

Изменчивость фронтальных разделов и короткопериодные внутренние волны в Баренцевом и Карском морях по данным спутниковых наблюдений за тёплый период 2007 года

Е. И. Свергун^{1,2}, А. В. Зимин¹, О. А. Атаджанова^{1,2},
А. А. Коник^{1,2}, Е. В. Зубкова², И. Е. Козлов^{2,3}

¹ *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, 117218, Россия*
E-mail: svergun@ocean.rshu.ru

² *Российский государственный гидрометеорологический университет*
Санкт-Петербург, 192007, Россия

³ *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия*

В работе путём обработки массива спутниковых данных исследуется влияние динамики фронтальных зон на распределение проявлений короткопериодных внутренних волн по акваториям Баренцева и Карского морей в безлёдный период года по месяцам. В Баренцевом море рассмотрены Прикромочная и Полярная фронтальные зоны. Они занимают до 8 % от площади моря. В среднем в области фронтальных зон регистрируется около 5 % от общего числа проявлений внутренних волн. В июле в Прикромочной фронтальной зоне их количество достигает 18 %. В Карском море рассмотрены Стоковая и Прикромочная фронтальные зоны, охватывающие до 10 % от общей площади моря. В среднем в областях фронтальных зон Карского моря наблюдается около 18 % от общего числа проявлений внутренних волн. При этом максимальное количество волн (33 %) наблюдается в августе в самой динамичной фронтальной зоне, связанной со стоком Оби и Енисея. Обсуждаются факторы, которые определяют особенности пространственно-временного распределения короткопериодных внутренних волн в областях фронтальной динамики.

Ключевые слова: внутренние волны, фронтальные зоны, спутниковые наблюдения, Баренцево море, Карское море

Одобрена к печати: 28.05.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-181-188

Введение

Использование данных спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) позволило впервые установить широкое распространение короткопериодных внутренних волн (КВВ) в Баренцевом и Карском морях (Козлов и др., 2014; Kozlov et al., 2015). В указанных работах основным источником генерации КВВ считается взаимодействие полусуточного внутреннего прилива с неоднородностями донной топографии. В частности, по данным моделирования в проливе Карские ворота (Mogozov et al., 2017) установлено, что внутренние волны генерируются за счёт взаимодействия течений баротропного прилива с поперечным хребтом через пролив. Внутренний прилив распространяется в обоих направлениях от хребта. При этом образуется внутренний бор, за которым следует пакет короткопериодных внутренних волн. Однако не все зарегистрированные со спутников проявления внутренних волн находятся в очагах взаимодействия прилива с неоднородностями рельефа дна и находят своё объяснение в рамках топографической модели генерации.

В то же время известно, что в Белом море, наряду с топографическим механизмом генерации, значительный вклад в образование КВВ вносит дезинтеграция приливных процессов в районах фронтальных зон (Зимин, 2016). В работе (Романенков и др., 2016) показано, что более половины случаев регистрации КВВ на акватории Белого моря приходится на области вблизи основных фронтов. В Белом море прослеживаются два типа фронтальной генерации внутренних волн. Во-первых, генерация вследствие разрушения бароклинного прилива

в зоне взаимодействия Горловского фронта с приливным потоком. В этом случае КВВ распространяются в виде крупных пакетов из Горла в юго-западном направлении и прослеживаются на расстоянии до 200 км от места их генерации (Kozlov et al., 2014). Во-вторых, генерация внутренних волн вблизи нестационарных и меандрирующих фронтов. В этом случае пакеты КВВ имеют меньшие размеры, а их генеральное направление выявить не удаётся.

Возможно, что механизмы генерации КВВ, характерные для фронтальных зон в условиях мелкозалегающего пикноклина (Лаврова и др., 2008; Романенков и др., 2016), могут эффективно работать в Баренцевом и Карском морях, где наблюдаются хорошо выраженные фронтальные зоны (Зацепин и др., 2010а; Ожигин и др., 2016). Но в вышеназванных морях отсутствуют сведения о влиянии фронтальной динамики на процессы генерации КВВ. Таким образом, цель данной работы — оценить возможный вклад фронтальной динамики в генерацию короткопериодных внутренних волн в Карском и Баренцевом морях путём сопоставления взаимного положения КВВ и фронтальных зон.

