

# **Спутниковые наблюдения поверхностных проявлений внутренних волн в морях без приливов**

**М.И. Митягина, О.Ю. Лаврова**

*Учреждение Российской академии наук  
Институт космических исследований РАН  
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32  
E-mail: mityag@iki.rssi.ru*

В статье изложены результаты исследования особенностей генерации и распространения внутренних волн неприливного происхождения, полученные в ходе регулярного спутникового мониторинга Черного, Каспийского и Балтийского морей. Мониторинг основывался на анализе радиолокационных данных высокого разрешения, получаемых с помощью ASAR Envisat и ERS-2 SAR, а также данных сенсоров MODIS Aqua/Terra и AVHRR NOAA в оптическом и инфракрасном диапазонах. Впервые были идентифицированы поверхностные проявления цугов внутренних волн на радиолокационных изображениях морской поверхности в морях без приливов и восстановлена картина их пространственной и временной изменчивости. На основе анализа данных спутниковой радиолокации восстановлены основные пространственно-временные характеристики внутренних волн неприливного происхождения и локализованы районы их зарождения для различных акваторий. Проведен сравнительный анализ поверхностных проявлений внутренних волн в различных морях бесприливного типа и выявлены основные отличительные особенности их возникновения, распространения и проявления в данных спутниковой радиолокации морской поверхности для различных тестовых районов. Отмечено наличие сезонной и межгодовой изменчивости волновой активности. На основе совместного анализа данных спутниковой радиолокации и данных спутниковых приборов оптического и ИК диапазонов, выявлены возможные факторы, приводящие к генерации наблюдаемых внутренних волн неприливного происхождения, и сделаны предположения о соответствующих механизмах их генерации.

**Ключевые слова:** морская поверхность, внутренние волны, радиолокационные спутниковые изображения, спутниковый мониторинг.

## **Введение**

На сегодняшний день накоплен большой объем данных спутниковых наблюдений, как радиолокационных, так и оптических, поверхностных проявлений внутренних волн (ВВ) в различных районах Мирового океана [1 – 4]. Считается установленным, что один из наиболее важных источников генерации связан с приливами, в этом случае приливные внутренние волны возбуждаются в результате взаимодействия баротропных приливов с наклонным дном вблизи кромки шельфа. Поэтому и дистанционные методы в последнее десятилетие развивались в основном в приложении к изучению тех внутренних гравитационных волн в океане, генерация которых на материковом склоне связана с приливо-отливными течениями и внутренними приливами в шельфовой зоне [5-9].

К сожалению, волны неприливного происхождения к настоящему моменту изучены слабее. Публикаций, посвященных спутниковым наблюдениям поверхностных проявлений внутренних волн в морях без приливов, нам не удалось найти. Зарождение внутренних волн в бесприливных морях возможно при протекании активных динамических процессов, связанных с возникновением и релаксацией прибрежного апвеллинга, вихрями

различных масштабов, сгонно-нагонными явлениями, осцилляциями гидрологических фронтов и пр. Существует ряд работ, посвященных натурным наблюдениям и численному моделированию процессов генерации и распространения короткопериодных внутренних волн в бесприливных морях, базирующихся на экспериментальных данных, полученных с помощью контактных методов [10-13].

В ходе спутникового мониторинга нами выявлены случаи поверхностных проявлений цугов внутренних волн на спутниковых радиолокационных изображениях, полученных над акваториями северо-восточной части Черного моря, Каспийского моря, и юго-восточной части Балтийского моря. Характерной особенностью, общей для всех этих морей, является то, все они могут быть отнесены к классу бесприливных морей, т.е. в этих морях не возникают внутренние приливы и упомянутый выше механизм генерации ВВ приливными течениями здесь исключен.

Экспериментальную основу исследования составили радиолокационные изображения (РЛИ) морской поверхности, полученные при помощи радиолокаторов с синтезированной апертурой, установленных на ИСЗ *Envisat* и *ERS-2*. Кроме того для интерпретации РЛИ привлекались данные сенсоров *MODIS* ИСЗ *Aqua/Terra*, *MERIS* ИСЗ *Envisat* и *AVHRR* ИСЗ *NOAA* оптического и инфракрасного диапазонов, несущие информацию о полях температуры морской поверхности и мезомасштабной динамике вод. При мониторинге Каспийского моря дополнительно использовались данные сканирующего радиометра *ETM+* ИСЗ *Landsat 7*. Всего за время наблюдений было получено и обработано более 1000 спутниковых изображений морской поверхности районов интереса. Большой объем экспериментального материала обеспечил статистическую обоснованность результатов исследований. Комплексное использование данных различных по своей физической природе (активное и пассивное микроволновое зондирование, оптические и ИК данные), пространственному разрешению и ширине полосы съемки дало уникальную возможность восстановить целостную картину метеорологических и гидродинамических явлений и процессов в районах наблюдений, определить возможные факторы, приводящие к генерации наблюдавшихся внутренних волн неприливного происхождения и сделать предположения о соответствующих механизмах генерации.

