

Дорофеева Д.В.¹, Пищальник В.М.², Минервин И.Г.³,
Пастухова Д.А.⁴, Шумилов И.В.⁵

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕКОВОГО РЯДА ЛЕДОВИТОСТИ ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

АННОТАЦИЯ

В данной работе реконструирован и сформирован ряд межгодовой изменчивости ледовитости Татарского пролива за период с 1882 по 2017 гг. В основу источника информации для построения ряда легли исторические данные температуры воздуха с прибрежных гидрометеорологических станций (1882–2017 гг.) и наблюдения за ледяным покровом: судовые с 1929 по 1960 гг.; авиационные с 1955 по 1992 гг. и спутниковые с 1971 по 2017 гг. Сглаживание восстановленного ряда выполнено методом Кайзера-Бесселя и выделены долгопериодные колебания ледовитости продолжительностью от 7 до 25 лет. Методом наименьших квадратов были получены тренды динамики межгодовых изменений ледовитости Татарского пролива. Скорость повышения ледовитости в положительных трендах колеблется от 4,5 до 8,9 % за 10 лет, понижения в отрицательных – от 12,3 до 5,8 % за 10 лет. С помощью линейной аппроксимации установлено наличие общей однонаправленной тенденции снижения ледовитости на 6,7 % за последние 135 лет со средней скоростью понижения 0,5 % за каждые 10 лет. По данным о площади ледяного покрова выполнена классификация типов зим по суровости ледовых условий. Период с 1985 по 1994 гг. характеризуется наибольшей повторяемостью мягких зим, а период с 1920 по 1944 гг. отличается самыми суровыми ледовыми условиями в исследуемом вековом ряду. Установлено, что, начиная с 1985 г., в акваториях Татарского пролива и Охотского моря проявляются синхронные колебания в изменении ледовитости.

Результаты настоящего исследования были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России (номер для публикаций: 5.9510.2017/8.9).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Татарский пролив, многолетние изменения ледовитости, тенденции, тренды, типизация зим по суровости ледовых условий.

¹ ООО «РН-СахалинНИПИморнефть», ул. Амурская, 53, 693000, Южно-Сахалинск, Россия, *e-mail*: x-397-y@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», ул. Ленина, 290, 693000, Южно-Сахалинск, Россия, *e-mail*: vpishchalnik@rambler.ru

³ ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», ул. Ленина, 290, 693000, Южно-Сахалинск, Россия, *e-mail*: igor@minervin.ru

⁴ ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», ул. Ленина, 290, 693000, Южно-Сахалинск, Россия, *e-mail*: darya.pastuhova97@gmail.com

⁵ ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», ул. Ленина, 290, 693000, Южно-Сахалинск, Россия, *e-mail*: ilyarolevik1@yandex.ru

**Daria V. Dorofeeva¹, Vladimir M. Pishchalnik², Igor G. Minervin³,
Daria A. Pastyhova⁴, Ilya V. Shumilov⁵**

VARIABILITY ANALYSIS OF THE CENTURIAL ICE COVER SERIES OF TATAR STRAIT ON THE BASIS OF SATELLITE AND HYDROMETEOROLOGICAL OBSERVATIONS USING GIS TECHNOLOGIES

ABSTRACT

In this article, series of inter-annual variability of the ice cover of the Tatar Strait were reconstructed and formed for the period from 1882 to 2017. The source of information for constructing the series was based on historical air temperature data from the coastal hydrometeorological stations (1882–2017) and observations of the ice cover: marine from 1929 to 1960; aviation from 1955 to 1992 and satellite from 1971 to 2017. The smoothing of the reconstructed series was performed by the Kaiser-Bessel method and long-period fluctuations of ice cover with duration from 7 to 25 years are marked. Trends of the dynamics of inter-annual changes of the ice cover of the Tatar Strait were obtained by the method of least squares. The rate of increase in ice cover in positive trends ranges from 4.5 to 8.9 % over 10 years, decrease in ice cover in negative trends ranges from 12.3 to 5.8 %. With the help of linear approximation, defined existence of general unidirectional trend of decreasing of ice cover by 6.7 % over the past 135 years with an average rate of decreasing of 0.5 % for every 10 years was established. The classification of winter types by the severity of ice conditions was made according to the ice cover area data. The period from 1985 to 1994 was characterized by the greatest frequency of soft winters, and the period from 1920 to 1944 was distinguished by the most severe ice conditions in the investigated centurial series. It was established that, beginning in 1985, synchronous fluctuations in the variation of ice cover have been occurring in the water areas of the Tatar Strait and the Sea of Okhotsk.