Описание исходных данных и методики их обработки

Для определения положения КВВ на акваториях исследуемых морей были использованы результаты анализа спутниковых радиолокационных изображений (РЛИ) ENVISAT ASAR с пространственным разрешением 150 и 25 м, снятые с июня по сентябрь 2007 г. Эти результаты были получены на основе обработки более 1000 РЛИ и включали около 1600 поверхностных проявлений КВВ на акватории указанных морей (Kozlov et al., 2015).

Ежедекадные координаты трёх фронтальных линий — Прикромочной (находит своё отражение на акваториях каждого из морей), Полярной (проявляется в Баренцевом море) и Стоковой (наблюдается в Карском море) — получены в результате обработки декадных полей температуры поверхности моря (ТПМ) и её градиента по данным продукта ассимиляции спутниковых данных Group for High Resolution Sea Surface Temperature, выбранным с сайта <https://www.ghrsst.org>. Результаты выделения фронтов приведены в работах (Коник и др., 2017а, б).

Методика количественного анализа связи между положением КВВ и фронтальных зон сводится к построению композитных карт, сочетающих их положения, и подсчёту поверхностных проявлений волн, попадающих в области фронтальных зон. Под областью фронтальных зон будем понимать площадь, охватываемую декадной изменчивостью фронтальных линий и её периферию шириной 50 км (ширина периферии принимается равной половине средней за сезон ширины фронтальных зон). Сопоставлено количество проявлений КВВ в указанной области с общим числом волн, наблюдавшихся в каждом море по месяцам, а также с шириной фронтальных зон.

Результаты и их обсуждение

В Баренцевом море регистрируются Прикромочная и Полярная фронтальные зоны, положение основных фронтов которых приведено на *рис. 1а* (см. с. 183). Первая из них, по данным работы (Коник и др., 2017а), связана с таянием льдов и расположена в северной части моря, прослеживаясь от архипелага Шпицберген до восточной границы Карского моря. Полярная фронтальная зона находится в центральной части Баренцева моря, является границей раздела баренцевоморских и атлантических вод и простирается от южной оконечности архипелага Шпицберген через всё море до его юго-восточной части (Ожигин и др., 2016). В Карском море регистрируются описанная выше Прикромочная и Стоковая фронтальные зоны, положение основных фронтов внутри которых показано на *рис. 1б*. Стоковая фронтальная зона является границей раздела вод Карского моря и модифицированных вод пресноводного материкового стока (Зацепин и др., 2010а) и наблюдается южнее архипелага Новая земля в центральной и юго-западной частях моря.

