

*thermal infrared images to reveal some vegetation communities, particularly dwarf pine brushwood and floodplain willow shrub.*

**KEYWORDS:**

*thermal infrared images; Landsat; geographical interpretation of satellite images; Kunashir island; Bering island*

**REFERENCES**

1. Knizhnikov Yu.F., Kravtsova V.I. Aerokosmicheskie issledovaniya dinamiki geograficheskikh yavlenii [Aerospace researches of the geographical phenomena dynamics], Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1991, 206 p. (in Russian).
2. Bluma M., Lenskya I.M., Nestel D. Estimation of olive grove canopy temperature from MODIS thermal imagery is more accurate than interpolation from meteorological stations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, Vol. 176, pp. 90–93.
3. Hulley G., Veraverbeke S., Hook S. Thermal-based techniques for land cover change detection using a new dynamic MODIS multispectral emissivity product (MOD21). *Remote Sensing of Environment*, 2014, Vol. 140, pp. 755–765.
4. Rodriguez-Galiano V., Pardo-Iguzquiza E., Sanchez-Castillo M., Chica-Olmo M., Chica-Rivas M. Downscaling Landsat 7 ETM+ thermal imagery using land surface temperature and NDVI images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2012, Vol. 18, pp. 515–527.
5. Rogan J., Ziemer M., Martin D., Ratick S., Cuba N., De Lauer V. The impact of tree cover loss on land surface temperature: A case study of central Massachusetts using Landsat Thematic Mapper thermal data. *Applied Geography*, 2013, Vol. 45, pp. 49–57.
6. Srivastava P.K., Majumdar T.J., Bhattacharya A.K. Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data. *Advances in Space Research*, 2009, Vol. 43, pp. 1563–1574.

УДК 551.467

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-81-92

**В.А. Романюк<sup>1</sup>, И.В. Еременко<sup>2</sup>, В.М. Пищальник<sup>3</sup>**

**АНАЛИЗ МЕЖГОДОВОЙ И СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕДОВИТОСТИ  
В ЗАЛИВЕ АНИВА И ПРОЛИВЕ ЛАПЕРУЗА  
ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

**АННОТАЦИЯ**

*На основе данных спутниковых наблюдений за ледяным покровом с использованием геоинформационных технологий выполнен анализ межгодовой и сезонной изменчивости ледовитости в заливе Анива и проливе Лаперуза. Установлено, что за период с 1979 по 2016 г. в заливе Анива отмечается тенденция сокращения ледовитости на 2,5%, а в проливе Лаперуза – её увеличение на 11%. Выявлено, что залив Анива является единственной акваторией, в которой отмечена тенденция увеличения ледовитости. На основе анализа динамики аномалий ледовитости относительно климатической стандартной нормы 1981–2010 гг. выде-*

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»; 693000, Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290; e-mail: kunashir18@rambler.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»; 693000, Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290; e-mail: irinkaeremenko@ya.ru

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»; 693000, Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290; e-mail: vpushchalnik@rambler.ru

лены периоды с преобладанием её положительных и отрицательных значений, а также годы с наиболее высокими и низкими значениями. Показано, что ледяной покров пролива Лаперуза и залива Анива имеет наибольшую взаимосвязь с ледовитостью в крайней южной части Охотского моря с коэффициентом корреляции 0.76 и 0.66 соответственно. Выполнена типизация зим по суровости ледовых условий, согласно которой определено, что в заливе Анива сумма суровых и экстремально суровых типов зим выше, чем в проливе Лаперуза. Анализ внутрисезонного хода ледовитости позволил определить средние даты появления и исчезновения льда залива Анива и пролива Лаперуза, а также продолжительность ледового периода. Для залива Анива характерно практически полное заполнение льдом, которое происходит здесь в суровые зимы с 10 февраля по 10 марта. Пролив Лаперуза в суровые зимы заполняется льдом только на 70% – с 15 по 25 февраля.

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

*залив Анива, пролив Лаперуза, ледовитость, дистанционное зондирование Земли, безопасность мореплавания*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Обеспечение безопасности мореплавания в ледовых условиях является одной из важнейших задач как при транспортировке, так и при добыче нефти газа и биологических ресурсов Мирового океана. Залив Анива является «транспортной» артерией о. Сахалин. Здесь располагаются два крупнейших морских порта – Пригородное и Корсаков – с суммарной пропускной способностью более 30 млн. тонн в год. Через пролив Лаперуза проходят основные судоходные маршруты между Сахалинской областью и странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Сложные ледовые условия в этих акваториях могут негативно влиять на внешне-экономическую деятельность островного региона, а также повышают риск повреждения нефте- и газоналивных танкеров, создавая тем самым угрозу возникновения загрязнения окружающей среды. Как показано в работах Пищальника и др. [2017], межгодовая изменчивость и типы зим в разных районах Охотского моря могут существенно различаться. Поэтому изучение межгодовой изменчивости ледовитости в заливе Анива и проливе Лаперуза имеет особый интерес. Кроме того, наличие данных спутниковых наблюдений и специальных программных комплексов даёт возможность детально изучить ледовитость исследуемых районов и получить как научные, так и практически значимые результаты.

Целью настоящей работы является исследование межгодовой и сезонной изменчивости ледовитости в заливе Анива и проливе Лаперуза с использованием геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

По способам получения информации наблюдения за площадью ледяного покрова можно разделить на 3 этапа: судовые, авиационные и спутниковые [Плотников, 2002]. На регулярной основе спутниковая информация о ледовитости Охотского моря начала поступать с 1971 г., и в настоящее время именно она является основным источником информации. С 1978 г. с помощью спутниковых наблюдений в микроволновой области спектра, на которую практически не влияют погодные условия и освещённость, определяется сплочённость льда. Оценка точности расчётных данных ДДЗ, полученных за период времени совместного выполнения авиационных и спутниковых наблюдений (с 1971 по 1992 г.) в Охотском море, показала, что после появления на ИСЗ нового поколения спектрорадиометров (с конца 1980-х годов) величина ошибки определения площади льда разными методами не превышала 2% [Пищальник и др., 2016].