KEYWORDS: Tatar Strait, long-term changes of ice cover, tendency, trends, typification of winters by the severity of ice conditions.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях снижения легкодоступных запасов углеводородов на суше, одной из главных задач восполнения топливно-энергетических ресурсов является освоение недр континентального шельфа. Комплексный анализ геолого-геофизических данных Татарского пролива, изложенный в работах [Нечаюк, Обжиров, 2010; Ломтев, 2011; Жемчугова, 2012], позволил выявить на его акватории перспективные участки залежей углеводородного сырья. Татарский пролив относится к категории замерзающих морей, т. е. имеющих сезонный ледяной покров, который, в свою очередь, накладывает серьезные ограничения на безопасность выполнения морских операций. В этой связи изучение ледового режима исследуемой акватории приобретает особую актуальность. Целью настоящего исследования является восстановление векового ряда колебаний ледовитости Татарского пролива на основе спутниковых и гидрометеорологических наблюдений и его анализ на пространственно-временные изменчивости. В работах, посвященных исследованиям

¹ RN-SakhalinNIPImorneft, ul. Amyrskaya 53, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia, e-mail: x-397-y@mail.ru

² Sakhalin State University, ul. Lenina 290, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia, e-mail: vpishchalnik@rambler.ru

³ Sakhalin State University, ul. Lenina 290, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia, e-mail: igor@minervin.ru

⁴ Sakhalin State University, ul. Lenina 290, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia, e-mail: darya.pastuhova97@gmail.com

⁵ Sakhalin State University, ul. Lenina 290, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia, e-mail: ilyarolevik1@yandex.ru

ледового режима Японского моря (в том числе и Татарского пролива), данный вопрос не освещался [Якунин и др., 1998; Плотников, 2002; Лобанов и др., 2014; Еременко и др., 2017; Думанская, 2017а, б].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными источниками данных для восстановления ряда ледовитости Татарского пролива послужили результаты наблюдений за приземной температурой воздуха на прибрежных ГМС (с 1882 по 2017 гг.), эпизодические судовые (с 1929 по 1960 гг. [Крындина, 1964]), регулярные авиационные наблюдения (с 1957 по 1992 гг. [Якунин и др., 1998; Плотников, 2002]), а также спутниковые съемки ледяного покрова, выполняющиеся с 1971 г. по настоящее время с космических аппаратов [<http://www.data.jma.go.jp>]. Каждый способ получения информации имеет свои достоинства и недостатки, различия по временным и пространственным масштабам точности определения границ. По оценкам А.Н. Крындина (1964), величина ошибки вычисления площади ледяного покрова по данным судовых наблюдений не превышала 10 % от площади исследуемого района, ошибка расчетов по данным авиационных наблюдений не превышает 5 % [Якунин и др., 1998], спутниковых – 2 % [Митник и др., 2015; Пищальник и др., 2017].

Вышеперечисленные временные интервалы наблюдений векового ряда имели пропуски, которые восстановлены методом экспертной оценки и критического контроля данных с последующим приведением их к единой дискретности. С этой целью была применена методика, апробированная для акватории Охотского моря, основанная на корреляционной взаимосвязи динамики ледообразования с количеством накопленной за сезон суммы градусодней мороза (СГДМ), которая рассчитывалась по данным среднесуточных температур воздуха на прибрежных гидрометеорологических станциях (ГМС) [Пищальник и др., 2016]. Наибольшие по абсолютной величине значения коэффициентов корреляции между площадью ледяного покрова Татарского пролива и СГДМ на станциях, получены для ГМС Поронайск и мыс Золотой (0,62 и 0,65 соответственно) (табл. 1).

