

Очаги генерации внутренних волн на шельфе Берингова моря за теплый период 2019 года по данным радиолокатора Sentinel-1

Свергун Егор Игоревич
Козлов Игорь Евгеньевич



Санкт-Петербургский
государственный
университет

Введение

Субарктическое окраинное Берингово море относится к бассейну Тихого океана и характеризуется изрезанностью береговой линии, сложным неоднородным рельефом дна, ограниченностью водообмена с Северным Ледовитым океаном через Берингов пролив и Тихим океаном через проливы Командорско-Алеутской гряды. В Беринговом море преобладает неправильный полусуточный и суточный поверхностный прилив, при этом приливная волна распространяется со стороны Тихого океана через проливы Командорско-Алеутской гряды (Гидрометеорология..., 1998). По современным представлениям (Коняев, Сабинин, 1992) распространение поверхностной приливной волны вызывает внутренний прилив, энергия которого диссипирует на шельфе, что приводит к генерации короткопериодных внутренних волн (КВВ). Для проливов Командорско-Алеутской гряды характерны интенсивные течения (Stabeno et. al., 2005), которые генерируют значительные внутренние приливные волны (Cummins et. al., 2001). Известно, что очаги генерации КВВ (локальные области, где КВВ регистрируются квазипостоянно) во многих регионах Мирового океана формируются под воздействием схожих физико-географических условий. В очагах генерации зачастую могут регистрироваться интенсивные внутренние волны (ИВВ), которые отличаются сильной крутизной и нелинейностью, а также амплитудой более 5 метров.

Свидетельства регистрации поверхностных проявлений внутренних волн на спутниковых изображениях поверхности Берингова моря отражены в (Jackson, 2004). Отсутствием детальных сведений об особенностях поля КВВ на акватории Берингова моря были мотивированы работы (Свергун, Козлов, 2019 и 2020) в которой рассматриваются характеристики поверхностных проявлений КВВ по данным анализа спутниковых радиолокационных изображений (РЛИ) Envisat ASAR и Sentinel-1 за теплый период 2007, 2011 и 2019 годов. В настоящей работе будут выявлены очаги генерации КВВ в Беринговом море и оценена пространственно-временная изменчивость характеристик КВВ в течение летнего периода 2019 года на основе полученных ранее характеристик поверхностных проявлений КВВ.

Материалы и методы

Для регистрации поверхностных проявлений КВВ были использованы РЛИ космического спутника Sentinel-1А и В в С-диапазоне с VV и HH поляризацией и режимами съемки IW и EW с разрешением 20 и 40 метров соответственно. Было использовано 567 РЛИ с 1 июля 2019 года по 30 сентября 2019 года. Для каждого поверхностного проявления КВВ, которое представляет собой чередующиеся дугообразные светлые и темные полосы, определены такие характеристики, как положение проявления, длина волны, длина дуги лидирующего гребня в пакете направление распространения, количество волн в пакете. Детектирование волн на РЛИ выполнено в программном обеспечении ESA SNAP (<https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>).

