

Короткопериодные внутренние волны Баренцева моря в теплый период 2019 года по данным радиолокатора с синтезированной апертурой Sentinel-1

Свергун Егор Игоревич
Зимин Алексей Вадимович



Санкт-Петербургский
государственный
университет

Введение

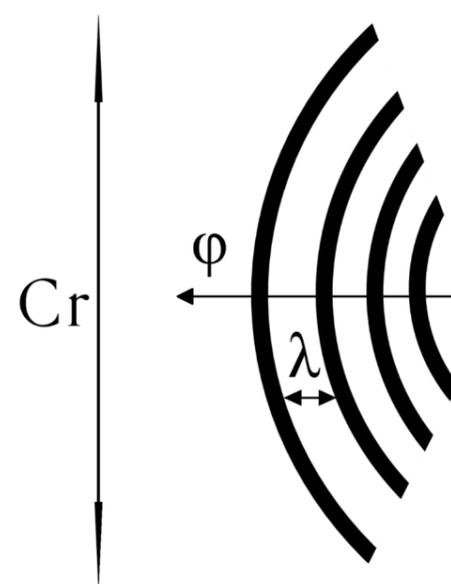
Короткопериодные внутренние волны (КВВ) с частотами колебаний близкими к частоте плавучести широко распространены в шельфовых районах Мирового океана. Их длины могут составлять от сотен метров до нескольких километров, а периоды - от единиц до десятков минут. КВВ часто обладают значительной интенсивностью (характеризующейся нелинейностью и высотой более 10 метров) (Сабинин и др., 2004). Считается, что КВВ образуются благодаря взаимодействию длинных (приливных) внутренних волн с течениями, неровностями дна и т.д. При этом сток приливной энергии в Мировом океане происходит не по всей его акватории, а в так называемых «горячих точках» (Sabinin et. al, 1990). По аналогии с поверхностными волнами, такие районы называют областями «внутренних штормов».

Проблема источников генерации КВВ в Баренцевом море активно изучается при помощи данных судовых измерений и спутниковых наблюдений. Детальное обобщение радиолокационных наблюдений за поверхностными проявлениями КВВ Баренцева моря было выполнено в работе (Козлов и др., 2014). Были выделены районы регулярной встречаемости проявлений ВВ, которые находятся к западу от архипелага Земля Франца-Иосифа, к северо-востоку и северо-западу от архипелага Шпицберген, на выходе из пролива Карские Ворота и у Мурманского берега Кольского полуострова. В работе было показано, что особенности рельефа дна и приливные течения играют важную роль в генерации КВВ. Работа (Свергун и др., 2018) демонстрирует, что не все зарегистрированные со спутников проявления внутренних волн находятся в очагах взаимодействия прилива с неоднородностями рельефа дна, и могут генерироваться при взаимодействии пикноклина с фронтальными зонами.

В указанных выше работах исследования проводились с использованием спутниковых данных полученных более десяти лет назад, что достаточно много в современных условиях меняющегося климата Арктики. В настоящей работе представлены промежуточные результаты исследования КВВ Баренцева моря в их связи с крупномасштабными процессами и обсуждаются физико-географические особенности поля КВВ в летний период 2019 года.

Материалы и методы

Для определения характеристик КВВ на акватории Баренцева моря используются изображения Sentinel 1 (A, B) в С-диапазоне с режимом съемки EW с разрешением 40 метров, охватывающие период с 1 июня 2019 года по 31 августа 2019 года. Всего за рассматриваемый период используется 943 изображения, из них приходится на июнь - 266, на июль - 335, на август - 342. Для поверхностных проявлений КВВ определялись: положение проявления, длина волны, длина дуги лидирующего гребня в пакете, направление распространения, количество волн в пакете. Характеристики на изображениях Sentinel 1 (A, B) определялись в ПО ESA SNAP.