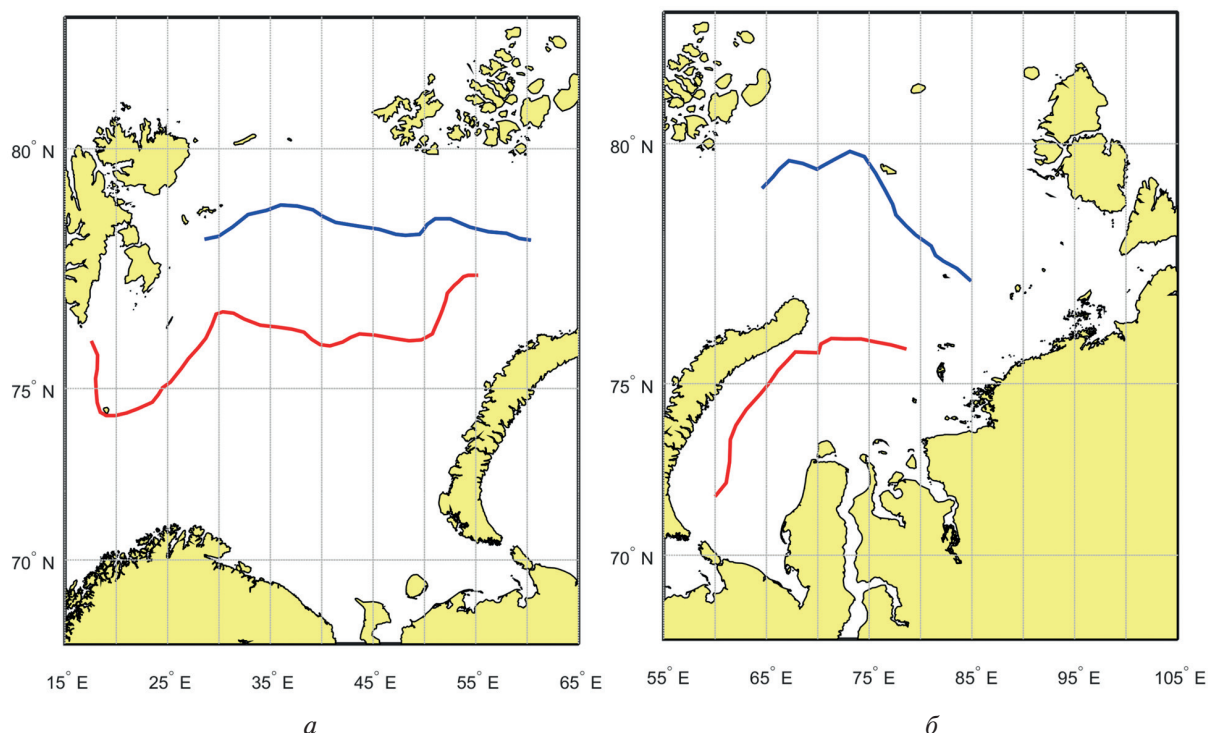


Рис. 1. Положение Полярного (красная линия) и Прикромочного (синяя линия) фронтов в Баренцевом море (а) по работе (Коник и др., 2017а); Стокового (красная линия) и Прикромочного (синяя линия) фронтов в Карском море (б) по работе (Коник и др., 2017б) в августе 2017 г.

В Баренцевом море распределение ширины фронтальных зон по декадам носит квазистационарный характер. Ширина Прикромочной фронтальной зоны в Баренцевом море колеблется от 70 до 120 км, составляя в среднем 85 км. Ширина Полярной фронтальной зоны изменяется в пределах от 100 до 180 км при среднем значении в 130 км. В Карском море ширина фронтальных зон максимальна в августе и плавно уменьшается к осеннему периоду. Значение ширины Прикромочной фронтальной зоны изменяется в пределах от 80 до 130 км, составляя в среднем 110 км. Ширина Стоковой фронтальной зоны меняется от 70 до 150 км, в среднем составляя 110 км. В Баренцевом море фронтальные зоны занимают до 7–8 % от общей площади моря. В Карском море площадь фронтальных зон достигает 9–10 % от площади моря.

В исследуемых морях КВВ на РЛИ чаще всего наблюдались в виде пакетов из нескольких волн (рис. 2а), но при подсчёте учитывался только лидирующий гребень волнового пакета. Всего в Баренцевом море было зарегистрировано 904 пакета внутренних волн. Распределение их количества по месяцам имеет выраженный сезонный ход с максимумом в августе и минимумом в июне. В Баренцевом море проявления КВВ регистрировались преимущественно вокруг архипелага Шпицберген и севернее Мурманского берега Кольского полуострова. В Карском море в общей сложности был зарегистрирован 701 пакет КВВ. Максимальное количество проявлений КВВ зарегистрировано в августе, минимальное количество — в июне. В Карском море проявления КВВ чаще всего встречались у северной оконечности Новой Земли, южнее Новой Земли и в проливе Карские ворота (рис. 2б).

