-видимому, проекты следует рассматривать не более, чем демонстрационные. Говоря об эксплуатационной системе мониторинга нефтяных разливов, следует считаться и с тем, что в настоящее время Украина не имеет в космосе собственных средств ДЗЗ. Построение же системы на основе использования информации только иностранных КА представляется неоправданным.

В этих условиях, по-видимому, целесообразен перенос акцентов в сторону авиационных систем, способных проводить регулярные съемки транспортных коридоров в Азовском и Черном морях в зоне ответственности Украины и с высокой достоверностью решать задачи распознавания нефтесодержащих сливов.

Радиолокационное наблюдение аномально высоких морских волн (волны-убийцы). Факт существования аномальных сверхвысоких волн известен науке около 250 лет. Всерьез же они заинтересовали исследователей после исчезновения в 1980 г. вблизи Японии британского 295-метрового сухогруза «Дербишир» и всего его экипажа в составе 44 че-

ловек. За последние два десятилетия в морях и океанах было потеряно более 200 крупных судов (длиной свыше 200 метров). И не всегда причины их катастроф очевидны.

«Атакам» сверхвысоких волн подвергаются не только суда в открытом океане, но и стационарные платформы, находящиеся в шельфовой зоне. Известна «новогодняя волна», обрушившаяся 1 января 1995 г. на платформу «Draupner», установленную в Северном море. На фоне волн, имевших значимую высоту (11-12) м, на платформу внезапно налетела значительно более высокая волна, возвышение которой над средним уровнем моря составило 18,6 м, а высота (перепад от гребня до впадины) превысила 25 м. Волна была документально зарегистрирована лазерным волномером [14].

В феврале 1995 круизный лайнер «Queen Elizabeth II» был атакован 29-метровой волной. В 2001 г. в южной Атлантике произошло два инцидента с волнами-убийцами: атаке 30-метровых волн подверглись круизные лайнеры «Bremen» и «Caledonian Star» (показан на рисунке 4). На обоих из них были выбиты все стекла на капитанских мостиках, а у лайнера «Caledonian Star» в результате удара волны отказала система навигации и он был вынужден в течение двух часов дрейфовать в океане.

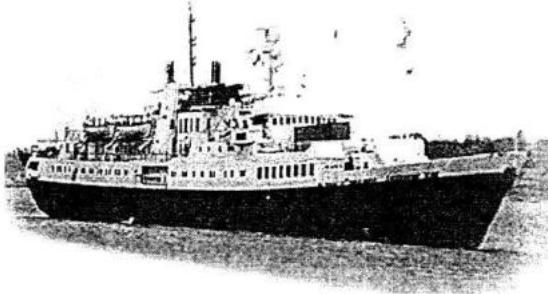


Рисунок 4 – Лайнер «Caledonian Star»:

6 палуб, команда из 64 человек, принимает на борт 110 пассажиров.

Фото с сайта <http://www.shipphotos.co.uk>.

Известны случаи появления таких волн и в других районах Мирового океана, у берегов Бразилии, например.

В 2000-2003 гг. осуществлен проект «MaxWave», в котором работало 11 групп специалистов из европейских стран. Результаты проекта, которые изначально должны были «развеять миф о монстрах, гуляющих по океанам в ясную погоду и топящих крупные сухогрузы и супертанкеры», документально подтвердили факт существования одиночных сверхвысоких волн. Подробный

обзор результатов проекта и других аспектов проблемы волн-убийц можно найти, например, в [15, 16]. О ее актуальности говорят, например, то, что в IFREMER (Франция) систематически проводится международные семинары, посвященные этой проблематике. Статьи, затрагивающие отдельные аспекты проблемы, появляются в известных журналах, таких как International Journal of Offshore and Polar Engineering, Wave Motion, J. Fluid Mech. и ряде других.

В рамках проекта «MaxWave» изучено свыше 30 000 РЛ-снимков морской поверхности размером 5 км × 10 км (т.е. просмотрено свыше 1,5 млн. кв. км морской поверхности), полученных с помощью КА РЛ-наблюдения ERS-1 и ERS-2 в течение трех недель. Несмотря на относительно небольшой временной интервал получения РЛ-снимков, было выявлено по крайней мере 10 случаев, когда высота волн на поверхности океана превышала 25 м.

