

## Районы генерации нелинейных внутренних волн в Баренцевом, Карском и Белом морях по данным спутниковых РСА измерений

И.Е. Козлов<sup>1</sup>, В.Н. Кудрявцев<sup>1</sup>, Е.В. Зубкова<sup>1</sup>, О.А. Атаджанова<sup>1</sup>, А.В. Зимин<sup>2</sup>,  
Д.А. Романенков<sup>2</sup>, Б. Шапрон<sup>1,3</sup>, А.Г. Мясоедов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Российский государственный гидрометеорологический университет  
Санкт-Петербург, 195196, Россия  
E-mail: igor.eko@gmail.com*

<sup>2</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Санкт-Петербург, 199053, Россия*

<sup>3</sup>*Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER), Brest, 29280, France*

Представлены первые обобщенные результаты наблюдений короткопериодных внутренних волн в Баренцевом, Карском и Белом морях по данным спутниковых измерений радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) ENVISAT ASAR в летне-осенний период 2007–2011 гг. Всего проанализировано 1354 спутниковых РСА изображения, в которых зарегистрировано 2107 случаев поверхностных проявлений нелинейных внутренних волн. Представлены детальные карты частоты встречаемости внутренних волн на РСА изображениях трех арктических морей, определены районы их устойчивой генерации и распространения. Выделены районы наблюдения крупномасштабных пакетов внутренних волн и даны их пространственные характеристики.

**Ключевые слова:** короткопериодные внутренние волны, районы генерации, спутниковые РСА изображения, Баренцево море, Карское море, Белое море.

Внутренние волны (ВВ), являясь важным элементом динамической структуры океана, влияют на его «среднее» состояние путем вертикального перемешивания, горизонтального и вертикального переноса импульса и энергии, а их изучение имеет важное прикладное значение для подводного мореплавания и решения акустических задач (Коняев, Сабинин, 1992). Актуальность их исследования в арктических морях определяется также интенсивным освоением минеральных ресурсов арктического шельфа и связанным с ним строительством (Поверхностные и внутренние волны..., 2002).

На сегодняшний день можно вполне утверждать, что спутниковые радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) являются основным и наиболее эффективным инструментом исследования океанских ВВ из космоса. Особую роль спутниковые РСА могут играть в арктическом регионе, где, согласно общим представлениям и результатам наблюдений, генерация короткопериодных ВВ является необходимым условием для отвода приливной энергии при разрушении внутреннего полусуточного прилива вблизи критической широты (Морозов, Писарев, 2002; Морозов, Пака, 2010; Vlasenko et al., 2003). Сложности численного моделирования и натурных измерений этого класса волн в масштабах целых морей позволяет с уверенностью утверждать, что задача определения «горячих точек» (Сабинин, Серебряный, 2007) в поле короткопериодных ВВ в арктических морях может быть отчасти решена на основе спутниковых РСА измерений. Результаты спутниковых наблюдений в дальнейшем могут

служить основой при планировании и проведении уточняющих натурных экспериментов по исследованию ВВ в арктических морях и определению их трехмерной структуры, а также служить в качестве экспериментальной базы для верификации высокоразрешающих численных моделей генерации и распространения нелинейных ВВ.

В данной работе впервые представлены обобщенные результаты наблюдений короткопериодных ВВ в Баренцевом, Карском и Белом морях на спутниковых радиолокационных изображениях (РЛИ) за летне-осенний период 2007-2011 гг. Всего проанализировано 1354 спутниковых РСА изображения ENVISAT ASAR, на которых зарегистрировано 2107 пакетов короткопериодных ВВ. Представлены детальные карты частоты встречаемости ВВ на РСА изображениях трех арктических морей, определены районы их устойчивой генерации и распространения. Выделены районы наблюдения крупномасштабных пакетов ВВ и даны их пространственные характеристики.

### **Результаты спутниковых РСА наблюдений внутренних волн**

Для определения основных районов генерации и распространения ВВ в Баренцевом, Карском и Белом морях были использованы спутниковые радиолокационные изображения (РЛИ) ENVISAT ASAR в С-диапазоне и режимах съемки Wide Swath Mode (ширина полосы обзора 400 км, пространственное разрешение  $150 \times 150$  м) и Image Mode Precise (100 км и  $30 \times 30$  м, соответственно) при различной поляризации РЛ сигнала.

