# Характеристики короткопериодных внутренних волн в Беринговом море летом 2019 г. по данным Sentinel-1

# Е.И. Свергун<sup>1,2</sup>, И.Е. Козлов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, 117218, Россия <sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет Санкт-Петербург, 199034, Россия <sup>3</sup> Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия E-mails: egor-svergun@yandex.ru, igor.eko@gmail.com

В работе исследована пространственно-временная изменчивость характеристик короткопериодных внутренних волн (КВВ) на акватории Берингова моря по результатам анализа спутниковых радиолокационных изображений (РЛИ) Sentinel-1 с июля по сентябрь 2019 г. На 567 РЛИ было обнаружено 475 проявлений пакетов КВВ. Значительное число проявлений волн зарегистрировано над бровкой шельфа и вблизи континентального склона. Показано, что доминирующие направления распространения пакетов КВВ совпадают с направлением потока приливной энергии. Определены районы наиболее частой регистрации КВВ: Олюторский залив и к югу от пролива Литке, вблизи м. Наварин и о-вов Прибылова, а также около Лисьих и Андреяновских островов. В данных очагах генерации регистрируются пакеты КВВ с протяжённостью лидирующего гребня около 50 км и длиной волны более 1000 м. Максимальные значения характеристик КВВ наблюдаются на восточном шельфе, что, по-видимому, связано с максимальными значениями диссипации бароклинной приливной энергии в этом районе.

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, поверхностные проявления, спутни-ковые радиолокационные изображения, очаги генерации внутренних волн, Берингово море

Одобрена к печати: 16.06.2021 DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-269-276

## 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 преобладают неправильный полусуточный и суточный поверхностные приливы, при этом приливная волна распространяется со стороны Тихого океана через проливы Командорско-Алеутской гряды (Терзиев и др., 1998). По современным представлениям распространение поверхностной приливной волны вызывает внутренний прилив, энергия которого диссипирует на шельфе, что приводит к генерации короткопериодных внутренних волн (КВВ) (Коняев, Сабинин, 1992). 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 регулярно) во многих регионах Мирового океана формируются под воздействием схожих физико-географических условий (Сабинин, Серебряный, 2007). В очагах генерации зачастую могут регистрироваться интенсивные внутренние волны (ИВВ), которые отличаются сильной крутизной и нелинейностью, а также амплитудой более 5 м (например, Свергун и др., 2020; Morozov et al., 2017). Поскольку ИВВ вносят существенный вклад в вертикальное перемешивание вод (Fer et al., 2020; Robinson, 2010) и оказывают влияние на перераспределение питательных элементов (Навроцкий и др., 2019), выявление очагов генерации КВВ на акватории Берингова моря представляется актуальной задачей.

Свидетельства регистрации поверхностных проявлений внутренних волн (ППВВ) на спутниковых изображениях поверхности Берингова моря отражены в публикациях (Дикинис и др., 1999; Jackson, 2004). Некоторые сведения об их генерации и характеристиках в Беринговом проливе также имеются в работах по исследованию КВВ в Чукотском море (Зубкова, Козлов, 2020; Kozlov, Zubkova, 2019). Отсутствием детальных сведений об особенностях поля КВВ на акватории Берингова моря была мотивирована работа (Свергун, Козлов, 2019), в которой рассматривались характеристики ППВВ на основе анализа спутниковых радиолокационных изображений (РЛИ) Envisat (Environmental Satellite) ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) за тёплый период 2007 и 2011 гг. Из-за ограниченности покрытия акватории спутниковыми данными в эти годы проявления КВВ были детектированы только на западном шельфе моря. В настоящей работе впервые детально рассмотрены характеристики ППВВ, выявлены очаги генерации КВВ в Беринговом море и оценена пространственно-временная изменчивость их характеристик в течение летнего периода 2019 г.

### Район исследования, данные и методы

Берингово море отличается сложным рельефом дна, который показан на *puc. 1.* Западное побережье моря характеризуется малой шириной шельфа, а на восточном побережье шельф имеет протяжённость более 500 км. Гидрологическая структура вод Берингова моря формируется под действием Камчатского течения, водообмена с Тихим и Северным Ледовитым океанами и характеризуется в летнее время тонким верхним квазиоднородным слоем и ярковыраженным слоем пикноклина (Терзиев и др., 1998), что обусловливает благоприятные условия для генерации и отображения КВВ на морской поверхности.