Несомненным достоинством спутниковых наблюдений является выполнение съёмки всей акватории моря в режиме реального времени, т.е. эти данные не имеют искажений, связанных с асинхронностью выполняемых наблюдений. Например, данные авиационных ледо-

вых разведок приводились на середину декады [Плотников и др., 1998], а судовых – на середину месяца [Крындин, 1964].

В рамках выполненных исследований площадь ледяного покрова для интересующего района рассчитывалась за период 1979-2016 гг. один раз в пентаду с помощью разработанного в Сахалинском государственном университете программного комплекса «ЛЁД» с использованием цветокодированных карт-схем ледяного покрова, представляемых JMA в режиме свободного доступа [<http://www.data.jma.go.jp>]. По полученным данным рассчитывались аномалии ледовитости относительно климатической стандартной нормы 1981-2010 гг.

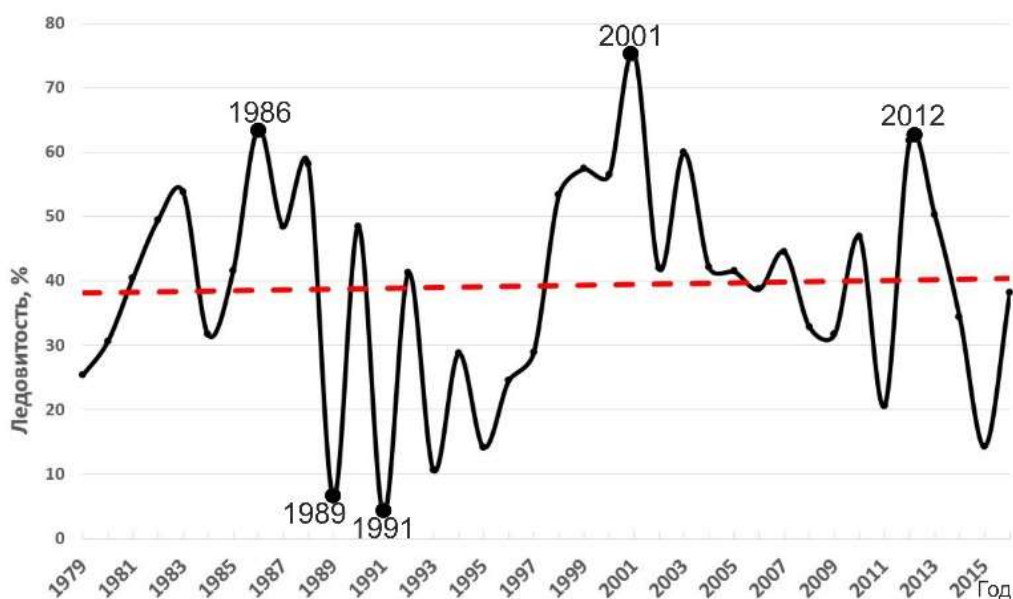
Величина ледовитости за ледовый сезон рассчитывалась отдельно для залива Анива и пролива Лаперуза путём осреднения значений вычисленных площадей ледяного массива с января по март. Для корректного проведения сравнительного анализа ледовитость вычислялась в процентах как отношение площади, занятой льдом, к площади каждого из интересующих районов, границы которых определялись согласно «Границы океанов и морей» [2000]. При анализе внутрисезонного хода ледовитости в интересующих акваториях значения ледовитости рассчитывались за период с 1979 по 2016 г. с учётом типизации зим по суровости ледовых условий.

Типизация зим по суровости ледовых условий в исследуемом районе осуществлялась по вычисленным значениям средней за ледовый сезон ледовитости с ранжированием на 5 типов: экстремально суровые (ЭС), суровые (С), умеренные (У), мягкие (М) и экстремально мягкие (ЭМ) [Пищальник и др., 2017].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Образование, развитие и разрушение ледяного покрова в заливе Анива и проливе Лаперуза имеют свои характерные особенности. В Заливе Анива развит ледяной покров в основном местного происхождения, что обусловлено особенностями конфигурации его береговой линии и ветрового режима. Большую часть ледового сезона здесь преобладают молодые льды. В проливе Лаперуза ледяной массив формируется за счёт дрейфующего с севера льда, преимущественно льда. При преобладающих южных и юго-восточных ветрах ледяной массив, располагающийся в проливе Лаперуза, может попадать в залив Анива и создавать неблагоприятные для мореплавания ледовые условия. Процесс наполнения пролива Лаперуза морским льдом может периодически прерываться при прохождении глубоких барических образований с сильными ветрами западных и северо-западных румбов, а также зависеть от интенсивности течения Соя.

Многолетние изменения площади морского льда в заливе Анива предоставлены на рисунке 1. В целом с 1979 по 2016 г. площадь морского льда увеличилась на 2.5%, или 0.16 тыс.км<sup>2</sup>. Стоит отметить, что тенденции изменения ледовитости в различных районах Охотского моря указывают на сокращение площади морского льда [Минервин и др., 2015; Пищальник и др., 2017]. Таким образом, залив Анива является единственной акваторией, в которой отмечено увеличение ледовитости за последние 37 лет. Наибольшие значения средней за сезон ледовитости отмечались в 1986 (33%), 2001 (32%) и 2012 гг. (62%). Самыми малоледовитыми были зимы 1989 и 1991 гг., когда в среднем ледовитость составляла 6 и 4% соответственно.