Временной отрезок ряда ледовитости за период с 1882 по 1928 гг. был восстановлен на основе регрессионной зависимости между рядами ледовитости Татарского пролива и количеством накопленного за сезон холода (СГДМ) по данным ГМС.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции площади ледяного покрова Татарского пролива с СГДМ на прибрежных ГМС
Table 1. Correlation coefficients between the area of the ice cover of Tatar Strait and the sums of degrees of frost at the coastal HMS

Вакканай (В)	Александровск-Сахалинский (АС)	Ильинское (И)	Мыс Золотой (МЗ)	Николаевск-на-Амуре (НА)	Сов. Гавань (СГ)
0,46	0,47	0,47	0,65	0,4	0,45
Терней (Т)	Холмск (Х)	Поронайск (П)	НА + АС + СГ	МЗ + И + Х + В + Т	
0,52	0,46	0,62	0,52	0,54	

Вычисление площади ледяного покрова в период с 1971 по 2017 гг. производилось при помощи программного комплекса «ЛЁД» на основе цветочкодированных карт-схем ледяного покрова Японского метеорологического агентства [JMA <http://www.data.jma.go.jp>], составляемых на каждую пентаду (один раз в пять дней) по данным спутниковых наблюдений [Пищальник и др., 2016].

Вычисление среднемесячной ледовитости осуществлялось путем усреднения ее значений за 10-е, 15-е и 20-е числа, а межгодовой – среднемесячных значений с декабря по апрель. Ледовитость определялась как отношение площади, занятой льдом, к площади пролива (107,5 тыс. км²) в процентах.

Таким образом, на основе всех имеющихся доступных гидрометеорологических и расчетных данных был сформирован вековой ряд ледовитости Татарского пролива с 1882 по 2017 гг. (рис. 1).