Рис. 1. Рельеф дна Берингова моря

Для регистрации поверхностных проявлений КВВ были использованы РЛИ спутников Sentinel-1А/В в С-диапазоне на смежных ВВ- и ГГ-поляризациях (вертикально-вертикальная и горизонтально-горизонтальная) сигнала и режимах съёмки IW (*анел*. Interferometric Wide Swath — интерферометрический широкозахватный) и EW (*анел*. ExtraWide — сверх-широкозахватный) с разрешением 20 и 40 м соответственно. РСА-данные (РСА — радары

с синтезированной апертурой) были получены из архивов системы Европейских центров морских прогнозов Copernicus Open Access Hub (https://scihub.copernicus.eu). Всего было проанализировано 567 РЛИ за период с 1 июля по 30 сентября 2019 г. Покрытие акватории Берингова моря РЛ-съёмкой показано на *puc. 2*.



*Рис. 2.* Покрытие акватории Берингова моря РЛИ Sentinel-1 с 1 июля по 30 сентября 2019 г. Тонкой линией показано положение изобаты 200 м, толстой линией — 2000 м

Рисунок 2 демонстрирует, что покрытие акватории Берингова моря РЛИ весьма неравномерно: максимальное число снимков приходится на северную шельфовую часть моря около о. Святого Лаврентия, а минимальное — на юг п-ова Камчатка. Значительная часть глубоководных районов моря, включающая Алеутскую котловину, подводные хребты Ширшова и Бауэрс, не обеспечены спутниковой информацией. Просмотр архивов Copernicus Open Access Hub за другие годы также показал, что указанные области не обеспечены спутниковой съёмкой. Однако области бровки шельфа и материкового склона практически полностью покрыты радиолокационной съёмкой, на них приходится от 10 до 25 снимков на квадрат сетки.

Для каждого ППВВ, которое обычно представляет собой чередующиеся дугообразные светлые и тёмные полосы, были определены такие характеристики, как координаты его положения, длина волны, длина дуги лидирующего гребня в пакете, направление распространения, количество волн в пакете, а также глубина места. Детектирование волн на РЛИ выполнено в программном обеспечении ESA SNAP (https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/). Лидирующие гребни проявлений КВВ наносились на карты для анализа их пространственного распределения по исследуемой акватории. Для выявления положения очагов генерации КВВ подсчитывалось количество ППВВ в ячейках размером 1° по долготе и 0,5° по широте, которое затем наносилось на карты для анализа их пространственного распределения. Таким же образом подсчитывались средние характеристики КВВ в ячейках.

## Характеристики КВВ по данным спутниковых наблюдений

За летний период 2019 г. на 567 РЛИ было зарегистрировано 475 проявлений пакетов КВВ, содержащих от 2 до 17 волн. Длина лидирующего гребня варьируется от 1 до 68 км. Длина волны колеблется от 90 до 1600 м. На *рис. 3* (см. с. 272) показана композитная карта, сочетающая

положения лидирующих гребней волн и круговые гистограммы повторяемости направлений волн для трёх характерных регионов Берингова моря: западного шельфа, восточного шельфа, а также шельфа Командорско-Алеутской гряды.



*Рис. 3.* Композитная карта положения лидирующих волн в пакетах КВВ на акватории Берингова моря с июля по сентябрь 2019 г. Круговые гистограммы повторяемости показывают направление распространения КВВ

Как видно на *рис. 3*, большинство проявлений КВВ наблюдалось на бровке шельфа в различных районах моря, вблизи многочисленных проливов Алеутско-Курильской гряды, в Беринговом проливе и некоторых других прибрежных районах.

Из *рис. 3* видно, что для западного шельфа моря характерно распространение КВВ от берега в довольно широком диапазоне направлений. Здесь волны в основном распространяются поперёк изобат к берегу. Для шельфа Командорско-Алеутской гряды характерен более узкий по сравнению с западным шельфом диапазон направлений внутренних волн: они направлены на запад и восток, при этом волны распространяются вдоль изобат. На восточном шельфе преобладают восточные и юго-западные направления, при этом значительное число волн распространяется в сторону берега поперёк изобат. Сравнивая полученные результаты с результатами работы (Foreman et al., 2006), можно отметить, что в целом наблюдаемые направления распространения КВВ совпадают с направлением потока энергии полусуточной и суточной приливных волн, что указывает на вероятный приливной характер генерации КВВ в Беринговом море.

Далее были построены карты пространственного распределения различных характеристик проявлений КВВ на равномерной сетке (*puc. 4*, см. с. 273).