**Рисунок 1.** Многолетние изменения ледовитости в заливе Анива и значимый на 95%-ном уровне линейный тренд (пунктир) за период 1979-2016 гг.

**Figure 1.** Long-term changes in ice cover in Aniva Bay and a significant at 95% level linear trend (dashed line) for the period 1979-2016

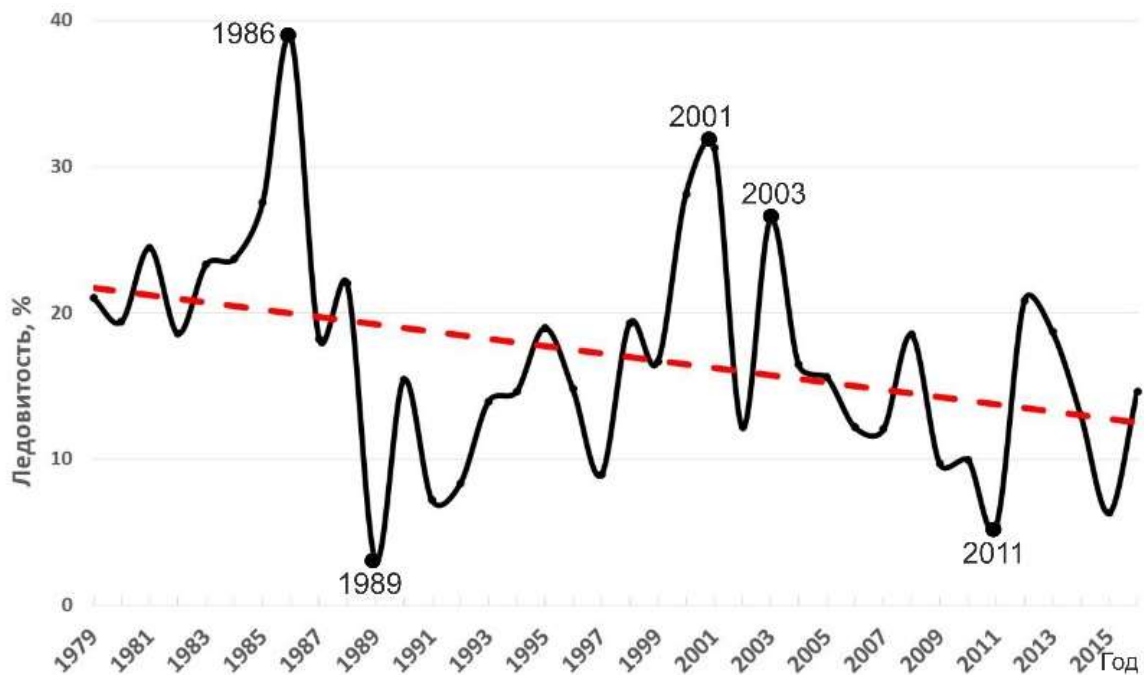
Межгодовая изменчивость ледовитости в проливе Лаперуза (рисунок 2) за весь исследуемый период имеет тенденцию сокращения, которая составляет 11%, или 0.8 тыс. км<sup>2</sup>. Наибольшая средняя за сезон ледовитость так же, как и в заливе Анива, отмечалась в зимы 1986 и 2001 гг. и составляла 64 и 74% соответственно. Меньше всего льда было в 1989 и 2011 гг., когда в среднем ледовитость не превышала 5%.

Для выявления взаимосвязи изменчивости площади ледяного покрова между отдельными районами Охотского моря [Пищальник и др., 2017] был выполнен корреляционный анализ при 95%-ном уровне значимости (таблица 1). Зависимость ледовитости залива Анива и пролива Лаперуза, несмотря на их близкое друг к другу местоположение, выражается коэффициентом корреляции 0.66. Данное обстоятельство говорит о том, что площадь ледяного покрова залива Анива не зависит от количества, поступающего с севера льда. Ледяной покров пролива Лаперуза имеет наибольшую взаимосвязь с ледовитостью в крайней южной части Охотского моря [Минервин и др., 2015] с коэффициентом корреляции 0.76. Такая высокая взаимосвязь обусловлена прежде всего близкими и достаточно однородными условиями формирования ледяного массива в этих районах. Крайний южный район моря является своего рода ловушкой для дрейфующего с севера льда. После того как он наполнится льдом на 70-80% (обычно это происходит в начале февраля), дрейфующий лёд начинает поступать в пролив Лаперуза и при достаточном его запасе выноситься в Японское море.