Снимки обрабатывались по методике, разработанной специалистами немецкого космического агентства (DLR) [17], позволяющей восстанавливать как высоты и крутизну отдельных морских волн, так и значимую высоту волн на контролируемом участке морской поверхности.

В Черном море сотрудниками ИПФ РАН в ноябре 2004 г. с помощью буя, установленного в районе г. Геленджика, инструментально зарегистрирована волна, (фрагмент волнограммы показан на рисунке 5), имеющая высоту около 10 м при необычно высоком соотношении $h/h_{1/3} = 3,9$ [18].

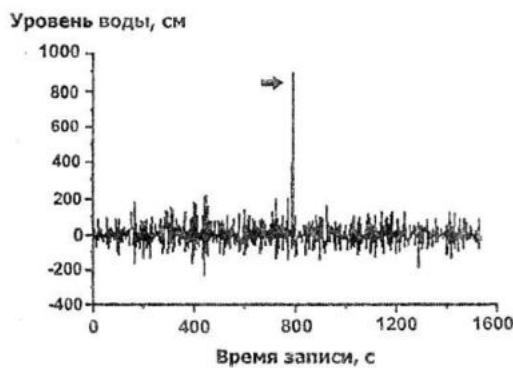


Рисунок 5 – Фрагмент записи волнения в районе Геленджика. Стрелкой отмечена сверхвысокая волна-убийца.

Рисунок с сайта ИПФ РАН
<http://www.appl.sci-nnov.ru>

Сотрудниками ГОИН ГУГМС в марте 1973 г. в районе Сочи зафиксировано резкое увеличение высоты волн – до предельной

(более 2 м), соответствующей глубине моря в месте измерений при относительно слабом ветре. Волновые колебания имели практически правильную синусоидальную форму в отличие от обычно наблюдавшейся сложной формы ветровых волн. Анализ синоптической обстановки показал, что над всей акваторией моря не было какой-либо аномобарической системы (циклона), которая могла бы быть источником столь крупных и длинных, да еще и регулярных волн. Это не были также и волны зыби, которые приходят из удаленных источников. Вероятная причина их появления – генерация волн атмосферным фронтом, распространявшимся в это время от берегов Болгарии на восток со средней скоростью около 67 км/ч. Эти волны были названы резонансными фронтальными волнами [19]. Этот же механизм назван авторами в качестве возможной причины появления в морских акваториях сверхвысоких волн-убийц (волн-«монстров»).

Документальное подтверждение существования волн-убийц, а, главное, более высокая, чем это следует из теории, частота встречи с ними, ставит на повестку дня вопрос о пересмотре норм обеспечения безопасности судов и морских сооружений.

Эксперимент «MaxWave» стал энциклопедическим примером использования спутниковой информации в области фундаментальных наук об океане. Однако, при этом не может идти речи о построении сколь-нибудь оперативных систем обнаружения волн-«монстров» и предупреждения мореплавателей о них.

Радиолокационное наблюдение волн цунами. Цунами по-японски означает «волна в гавани». Источник – подводные землетрясения или извержения вулканов. В открытом океане волна цунами практически не заметна и не опасна для мореплавателей (ее высота составляет несколько единиц-десятков сантиметров). Но у берега скорость движения волны уменьшается, а ее высота стремительно увеличивается до десятков метров и она сметает на своем пути все – портовые сооружения, здания, дороги и т.д.

Из числа наиболее катастрофических назовем цунами, обрушившиеся на Индонезию 26 декабря 2004 г. и порожденное сильнейшим подводным землетрясением. Его сила была оценена магнитудой 9, что относит это землетрясение к разряду самых крупных природных катастроф. В истории

Земли наблюдались землетрясения и с большими магнитудами – до 9,5, однако впервые возник столь длинный очаг с повторными толчками, протянувшийся на 1 300 км. Уже через час волна цунами преодолела половину расстояния между Суматрой и Шри-Ланкой, через два часа она обрушилась на побережья Шри-Ланки и Индии. Далее волна перешла в Атлантический и Тихий океаны, добравшись до побережья Канады. Фактически в течение суток это цунами охватило весь Мировой океан [20].