Анализ карт распределения характеристик проявлений КВВ на акватории Берингова моря показал, что наибольшая частота встречаемости проявлений КВВ регистрируется на западном шельфе — вблизи Олюторского залива и восточнее него около 61° с.ш., 174° в.д., а также к югу от пролива Литке; на восточном шельфе — над северным склоном Алеутской котловины, южнее м. Наварин и о-вов Прибылова, и над каньоном Жемчуг; а на шельфе Командорско-Алеутской гряды — над склоном Алеутского желоба Южнее Крысьих, Лисьих и Андреяновских островов. Указанные районы можно отождествлять с очагами генерации КВВ, поскольку частота встречаемости проявлений КВВ здесь максимальна. Для указанных выше районов характерна регистрация проявлений КВВ с максимальными геометрически-

ми размерами: проявления KBB содержат от 12 до 16 волн в пакете, длина волны превышает 1000 м, а длина лидирующего гребня варьируется от 40 до 55 км. Такие геометрические характеристики проявлений характерны для ИВВ, зарегистрированных в других районах Мирового океана (например, da Silva et al., 2011; Kozlov et al., 2014), а значит, в очагах генерации KBB Берингова моря существует высокая вероятность регистрации ИВВ.



*Рис. 4.* Карты пространственного распределения характеристик проявлений КВВ на равномерной сетке: *а* — частота встречаемости проявлений КВВ; *б* — количество волн в пакете; *в* — средняя длина волны; *г* — средняя длина лидирующего гребня

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, что отчётливо видно из карт на *рис. 46–г.* Согласно работе (Foreman et al., 2006) восточный шельф и шельф около Лисьих и Андреяновских островов отличаются от западного шельфа повышенными значениями диссипации бароклинной приливной энергии, что, по-видимому, объясняет генерацию более интенсивных пакетов внутренних волн в этих районах.

#### Заключение

В ходе анализа спутниковых данных PCA Sentinel-1 акватории Берингова моря с июля по сентябрь 2019 г. обнаружено 475 проявлений КВВ, приуроченных к западному шельфу, восточному шельфу, а также шельфу Командорско-Алеутской гряды. Для каждого из перечисленных регионов характерно доминирование одного или нескольких типичных направлений распространения внутренних волн: у берегов Камчатки волны распространяются от берега в широком диапазоне направлений, для остальных регионов характерно наличие узкого диапазона направлений распространения — на восток и запад. Выявленные направления распространения КВВ совпадают с направлением потока приливной энергии.

В результате работы определены области максимальной повторяемости проявлений КВВ на акватории Берингова моря в летний период 2019 г. Они расположены в Олюторском заливе и южнее пролива Литке, около м. Наварин и о-вов Прибылова, а также около Лисьих и Андреяновских островов. В этих районах регистрируются пакеты КВВ особенно крупных размеров, сопоставимых с размерами ИВВ в других морях. Характеристики проявлений КВВ на западном шельфе имеют минимальные значения, что, по-видимому, связано с минимальные ными значениями диссипации бароклинной приливной энергии в этом районе.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-35-20078 мол\_а\_вед, а также в рамках государственного задания № 0555-2021-0003 для Морского гидрофизического института РАН и государственного задания № 0128– 2021–0014 для Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Спутниковые данные Sentinel-1A/B были получены из архивов системы Европейских центров морских прогнозов Copernicus Open Access Hub (https://scihub.copernicus.eu).