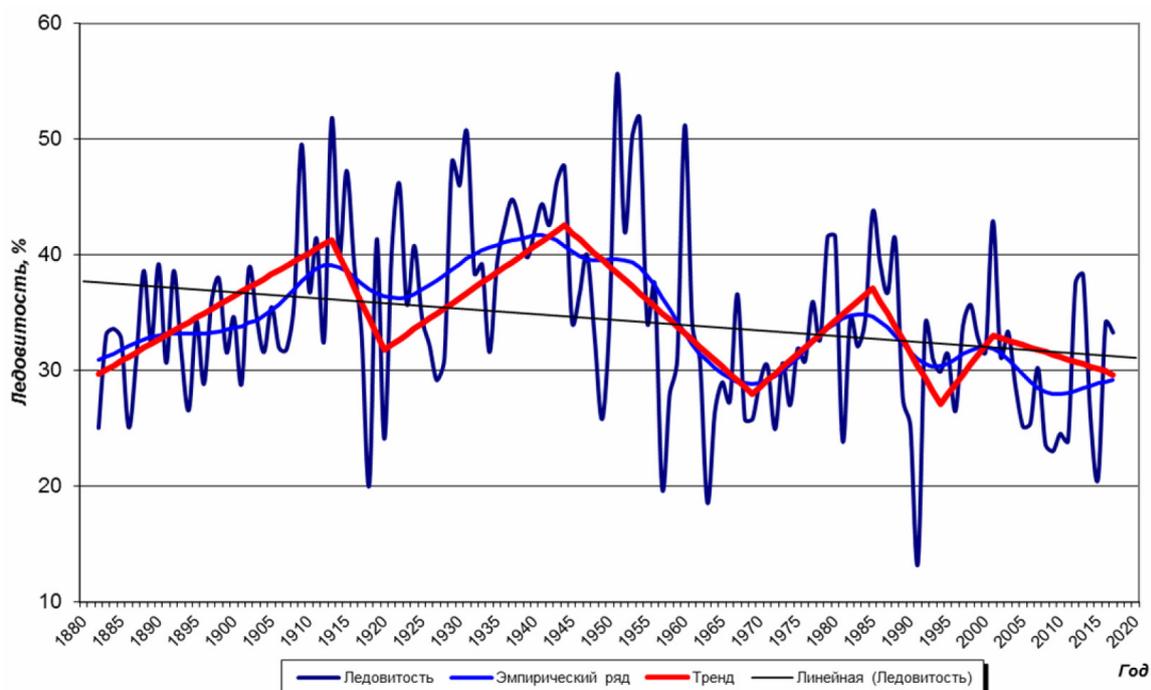


Рис. 1. Вековой ряд ледовитости Татарского пролива с 1882 по 2017 гг. с его аппроксимациями
 Fig. 1. The century series of ice cover of the Tatar Strait from 1882 to 2017 and it's approximations

В процессе анализа пространственно-временных характеристик данного векового ряда и определения трендов повышения и понижения ледовитости было исключено действие случайных факторов. Для этого на основе исходного ряда ледовитости, используя метод Кайзера-Бесселя, в основе которого лежит аппроксимация «окном Кайзера» вида (1) [Рабинер, Гоулд, 1978]:

$$\omega_k(t) = (S(\beta\sqrt{1 - [2t / (T - 1)]^2}) / (S(\beta))), \quad -((T - 1) / 2) \leq t \leq (T - 1) / 2 \quad (1),$$

где S – площадь ледяного покрова в процентах, T – исследуемые годы (нечетное число), ω_k – частотная характеристика квазипериодического дискретного ряда, был построен эмпирический сглаженный ряд. Расчеты производились с помощью интерактивного программного комплекса Mario, разработанного в Сахалинском Государственном университете и находящегося в открытом доступе [www.shipdesign.ru] [Поплавский и др., 1997]. Среднеквадратичные отклонения сглаженного ряда от исходного приведены в (табл. 2).

Суммарный коэффициент вариаций составляет 0,65 %, что свидетельствует о малой степени разброса значений сглаженного ряда относительно исходного ряда ледовитости.

Таблица 2. Отклонения сглаженного ряда от исходного ряда ледовитости
Table 2. Deviations of the smoothed series from the original ice cover series

Год	Среднее значение векового ряда	Среднее значение сглаженного ряда	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации, %
1882–1894	32,2	32,4	0,06	0,19
1894–1922	36,3	36,1	0,04	0,11
1922–1969	37,2	37,4	0,02	0,05
1969–1993	32,2	32,3	0,00	0
1993–2010	30,0	30,3	0,09	0,3
			$\Sigma = 0,21$	$\Sigma = 0,65$

Выявленные основные периоды колебаний сглаженного ряда исследовались на экстремумы. Применяя метод наименьших квадратов, аппроксимируем основные полупериоды кусочно-линейными трендами, определив диапазоны значений ледовитости и соответствующих лет, решив систему (2):

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n t_i^2 + b \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n t_i S_i \\ a \sum_{i=1}^n t_i + bn = \sum_{i=1}^n S_i \end{cases}, \quad (2)$$

где S_i – значение ледовитости, t_i – значение соответствующих лет, n – число исследуемых точек полупериода.

Так как значения ледовитости в точке экстремума кусочно-линейных трендов слева и справа, как правило, различны, общий тренд построен по их средним значениям (рис. 1). Найдем отклонения (табл. 3).

Таблица 3. Отклонение тренда от сглаженного ряда
Table 3. Deviation of the trend from the smoothed series

Год	Среднее значение сглаженного ряда	Среднее значение тренда	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации, %
1882–1913	34,3	35,5	0,220	0,64
1913–1920	37,6	35,9	0,646	1,72
1920–1944	39,5	37,5	0,413	1,05
1944–1969	35,3	35,0	0,059	0,17
1969–1985	32,4	32,9	0,124	0,38
1985–1994	31,9	31,6	0,122	0,38
1994–2001	31,5	30,5	0,393	1,25
2001–2017	29,0	31,3	0,558	1,92
			$\Sigma = 2,537$	$\Sigma = 7,51$

Общий тренд динамики изменения ледовитости исходного ряда был аппроксимирован линейной функцией с применением ПО Microsoft Office Excel (см. рис. 1).