На рис. 2б в качестве примера показана композитная карта положений КВВ и фронтальных линий в Баренцевом море. По результатам анализа композитных карт выявлено, что в Баренцевом море положение фронтальных зон частично совпадает с районами неоднородной топографии, вблизи которых наблюдается интенсивная генерация КВВ (Козлов и др., 2014). Этот факт не позволяет однозначно утверждать, что причиной генерации внутренних волн, наблюдаемых в области фронтальных зон, является взаимодействие фронтов с приливами. Тем не менее небольшая доля волн в области фронтальных зон не привязана к выраженным очагам топографической генерации внутренних волн, а, следовательно, может быть обусловлена фронтальным механизмом.

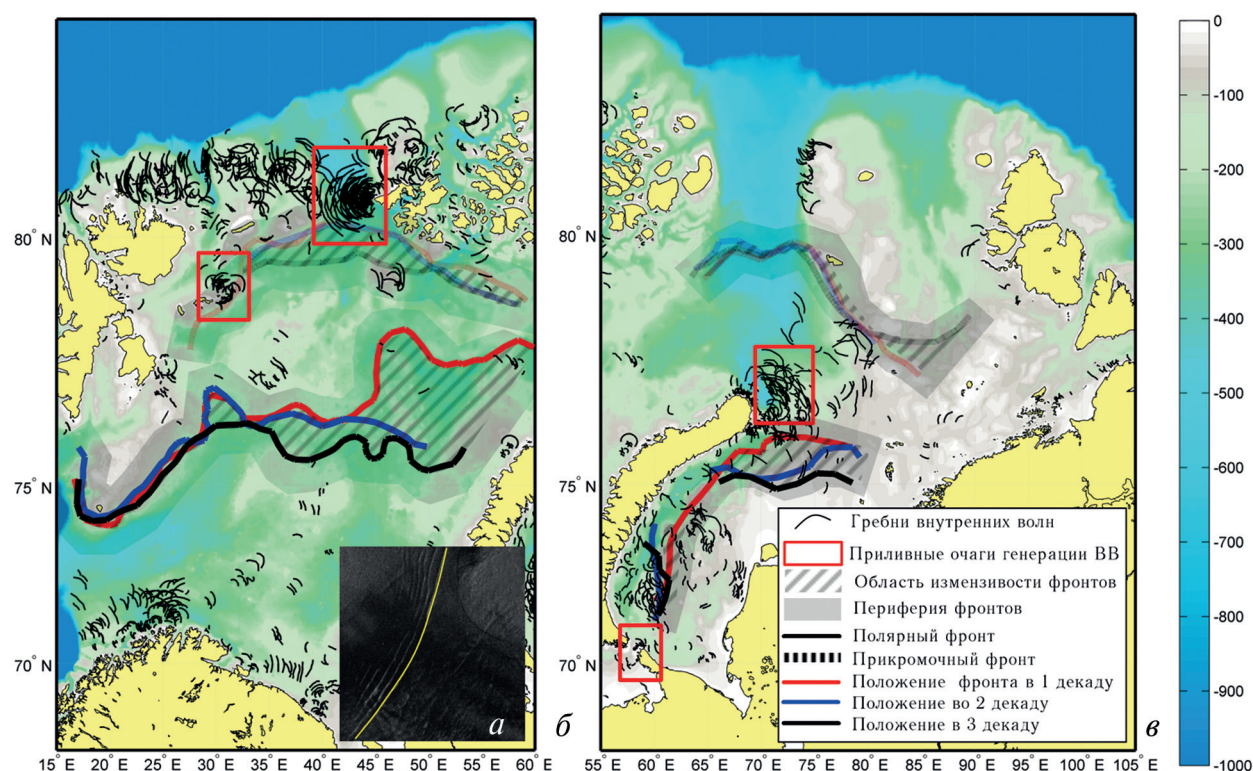


Рис. 2. Пример проявления КВВ на акватории Баренцева моря (жёлтой линией показано положение лидирующей волны в пакете) (а); композитная карта положений проявлений КВВ и фронтальных зон в Баренцевом море в августе 2007 г. (б); композитная карта положений проявлений КВВ и фронтальных зон в Карском море в августе 2007 г. (в)