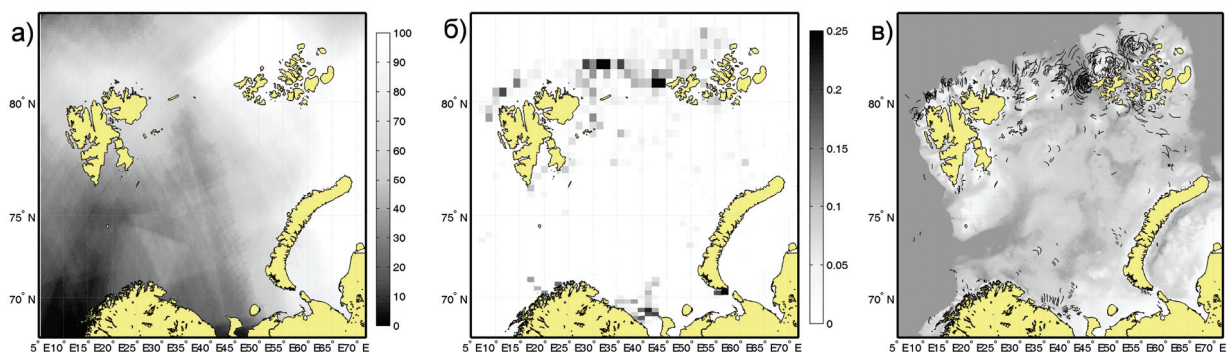
Анализ и идентификация ВВ на РСА изображениях проводились на основе программного обеспечения INTERWAVE (Мясоедов, Козлов, 2012) с июня по октябрь 2007 г. для Баренцева и Карского морей и с мая по сентябрь 2007-2011 гг. для Белого моря. Число наблюдаемых пакетов ВВ в разные месяцы было различным: минимальным в мае-июне, несколько выше в июле, максимальным в августе-сентябре и вновь уменьшалось во второй половине октября отчасти из-за увеличения скорости приводного ветра, определяющей возможность визуального обнаружения поверхностных проявлений ВВ в РЛИ. Очевидно, что количество наблюдаемых пакетов ВВ в разные месяцы определяется и одновременно отражает внутрисезонную изменчивость режима стратификации верхнего слоя моря, определяющего интенсивность генерации ВВ.

Как правило, проявления ВВ на РЛИ наблюдались в виде групп (пакетов) из нескольких волн с характерным уменьшением расстояния между ними в сторону тыла пакета. В ряде случаев по общей траектории последовательных пакетов ВВ было несложно определить примерные районы их генерации. Для выделения основных районов наблюдения ВВ была определена относительная частота их встречаемости на спутниковых РСА изображениях, пред-

ставляющая собой отношение суммарного количества зарегистрированных пакетов ВВ в каждом отдельном секторе моря (определялось по местоположению центра пакета ВВ) к общему количеству РСА наблюдений данного сектора. Частота встречаемости показывает, сколько проявлений ВВ в среднем приходится на одну РСА съемку района. Для определения этой величины были использованы все доступные РЛИ Баренцева, Карского и Белого морей, но при расчете были исключены районы, в которых покрытие РСА съемкой составило менее 10 РЛИ.

### *Баренцево море*

Для акватории Баренцева моря проанализировано 463 РСА изображения за летне-осенний период 2007 г., на которых выявлено 904 пакета ВВ. На *рис. 1 (а)* представлена карта покрытий акватории Баренцева моря спутниковой РСА съемкой. Из этой карты видно, что акватория моря покрыта неравномерно, максимальная плотность РСА наблюдений (более 60 РЛИ на 1 км<sup>2</sup> морской поверхности) приходится на восточный и северо-западный районы моря. В остальных районах моря плотность РСА съемки составила в среднем 30-50 РЛИ.