C_r – длина лидирующего гребня,
 λ – длина волны,
 ϕ – направление распространения

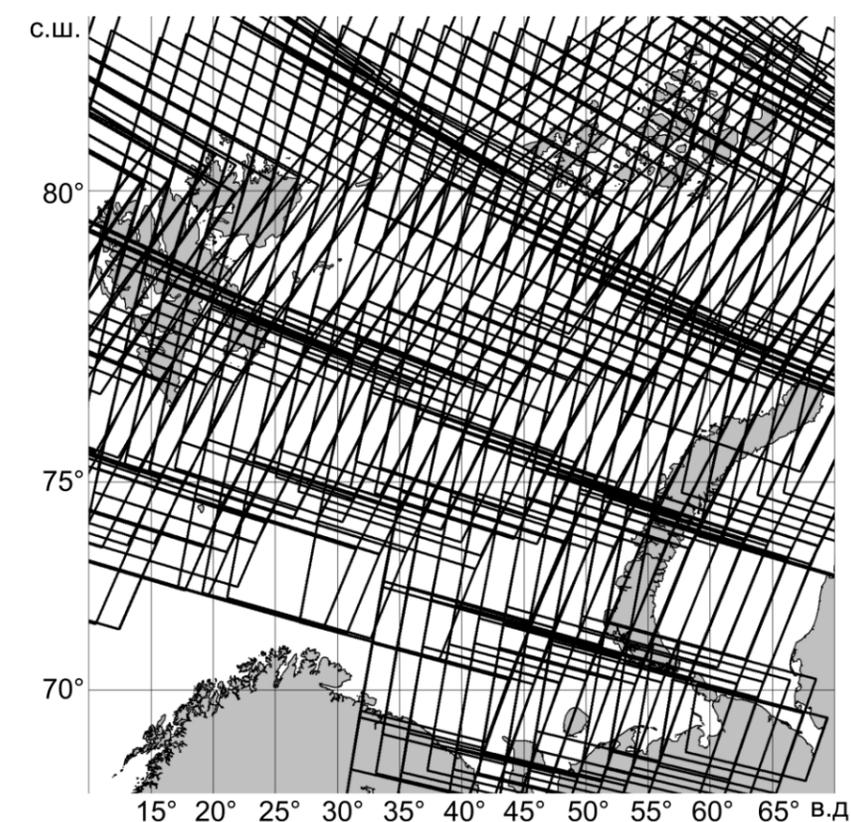
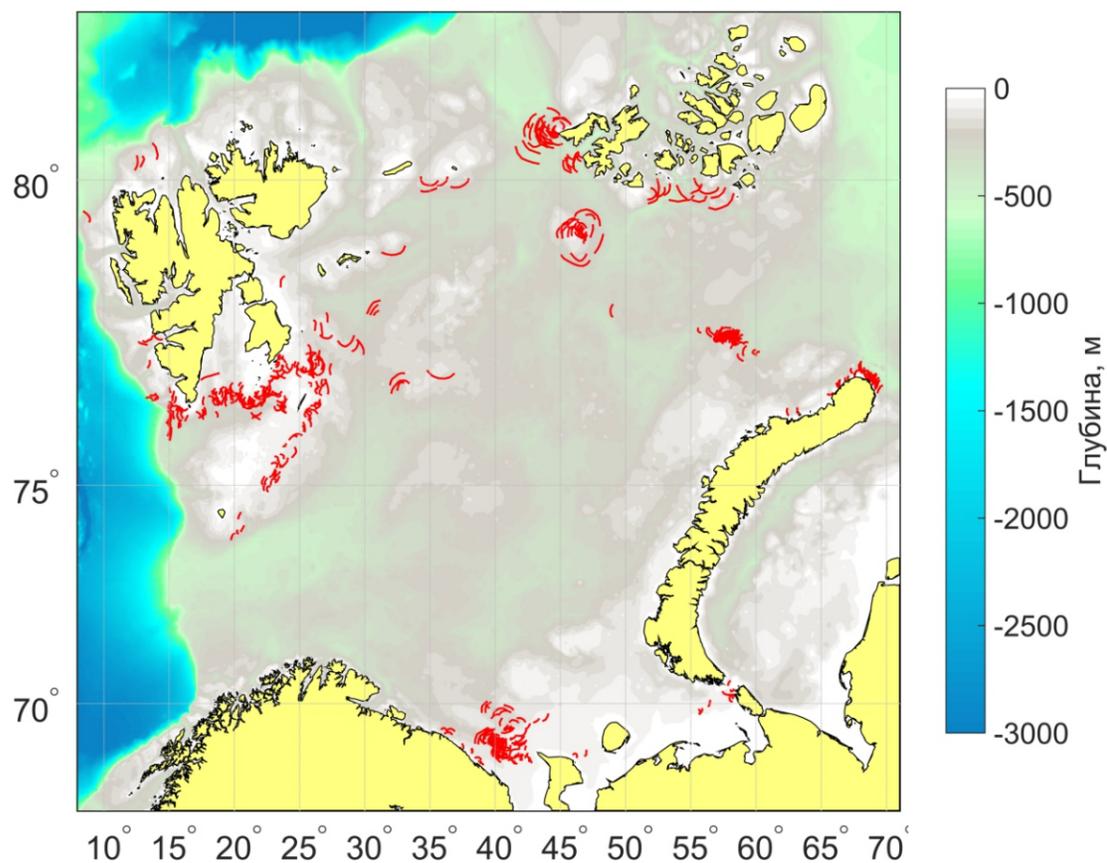