Проблема цунами актуальна и для Азово-Черноморского бассейна, являющегося, как известно, сейсмически-опасным районом. Из большого числа достоверно известных Крымских землетрясений упомянем землетрясение, произошедшее в ночь с 11 на 12 сентября 1927 г. Его очаг располагался южнее Ялты под морским дном и был вытянут вдоль побережья. В эпицентре сила, по-видимому, достигала 9 баллов. За первым толчком, длившимся не более 10 секунд, последовал второй и последующие. Море отступило от берега и вновь обрушилось на него бурной волной. В течение 11 часов произошло 27 сильных толчков, а всего за несколько дней было зарегистрировано более 200 толчков – даже 15 сентября они все еще ощущались [21].

Современное развитие средств космической техники принципиально позволяет с помощью альтиметров (высотомеров, определяющих вариации рельефа морской поверхности с погрешностью от 3 до 10 см в зависимости от типа КА) наблюдать в открытом океане волны цунами, определять их характеристики и использовать эту информацию в системах раннего предупреждения.

В качестве примера на рисунке 6а показан рельеф поверхности океана в районе Индонезийского землетрясения через 2 часа после землетрясения, восстановленный по спутниковым альтиметрическим данным (КА «Jason-1»), а на рисунке 6б – профиль морской поверхности вдоль трассы его полета [22].

Катастрофические последствия Индонезийского землетрясения стимулировали создание в Индийском океане под эгидой ЮНЕСКО оперативной сети оповещения о цунами. Основным элементом сети являются донные датчики, передающие сигналы по акустическому каналу связи на поверхностные буи-ретрансляторы, которые,

в свою очередь, транслируют эти сигналы по радиоканалам на спутники системы оповещения и предупреждения.

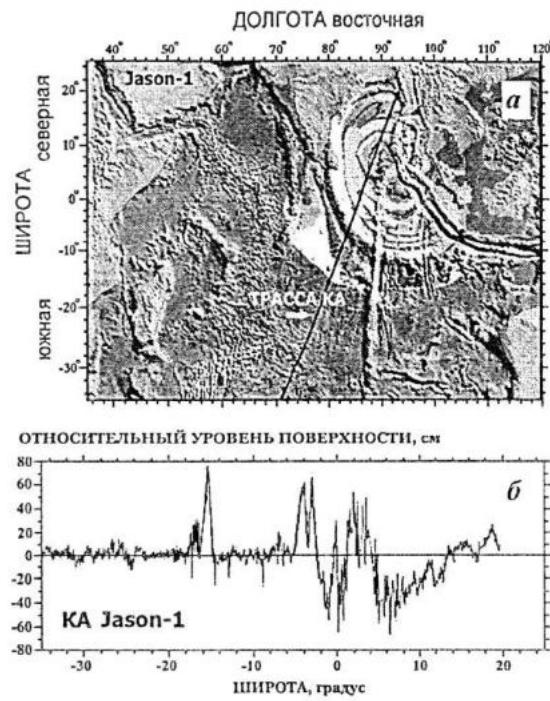


Рисунок 6 – Рельеф поверхности океана в районе Индонезийского землетрясения: восстановленный по данным альтиметрических измерений (а) и измеренный альтиметром КА «Jason-1» (б).
Время съемки – через 2 часа
после землетрясения

Заключение. Рассмотренные примеры использования спутниковой информации для наблюдения катастрофических явлений в океане – тропических циклонов, разливов поверхностно-активных веществ (нефти, нефтесодержащих продуктов, балластных вод и т.д.), одиночных сверхвысоких волн (волны-убийцы, волны-«монстров») и волн цунами демонстрируют высокие потенциальные возможности спутниковых РЛ-систем как средств наблюдения этих явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bass F.G., Fuks I.M., Kalmykov A.I. et al. Very High Frequency Radiowave Scattering by a Disturbed Sea Surface. Parts I and II // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1968. – vol. AP-16. – P. 554–559 and 560–568.
2. Black Sea Transboundary Diagnostic Analysis. United Nations publications Sales №. 97.III.B.15 I UN Plaza, New York, NY 10017 USA, 1997. – 142 p.
3. Галаев Ю.М., Калмыков А.И., Курекин А.С. и др. Радиолокационные обнару-