### **Радиолокационные наблюдения внутренних волн в Черном море**

Регулярный спутниковый мониторинг морской поверхности в северо-восточной части Черного моря, проводится Лабораторией аэрокосмической радиолокации ИКИ РАН начиная с 2005 года. В ходе работ по мониторингу принимаются и обрабатываются РЛИ высокого разрешения усовершенствованного радиолокатора с синтезированной апертурой

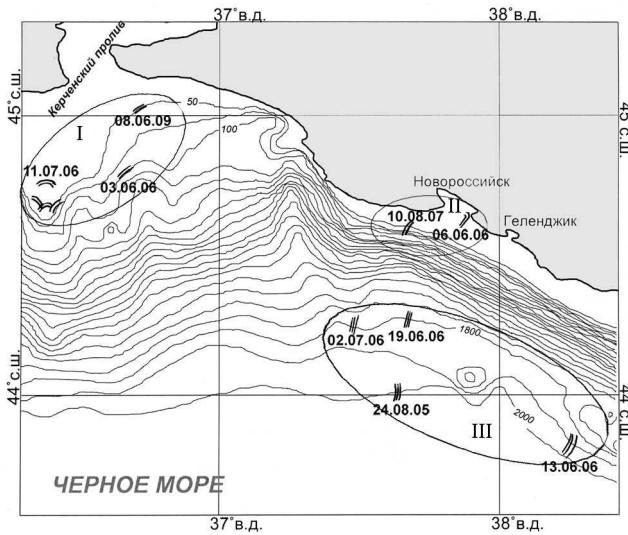
(ASAR) спутника *Envisat* и радиолокатора с синтезированной апертурой спутника *ERS-2* со всех пролетов этих спутников над акваториями Азовского и северо-восточной части Черного морей (периодичность пролетов составляет 12-72 часа). Каждое РЛИ подвергается целевой обработке, и проводится феноменологическая идентификация радиолокационных образов поверхностных проявлений внутренних волн, вихревых структур различных масштабов, фронтальных зон, зон апвеллинга и др. В 2005 г. впервые был идентифицирован единичный случай поверхностного проявления цуга внутренних волн на ASAR изображении, полученном 24 августа 2005 г. в 19:07 UTC. Работы по мониторингу были продолжены и в следующем, 2006 году, при этом выявлению и идентификации пакетов внутренних волн на радиолокационных изображениях уделялось особое внимание. В 2006 году были зарегистрированы 6 случаев поверхностных проявлений внутренних волн (ППВВ). Из шести случаев ППВВ, выявленных на РЛИ в 2006 г., четыре случая приходятся на июнь месяц, и два на июль. В ходе дальнейших регулярных радиолокационных наблюдений ни одного случая поверхностных проявлений внутренних волн не было выявлено в спутниковых радиолокационных данных в 2008г, однако удалось идентифицировать по одному случаю поверхностных проявлений цугов внутренних волн на морской поверхности северо-восточной части Черного моря в августе 2007 г. и в июне 2009 г.

Следует отметить, что факт регистрации ППВВ на радиолокационных изображениях северо-восточной части Черного моря является относительно редким событием. В этом районе внутренние волны проявляются в виде изолированных цугов, содержащих до 20 волн, при этом максимальная длина волны в цуге не превышает 500 м. Фронт ведущей волны, как правило, существенно искривлен, длина его варьируется в пределах от 7 до 18 км. Ширина пакетов в зависимости от количества волн в цуге варьируется от 850 м до 3,5 км.

Карта пространственного распределения ППВВ неприливного происхождения, выявленных по радиолокационным данным в северо-восточной части Черного моря приведена на рис. 1. Как видно из карты, в этой части акватории Черного моря можно выделить три района, где сосредоточены ППВВ:

- I. Район Керченского предпроливья над изобатами 50 – 100 м;
- II Вблизи Цемесской бухты над изобатами 40-50 м;
- III На расстоянии 25-28 миль юго-западу от участка береговой черты в районе Новороссийск-Туапсе над изобатами 1800 – 2000 м.