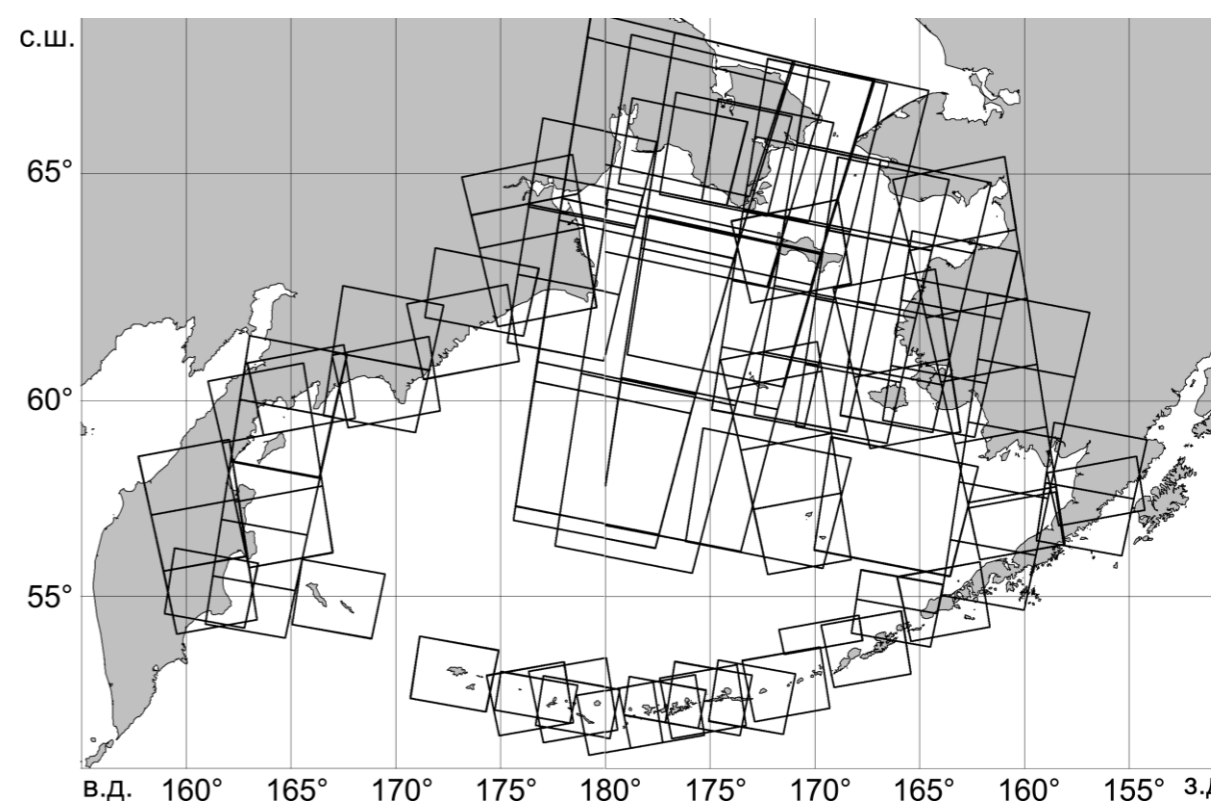