Для Карского моря установлено, что в отдельные месяцы также характерно близкое расположение фронтальных зон к топографическим очагам генерации КВВ. Однако в юго-западной части Карского моря, где прослеживается Стоковый фронт, велико число проявлений КВВ, положение которых на первый взгляд не приурочено к свалам глубин (Козлов и др., 2014). Как видно на рис. 2в, пакеты внутренних волн хаотически расположены вблизи Стокового фронта, а их местоположение не привязано к свалам глубин или значительным неоднородностям донной топографии. Отметим, что Стоковая фронтальная зона довольно динамична, её положение по декадам может меняться на 50–100 км. По данным экспедиционных исследований, выполненных летом 2007 г. (Зацепин и др., 2010б), установлено, что толщина верхнего квазиоднородного слоя в данном районе составляет около 10 м, т.е. в 2007 г. в области Стокового фронта имел место мелко залегающий пикноклин. Воздействие на него различных внешних факторов (приливов, ветра) способствует генерации КВВ. Вероятно, в данном случае работает механизм, при котором КВВ генерируются при меандрировании фронта в условиях мелкого и резкого пикноклина, образованного при растекании пресного стока рек Оби и Енисея. На южной границе стоковой фронтальной зоны в области её стабильного расположения наблюдаются повторяющиеся пакеты волн, распространяющиеся в западном направлении. Эти пакеты имеют чёткое направление от фронтальной области, а регулярность их появления в этом районе, по-видимому, вызвана разрушением бароклинного прилива непосредственно в зоне взаимодействия фронта с приливным потоком (Романенков и др., 2016).

На рис. 3 (см. с. 185) показано распределение количества КВВ в области фронтальных зон в процентах по месяцам. В Баренцевом море наибольшее число волн (13 % от числа наблюдений за месяц) в области Полярной фронтальной зоны наблюдается в июле. В это же время наибольшее число волн (17 %) регистрируется и в области Прикромочной фронтальной зоны. В среднем по морю за весь период наблюдений в области фронтальных зон встречается около 5 % проявлений КВВ.

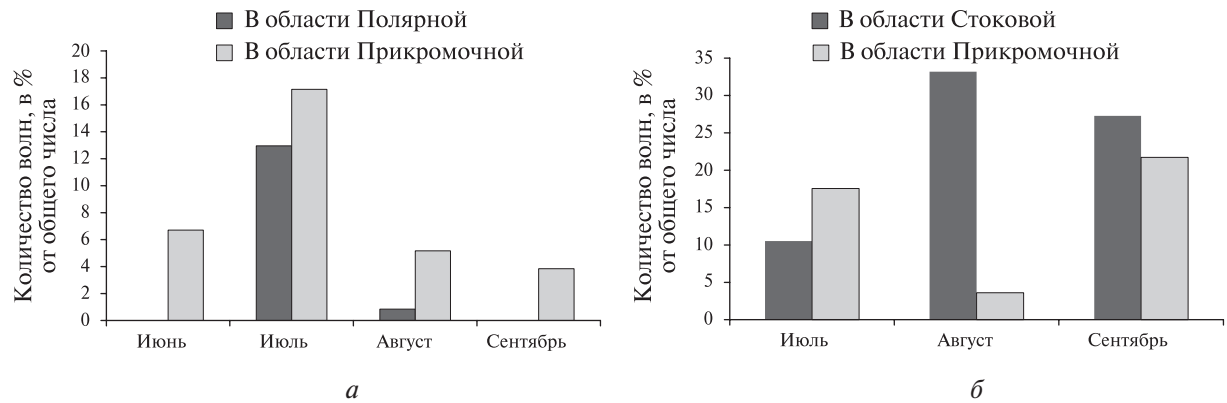


Рис. 3. Распределение количества внутренних волн в области фронтальных зон, в процентах по месяцам: *а* — в Баренцевом море; *б* — в Карском море

В Карском море наибольшее число волн регистрируется в области Стоковой фронтальной зоны (34 %) в августе. В области Прикромочной фронтальной зоны максимально наблюдается 21 % поверхностных проявлений КВВ. В среднем за весь период наблюдений в области фронтальных зон наблюдается 18 % проявлений КВВ.