Нами было установлено [14], что все зарегистрированные в северо-восточной части Черного моря ППВВ локализованы вблизи границы вихря или гидрологического фронта, что свидетельствует о фронтальном механизме генерации, при котором ВВ излучаются нестационарным (движущимся и/или подверженным инерционным колебаниям) фронтом.



*Рис 1. Обобщенная карта-схема распределения ППВВ, выявленных по данным спутниковой радиолокации в северо-восточном секторе Черного моря*

В области (I) - Керченского предпроливья возможна генерация внутренних волн фронтами сгонно-нагонного происхождения. В области (II) –вблизи береговой черты – источником внутренних волн могут быть выходящие на шельф внутренние сейши, распад апвеллинга и прибрежные мезомасштабные вихри.

Наибольший интерес представляют ППВВ, локализованные в глубоководной области (III). Результаты совместного анализа данных спутниковой радиолокации и ИК сенсоров, полученных в близкие моменты времени, свидетельствуют о том, что все зарегистрированные в этом районе поверхностные проявления внутренних волн локализованы вблизи границы мезомасштабного вихря или вихревого диполя [14, 15].

В частности, на рис. 2 в центре приведено РЛИ, отображающие движущийся и эволюционирующий вихревой диполь. Совпадающая по форме и положению грибовидная структура отчетливо выделяется в поле температуры морской поверхности, восстановленной на основе спутниковых данных ИК диапазона. На РЛИ идентифицированы поверхностные проявления пакета внутренних волн, локализованные вблизи границы антициклической составляющей вихревого диполя. Пакет состоит из 6 волн, средняя длина которых составляет 175 м, и распространяется в западном направлении.

Вихревые структуры и фронты, подобные рассмотренным выше, регулярно возникают в северо-восточной части Черного моря, однако поверхностные проявления связанных с ними внутренних волн наблюдаются достаточно редко. Как уже отмечалось, практически все случаи поверхностных наблюдений внутренних волн в данном районе зарегистрированы нами в 2006 году. Гистограмма, отражающая межгодовую изменчивость наблюдаемости ППВВ в Черном море, приведена на рис. 3.

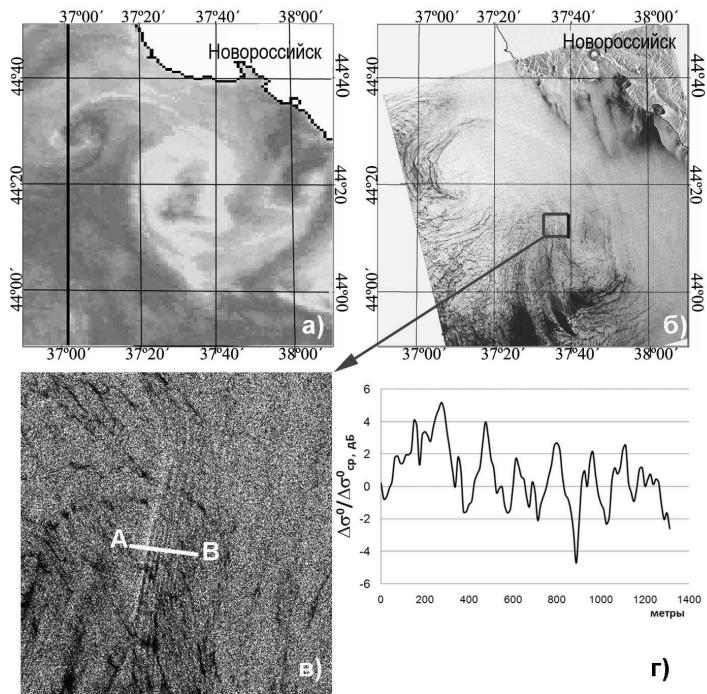


Рис. 2. а) Поле температуры морской поверхности, восстановленное по данным AVHRR NOAA от 19.06.06 23:57 UTC;  
 б) РЛИ ASAR Envisat, полученное 19.06.06 в 19:10 UTC с разрешением 12,5 м;  
 в) РЛ-образы поверхностных проявлений пакета BB;  
 г) вариации интенсивности радиолокационного сигнала, рассеянного на поверхностных проявлениях внутренних волн (разрез вдоль линии AB)