*Рис. 1. Спутниковые РСА наблюдения ВВ в Баренцевом море за летне-осенний период 2007 г. а) покрытие акватории моря спутниковой РСА съемкой ENVISAT ASAR; б) частота встречаемости ВВ на РСА изображениях; в) положение фронтов ведущих волн в пакетах ВВ*

Положения фронтов ведущих волн в пакетах ВВ показаны на *рис. 1 (в)*. Согласно представленной карте, ВВ на акватории моря распространены тоже неравномерно. Большинство пакетов ВВ зарегистрированы в области свала глубин от 50 до 200 м вдоль всей северной границы моря между арх. Шпицберген и арх. Земля-Франца Иосифа (ЗФИ). Согласно карте частоты встречаемости ВВ в РЛИ Баренцева моря (*рис. 1, б*) районы регулярной генерации ВВ находятся к западу от арх. ЗФИ (у западного мыса о. Земля Александры), к северо-востоку и северо-западу от арх. Шпицберген, на выходе из прол. Карские Ворота и в южной части моря вблизи границы с Воронкой Белого моря. В ряде районов ВВ встречались лишь на отдельных РСА изображениях, поэтому предположение о регулярности образования ВВ в них оста-

ется неподтвержденным. Более подробные сведения о характеристиках ВВ в Баренцевом море могут быть найдены в работах (Козлов и др., 2010; Козлов, 2014).

### *Карское море*

Для акватории Карского моря проанализировано 598 РСА изображений ENVISAT ASAR и зарегистрирован 701 пакет внутренних волн. Акватория моря покрыта достаточно равномерно, в среднем на  $1 \text{ км}^2$  морской поверхности приходится около 100-120 РЛИ (рис. 2, а), максимальное количество РСА наблюдений достигало 160 РЛИ в северо-восточной части моря.

Основные районы детектирования ВВ, характеризующиеся максимальной частотой встречаемости (рис. 2, в), находятся в проливе Карские Ворота и на выходе из него со стороны Карского моря, над юго-западной частью Новоземельской впадины и к северо-востоку от м. Желания (рис. 2, б). Пакеты ВВ также регистрировались в северо-восточной части моря – вблизи Центральной Карской возвышенности, между о. Визе и о. Ушакова, а также к северу от о. Шмидта ( $81,6^\circ$  с.ш.). Крайне редко проявления ВВ наблюдались в мелководных районах моря вблизи устьев рек Оби и Енисея.

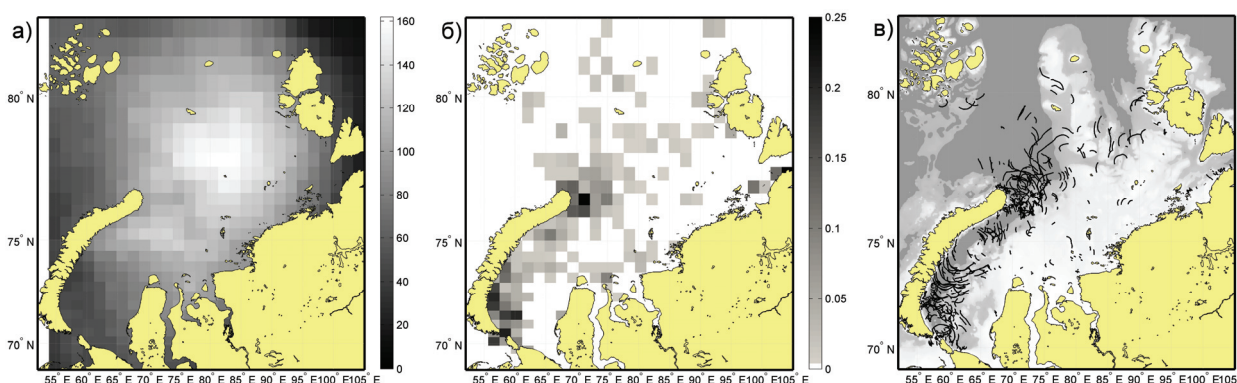


Рис. 2. Спутниковые РСА наблюдения ВВ в Карском море за летне-осенний период 2007 г. а) покрытие акватории моря спутниковой РСА съемкой; б) частота встречаемости ВВ на РСА изображениях; в) положение фронтов ведущих волн в пакетах ВВ

Крупные системы последовательных пакетов ВВ наблюдались над Новоземельской впадиной и к северо-востоку от м. Желания. В этих районах длина фронта ведущей волны в цугах достигала 200 км и более, а длина волны внутри цугов – 3-4 км. Цуги внутренних волн с максимальной длиной гребня 225 км зарегистрированы над южной частью желоба Святой Анны. Вблизи пролива Карские Ворота и в самом проливе, известном генерацией внутренних приливов большой амплитуды (Морозов и др., 2003; Morozov et al., 2008), наблюдается сложная картина распространения внутренних волн – ВВ направлены как из

пролива в Карское море, так и в сторону пролива из Карского моря. Детальный анализ характеристик ВВ в Карском море и сопоставление спутниковых РСА наблюдений с результатами исследований других авторов приводится в работе (Козлов, 2014; Козлов и др., 2015).