Таким образом, в Баренцевом море большинство проявлений внутренних волн находится вне области фронтальных зон, они не связаны с фронтальной динамикой. В Карском море наблюдается иная картина: 25–45 % КВВ регистрируется в области фронтальных зон. Например, на область фронтальных зон Карского моря в августе – сентябре 2007 г. приходится более 40 % зарегистрированных проявлений КВВ. Композитные карты за указанный период показывают, что КВВ в области Стоковой фронтальной зоны не приурочены к топографическим очагам генерации, т. е. наряду с топографическим приливным механизмом, описанным в (Козлов и др., 2014), в Карском море существенный вклад в генерацию КВВ вносят процессы меандрирования фронтов.

Заключение

На основе анализа большого массива спутниковых данных выполнена оценка влияния фронтальных зон Баренцева и Карского моря на генерацию КВВ. В Баренцевом море наибольшее число волн наблюдается в области Прикромочной фронтальной зоны в июле в условиях её наибольшей динамики. Однако положение фронтальных зон совпадает с очагами топографической генерации КВВ, поэтому нельзя утверждать, что образование волн в этих районах связано с фронтальной динамикой. На этом основании сделан вывод, что роль фронтальных зон при генерации КВВ в Баренцевом море является незначительной.

В Карском море наибольшее число проявлений КВВ регистрируется в области Стокового фронта в августе, а положение волн не привязано к выраженным топографическим очагам генерации. Возможными источниками КВВ могут являться движущиеся и/или подверженные инерционным колебаниям фронтальные меандры или разрушение бароклинного прилива непосредственно в зоне взаимодействия фронта с приливным потоком. Таким образом, представляется, что в условиях мелкого и обострённого пикноклина в области Стоковой фронтальной зоны Карского моря процессы фронтальной динамики могут вносить значительный вклад в генерацию КВВ.

Работа Зимина А.В., Отаджановой О.А., Коники А.А. по изучению фронтальных зон на акваториях Баренцева и Карского морей выполнена в рамках государственного задания по теме № 0149-2018-0014 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ». Работа Козлова И.Е.

и Зубковой Е. В. по анализу поверхностных проявлений КВВ на акваториях Баренцева и Карского морей выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-35-60072 мол_а_дк и гранта РНФ № 17-77-30019. Работа Свергун Е. И. и Зимина А. В. по сопоставлению положений фронтальных зон и КВВ на акваториях Баренцева и Карского морей выполнена при поддержке гранта РНФ «Мировой океан в XXI в.: климат, экосистемы, ресурсы, катастрофы» № 14-50-00095.