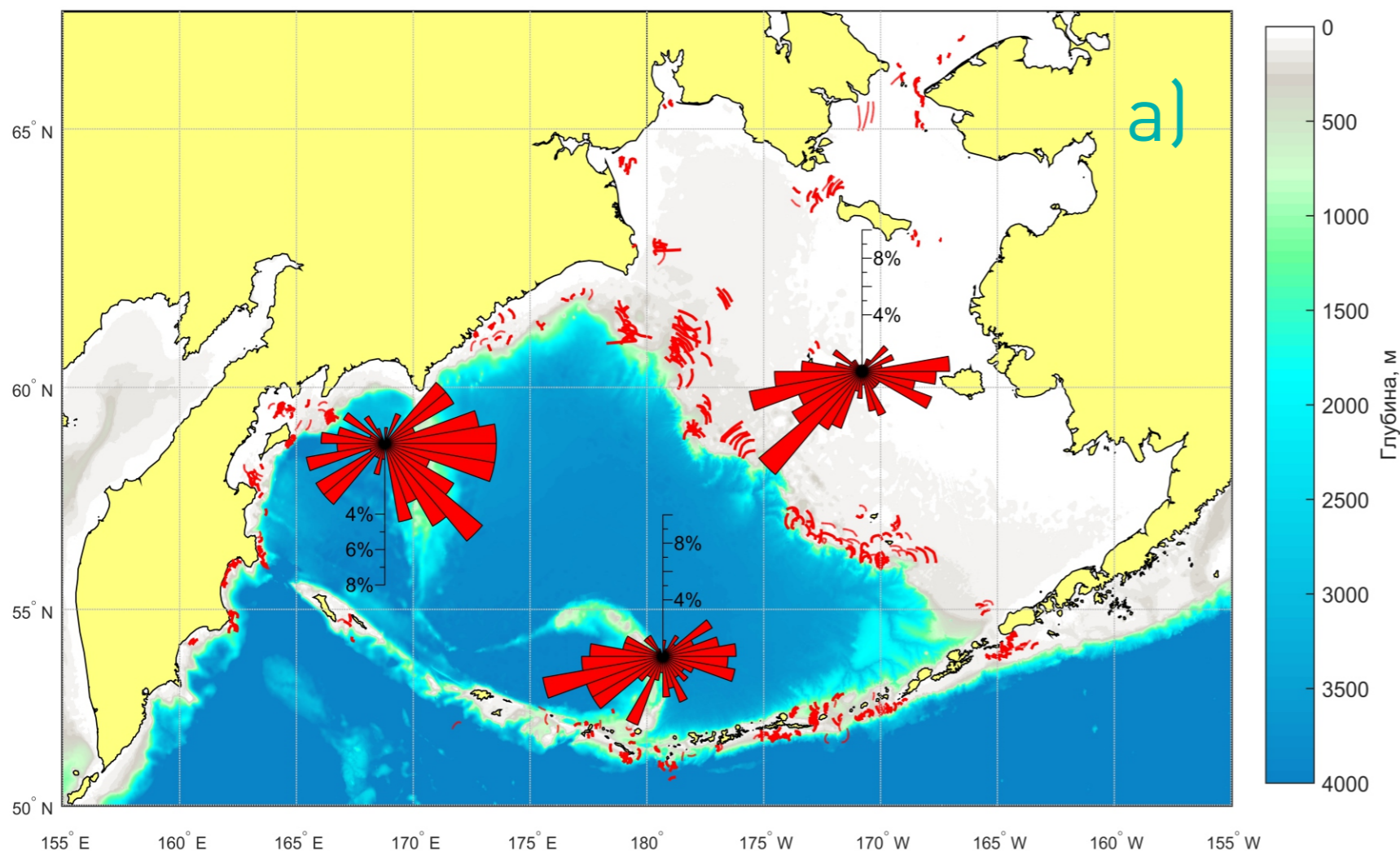