### Белое море

Для акватории Белого моря проведен анализ 293 РЛИ за летне-осенний период 2007-2011 гг., на которых выявлено 502 пакета ВВ. Акватория моря покрыта достаточно равномерно, в среднем на 1 км<sup>2</sup> морской поверхности приходится около 60 РСА изображений (рис. 3, а).

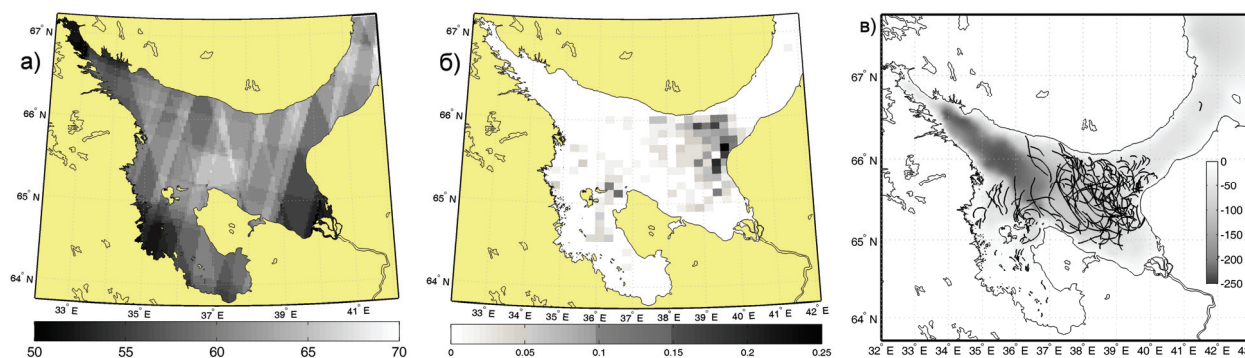


Рис. 3. Спутниковые РСА наблюдения внутренних волн в Белом море за летне-осенний период 2007-2011 гг. а) покрытие акватории моря спутниковой РСА съемкой; б) частота встречаемости ВВ на РСА изображениях; в) положение фронтов ведущих волн в пакетах ВВ

Согласно карте частоты встречаемости ВВ на рис. 3 (б), основным районом регулярной генерации короткопериодных внутренних волн в Белом море является область на границе Горла и Бассейна Белого моря. Как показано в работе (Kozlov et al., 2014), образующиеся в этом районе внутренние волны эволюционируют в крупномасштабные пакеты ВВ с длиной гребня до 200 км и могут распространяться без диссипации на расстояние около 200 км (рис. 3, в). При выходе на мелководный западный шельф Белого моря эти пакеты ВВ могут быть связаны с генерацией интенсивных ВВ больших амплитуд (до 17 м). На основе совместного анализа контактных и спутниковых наблюдений (Зимин и др., 2014; Родионов и др., 2014, Kozlov et al., 2014) высказано предположение, что основным источником генерации ВВ в юго-западной части Горла является интенсивная приливная динамика фронтальной зоны над неоднородным дном. Кроме этого, ВВ также регулярно наблюдались на выходе из Двинского залива и в проливе Восточная Соловецкая Салма к северо-востоку от арх. Соловецкие острова. Более детальный анализ характеристик ВВ в

Белом море на основе комплексного мониторинга с использованием спутниковых и контактных наблюдений представлен в работах (Зимин и др., 2014, 2015).