Литература

1. Зацепин А. Г., Завьялов П. О., Кременецкий В. В., Поялков С. Г., Соловьев Д. М. (2010а) Поверхностный опресненный слой в Карском море // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 698–708.
2. Зацепин А. Г., Морозов Е. Г., Пака В. Т., Демидов А. Н., Кондрашов А. А., Корж А. О., Кременецкий В. В., Поялков С. Г., Соловьев Д. М. (2010б) Циркуляция вод в юго-западной части Карского моря в сентябре 2007 г. // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 683–697.
3. Зимин А. В. Закономерности субмезомасштабных процессов и явлений в Белом море // *Ученые записки РГГМУ*. 2016. № 44. С. 104–120.
4. Козлов И. Е., Кудрявцев В. Н., Зубкова Е. В., Атаджанова О. А., Зимин А. В., Романенков Д. А., Шапрон Б., Мясоедов А. Г. Районы генерации нелинейных внутренних волн в Баренцевом, Карском и Белом морях по данным спутниковых РСА измерений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2014. Т. 11. № 4. С. 338–345.
5. Коник А. А., Атаджанова О. А., Зимин А. В. (2017а) Изменчивость характеристик температуры поверхности моря в районе фронтальных зон Карского моря за 2007 и 2011 годы // 15-я Всероссийская открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: сб. тез. Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2017. С. 261.
6. Коник А. А., Атаджанова О. А., Зимин А. В. (2017б) Количественные оценки изменчивости основных фронтальных зон Баренцева моря в 2007 и 2011 годах по данным температуры поверхности моря // 15-я Всероссийская открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: сб. тез. Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2017. С. 262.
7. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Сабинин К. Д. Возможные механизмы генерации внутренних волн в северо-восточной части Черного моря // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2008. Т. 2. № 5. С. 128–136.
8. Ожигин В. К., Ившин В. А., Трофимов А. Г., Карсаков А. Л., Анциферов М. Ю. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость. Мурманск: ПИНРО, 2016. 260 с.
9. Романенков Д. А., Зимин А. В., Родионов А. А., Атаджанова О. А., Козлов И. Е. Изменчивость фронтальных разделов и особенности мезомасштабной динамики вод Белого моря // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2016. Т. 9. № 1. С. 59–72.
10. Kozlov I., Romanenkov D., Zimin A., Chapron B. SAR observing large-scale nonlinear internal waves in the White Sea // *Remote Sensing of Environment*. 2014. V. 147. P. 99–107. DOI: 10.1016/j.rse.2014.02.017.
11. Kozlov I., Kudryavtsev V., Zubkova E., Atadzhanova O., Zimin A., Romanenkov D., Myasoedov A., Chapron B. SAR observations of internal waves in the Russian Arctic seas // 2015 IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS). Milan. 2015. P. 947–949. DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7325923.
12. Morozov E. G., Kozlov I. E., Shchuka S. A., Frey D. I. Internal tide in the Kara Gates Strait // *Oceanology*. 2017. V. 57. No. 1. P. 8–18. DOI: 10.1134/S0001437017010106.

Variability of frontal zones and short-period internal waves in the Barents and Kara Seas from satellite observations during the warm period of 2007

E. I. Svergun^{1,2}, A. V. Zimin¹, O. A. Atadzhanova^{1,2},
A. A. Konik^{1,2}, E. V. Zubkova², I. E. Kozlov^{2,3}

¹ P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow 117218, Russia
E-mail: svergun@ocean.rshu.ru

² Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg 192007, Russia

³ Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia

In this work we analyze the influence of frontal zone dynamics on the generation and distribution of short-period internal waves (SIWs) in the Barents and the Kara Seas during an ice-free season based on analysis of satellite data. In the Barents Sea, marginal ice frontal zone and polar front zone are considered. They occupy up to 8 % of the total sea area. As shown, only 5 % of the total number of internal wave manifestations were recorded inside these frontal zones. In July, their number reaches 18 % in the marginal ice frontal zone. In the Kara Sea, estuarine and marginal ice frontal zones are considered, covering areas up to 10 % of the entire sea. On average, 18 % of the total number of SIW manifestations were observed inside frontal zone regions of the Kara Sea. The maximum number of internal waves (33 %) is observed in August in the most dynamic estuarine frontal zone, associated with the Ob and the Yenisei river runoff. Factors that determine the features of the space-time distribution of short-period internal waves in the regions of pronounced frontal dynamics are discussed.