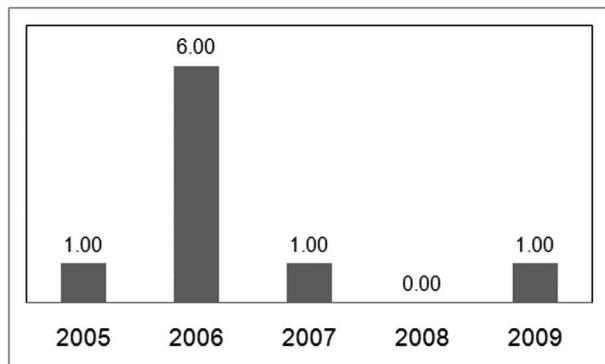


Рис. 3. Межгодовая изменчивость встречаемости ППВ в северо-восточной части Черного моря в радиолокационных данных

Для того, чтобы установить причину столь существенной межгодовой изменчивости в количестве ППВ, выявляемых на РЛИ морской поверхности, мы привлекли к рассмотрению данные гидрофизических зондирований на постоянном гидрологическом разрезе «Геленджик—центр моря», полученные в июне-июле 2006-2009 гг. время рейсов научно-исследовательских судов ЮО ИО РАН [16-18].

На рис.4 и 5 представлены профили температуры (4а и 5а) и частоты плавучести (4б и 5б), построенные по данным измерений на изобате 1800 м и на изобате 50 м, что соответствует областям III и I соответственно карты 1.

Частота плавучести  $N = \sqrt{-\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz}}$  определяет верхний предел существования свободных внутренних инерционно-гравитационных волн в море. Хорошо видно, что структура пикноклина в июне 2006, когда было выявлено большинство ППВВ, обладает рядом существенных отличий, причем эти различия выражены для гидрофизических характеристик, полученных для различных глубин - пик частоты плавучести очень острый и находится на глубине всего 5 метров. Таким образом, можно утверждать, что максимальная встречаемость ППВВ соответствует наличию резкого и неглубокого пикноклина. Такие условия благоприятствуют как зарождению внутренних солитонов, так и выраженному проявлению их на морской поверхности, поскольку способствуют развитию сильных орбитальных течений в приповерхностном слое, что приводит к модуляции спектра ветрового волнения и проявлению внутренних волн в РЛИ морской поверхности.

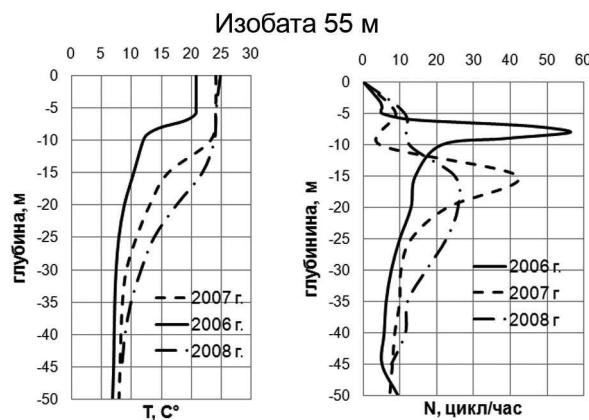


Рис. 4. Вертикальные разрезы температуры воды по данным контактных измерений (а) и частоты плавучести (б) над изобатой 50 м

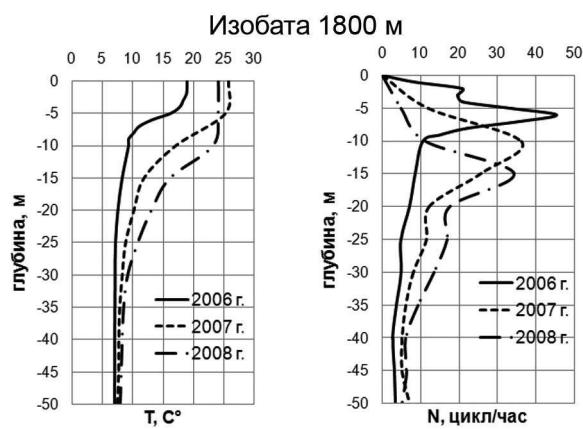


Рис. 5. Вертикальные разрезы температуры воды по данным контактных измерений (а) и частоты плавучести (б) над изобатой 1800 м

## Радиолокационные наблюдения внутренних волн в Каспийском море

В 2009 году исследование пространственно-временной структуры внутренних волн при помощи спутниковых данных было распространено на центральную часть Каспийского моря. В радиолокационных данных, полученных в 2009 г. для региона Каспийского моря были идентифицированы многочисленные поверхностные проявления цугов внутренних волн. Все эти поверхностные проявления зарегистрированы в период с третьей декады мая и до конца августа. По спутниковым данным 2009 года составлена подробная карта пространственного распределения поверхностных проявлений внутренних волн, выявленных в Каспийском море, приведенная на рис. 6.