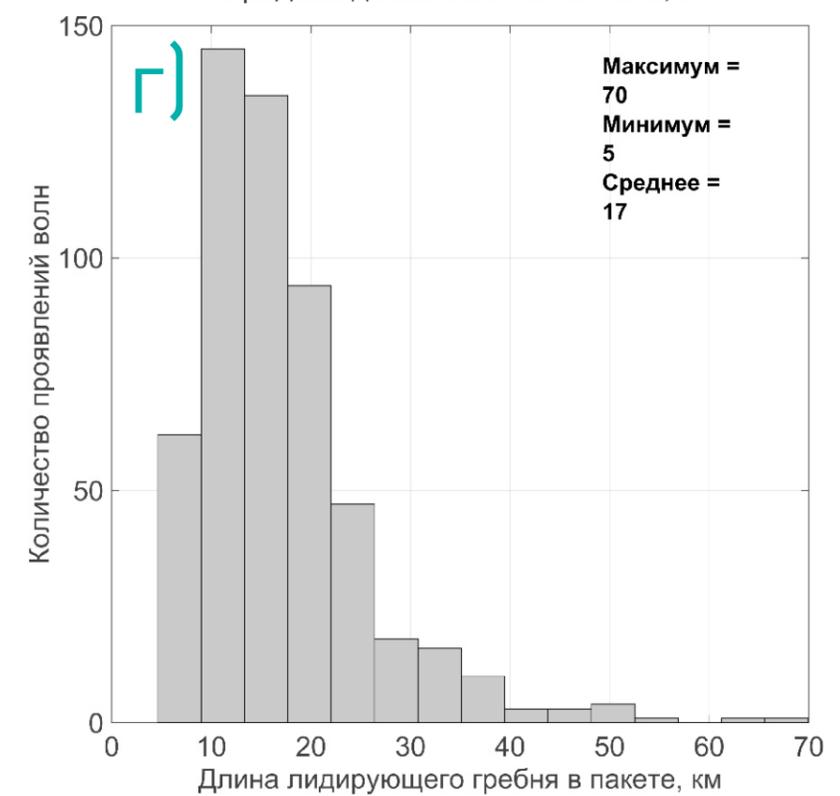
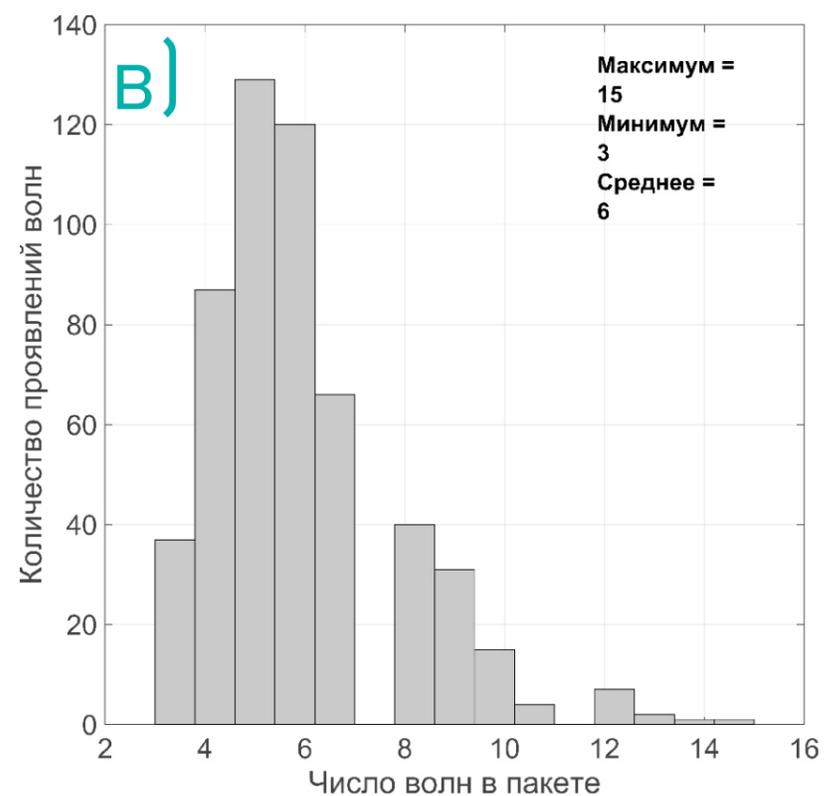
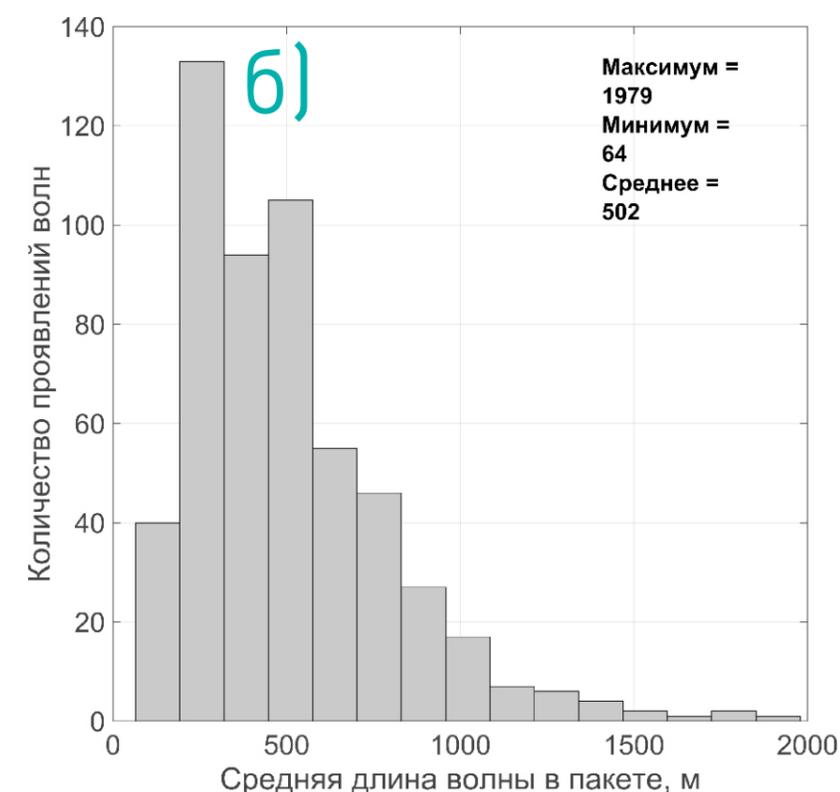