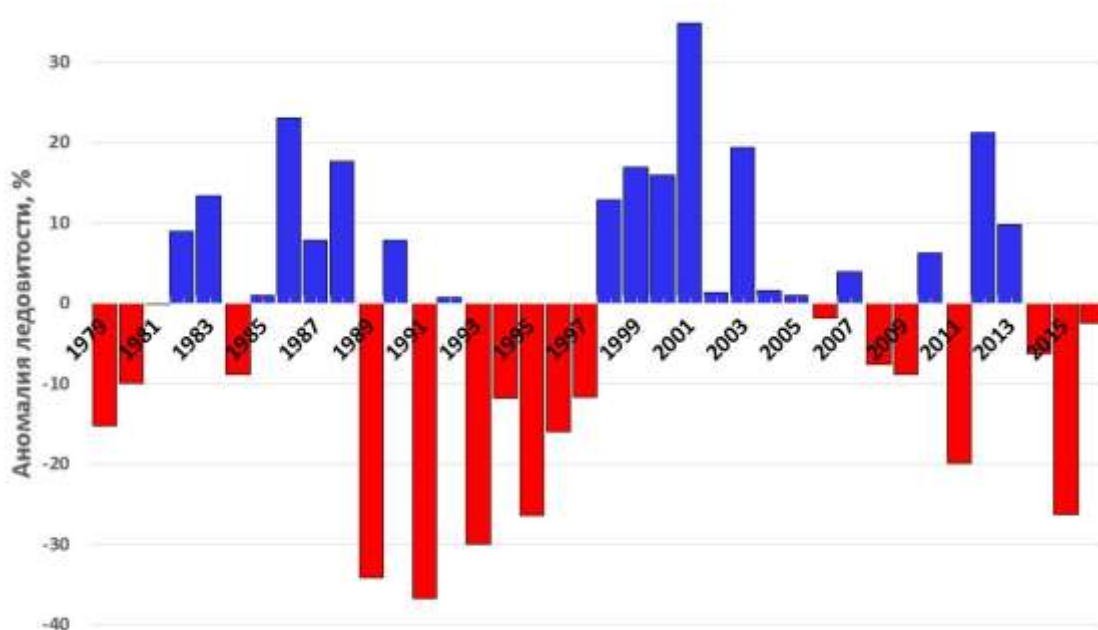
При преобладающих южных и юго-восточных ветрах ледяной массив, располагающийся в проливе Лаперуза, может попадать в залив Анива. В межгодовой изменчивости аномалий ледовитости залива Анива выделяются периоды с преобладанием их положительных (1979–1988 гг., 1998–2005 гг.) и отрицательных (1989–1997 гг., 2008–2016 гг.) значений. График, представленный на рисунке 3, демонстрирует, что с 1979 г. экстремально ледовые сезоны с положительной аномалией ледовитости более 10% приходились на 1983, 1986, 1988, 1998–2001 и 2012 гг.

**Таблица 1. Коэффициенты корреляции ледовитости в различных районах Охотского моря**  
**Table 1. Coefficients of ice cover correlation in different areas of the Sea of Okhotsk**

	Охотское море в целом	Залив Анива	Пролив Лаперуза	Южная часть	Крайняя южная часть	Северная часть
Охотское море в целом	1					
Залив Анива	0.42	1				
Пролив Лаперуза	0.56	0.66	1			
Южная часть	0.88	0.56	0.66	1		
Крайняя южная часть	0.61	0.65	0.76	0.83	1	
Северная часть	0.97	0.32	0.46	0.75	0.45	1



**Рисунок 2. Многолетние изменения ледовитости в проливе Лаперуза и значимый на 95% уровне линейный тренд (пунктир) за период 1979-2016 гг.**  
**Figure 2. Long-term changes in ice cover in La Perouse Strait and a significant at 95%-ном level linear trend (dashed line) for the period of 1979-2016**



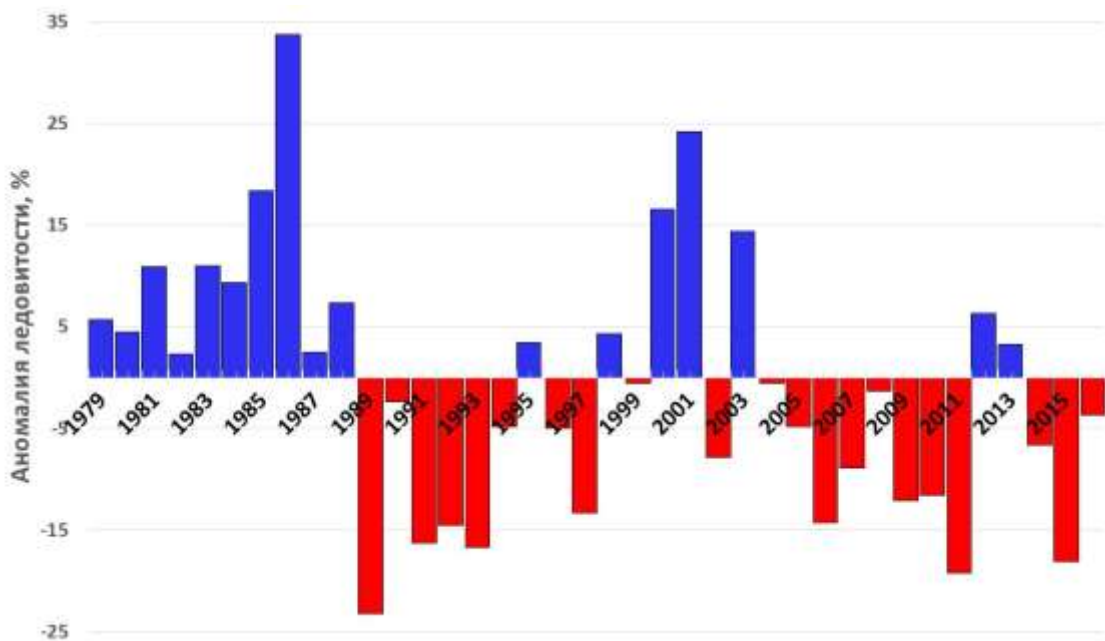
**Рисунок 3.** *Изменение аномалий ледовитости в заливе Анива относительно климатической стандартной нормы 1981-2010 гг.*  
**Figure 3.** *Changes in the anomalies of ice cover in the Aniva Bay with respect to the climatic standard norm of 1981-2010*

Экстремально малоледовитые сезоны (более чем на 10% ниже нормы) были в 1979, 1989, 1991, 1993–1997, 2011 и 2015 гг. Также выделяются продолжительные периоды сохранения положительных (1998–2005 гг.) и отрицательных (1991–1997 гг. – за исключением 1992 г.) аномалий параметра, в которых зафиксированы максимум в 2001 г. и минимум в 1991 г. с отклонением более чем на 30% от среднемноголетнего значения. Период времени с 2006 по 2016 г. в заливе Анива характеризуется неустойчивым изменением площади ледяного покрова. Наиболее суровой по ледовым условиям в этом временном промежутке была зима 2012 г. с положительной аномалией ледовитости чуть более 20%, наиболее мягкой – зима 2015 г. с отрицательной аномалией более 25%. Стоит отметить, что в 2015 г. была зафиксирована самая низкая за всю историю наблюдений средняя за сезон ледовитость Охотского моря в целом [Пищальник и др., 2016].