Схема покрытия Берингова моря РЛИ Sentinel-1

Результаты работы

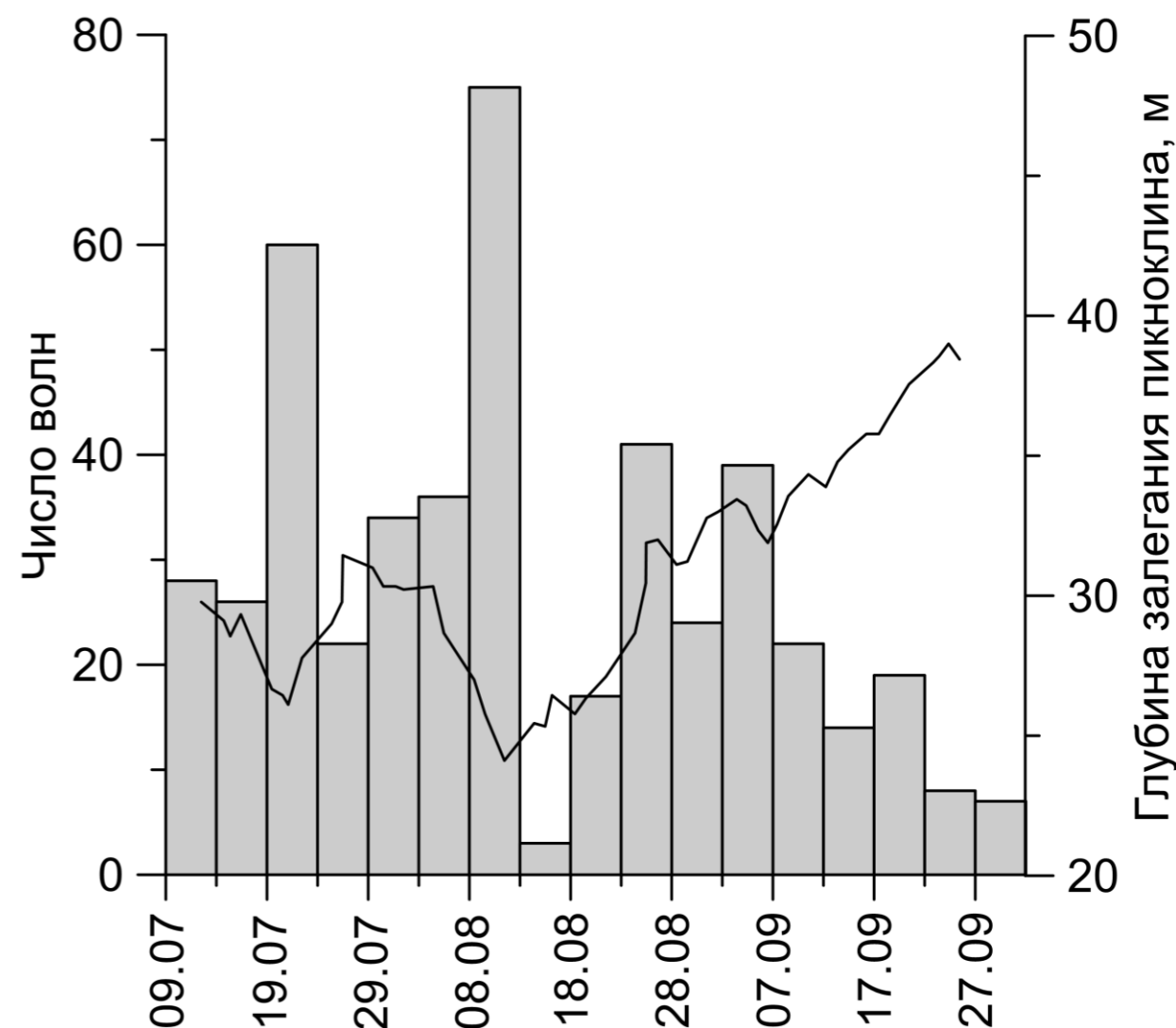


Карта положения лидирующих гребней проявлений КВВ, совмещенная с гистограммами повторяемости направлений распространения проявлений КВВ