# Литература

- 1. Дикинис А. В. Иванов А. Ю., Карлин Л. Н., Мальцева И. Г., Маров М. Н., Неронский Л. Б., Рамм Н. С., Фукс В. Р., Авенариус И. Г., Березин Н. П., Дудкин С. Ю., Зайцев В. В., Леонтьев Е. В., Рынская А. К., Степанов П. В., Федосеева Н. В. Атлас аннотированных радиолокационных изображений морской поверхности, полученных космическим аппаратом «Алмаз-1». М.: ГЕОС, 1999. 119 с.
- 2. Зубкова Е. В., Козлов И. Е. Характеристики поля короткопериодных внутренних волн в Чукотском море по данным спутниковых РСА-наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 221–230 DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-221-230.
- 3. Коняев К. В., Сабинин К. Д. Волны внутри океана. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 272 с.
- 4. Навроцкий В.В., Дубина В.А., Павлова Е.П., Храпченков Ф.Ф. Анализ спутниковых наблюдений концентрации хлорофилла в заливе Петра Великого (Японское море) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 158–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-158-170.
- 5. *Сабинин К.Д. Серебряный А.Н.* Горячие точки в поле внутренних волн в океане // Акустический журн. 2007. Т. 53. № 3. С. 410–436.
- 6. *Свергун Е. И., Козлов И. Е.* Короткопериодные внутренние волны на шельфе Берингова моря по данным спутниковых радиолокационных наблюдений // Материалы Семнадцатой Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019. М.: ИКИ РАН, 2019. С. 329.
- 7. Свергун Е.И., Зимин А.В., Атаджанова О.А., Жегулин Г.В., Романенков Д.А., Коник А.А., Козлов И.Е. Короткопериодные внутренние волны в прибрежной зоне Баренцева моря по данным контактных и спутниковых наблюдений // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. Т. 13. № 4. С. 78–86. DOI: 10.7868/S2073667320040073.
- Терзиев Ф.С., Калацкий В.И., Гоптарев Н.П., Симонов А.И., Борисенко М.М., Бородачев В.Е., Гершанович Д.Е., Гирдюк Г.В., Керимов А.А., Колесниченко Н.Н., Рожков В.А. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 10. Берингово море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат, 1998. 298 с.
- 9. *Cummins P. F., Cherniawsky J. Y., Foreman M. G. G.* Internal tide generation along the Aleutian Ridge // J. Marine Research. 2001. V. 59(2). P. 167–191.
- 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. DOI: 10.1016/J.DSR.2010.12.003.
- 11. Fer I., Koenig Z., Kozlov I.E., Ostrowski M., Rippeth T.P., Padman L. Tidally forced lee waves drive turbulent mixing along the Arctic Ocean margins // Geophysical Research Letters. 2020. V. 47(16). e2020GL088083. DOI: 10.1029/2020GL088083.
- 12. Foreman M., Cummins P., Cherniawsky J., Staben P. Tidal energy in the Bering Sea // J. Marine Research. 2006. V. 64. P. 797–818. DOI: 10.1357/002224006779698341.
- 13. *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 (accessed 02.02.2021).
- Kozlov I. E., Zubkova E. V. Spaceborne SAR observations of internal solitary waves in the Chukchi and Beaufort Seas // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions: Proc. SPIE 11150. 2019. 111500F. DOI: 10.1117/12.2532604.

- 15. *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.
- 16. *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.
- 17. *Robinson I.S.* Discovering the Ocean from Space: The unique applications of satellite oceanography. L.: Springer, 2010. 638 p. DOI: 10.1007/978-3-540-68322-3\_1.
- 18. *Stabeno P.J., Kachel D.G., Kachel N.B., Sullivan M.E.* Observations from moorings in the Aleutian Passes: temperature, salinity and transport // Fisheries Oceanography. 2005. V. 14. P. 39–54.

## Characteristics of short-period internal waves in the Bering Sea in summer 2019 from Sentinel-1 data

# E. I. Svergun<sup>1,2</sup>, I. E. Kozlov<sup>3</sup>

 <sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow 117218, Russia
<sup>2</sup>Saint Petersburg State University, Saint Petersburg 199034, Russia
<sup>3</sup>Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia E-mails: egor-svergun@yandex.ru, igor.eko@gmail.com

Here we consider spatio-temporal variability of short-period internal waves (SIWs) characteristics in the Bering Sea from the analysis of spaceborne Sentinel-1 synthetic aperture radar (SAR) images acquired in July – September 2019. Analysis of 567 SAR images enabled to identify 475 distinct SIWs signatures. Many of these wave trains were registered near the shelf break and in the vicinity of continental slope. A predominant SIWs propagation direction coincides with the direction of the tidal flux energy. Regions of the most frequent occurrence of SIWs are found in the Olyutorsky Bay, south of Litke Strait, near Cape Navarin and Pribilof Islands, as well as near Fox Islands and Andreanof Islands. In these regions, SIWs with leading front length of 50 km and inter-soliton width of 1000 m were registered. Maximal values of SIW properties were observed on the eastern shelf characterized by maximum values of tidal baroclinic energy dissipation.