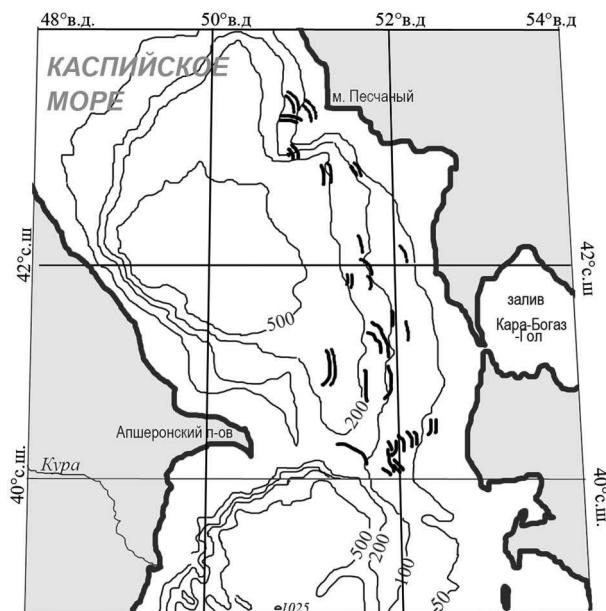


Рис. 6. Обобщенная карта-схема распределения ППВ, выявленных по данным спутниковой радиолокации в центральной части Каспийского моря

Удалось восстановить картину пространственно-временной встречаемости ППВ в Каспийском море. ППВ в радиолокационных изображениях Каспийского моря детектировались в период с начала мая по конец августа, постепенно смещаясь в северо-восточном направлении. Можно выделить три основных района их локализации:

- юго-западная часть Каспия, вблизи м. Лимир (конец мая);
- восточная часть Каспия от м. Бекдаш до п-ва Челекен (июнь-июль);
- восточная часть Каспия от Актау до Казахского залива (август).

Длина фронта ведущей волны достигала десятков километров, изменяясь в пределах от 15 до 63 км. Ширина пакетов в зависимости от количества волн в цуге варьировалась от 1 до 6 км, длина максимальной волны в цуге от 370 до 1500 м. Фронт ведущей волны в подавляющем большинстве случаев проявлялся в виде суплюя, т.е. полосы усиления поверхностного

волнения. На одном РЛИ (400 км x 400 км), как правило, выявляется несколько цугов ВВ, число которых доходит до шести. Это свидетельствует о наличии нескольких пространственно разнесенных мест генерации. Поверхностные проявления наблюдаемых ВВ в Каспийском море имеют вид классических цугов солитонов. Для взаимодействующих цугов наблюдаются характерные для нелинейных взаимодействий искривления фронтов, фазовые сдвиги и пр. Как правило, цуги распространяются к берегу и наблюдаются над глубинами 50-200 м. Наиболее вероятными основными источником генерации ВВ, выявленных в Каспийском море, являются продольные одноузловые сейши, узел которых находился вблизи Апшеронского порога, а также апвеллинг, часто проявляющийся вблизи восточного побережья. Пространственная неравномерность проявлений цугов внутренних волн и их преимущественная локализация в восточной части Каспийского моря может быть связана с относительно неглубоким залеганием пикноклина и наличием широкого шельфа в восточной части Каспия.

Сравнительный анализ основных пространственных характеристик ППВВ, выявленных по спутниковым радиолокационным данным для регионов Каспийского и Черного морей представлен на рис.7. Легко заметить, что ППВВ, выявленные в северо-западной части Черного моря, отличаются меньшими пространственными масштабами, чем ППВВ в Каспийском море. Выявление ППВВ, обладающих относительно малыми пространственными масштабами, стало возможным благодаря привлечению к исследованиям данных спутниковой радиолокации, обладающих высоким пространственным разрешением.