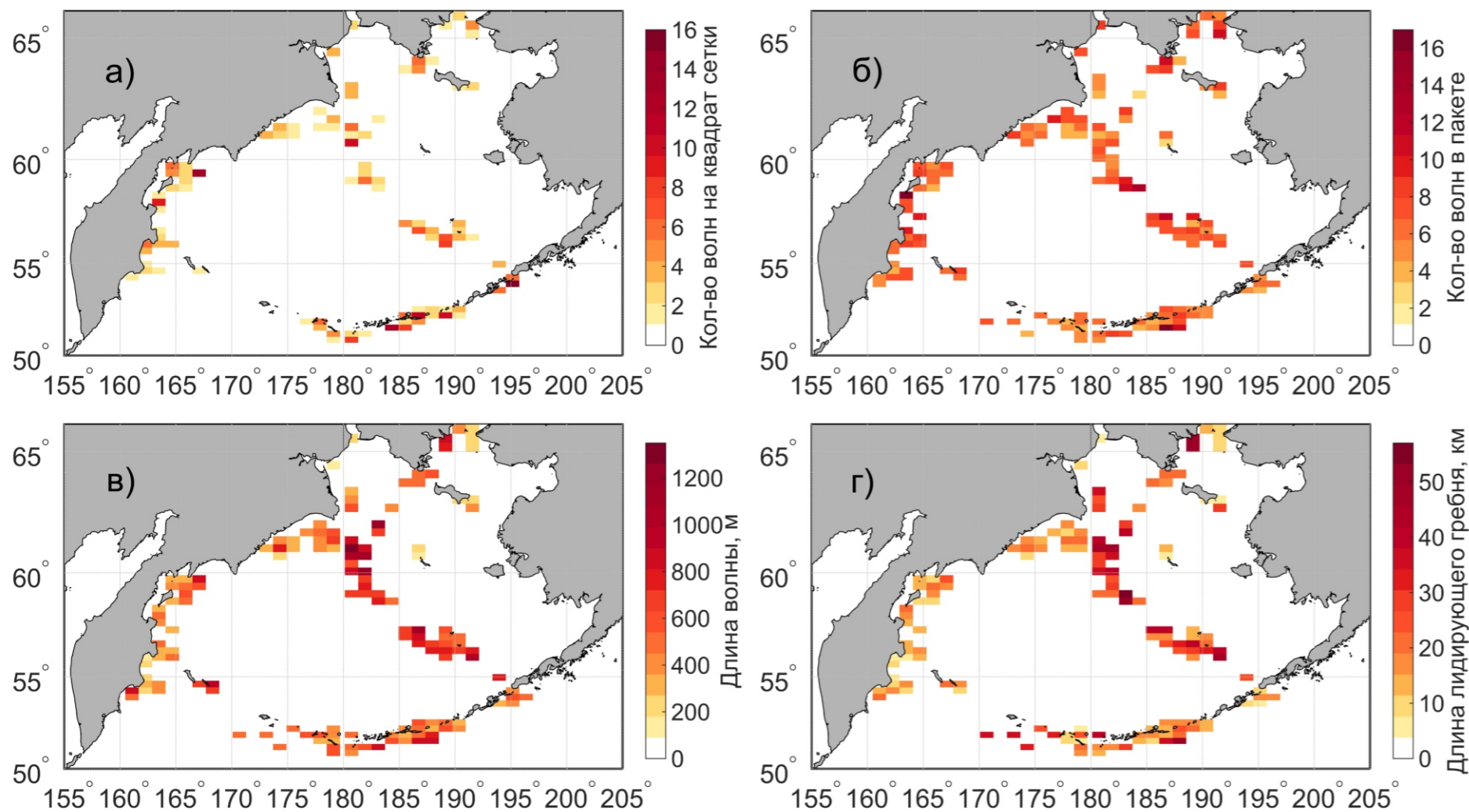
За летний период 2019 года на 567 РЛИ было зарегистрировано 475 пакетов проявлений КВВ, содержащих от 2 до 17 волн в пакете. Длина лидирующего гребня варьируется от 1 до 68 км. Длина волны колеблется от 90 до 1600 метров. Для западного шельфа моря характерно распространение проявлений КВВ от берега в довольно широком диапазоне направлений. Для шельфа Командорско-Алеутской гряды характерен более узкий, по сравнению с западным шельфом, диапазон направлений распространения, которые представлены в основном направлением на запад и восток. Для восточного шельфа также характерен узкий диапазон направлений распространения с преобладанием восточных и юго-западных направлений. Сравнивая полученные характерные направления распространения с работой (Foreman et. al., 2006), можно сказать, что в целом, характерные направления распространения проявлений волн совпадают с направлением потока энергии полусуточной и суточной приливных волн, что указывает на вероятный приливной характер генерации КВВ в Беринговом море.

Для анализа причин изменчивости количества зарегистрированных проявлений привлекались данные буев Argo, которые находились в юго-западной части моря на протяжении периода исследования и обеспечивали выполнение вертикальных зондирований температуры и солёности с дискретностью по времени 1-2 дня. Профили выбирались с портала World Ocean Database (<https://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/dbsearch/dbsearch.html>), затем на них графическим способом определялась глубина залегания ядра пикноклина.

Наибольшей повторяемости числа зарегистрированных проявлений в целом соответствуют локальные минимумы глубины залегания ядра пикноклина, а уменьшение числа зарегистрированных проявлений в сентябре совпадает с постепенным увеличением глубины залегания пикноклина. Таким образом, на число зарегистрированных проявлений КВВ существенное влияние оказывает изменчивость условий стратификации.



Гистограмма повторяемости дат регистрации проявлений КВВ с графиком временного хода глубины залегания ядра пикноклина.