Межгодовая изменчивость аномалий ледовитости в проливе Лаперуза представлена на рисунке 4. На графике видно, что с 1979 по 1988 г. площадь льда в проливе была выше нормы. Абсолютный максимум ледовитости за весь исследуемый период пришелся на 1986 г. с положительной аномалией более 30%. Для временного отрезка 1989–1997 гг. характерно преобладание отрицательных значений аномалий с абсолютным минимумом ледовитости в 1989 г. (-23%). С 1998 по 2003 г. в исследуемой акватории отмечалось увеличение площади ледяного покрова с преобладанием положительных аномалий ледовитости. Одной из особенностей многолетней изменчивости ледовитости пролива Лаперуза является продолжительный период преобладания отрицательных аномалий с 2004 по 2016 г. (за исключением 2012 и 2013 гг.). Как показано в работе [Цыпышева и др., 2016], суровые ледовые условия в 2012 и 2013 гг. в северо-западной части Охотского моря и в Татарском проливе обусловлены северо-западным положением охотского тропосферного циклона, интенсивность которого влияет на термические условия указанных акваторий. Выполненный анализ межгодовой изменчивости аномалий ледовитости в заливе Анива и проливе Лаперуза позволил определить, что в этих акваториях на фоне преобладания отрицательных аномалий площади ледяного покрова в 2012 и 2013 гг. отмечались их положительные значения со значениями более 20%. Наиболее суровые ледовые условия в эти годы были в заливе Анива, когда его акватория была полностью покрыта льдом с начала февраля по середину марта со средней аномалией

ледовитости более 15%. Таким образом, можно сделать вывод о том, что северо-западное положение охотского тропосферного циклона способствует развитию суровых ледовых условий не только в северо-западной части Охотского моря и Татарском проливе, но и в заливе Анива и проливе Лаперуза.

Подробный анализ повторяемости типов зим по суровости ледовых условий как для всего Охотского моря, так и для отдельных районов его районов за период 1979–2015 г. был выполнен в работе [Пищальник и др., 2017]. Согласно районированию Охотского моря по ледово-географическим признакам, залив Анива и пролив Лаперуза относятся к 3 иерархическому уровню [Минервин и др., 2015], в рамках которого и был выполнен дальнейший анализ.



**Рисунок 4.** *Изменение аномалий ледовитости в проливе Лаперуза относительно климатической стандартной нормы 1981-2010 гг.*  
**Figure 4.** *Changes in the anomalies of ice cover in the Strait of La Perouse relative to the climatic standard norm of the period 1981-2010*

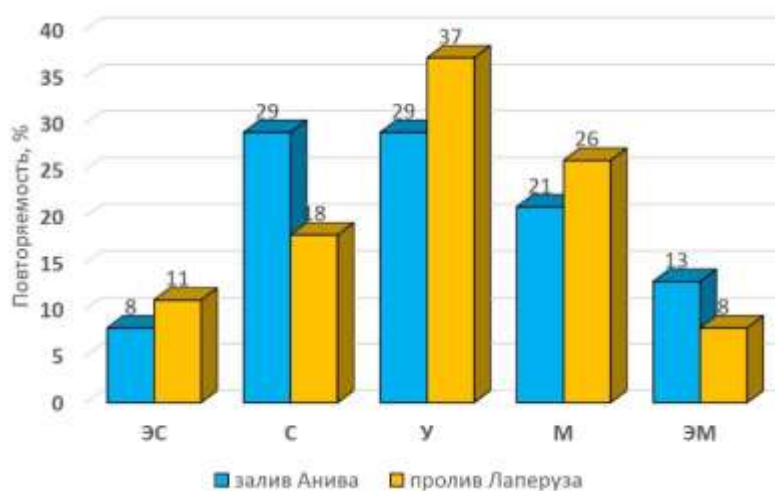
Из анализа данных следует, что ледовые условия в исследуемых районах, несмотря на их смежное положение, существенно различаются. Совпадение типов зим в этих районах происходило 12 раз в течение 38-летнего рассматриваемого временного интервала. Данное явление характерно для всех типов зим, однако наиболее часто оно фиксировалось в умеренные (У) (2004, 2005, 2008 и 2016 гг.) и суровые (С) (1983, 1988 и 2003 гг.) зимы. Стоит отметить, что в 1979, 1984 и 2010 гг. в исследуемых акваториях типы зим существенно различались – в одном из районов фиксировалась суровая зима, а в другом мягкая и наоборот.

В работе [Минервин и др., 2015] показано, что наиболее продолжительный период отрицательных аномалий ледовитости Охотского моря наблюдался с 2004 по 2015 г. В этот экстремально тёплый период сумма мягких (М) и экстремально мягких (ЭМ) типов зим достигала 86%, в то время как положительные аномалии практически отсутствовали. За аналогичный период в заливе Анива сумма М и ЭМ типов зим составляла чуть более 20%, а в проливе Лаперуза около 55%. Данный факт ещё раз подтверждает сделанный ранее вывод о том,



что ледовый режим залива Анива имеет особый характер, сильно отличающийся от режима как всего Охотского моря, так и его отдельных частей.