- жения нефтяных загрязнений морской поверхности // Известия АН СССР, сер. Физика атмосферы и океана. – 1977. – т.13, №4. – С. 406–414.
4. Crispin J.W., Delosh R.G., Jonson F.F. et all. Sea clutter investigations using oil slick / 5-th Nat. Conv. Millit. Electronics. – 1961. – VI, – P. 437–450.
 5. Envisat's ASAR reveals extent of massive oil spill off Spanish coast [Электронный документ] http://www.esa.int/esaCP/ESAGF_D7708D_index_1.html.
 6. Bauna T., Clayton P.J. State of knowledge of potential oil spill hotspots in European waters. – 2004. – 30 р. [Электронный документ] http://oceanides.jrc.cec.eu.int/Deliverables/D3c_2.pdf.
 7. Феоктистов А.А., Новикова Н.Н., Пахомов Л.А. и др. Разработка системы космического мониторинга нефтяных загрязнений морской поверхности. [Электронный документ] <http://www.iki.rssi.ru/earth/ppt2005/feokt.pdf>.
 8. Иванов А.Ю., Ермошкин И.С., Фанг М. и др. Использование космической радиолокации широкого обзора для картографирования нефтяных загрязнений моря // Исследование Земли из космоса. – 2005, №5. – С.78–95.
 9. Малиновский В.В., Иванов В.А., Sandven A. и др. Наблюдение загрязнений поверхности моря по радиолокационным данным // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2005, вып. 13. – С. 99–110.
 10. Отчет о выполнении задания. Участие в операции по координированному расширенному контролю над загрязнением ХЕЛКОМ (CEPCO). Висби, Готланд 15-20 мая 2005 года. [Электронный документ] http://www.bosss.ru/files/BOSS%20Study%20Tour%20Report%20Sweden%20CEPCO%20Exercise_Ru.pdf.
 11. Aerial observation of oil pollution at sea. Operational guide. 2004 [Электронный документ] <http://www.cedre.fr/uk/publication/aeri/aeri.pdf>.
 12. Цимбал В.М., Лялько В.І., Курекін О.С. та інш. Авіаційний комплекс дистанційного зондування природного седовища АКДЗ-30 // Космічна наука і технологія. – 2002. – т.8, №2/3. – С. 36–40.
 13. EKA опубликовало первый номер бюллетеня о программе BEAR по использованию данных ДЗЗ [Электронный документ] www.nkau.gov.ua/nsau/newsnsau.nsf/NewsintegrR.
 14. Liu P.C., Pinho U.F. Freak waves – more frequent than rare! // Annales Geophysicae. – 2004. – №22. – Р. 1839–1842.
 15. Доценко С.Ф., Иванов В.А. Возможные источники и механизмы формирования повышенной гидродинамической активности на шельфе Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2005, вып. 13. – С. 73–94.
 16. Бадулин С.И., Иванов А.Ю., Островский А.Г. Волны-убийцы и их дистанционное зондирование // Исследование Земли из космоса. – 2006. – №1. – С. 77–92.
 17. Shultz-Stellenfleeth J., Lehner S. A parametric schema for ocean wave spectra retrieval from complex synthetic aperture radar data using prior information // J. Geoph. Res., 2005.
 18. Двинский Б.В., Левин Б.В., Лопатухин Л.И. и др. Аномально высокая волна в Черном море: наблюдения и моделирование // Доклады РАН. – 2004. – т.395, №5. – С. 948–950.
 19. Кабатченко И, Матушевский Г. Цунами в Черном море. [Электронный документ] http://www.transport.ru/2_period/more/98_1/12.htm.
 20. Лобковский Л. Всераразрушающая волна // В мире науки. Океанология. – 2005, № 5 [Электронный документ]. <http://www.sciam.ru/2005/5/ocean.shtml>.
 21. Крымские землетрясения 1927 года. / Википедия. [Электронный документ] <http://ru.wikipedia.org/wiki>.
 22. NOAA scientists able to measure tsunami height from space. [Электронный документ] <http://www.noaanews.noaa.gov/stories2005/s2365.htm>.

¹ Снимок предоставлен сотрудниками Центра радиофизического зондирования Земли имени А.И. Калмыкова.