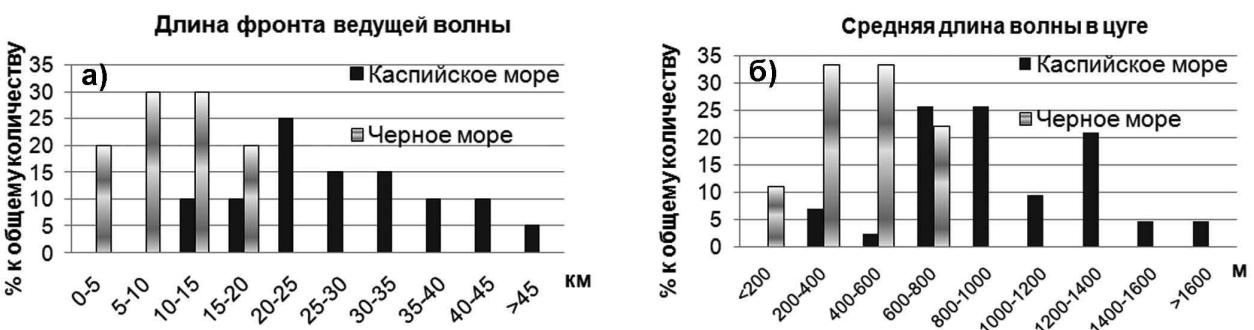


Рис. 7. Гистограммы распределения пространственных характеристик ППВВ для регионов Черного и Каспийского морей. а) длина фронта ведущей волны; б) средняя длина волны в цуге

ППВВ как в северо-восточной части Черного моря, так и в Каспийском море были идентифицированы на РЛИ, полученных при слабых и умеренных ветрах. Относительные вариации интенсивности радиолокационного сигнала, рассеянного на ППВВ, при различных скоростях приводного ветра для акваторий Черного и Каспийского морей представлены на рис. 8. (Использовались значения скорости ветра по данным наземных наблюдений метеорологических станций, ближе всего расположенных к району радиолокационной съемки.)

Наблюдаемые вариации интенсивности радиолокационного сигнала для ППВВ в Черном море как правило выше. Возможно, это связано с тем, что в условиях более мелкого, чем в Каспийском море [19] пикноклина, в приповерхностном слое здесь развиваются более сильные орбитальные течения, связанные с внутренними волнами. Колебания этих орбитальных течений модулируют мелкомасштабную компоненту поверхностного волнения, что в свою очередь приводит к модуляции сечения обратного рассеяния.

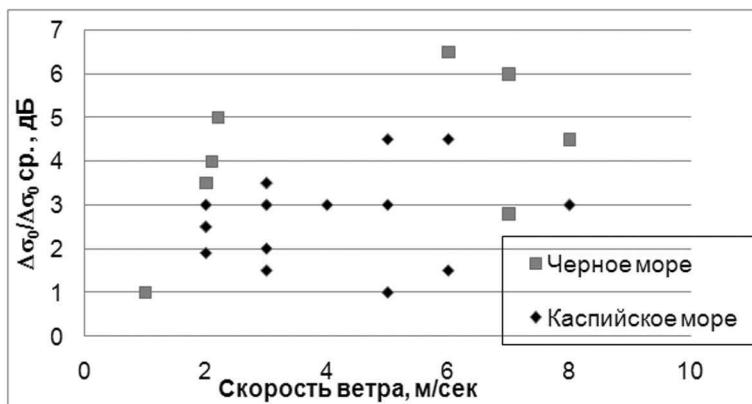


Рис. 8. Зависимость наблюдаемых вариаций интенсивности радиолокационного сигнала, рассеянного на поверхностных проявлениях внутренних волн, от скорости ветра для Каспийского и Черного морей

### Радиолокационные наблюдения внутренних волн в Балтийском море

В 2009 году была также предпринята попытка наблюдения пространственно-временной структуры внутренних волн при помощи спутниковых данных над акваторией центральной Балтики. Балтийское море представляет собой неглубокое шельфовое море, с преобладающими глубинами от 40 до 100 м. Колебания уровня, связанные с приливами, крайне невелики, их размер меняется от 4 см (Клайпеда) до 10 см (Финский залив). В данных спутниковой радиолокации морской поверхности нам удалось детектировать два случая ППВВ в тестовом регионе Балтийского моря. Их основные характеристики, восстановленные по радиолокационным данным, описаны в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики пакетов ВВ, выявленных на РЛИ Балтийского моря в 2009 г.