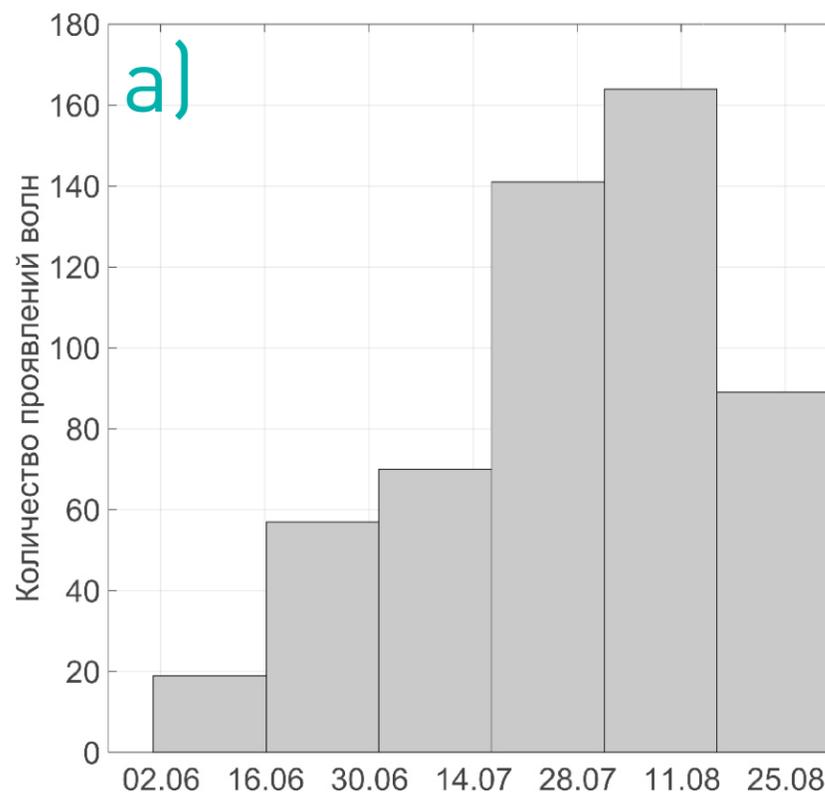
Схема покрытия Баренцева моря спутниковыми изображениями