### *Крупномасштабные внутренние волны*

Как уже отмечалось выше, при анализе РСА изображений иногда наблюдались пакеты ВВ особенно крупных размеров – с длиной волны внутри пакетов 2-3 км (максимум 5,5 км), длиной фронта ведущей волны в пакетах более 100 км (максимум 225 км), расстоянием между последовательными пакетами (фазовой скоростью ВВ) 30-60 км (0,7-1,4 м/с) и площадью пакетов более 700 км<sup>2</sup>, что сопоставимо с горизонтальными размерами интенсивных короткопериодных внутренних волн больших амплитуд, зарегистрированных в других районах Мирового океана (Apel et al., 1985; da Silva et al., 2011; Jackson, 2004). Согласно нашим наблюдениям, такие пакеты ВВ могут распространяться от предполагаемых мест генерации на расстояния 200-500 км. Некоторые параметры и районы регистрации крупномасштабных ВВ для каждого из рассматриваемых морей представлены в *таблице*.

Таблица. Параметры крупномасштабных нелинейных внутренних волн в Баренцевом, Карском и Белом морях по данным спутниковых РСА наблюдений

| <i>Море</i>    | <i>Район моря<br/>(направление ВВ)</i>                         | <i>Длина<br/>волны<br/>(Макс)</i> | <i>Длина<br/>фронта<br/>(Макс)</i> | <i>Расст. между<br/>пакетами<br/>(Макс)</i> | <i>Фазовая<br/>скорость<br/>(Макс)</i> |
|----------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|
| Баренцево море | Ю и З арх. ЗФИ (Ю, З); С п-ова Канин (СЗ)                      | >1,5 км<br>(2,7 км)               | >100 км<br>(145 км)                | >30 км<br>(37 км)                           | >0,5 м/с<br>(0,7 м/с)                  |
| Карское море   | СВ м. Желания (З); Ю желоба Воронина (З)                       | >3 км<br>(5,5 км)                 | >150 км<br>(224 км)                | 45-60 км<br>(63 км)                         | >1 м/с<br>(1,4 м/с)                    |
| Белое море     | Бассейн Б. м.: – из ЮЗ Горла (З), из глуб. части Бассейна (ЮВ) | >2 км<br>(2,55 км)                | >120 км<br>(187 км)                | >30 км<br>(40 км)                           | >0,7 м/с<br>(0,9 м/с)                  |

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-05-31423 мол\_а, при поддержке Мега-гранта Правительства РФ (договор № 11.G34.31.0078), а также при поддержке Минобрнауки России по проекту RFMEFI61014X0006 (соглашение №14.610.21.0006, «Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в Западной Арктической зоне Российской Федерации») и в рамках проектной части государственного задания №5.2483.2014/К. Спутниковые данные ENVISAT ASAR были получены в рамках проекта ESA CAT-1 proposal (C1F-4483).