Классификация типов зим по суровости ледовых условий осуществлялась по значениям ледовитости на основе количественного критерия $0,8 \sigma$. Согласно работе В.А. Спичкина (1987), значение $1,2 \sigma$ служит границей крупной положительной или отрицательной аномалии. При принятом диапазоне $0,8 \sigma$, было выделено пять типов зим: ЭС –

экстремально суровая ($\geq 1,2 \sigma$), С – суровая (от $> 0,4 \sigma$ до $< 1,2 \sigma$), У – умеренная (от $> -0,4 \sigma$ до $< 0,4 \sigma$), М – мягкая (от $> -1,2 \sigma$ до $< -0,4 \sigma$) и ЭМ – экстремально мягкая ($\leq -1,2 \sigma$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В восстановленном ряду межгодовых колебаний ледовитости Татарского пролива за период с 1882 по 2017 гг. выделены многолетние периоды с положительной (с 1920 по 1944, с 1969 по 1985, с 1994 по 2001 гг.) и отрицательной (с 1913 по 1920, с 1944 по 1969, с 1985 по 1994 гг.) динамикой изменения ледовитости, продолжительность которых варьирует от 7 до 25 лет (см. рис. 1). Среднее значение ледовитости за весь период исследований уменьшилось на 6,7 %.

Средняя ледовитость пролива для всего исследуемого периода составляет 34,4 %. Скорость повышения ледовитости колебалась от 4,5 до 8,9 % за 10 лет, понижения – от 12,3 до 5,8 % за 10 лет. В течение всего периода исследований понижение ледовитости происходило со средней скоростью 0,5 % за 10 лет. Максимальное значение ледовитости наблюдалось в 1951 г. (55,6 %), минимальное – в 1991 г. (13,3 %). Следует отметить, что начиная с 1985 г., тренды изменения ледовитости Татарского пролива и Охотского моря практически совпадают [Пищальник, 2017].

Важной характеристикой ледового режима является типизация зим по суровости ледовых условий. Результаты расчетов типизации представлены в табл. 4 за весь исследуемый период типы зим по суровости ледовых условий распределились следующим образом: ЭС – 12 %, С – 21 %, У – 34 %, М – 23 % и ЭМ – 10 % (рис. 2).

Таблица 4. Типизация зим по суровости ледовых условий в Татарском проливе с 1882 по 2017 гг.

Table 4. Typification of winters by severity of ice conditions in the Tatar Strait from 1882 to 2017

Тип зимы	Годы
Экстремально суровый	1909, 1913, 1915, 1922, 1929, 1930, 1931, 1937, 1941, 1943, 1944, 1951, 1953, 1954, 1960, 1985
Суровый	1988, 1890, 1892, 1898, 1902, 1911, 1914, 1916, 1919, 1921, 1924, 1932, 1933, 1935, 1936, 1938, 1939, 1940, 1942, 1947, 1952, 1979, 1980, 1986, 1988, 2001, 2012, 2013
Умеренный	1883, 1884, 1885, 1889, 1893, 1895, 1897, 1899, 1900, 1903, 1904, 1905, 1906, 1907, 1908, 1910, 1912, 1917, 1923, 1925, 1926, 1934, 1945, 1946, 1948, 1950, 1955, 1956, 1961, 1967, 1975, 1977, 1978, 1982, 1983, 1984, 1987, 1992, 1995, 1997, 1998, 1999, 2000, 2003, 2016, 2017
Мягкий	1887, 1891, 1894, 1896, 1901, 1927, 1928, 1949, 1958, 1959, 1962, 1964, 1965, 1966, 1968, 1969, 1970, 1971, 1973, 1974, 1976, 1989, 1990, 1993, 1994, 1996, 2002, 2004, 2006, 2007, 2014
Экстремально мягкий	1882, 1886, 1918, 1920, 1957, 1963, 1972, 1981, 1991, 2005, 2008, 2009, 2010, 2011, 2015

Максимальная повторяемость ЭС зим отмечалась в периоды: 1913–1920, 1920–1944 и 1944–1969 гг. – 25, 32 и 19 %, соответственно. Максимальная повторяемость М зим наблюдалась в периоды 1944–1969, 1969–1985 и 1985–1994 гг. – 35, 35 и 40 %, соответственно. Максимальная повторяемость М и ЭМ зим наблюдалась в период с 1985 по 1994 гг. (50 %), а С и ЭС – в период с 1920 по 1944 гг. (72 %).