Дата и время, UTC	Координаты центра пакета	Глубина места, м	Максимальная длина волны, м	Длина фронта ведущей волны, м	Число волн в пакете
05/08/2009 09:03:28	54°57' 57" с.ш. 15°46'58" в.д.	70	900	25300	4
01/07/2009 09:03:50	60°47' 34"с.ш. 18°15'26" в.д.	50	875	16500	3

Следует отметить, что наблюдение ППВВ средствами спутниковой радиолокации в акватории Балтийского моря представляется затруднительным. Метеоусловия над Балтикой нестабильны. Усложнение гидрометеорологических условий – усиление или ослабление приводного ветра (шиль, ветровая тень), развитие волнения, цветение водорослей, выпадение интенсивных осадков, прохождение резких атмосферных и ветровых фронтов, появление внутренних волн атмосфере – все это затрудняет распознавание ППВВ. Мы полагаем, что основным фактором, затрудняющим уверенное детектирование ППВВ на спутниковых радиолокационных изображениях, являются активные атмосферные процессы, протекающие в этом регионе и приводящие к весьма значительным вариациям поля приповерхностного ветра. Безусловно, атмосфера прозрачна для РЛ-сигнала и явления, происходящие в ней, отражаются на РЛИ только как неоднородности в поле мелкомасштабного волнения морской поверхности. Пространственные вариации мелкомасштабных ветровых волн, связанные с аэродинамическими возмущениями, проявляются в РЛИ в виде пространственных неоднородностей в распределении интенсивности рассеянного сигнала. Наши наблюдения показали, что радиолокационные образы атмосферных явлений в этом регионе занимают большую часть площади практически каждого РЛИ, а обусловленные ими вариации интенсивности радиолокационного сигнала достаточно высоки, что зачастую приводят к невозможности идентификации ППВВ.

### **Обсуждение результатов и выводы**

На основе данных спутниковой радиолокации морской поверхности нами впервые получены статистически обоснованные данные о пространственной изменчивости поверхностных проявлений внутренних волн неприливной природы в Каспийском и Черном морях. Получены также единичные результаты относительно ППВВ в Балтийском море, и определены основные факторы, затрудняющие наблюдение поверхностных проявлений внутренних средствами спутниковой радиолокации в этом регионе.

Выявлено, что ВВ в бесприливных морях отличаются разнообразием источников их возбуждения.

Показано, что ВВ бесприливных морях менее интенсивны, чем ВВ, возбуждаемые приливными течениями на океаническом шельфе.

Отмечено наличие сезонной и межгодовой изменчивости как волновой активности, так и ее проявлений в РЛИ морской поверхности.

Подтверждена связь между встречаемостью поверхностных проявлений пакетов внутренних волн в радиолокационных изображениях и положением слоя скачка плотности.

Проведенные нами работы показали, что спутниковое радиолокационное зондирование морской поверхности является действенным средством наблюдения и изучения не только приливных внутренних волн в океане, но и внутренних волн в замкнутых бесприливных морях, существенным образом отличающихся по своим физико-географическим признакам.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 08-05-00831-а и 10-05-00428-а). Спутниковые радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством (ЕКА) в рамках проектов C1P.6342, Bear 2775 и C1P.1027.

### **Литература**

1. *Jakson C.R., Apel J.R.* On Atlas of internal solitary-like waves and their properties // Global Ocean Associates, 2002.
2. *Zeng, K., and W. Alpers.* Generation of internal solitary waves in the Sulu Sea and their refraction by bottom topography studied by ERS SAR imagery and a numerical model // Int. J. Remote Sensing, 2004. 25(7-8). P. 1277-1281.
3. *Alpers, W.* Theory of radar imaging of internal waves // Nature, 1985. 314. P. 245-247.
4. *Apel, J R., Byrne H.M., Proni, J.R., Chrnell R.L.* Observations of oceanic internal and surface waves Earth Resources Technology satellite // JGR, 1975.V.80, no 6, P. 865-881.
5. *Hsu M.-K., Liu A.K., Liu C.* A study of internal waves in the China Seas and Yellow Sea using SAR // Cont. Shelf. Res. 2000. V. 20. P. 389–410.
6. *Власенко В.И., Иванов В.А., Красин И.Г., Лисиченок А.Д.* Исследование интенсивных внутренних волн в шельфовой зоне Марокко // Морской гидрофизический журнал. 1995. 4. С. 44-62.
7. *Кузнецов А.С., Парамонов А.Н., Степанянц Ю.А.* Исследование уединенных внутренних волн в тропической зоне Западной Атлантики // Изв. АН СССР. ФАО. 1984. 20, 6. С. 840-846.
8. *DaSilva J.C., Ermakov S.A., Robinson I.S., Jeans D.R.G., Kijashko S.V.* Role of surface films in ERS SAR signatures of internal waves on the shelf. 1. Short-period internal waves // J. Geophys. Res. 1998. 103, C4. P. 8009-8031.
9. *Бондур В.Г.* Аэрокосмические методы в современной океанологии. В книге «Новые идеи в океанологии». М. Наука. 2004. С. 55 - 117.
10. *Власенко В.И., Иванов В.А., Красин И.Г., Лисиченок А.Д.* Генерация интенсивных короткопериодных внутренних волн в шельфовой зоне Крыма во время протекания прибрежного апвеллинга // Морск. гидрофиз. журн. 1997. № 3. С. 3–6.