## Литература

1. *Зимин А.В., Козлов И.Е., Атаджанова О.А.* Комплексный мониторинг короткопериодных внутренних волн в Белом море // Исслед. Земли из космоса. 2015. № 3. (принята к печати).
2. *Зимин А.В., Романенков Д.А., Козлов И.Е., Шапрон Б., Родионов А.А., Атаджанова О.А., Мясоедов А.Г., Коллар Ф.* Короткопериодные внутренние волны в Белом море: оперативный подспутниковый эксперимент летом 2012 года // Исслед. Земли из космоса. 2014. № 3. С. 1–14.
3. *Козлов И.Е., Кудрявцев В.Н., Сандвен С.* Некоторые результаты исследования внутренних волн в Баренцевом море методами радиолокационного зондирования из космоса // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 86. С. 60–69.
4. *Козлов И.Е., Кудрявцев В.Н., Зубкова Е.В., Зимин А.В., Шапрон Б.* Характеристики поля короткопериодных внутренних волн в Карском море по данным спутниковых радиолокационных измерений // Исслед. Земли из космоса. 2015. № 3. (принята к печати).
5. *Козлов И.Е.* Исследование внутренних волн и фронтальных разделов в море методами радиолокационного зондирования из космоса: Дис. ... канд. физ.-мат. наук: 25.00.28. СПб., 2014. 158 с.
6. *Коняев К.В., Сабинин К.Д.* Волны внутри океана. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 272 с.
7. *Морозов Е.Г., Писарев С.В.* Внутренний прилив в арктических широтах (численные эксперименты) // Океанология. 2002. Т. 42. №2. С. 165–173.
8. *Морозов Е.Г., Пака В.Т.* Внутренние волны в высокоширотном бассейне // Океанология. 2010. Т. 50. №5. С. 1–7.
9. *Мясоедов А.Г., Козлов И.Е.* INTERWAVE: Определение характеристик океанских внутренних волн по их проявлениям в спутниковых радиолокационных снимках морской поверхности. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ №2012660637, 26.11.2012.
10. *Лавренов И.В., Морозов Е.Г.* Поверхностные и внутренние волны в арктических морях. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 360 с.
11. *Родионов А.А., Романенков Д.А., Зимин А.В., Козлов И.Е., Шапрон Б.* Субмезомасштабные структуры вод Белого моря и их динамика. Состояние и направления исследований // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2014. Т. 7. № 3. С. 29–41.
12. *Сабинин К.Д., Серебряный А.Н.* “Горячие точки” в поле внутренних волн в океане // Акустический журн. 2007. Т. 53. № 3. С. 410–436.
13. *Apel J.R., Holbrook J.R., Liu A.K., Tsai J.J.* The Sulu Sea internal soliton experiment // J. Phys. Oceanogr. 1985. Vol.15. No.12. P. 1625–1651.
14. *da Silva J.C.B., New A.L., Magalhães J.M.* On the structure and propagation of internal solitary waves generated at the Mascarene Plateau in the Indian Ocean // Deep-Sea Res. Part I. 2011. Vol. 58. P. 229–240.
15. *Jackson C.R.* An atlas of internal solitary-like waves and their properties. Alexandria: Global Ocean Associates, 2004. 560 p.
16. *Kozlov I., Romanenkov D., Zimin A., Chapron B.* SAR observing large-scale nonlinear internal waves in the White Sea // Remote Sens. Environ. 2014. Vol. 147. P. 99–107.
17. *Morozov E.G., Paka V.T., Bakhanov V.V.* Strong internal tides in the Kara Gates Strait // Geophys. Res. Lett. 2008. Vol. 35. No. L16603.
18. *Vlasenko V., Stashchuk N., Hutter K., Sabinin K.* Nonlinear internal waves forced by tides near the critical latitude // Deep Sea Res. Part I. 2003. Vol. 50. No. 2. P. 317–338.

## Generation sites of nonlinear internal waves in the Barents, Kara and White Seas from spaceborne SAR observations

**I.E. Kozlov<sup>1</sup>, V.N. Kudryavtsev<sup>1</sup>, E.V. Zubkova<sup>1</sup>, O.A. Atadjanova<sup>1</sup>, A.V. Zimin<sup>2</sup>,  
D.A. Romanenkov<sup>2</sup>, B. Chapron<sup>1,3</sup>, A.G. Myasoedov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg 195196, Russia  
E-mail: igor.eko@gmail.com*

<sup>2</sup>*P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Saint-Petersburg Branch  
Saint-Petersburg 199053, Russia*

<sup>3</sup>*Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER), Brest 29280, France*

In this paper we present first results of short-period internal wave (IW) observations in the Barents, Kara and White Seas based on satellite ENVISAT ASAR data for summer-autumn months in 2007–2011. Altogether 2107 IW packets were identified in 1354 SAR images. Detailed maps of IWs observational frequency in SAR images of three Arc-



tic seas helped to identify main IWs generation and propagation sites. We also point out the regions where large-scale IW packets are periodically observed, and provide estimates of their spatial characteristics.