Распределение типов зим в исследуемых районах по выделенным градациям за период 1979–2016 гг. представлено на рисунке 5. Суммарная повторяемость ЭС и С типов для залива Анива и пролива Лаперуза составляет 37 и 29% соответственно. Повторяемость умеренных типов зим в исследуемых районах варьирует от 29% (залив Анива) до 37% (пролив Лаперуза). Сумма ЭМ и М типов зим одинакова в обоих районах и составляет 34%. Из сказанного выше следует, что наиболее суровым с точки зрения площади морского льда является залив Анива, а использовать для анализа ледовых условий такой критерий, как «тип зимы», необходимо с осторожностью, т.к. в каждом районе можно выделить группу факторов, которые в конечном итоге и определяют тип зимы в конкретном районе в конкретный временной отрезок.



**Рисунок 5.** Повторяемость типов зим в заливе Анива и проливе Лаперуза за период 1979-2016 гг.

**Figure 5.** Repeatability of types of winters in Aniva Bay and La Perouse Strait over the period of 1979-2016

Даты наступления ледовых фаз в заливе Анива и проливе Лаперуза были определены с учётом дискретности наблюдений (таблица 2). За период с 1979 по 2016 г. самое раннее образование ледяного покрова в заливе Анива было зафиксировано 25 декабря 2001 г., самое позднее – 31 января 1982 г. В среднем за весь исследуемый период лёд здесь появляется 15 января. В проливе Лаперуза самое раннее появление ледяного покрова (05 января) было отмечено в ЭС зимы 1986, 2000 и 2001 гг. Позднее всего процесс ледообразования начинался 31 января 1988 г., а в среднем появление морского льда наблюдается 15 января. Среднее, раннее и позднее очищение ото льда в заливе Анива и проливе Лаперуза происходит практически одновременно (+ -5 сут). В среднем ледовый период для обеих акваторий составляет от 85 (залив Анива) до 90 сут. Самый продолжительный ледовый сезон в заливе Анива был в 2005 году и длился около 140 сут. (с 31 декабря по 20 мая); в проливе Лаперуза в 2001 году – с продолжительностью около 125 сут. (5 января по 10 мая). Самый непродолжительный ледовый сезон в исследуемых акваториях наблюдался в зимы 1987 и 2011 г. и (45–50 сут.). Таким образом, можно заключить, что в большинстве случаев продолжительность ледового сезона не зависит от типа зимы по суровости ледовых условий.



**Таблица 2.** Даты наступления ледовых фаз  
в заливе Анива и проливе Лаперуза  
**Table 2.** The dates of ice phases starting  
in Aniva Bay and La Perouse Strait

Характерные даты	Появление льда	Очищение ото льда	Ледовый период (сут.)
Залив Анива			
Средняя	15.01	10.04	85
Ранняя	25.12	10.03	75
Поздняя	31.01	20.05	110
Пролив Лаперуза			
Средняя	15.01	15.04	90
Ранняя	5.01	10.03	65
Поздняя	31.01	15.05	105

Особенности сезонного хода ледовитости в заливе Анива и проливе Лаперуза представлены на рисунке 6. Для лучшего восприятия графической информации, расчёты средних значений ледовитости в исследуемых районах за период 1979–2016 гг. выполнены для основных типов зим – суровых, умеренных и мягких. На графиках хорошо видны различия в характере заполняемости льдами исследуемых районов. Практически полное заполнение акватории льдом (~99%) отмечается только в заливе Анива в суровые зимы. Период времени, когда максимальная ледовитость здесь превышает 90% от общей площади района, составляет около 30 сут. (с 10 февраля по 10 марта). В проливе Лаперуза полного заполнения льдом не происходит: в суровые зимы максимальное заполнение льдом (около 70%) здесь наблюдается с 15 по 25 февраля.

Явно выраженные колебания площади морского льда в течение ледового сезона наблюдались во все основные типы зим. Такие резкие колебания ледовитости вызваны воздействием глубоких циклонов с сильными ветрами восточных румбов, влияние которых обуславливает смену направления дрейфа льда, его сжатие и торошение. Обширные прибрежные польньи, заполненные начальными видами льда, закрываются, и площадь массива может уменьшаться на 10-15% в течение 5–10 сут.

## ВЫВОДЫ

1. Впервые выполнен анализ межгодовой и сезонной изменчивости ледовитости залива Анива и пролива Лаперуза с использованием данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий за период с 1979 по 2016 г.