Результаты работы

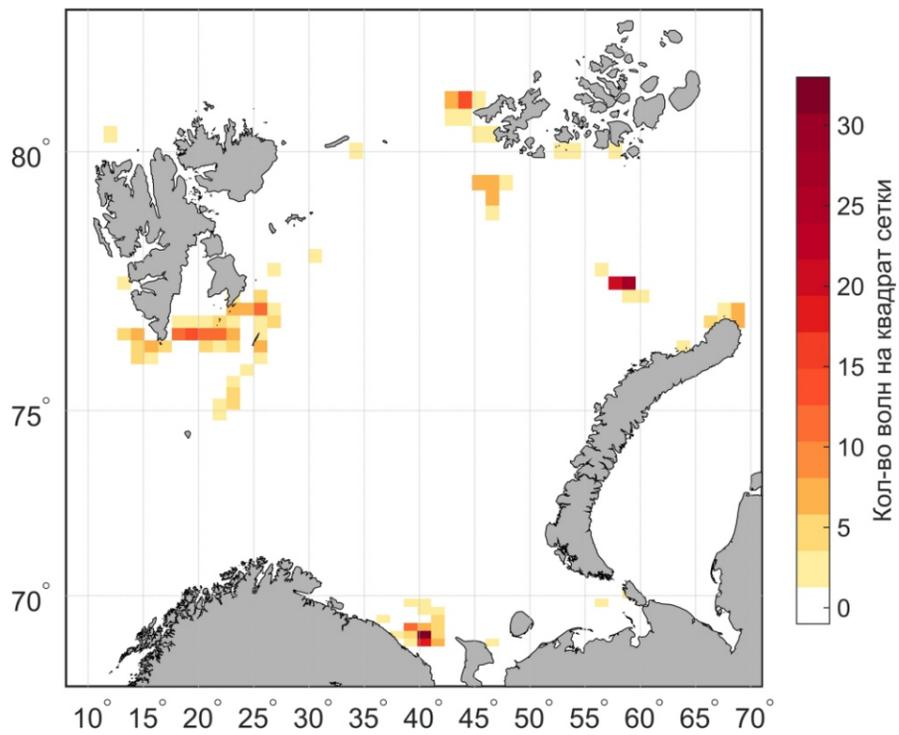


Карта положения лидирующих гребней проявлений КВВ

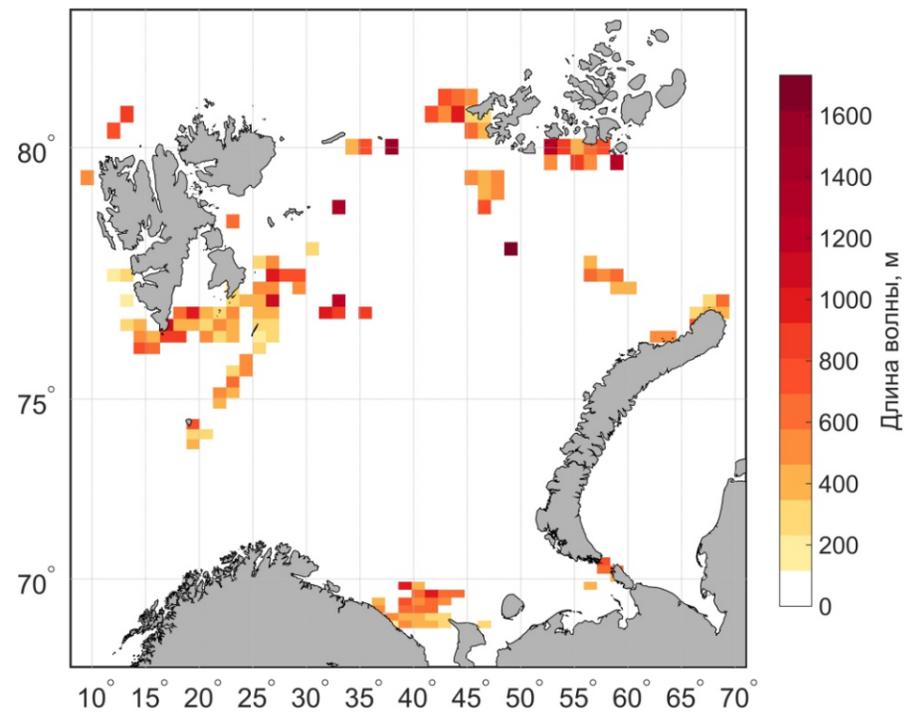
В общей сложности за теплый период 2019 года на проанализированных РЛИ зарегистрирован 541 проявление пакетов КВВ с количеством волн в пакете от 3 до 15 (в среднем 6) с длиной волны от 70 до 1900 метров при среднем значении в 500 метров. Длина лидирующего гребня в пакетах варьируется от 5 до 70 км, в среднем составляя 17 км. Наибольшее число волн регистрируется в конце июля - начале августа. Волны сосредоточены у Мурманского берега Кольского полуострова, южнее архипелага Шпицберген, вокруг северной оконечности архипелага Новая Земля, а также западнее архипелага Земля Франца Иосифа. В работе (Козлов и др., 2014) указывается, что в 2007 году на 463 изображениях было обнаружено 904 пакета КВВ, что практически в 2 раза больше чем в 2019 году. Это вероятно связано с тем, что по данным (<http://www.barentsportal.com/barentsportal/index.php/en/abiotic-components/191-3-1-meteorological-and-oceanographic-conditions/804-ice-conditions>), аномалия ледовитости Баренцева моря в 2007 году составляла -15%, а в 2019 году -10%, то есть ледовитость в 2019 году была больше, чем в 2007.