**Keywords:** short-period internal waves, generation sites, SAR imaging, Barents Sea, Kara Sea, White Sea.

## References

1. Zimin A.V., Kozlov I.E., Atadzhanova O.A., Kompleksnyi monitoring korotkoperiodnykh vnutrennikh voln v Belom more (Integrated monitoring of short-period internal waves in the White sea), *Issled. Zemli iz kosmosa*, 2015, No. 3 (in print).
2. Zimin A.V., Romanenkov D.A., Kozlov I.E., Chapron B., Rodionov A.A., Atadzhanova O.A., Myasoedov A.G., Collar F., Korotkoperiodnye vnutrennie volny v Belom more: operativnyi podsputnikovyi eksperiment letom 2012 goda (Short-period internal waves in the White Sea: operational remote sensing experiment in summer 2012), *Issled. Zemli iz kosmosa*, 2014, No. 3, pp. 1–14.
3. Kozlov I.E., Kudryavtsev V.N., Sandven S., Nekotorye rezul'taty issledovaniya vnutrennikh voln v Barentsevom more metodami radiolokatsionnogo zondirovaniya iz kosmosa (Some results of internal waves study in the Barents Sea using satellite radar data), *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2010, No. 86, pp. 60–69.
4. Kozlov I.E., Kudryavtsev V.N., Zubkova E.V., Zimin A.V., Chapron B., Kharakteristiki polya korotkoperiodnykh vnutrennikh voln v Karskom more po dannym sputnikovyykh radiolokatsionnykh izmerenii (Characteristics of short-period internal waves in the Kara Sea based on satellite SAR data), *Issled. Zemli iz kosmosa*, 2015, No. 3 (in print).
5. Kozlov I.E., *Issledovanie vnutrennikh voln i frontal'nykh razdelov v more metodami radiolokatsionnogo zondirovaniya iz kosmosa*, Diss. cand. fiz.-mat. nauk (Study of internal waves and marine frontal zones with spaceborne radars), Saint Petersburg: RSHU, 2014, 158 p.
6. Konyaev K.V., Sabinin K.D., *Volny vnuti okeana* (Waves in the ocean), Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992, 272 p.
7. Morozov E.G., Pisarev S.V., Vnutrennii priliv v arkticheskikh shirotakh (chislennye eksperimenty) (Internal tides at the Arctic Latitudes (Numerical Experiments)), *Okeanologiya*, 2002, Vol. 42, No. 2, pp. 165–173.
8. Morozov E.G., Paka V.T., Vnutrennie volny v vysokoshirotnom basseine (Internal waves in a high latitude region), *Okeanologiya*, 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 1–7.
9. Myasoedov A.G., Kozlov I.E., INTERWAVE: Opredelenie kharakteristik okeanskikh vnutrennikh voln po ikh proyavleniyam v sputnikovyykh radiolokatsionnykh snimkakh morskoi poverkhnosti (INTERWAVE: Retrieval of characteristics of oceanic internal waves from their signatures in SAR images of ocean surface). *Russian Federation State Software Patent* No. 2012660637, 26.11.2012.
10. Lavrenov I.V., Morozov E.G., *Poverkhnostnye i vnutrennie volny v arkticheskikh moryakh* (Surface and internal waves in the Arctic seas), Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2002, 360 p.
11. Rodionov A.A., Romanenkov D.A., Zimin A.V., Kozlov I.E., Chapron B., Submezomasshtabnye struktury vod Belogo morya i ikh dinamika. Sostoyanie i napravleniya issledovaniy (Submesoscale processes and dynamics in the White Sea. State of the art and future research), *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*, 2014, Vol. 7, No. 3, pp. 29–41.
12. Sabinin K.D., Serebryanyi A.N. “Goryachie tochki” v pole vnutrennikh voln v okeane (“Hot Spots” in the field of internal waves in the ocean), *Akusticheskii zhurnal*, 2007, Vol. 53, No. 3, pp. 410–436.
13. Apel J.R., Holbrook J.R., Liu A.K., Tsai J.J., The Sulu Sea internal soliton experiment, *J. Phys. Oceanogr.*, 1985. Vol. 15, No. 12, pp. 1625–1651.
14. da Silva J.C.B., New A.L., Magalhães J.M., On the structure and propagation of internal solitary waves generated at the Mascarene Plateau in the Indian Ocean, *Deep-Sea Res. Part I*, 2011, Vol. 58, pp. 229–240.
15. Jackson C.R., *An atlas of internal solitary-like waves and their properties*, Alexandria: Global Ocean Associates, 2004, 560 p.
16. Kozlov I., Romanenkov D., Zimin A., Chapron B., SAR observing large-scale nonlinear internal waves in the White Sea, *Remote Sens. Environ.*, 2014, Vol. 147, pp. 99–107.
17. Morozov E.G., Paka V.T., Bakhanov V.V., Strong internal tides in the Kara Gates Strait, *Geophys. Res. Lett.*, 2008, Vol. 35, No. L16603.
18. Vlasenko V., Stashchuk N., Hutter K., Sabinin K., Nonlinear internal waves forced by tides near the critical latitude, *Deep Sea Res. Part I*, 2003, Vol. 50, No. 2, pp. 317–338.