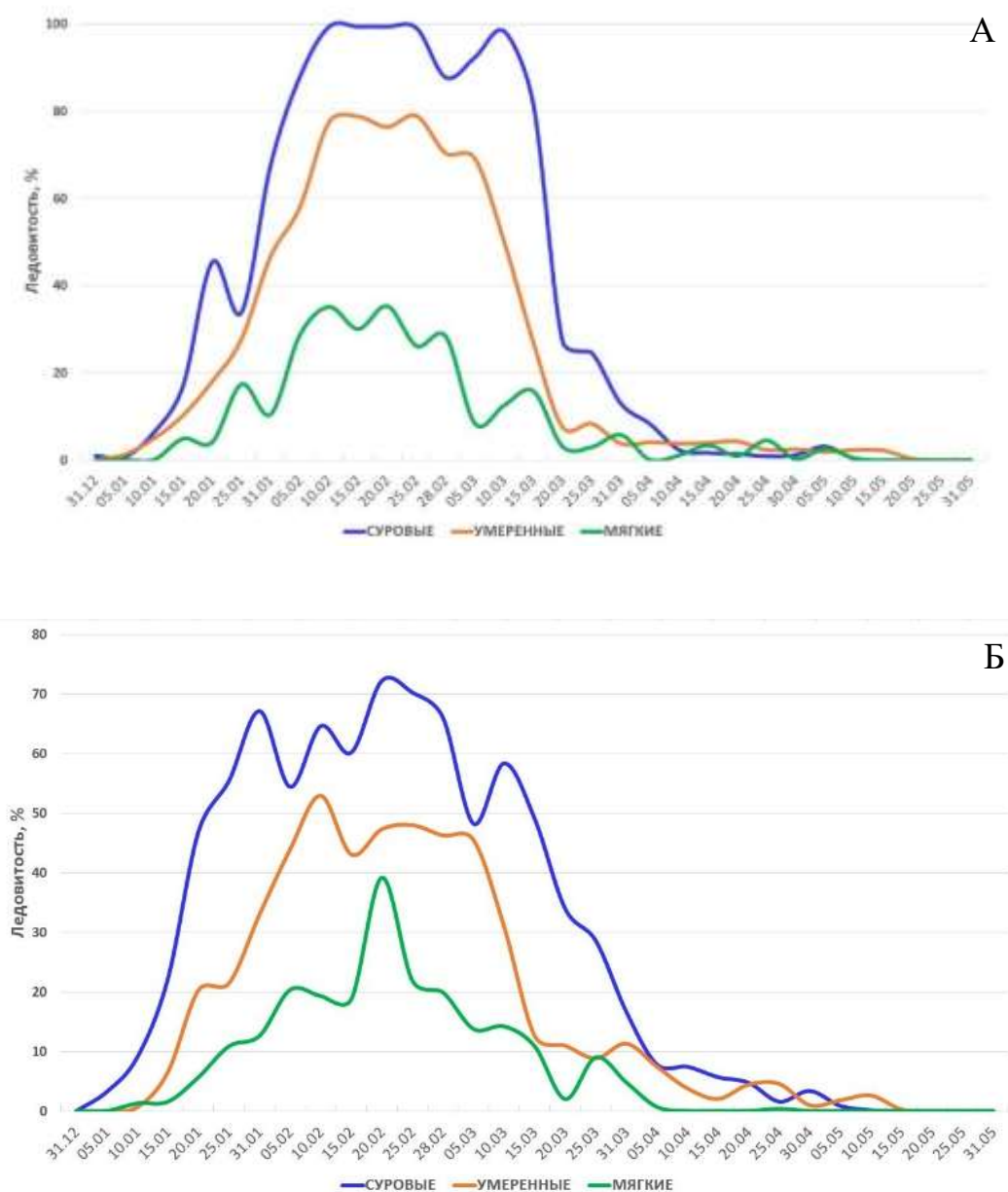
2. Показано, что географическое положение и особенности орографии береговой линии залива Анива формируют здесь особые ледовые условия. Эта акватория является единственной, в которой отмечена тенденция увеличения ледовитости (2.5% за последние 37 лет). Наиболее суровый период в заливе Анива был с 1998 по 2005 г., когда средняя аномалия ледовитости составляла 13%; наиболее малоледовитый – с 1989 по 1997 г. со средним значением аномалии около -17%.

3. Ледовитость пролива Лаперуза формируется исключительно за счёт поступления односторонних льдов с северно-западной части Охотского моря и залива Терпения. За период с 1979 по 2016 гг. площадь ледяного покрова пролива сократилась на 11% и вполне согласуется с общим сокращением ледовитости Охотского моря, которое составляет 15%.

4. Выполненная типизация зим по суровости ледовых условий позволила определить, что в заливе Анива сумма суровых и экстремально суровых типов зим выше, чем в проливе Лаперуза – 37 и 29% соответственно.

5. Средняя продолжительность ледового сезона в заливе Анива и проливе Лаперуза составляет 85 и 90 сут. соответственно. Самыми продолжительным в заливе Анива был ледовый сезон 2005 г. (140 сут.), самым непродолжительным 1987 г. (45 сут.).

6. Практически полное заполнение акватории льдом (~99%) отмечается только в заливе Анива в суровые зимы. Период времени, когда максимальная ледовитость здесь превышает 90% от общей площади района, составляет около 30 сут. (с 10 февраля по 10 марта). В проливе Лаперуза полного заполнения льдом не происходит: в суровые зимы максимальное заполнение льдом (около 70%) здесь наблюдается с 15 по 25 февраля.



**Рисунок 6.** Сезонный ход средних значений ледовитости для основных типов зим в заливе Анива (А) и проливе Лаперуза (Б) за период 1979–2016 гг.

**Figure 6.** Seasonal course of the mean values of ice cover for the main types of winters in Aniva Bay (A) and La Perouse Strait (B) for the period of 1979–2016

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Границы океанов и морей. – № 9031. – СПб., ГУНиО МО, 2000. – С. 127–137.
2. Крындин А.Н. Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и кромки льда на дальневосточных морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Тр. ГОИН. – 1964. – С. 5–81.
3. Минервин И.Г., Романюк В.А., Пищальник В.М., Трусков П.А., Покрашенко С.А. Районирование ледяного покрова Охотского и Японского морей // Вестник РАН, 2015. – Т. 85. – № 3. – С. 209–217.
4. Пищальник В.М., Романюк В.А., Минервин И.Г., Батухтина А.С. Анализ динамики аномалий ледовитости Охотского моря в период с 1882 по 2015 гг. // Изв. ТИНРО. – 2016. – Т. 185. – С. 228–239.
5. Пищальник В.М., Минервин И.Г., Романюк В.А. Анализ изменений ледового режима в отдельных районах Охотского моря в период потепления с 1979 по 2015 гг. // Вестник РАН, 2017. – Т. 87. – № 1. – С. 430–441.
6. Плотников В.В. Изменчивость ледовых условий дальневосточных морей России и их прогноз. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 172 с.
7. Плотников В.В., Якунин Л.П., Петров В.А. Ледовые условия и методы их прогнозирования // Проект «Моря». Гидрология и гидрохимия морей. Том IX. Охотское море. – Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоздат, 1998. – С. 291–340.
8. Цыпышева И.Л., Муктепавел Л.С., Цицашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченкова Т.В. Особенности изменчивости ледовитости в Татарском проливе (Японское море) в связи с региональной атмосферной циркуляцией // Изв. ТИНРО. – 2016. – Т. 184. – С. 135–149.