Keywords: internal waves, frontal zones, satellite observations, the Barents Sea, the Kara Sea

Accepted: 28.05.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-181-188

References

1. Zatsepin A. G., Zav'yalov P. O., Kremenetskii V. V., Poyarkov S. G., Solov'ev D. M., Poverkhnostnyi opresnennyi sloi v Karskom more (Desalinated surface layer in the Kara Sea), *Okeanologiya*, 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 698–708.
2. Zatsepin A. G., Morozov E. G., Paka V. T., Demidov A. N., Kondrashov A. A., Korzh A. O., Kremenetskii V. V., Poyarkov S. G., Solov'ev D. M., Tsirkulyatsiya vod v yugo-zapadnoi chasti Karskogo morya v sentyabre 2007 g. (Water circulation in the southwestern part of the Kara Sea in September 2007), *Okeanologiya*, 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 683–697.
3. Zimin A. V., Zakonomernosti submezomasshtabnykh protsessov i yavlenii v Belom more (Regularities of submesoscale processes and phenomena in the White Sea), *Uchenye zapiski RGGMU*, 2016, No. 44, pp. 104–120.
4. Kozlov I. E., Kudryavtsev V. N., Zubkova E. V., Atadzhanova O. A., Zimin A. V., Romanenkov D. A., Shapron B., Myasoedov A. G., Raiony generatsii nelineinykh vnutrennikh voln v Barentsevom, Karskom i Belom moryakh po dannym sputnikovykh RSA izmerenii (Areas of generation of nonlinear internal waves in the Barents, Kara and White Seas from data of satellite SAR measurements), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 4, pp. 338–345.
5. Konik A. A., Atadzhanova O. A., Zimin A. V., Izmenchivost' kharakteristik temperatury poverkhnosti morya v raione frontal'nykh zon Karskogo morya za 2007 i 2011 gody (Variability of characteristics of sea surface temperature in the area of frontal zones in the Kara Sea in 2007 and 2011), *XV Vserossiiskaya otkrytaya konferentsiya "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (XV All-Russia Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Book of Abstracts, Moscow, IKI RAN, 13–17 November 2017, p. 261.
6. Konik A. A., Atadzhanova O. A., Zimin A. V., Kolichestvennyye otsenki izmenchivosti osnovnykh frontal'nykh zon Barentseva morya v 2007 i 2011 godakh po dannym temperatury poverkhnosti morya (Quantitative evaluation of the variability of the main frontal zones of the Barents Sea in 2007 and 2011,

- according to the sea surface temperature), *XV Vserossiiskaya otkrytaya konferentsiya "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (XV All-Russia Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Book of Abstracts, Moscow, IKI RAN, 13–17 November 2017, p. 262.
7. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Sabinin K. D., Vozmozhnye mekhanizmy generatsii vnutrennikh voln v severo-vostochnoi chasti Chernogo morya (Possible generation mechanisms of internal waves in the North-Eastern part of the Black Sea), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, Vol. 2, No. 5, pp. 128–136.
 8. Ozhigin V. K., Ivshin V. A., Trofimov A. G., Karsakov A. L., Antsiferov M. Yu., *Vody Barentseva morya: struktura, tsirkulyatsiya, izmenchivost'* (Waters of the Barents Sea: structure, circulation and variability), Murmansk: PINRO, 2016, 260 p.
 9. Romanenkov D. A., Zimin A. V., Rodionov A. A., Atadzhanova O. A., Kozlov I. E., *Izmenchivost' frontal'nykh razdelov i osobennosti mezomasshtabnoi dinamiki vod Belogo morya* (The variability of the frontal sections and features of the mesoscale dynamics of waters of the White sea), *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*, 2016, Vol. 9, No. 1, pp. 59–72.
 10. Kozlov I., Romanenkov D., Zimin A., Chapron B., SAR observing large-scale nonlinear internal waves in the White Sea, *Remote Sensing of Environment*, 2014, Vol. 147, pp. 99–107, DOI: 10.1016/j.rse.2014.02.017.
 11. Kozlov I., Kudryavtsev V., Zubkova E., Atadzhanova O., Zimin A., Romanenkov D., Myasoedov A., Chapron B., SAR observations of internal waves in the Russian Arctic seas, *2015 IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS)*, Milan, 2015, pp. 947–949, DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7325923.
 12. Morozov E. G., Kozlov I. E., Shchuka S. A., Frey D. I., Internal tide in the Kara Gates Strait, *Oceanology*, 2017, Vol. 57, No. 1, pp. 8–18, DOI: 10.1134/S0001437017010106.