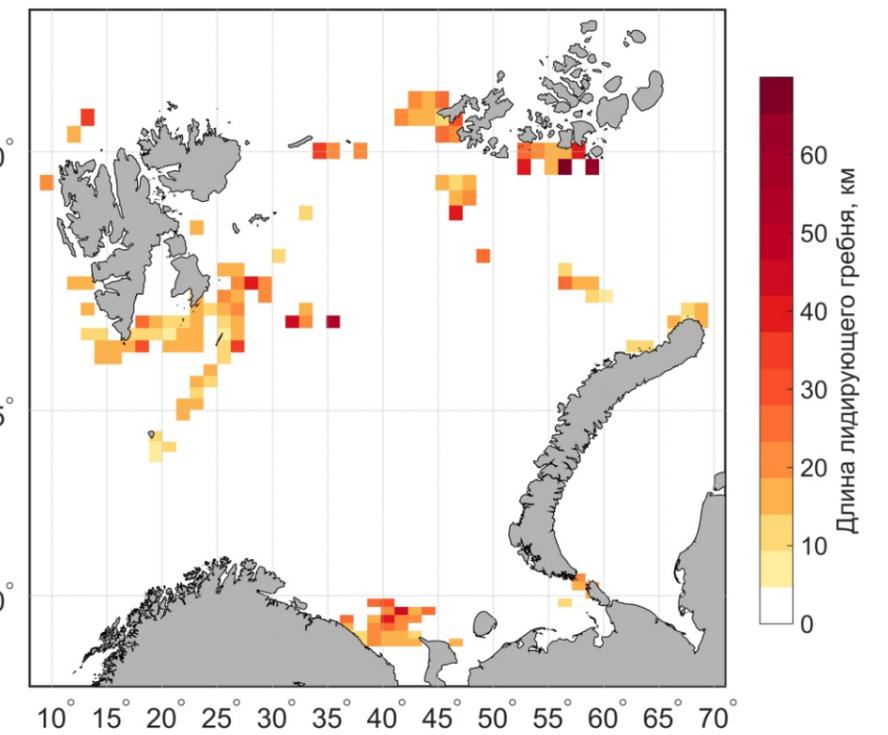
Гистограммы повторяемости характеристик проявлений КВВ: а) дат регистрации проявлений; б) средней длины волны в пакете; в) числа волн в пакете; г) длины лидирующего гребня



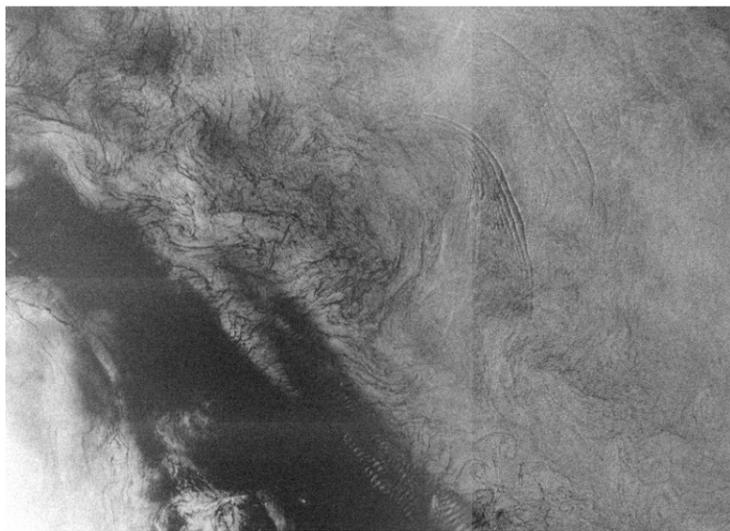
Карта пространственного распределения количества зарегистрированных проявлений КВВ