**Valeriy A. Romanyuk<sup>1</sup>, Irina V. Eremenko<sup>2</sup>, Vladimir M. Pishchal'nik<sup>3</sup>**

**ANALYSIS OF INTERANNUAL AND SEASONAL VARIABILITY OF ICE COVER  
IN ANIVA BAY AND LA PEROUSE STRAIT  
ACCORDING TO EARTH REMOTE SENSING DATA**

**ABSTRACT**

*Based on the data of satellite observations of the ice cover with the use of geoinformation technologies, an analysis of the interannual and seasonal variability of ice cover in Aniva Bay and La Perouse Strait has been made. It is established that there is a tendency for a decrease in ice cover by 2.5% in Aniva Bay, and in La Perouse Strait – by 11% for the period from 1979 to 2016. It is revealed that Aniva Bay is the only water area with a tendency of increasing ice cover. Based on the analysis of the dynamics of ice cover anomalies relative to the climatic standard norm of 1981-2010, periods with the predominance of its positive and negative values and years with the highest and lowest values have been marked. It is shown that the ice cover of La Perouse Strait and Aniva Bay has the greatest interrelation with the ice cover in the extreme southern part of the Sea of Okhotsk with a correlation coefficient of 0.76 and 0.66, respectively. The typing of winters according to the severity of ice conditions has been performed according to which it is determined that the sum of severe and extremely severe types of winters in Aniva Bay is higher than that in La Perouse Strait. Analysis of the intra-seasonal course of ice cover made it possible to determine the mean dates for the appearance and disappearance of the ice in Aniva Bay and La Perouse Strait, as well as the duration of the ice period. Aniva Bay is characterized by almost complete filling with ice,*

<sup>1</sup> Sakhalin State University; 693000, Yuzhno-Sakhalinsk, Lenin st, 290; e-mail: kunashir18@rambler.ru

<sup>2</sup> Sakhalin State University; 693000, Yuzhno-Sakhalinsk, Lenin st, 290; e-mail: irinkaeremenko@ya.ru

<sup>3</sup> Sakhalin State University, 693000, Yuzhno-Sakhalinsk, Lenin st, 290; e-mail: vpishchalnik@rambler.ru

*which occurs here in severe winters from February 10 to March 10. La Perouse Strait is filled with ice in the severe winters only by 70% - from 15 to 25 of February.*

**KEYWORDS:**

*Aniva Bay, La Perouse Strait, ice extent, remote sensing of the Earth, safety of navigation*

**REFERENCES**

1. Granici okeanov i morei [Borders of the oceans and seas], No 9031, St. Petersburg: GUNiO MO, 2000, pp. 127–137 (in Russian).
  2. Kryndin A.N. Sezonnii i meĭgodovii izmeneniya ledovitosti i kromki l'da na dalnevostochnih moryah v svyazi s osobennostyami atmosfernoĭ cirkulyacii [Seasonal and interannual changes in ice extent and ice edge in the Far Eastern seas due to the peculiarities of atmospheric circulation], Tr. GOIN, 1964, pp. 5–81 (in Russian).
  3. Minervin I.G., Romanyuk V.A., Pishchalnik V.M., Truskov P.A., Pokrashenko S.A., Raionirovanie ledyanogo pokrova Ohotskogo i Yaponskogo morei [Zoning of the ice cover of the Okhotsk and Japan seas], Vestnik RAN 201, T. 85, No 1, pp. 24–32 (in Russian).
  4. Pishchal'nik V.M., Romanyuk V.A., Minervin I.G., Batuhina A.S., Analiz dinamiki anomalii ledovitosti Ohotskogo morya v period s 1882 po 2015 gg. [Analysis of the dynamics of anomalies in the ice cover of the Sea of Okhotsk between 1882 and 2015], Izv. TINRO, 2016, Vol. 185, pp. 228–239 (in Russian).
  5. Pishchal'nik V.M., Minervin I.G., Romanyuk V.A. Analiz izmenenij ledovogo rezhima v otdel'nyh rajonah Ohotskogo morya v period potepleniya s 1979 po 2015 gg. [Analysis of ice conditions changes in some areas of the Okhotsk Sea in the period of warming from 1979 to 2015], Vestnik RAN, 2017, T. 87, No 1, pp. 430–441 (in Russian).
  6. Plotnikov V.V. Izmenchivost ledovih uslovii dalnevostochnih morei Rossii i ih prognoz [Variability of ice conditions in the Far Eastern seas of Russia and their forecast] Vladivostok: Dalnauka, 2002, 172 p. (in Russian).
  7. Plotnikov V.V., Yakunin L.P., Petrov V.A., Ledovie usloviya i metodi ih prognozirovaniya [Ice conditions and methods for predicting them], Proekt "Morya", Gidrologiya i "gidrohimiya morei, Vol. IX. Ohotskoe more, Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie usloviya, SPb., Gidrometeoizdat, 1998, pp. 291–340 (in Russian).
  8. Tcispisheva I.L., Muktepavel L.S., Ciciashvili G.Sh., Shatilina T.A., Radchenkova T.V. Osobennosti izmenchivosti ledovitosti v Tatarskom prolive (Yaponskoe more) v svyazi s regionalnoi atmosfernoĭ cirkulyacieĭ [Features of variability of ice cover in the Tatar Strait (Sea of Japan) in connection with regional atmospheric circulation], Izv. TINRO, 2016, Vol. 184, pp. 135–149 (in Russian).
-