Keywords: short-period internal waves, surface manifestations, satellite radar images, hot spots of internal wave generation, Bering Sea

Accepted: 16.06.2021 DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-269-276

### References

- Dikinis A. V., Ivanov A. Yu., Karlin L. N., Maltseva I. G., Marov M. N., Neronskii L. B., Ramm N. S., Fuks V. R., Avenarius I. G., Berezin N. P., Dudkin S. Yu., Zaitsev V. V., Leont'ev E. V., Rynskaya A. K., Stepanov P. V., Fedoseeva N. V., *Atlas annotirovannykh radiolokatsionnykh izobrazhenii morskoi poverkhnosti*, *poluchennykh kosmicheskim apparatom "Almaz-1"* (Atlas of annotated radar images of the sea surface obtained by the Almaz-1 spacecraft), Moscow: GEOS, 1999, 119 p. (in Russian).
- 2. Zubkova E. V., Kozlov I. E., Characteristics of short-period internal waves in the Chukchi Sea based on spaceborne SAR observations, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 4, pp. 221–230 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-221-230.
- 3. Konyaev K. V., Sabinin K. D., *Volny vnutri okeana* (Waves inside the ocean), Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992, 272 p. (in Russian).
- Navrotsky V. V., Dubina V. A., Pavlova E. P., Chrapchenkov F. F., Analysis of satellite observations of chlorophyll concentration in Peter the Great Gulf (Japan Sea), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 1, pp. 158–170 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-158-170.
- 5. Sabinin K. D., Serebryanyi A. N., "Hot spots" in the field of internal waves in the ocean, *Acoustical Physics*, 2007, Vol. 53, No. 3, pp. 357–380, DOI: 10.1134/S1063771007030128.

- Svergun E. I., Kozlov I. E., Short-period internal waves on the shelf of the Bering Sea, according to satellite radar observations, *Materialy Semnadtsatoi Vserossiiskoi otkrytoi konferentsii "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (Proc. 17<sup>th</sup> Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), 11–15 Nov. 2019, Moscow IKI RAN, 2019, p. 329 (in Russian).
- Svergun E. I., Zimin A. V., Atadzhanova O. A., Zhegulin G. V., Romanenkov D. A., Konik A. A., Kozlov I. E., Short-period internal waves in the coastal zone of the Barents Sea according to expedition and satellite observations, *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*, 2020, Vol. 13, No. 4, pp. 78–86 (in Russian), DOI: 10.7868/S2073667320040073.
- 8. Terziev F.S., Kalatskii B.I., Goptarev N.P., Simonov A.I., Borisenko M.M., Borodachev V.E., Gershanovich D.E., Girdyuk G.V., Kerimov A.A., Kolesnichenko N.N., Rozhkov V.A., *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei SSSR, Tom 10, Beringovo more, Vyp. 1, Gidrometeorologicheskie usloviya* (Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR, Vol. 10, Bering Sea, Issue 1, Hydrometeorological conditions), Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, 298 p. (in Russian).
- 9. Cummins P. F., Cherniawsky J. Y., Foreman M. G. G., Internal tide generation along the Aleutian Ridge, *J. Marine Research*, 2001, Vol. 59(2), pp. 167–191.
- 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, Vol. 58, pp. 229–240, DOI: 10.1016/J.DSR.2010.12.003.
- 11. Fer I., Koenig Z., Kozlov I. E., Ostrowski M., Rippeth T. P., Padman L., Tidally forced lee waves drive turbulent mixing along the Arctic Ocean margins, *Geophysical Research Letters*, 2020, Vol. 47(16), e2020GL088083, DOI: 10.1029/2020GL088083.
- 12. Foreman M., Cummins P., Cherniawsky J., Staben P., Tidal energy in the Bering Sea, J. Marine Research, 2006, Vol. 64, pp. 797–818, DOI: 10.1357/002224006779698341.
- 13. Jackson C. R., *An Atlas of Internal Solitary-like Waves and their Properties*, Alexandria: Global Ocean Associates, 2004, 560 p., available at: https://www.internalwaveatlas.com/Atlas2\_index.html (accessed 02.02.2021).
- 14. Kozlov I. E., Zubkova E. V., Spaceborne SAR observations of internal solitary waves in the Chukchi and Beaufort Seas, *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions: Proc. SPIE 11150*, 2019, 111500F, DOI: 10.1117/12.2532604.
- 15. 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.
- 16. 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.
- 17. Robinson I.S., *Discovering the Ocean from Space: The unique applications of satellite oceanography*, London: Springer, 2010, 638 p., DOI: 10.1007/978-3-540-68322-3\_1.
- 18. Stabeno P.J., Kachel D.G., Kachel N.B., Sullivan M.E., Observations from moorings in the Aleutian Passes: temperature, salinity and transport, *Fisheries Oceanography*, 2005, Vol. 14, pp. 39–54.