11. Иванов В.А., Лисиченок А.Д. Внутренние волны в шельфовой зоне и у кромки шельфа в Черном море // Морской гидрофизический журнал. 2002. 6. С.67-73.
12. Иванов В.А., Лисиченок А.Д., Немировский М.С. Возбуждение короткопериодных внутренних волн пульсациями ветра // Изв. АН СССР. ФАО. 1987. 23, № 2. С.179-185.
13. A. A. Bidokhti and A Shekarbaghani. The role of internal waves in the formation of layered structure at exchange flows between two closed basins (Middle and southern basins of the Caspian sea) // Iranian Journal of Physics Research. 2006.Vol. 5. No. 4, P. 99-104.
14. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Сабинин К. Д. Проявление внутренних волн на морской поверхности в северо-восточной части Черного моря // Исследование Земли из космоса. 2009. 6. С. 49–55.
15. Митягина М. И., Лаврова О. Ю. Спутниковые наблюдения вихревых и волновых процессов в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря // Исследование Земли из космоса. 2009. 5. С. 72–79.
16. Научно-технический отчет по договору № 4/06 от 23.06.2006 г. между Институтом космических исследований РАН (ИКИ РАН) и Южным отделением Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН «Исследование гидрометеорологических и гидрологических условий полигона для обеспечения радиолокационных измерений в июнь-октябре 2006 г. в прибрежной зоне Черного моря (район Геленджика)»
17. Научно-технический отчет по договору № 2/07 от 15 августа 2007 г. между Институтом космических исследований РАН (ИКИ РАН) и Южным отделением Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН «Исследование гидрометеорологических и гидрофизических характеристик полигона для обеспечения дистанционных радиофизических экспериментов экспедиции 2007»
18. Научно-технический отчет по договору № 4/08 от 10 июня 2008 г. между Институтом космических исследований РАН (ИКИ РАН) и Южным отделением Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН «Проведение исследований гидрометеорологических и гидрофизических характеристик полигона для обеспечения дистанционных радиофизических экспериментов экспедиции 2008»
19. Мамедов Р.М. Гидрометеорологическая изменчивость и экогеографические проблемы Каспийского моря //Баку. «ЭЛМ». 2007 г. 433 с.

# **Radar survey of internal waves surface manifestations in non-tidal seas**

**M.I. Mityagina and O.Yu. Lavrova**

*Space Research Institute, Russian Academy of Sciences,  
117997, Moscow, Russia, Profsoyuznaya str. 84/32,  
E-mail: mityag@mx.iki.rssi.ru*

In present paper the satellite remote sensing data (obtained by Envisat asar, Terra and Aqua modis, and noaa avhrr instruments) is used to study generation and propagation of non-tidal internal waves in the Black, Caspian and Baltic Seas. . It is the first time when instances of surface manifestations of non-tidal internal waves were identified in ASAR images of the sea surface taken over different non-tidal seas. Main spatial characteristics of non-tidal internal waves as well as the areas of their origination for different seas are revealed from satellite radar imagery. A comparative analysis of characteristics of non-tidal IW observed by means of satellite radar imagery in the mentioned seas is performed to investigate occurrence, evolution and propagation of internal waves and their manifestation in radar imagery for different test areas. Seasonal and inter-annual variability of internal wave surface manifestations in radar imagery is documented. Possible factors leading to the generation of non-tidal internal waves are determined on the basis of the analysis of available satellite remote sensing data of the sea surface in microwave, visual and IR ranges complemented by contact measurements. The mechanisms of internal wave generation are suggested.

**Keywords:** sea surface, internal waves, satellite radar imagery, satellite monitoring