Карта пространственного распределения длины волны



Карта пространственного распределения длины лидирующего гребня



Пример регистрации проявлений пакетов КВВ, не приуроченных к значительным перепадам глубин и расположенных в зоне активной вихревой динамики

Литература

1. Sabinin K.D., Da Silva J., Scott J., Serebryany A.N. Hot spots in the internal wave field of the world ocean // Proc. of Intern. Conf. «OCEANOBS». 18-22 Oct. 1999. – Saint Raphael, France, 1999. .
2. Сабинин К. Д., Серебряный А. Н., Назаров А. А. Интенсивные внутренние волны в Мировом Океане // Океанология. 2004. Т. 44, № 6. С. 805–810.
3. 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.
4. 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 Research. 2011 V.58. P.229–240.
5. Свергун Е.И., Зимин А.В., Атаджанова О.А., Коник А.А., Зубкова Е.В., Козлов И.Е. Изменчивость фронтальных разделов и короткопериодные внутренние волны в Баренцевом и Карском морях по данным спутниковых наблюдений за теплый период 2007 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 181-188.

Часть работ, связанная с созданием специализированного набора исходных данных выполнена в рамках государственного задания по теме № 0149-2019-0015, обработка и анализ данных выполнены при поддержке гранта РФФИ №20-35-90054 Аспиранты

В летний период 2019 года наибольшее число волн регистрировалось у Мурманского берега Кольского полуострова, западнее мыса Желания, западнее острова Земля Александры, а также Южнее архипелага Шпицберген. Проявления с максимальной длиной волны и длиной лидирующего гребня регистрируются около Мурманского берега Кольского полуострова, южнее архипелагов Шпицберген и Земли Франца Иосифа. Размеры таких проявлений (длина гребня около 70 км и длина волны более 1500 метров) согласно (da Silva et. al., 2011) характерны для интенсивных короткопериодных внутренних волн. В летний период 2019 года часто регистрируются последовательные проявления пакетов КВВ, а положение выявленных очагов генерации в 2019 году совпадает с положением их в 2007 году (Козлов и др., 2014), что указывает на топографический характер генерации КВВ в этих районах. Однако, как и в 2007 году, в 2019 году регистрируются проявления пакетов КВВ, не приуроченные к значительным свалам глубин. Вероятной причиной их генерации может служить взаимодействие меандрирующих фронтов с пикноклином.

Заключение

В ходе работы было проанализировано 943 изображения Sentinel-1 охватывающих летний период 2019 года. На них было зарегистрировано 541 проявление пакетов КВВ, что значительно меньше, чем было зарегистрировано в 2007 году (904 пакета). Было выявлено, что столь существенное различие в количестве зарегистрированных проявлений связано тем, что ледовитость Баренцева моря в 2019 году была выше, чем в 2007. Были выявлены очаги генерации КВВ у Мурманского берега Кольского полуострова, западнее мыса Желания, западнее острова Земля Александры, а также Южнее архипелага Шпицберген. Положение очагов генерации совпадает с выявленным ранее по данным 2007 года. Были зарегистрированы отдельные проявления КВВ, не приуроченные к значительным перепадам глубин, где может работать топографический механизм генерации. Предполагается, что такие КВВ генерируются за счет взаимодействия меандрирующих фронтальных зон с пикноклином. Дальнейшие усилия авторов будут направлены на изучение внутригодовой изменчивости характеристик КВВ в их зависимости от приливной, фронтальной и атмосферной динамики.