Карты пространственного распределения характеристик проявлений КВВ на равномерной сетке:
 а) количества зарегистрированных проявлений пакетов КВВ;
 б) количества волн в пакете; в) длины волны; г) длины лидирующего гребня

Наибольшее количество волн на элемент сетки (от 12 до 16) регистрируется на западном шельфе в Олюторском заливе и восточнее пролива Литке, на восточном шельфе – около мыса Наварин и островов Прибылова, а на шельфе Командорско-Алеутской гряды около Лисьих и Андреяновских островов. Указанные районы можно отождествлять с очагами генерации КВВ, поскольку число зарегистрированных в них волн максимально. Для указанных выше районов характерны высокие значения характеристик проявлений КВВ: здесь регистрируются от 12 до 16 волн в пакете, длина волны превышает 1000 метров, а длина лидирующего гребня варьируется от 40 до 55. Такие геометрические характеристики проявлений характерны для ИВВ, зарегистрированных в других регионах Мирового океана, а значит в очагах генерации КВВ Берингова моря существует высокая вероятность регистрации ИВВ.

Анализ особенностей пространственного распределения длины волны, длины лидирующего гребня и числа волн в пакете показал, что для восточного шельфа и шельфа Командорско-Алеутской гряды характерно многократное превышение значения этих характеристик над характеристиками западного шельфа. Согласно (Foreman et al., 2006) восточный шельф и шельф около Лисьих и Андреяновских островов отличаются от западного шельфа повышенными значениями диссипации бароклинной приливной энергии, что говорит о вкладе приливных процессов в генерацию особо крупных пакетов волн.

Литература

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.10. Берингово море. Вып.1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф.С. Терзиева. СПб.: Гидрометеоиздат. 1998, 298 с.
2. Коняев К.В., Сабинин К.Д. Волны внутри океана. – СПб: Гидрометеоиздат, 1992. – 272 с.
3. Stabeno, P. J., D. G. Kachel, N. B. Kachel and M. E. Sullivan. 2005. Observations from moorings in the Aleutian Passes: temperature, salinity and transport. Fisheries Oceanography, 14, 39 –54.
4. Cummins, P. F., J. Y. Cherniawsky and M. G. G. Foreman. 2001. Internal tide generation along the Aleutian Ridge. J. Mar. Res., 59, 167–191.
5. Jackson C. R. An Atlas of Internal Solitary-like Waves and their Properties. Alexandria: Global Ocean Associates, 2004. 560 p. URL: https://www.internalwaveatlas.com/Atlas2_index.html (дата обращения: 09.10.2020).
6. Свергун Е.И., Козлов И.Е. Короткопериодные внутренние волны на шельфе Берингова моря по данным спутниковых радиолокационных наблюдений // В книге: Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Институт космических исследований Российской академии наук. 2019. С. 329.
7. Свергун Е.И., Козлов И.Е. Короткопериодные внутренние волны на шельфе Берингова моря по данным современных спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой // В сборнике: Комплексные исследования Мирового океана. Материалы V Всероссийской научной конференции молодых ученых. 2020. С. 160-161.
8. Foreman M., Cummins P., Cherniawsky J., Staben, P. Tidal energy in the Bering Sea // J. Mar. Res. 2006. V.64. P.797–818.

Заключение

В ходе работы детектировано 475 проявлений КВВ, приуроченных к западному шельфу, восточному шельфу, а также шельфу Командорско-Алеутской гряды. В результате работы были выявлены области максимального количества зарегистрированных проявлений КВВ на акватории Берингова моря в летний период 2019 года, отождествляемые с очагами генерации КВВ. Она расположены в Олюторском заливе и восточнее пролива Литке, около мыса Наварин и островов Прибылова, а также около Лисьих и Андреяновских островов. В очагах генерации регистрируются пакеты особо крупных размеров, сопоставимых с размерами ИВВ. В целом, характеристики проявлений КВВ на восточном шельфе имеют минимальные значения, что связано с минимальными значениями диссипации бароклинной приливной энергии. Сопоставление глубины временного хода глубины залегания ядра пикноклина, определенной по данным буев Argo, с ходом числа зарегистрированных волн, показало, что число наблюдаемых на поверхности проявлений КВВ уменьшается при увеличении глубины залегания пикноклина.