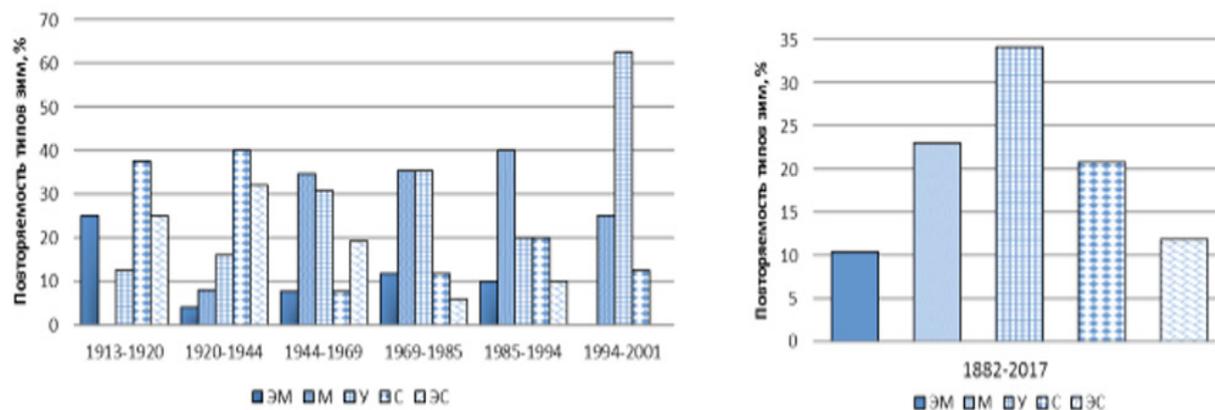


Рис. 2. Повторяемость типов зим по суровости ледовых условий в Татарском проливе для различных временных периодов
 Fig. 2. Repeatability of winter types by severity of ice conditions in the Tatar Strait for different time periods

Следует заметить, что в отличие от Охотского моря, в котором ЭМ зимы начали проявляться только в период потепления (с 1991 г.), в Татарском проливе они систематически наблюдались в течение всего векового периода [Пищальник и др., 2016]. Вместе с тем характер долгопериодных колебаний в период потепления, который по общей однонаправленной тенденции понижения ледовитости отмечается в Охотском море с 1980 г., а в Татарском проливе с 1985 г. является идентичным.

ВЫВОДЫ

1. Впервые представлен и описан вековой ряд ледовитости Татарского пролива с 1882 по 2017 гг., сформированный на основе данных, полученных с помощью различных методов наблюдений.
2. Среднее значение ледовитости Татарского пролива за весь период исследования составляет 34,4 %. Выявлен общий тренд уменьшения ледовитости на 6,7 % (средняя скорость понижения 0,5 % за 10 лет).
3. Абсолютный максимум ледовитости наблюдался в 1951 г. (55,6 %), минимум – в 1991 г. (13,3 %).
4. Максимальная повторяемость С и ЭС зим (72 %) отмечалась в период с 1920–1944 гг., а М и ЭМ зим (50 %) – в период с 1985–1994 гг.
5. Начиная с 1985 г. тренды изменения ледовитости Татарского пролива и Охотского моря практически сонаправлены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Думанская И.О. Особенности типизаций ледовых условий в Японском море (Татарский пролив и залив Петра Великого) по суровости зим и по ледовитости районов моря // Труды Гидрометцентра России. 2017а. С. 170–192.
2. Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России / Японское море. М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2017б. 640 с. ISBN 978-5-9908623-6-4.
3. Еременко И.В., Дорофеева Д.В., Романюк В.А., Пищальник В.М. Исследование изменений ледовитости Татарского пролива на основе данных дистанционного зондирования Земли // ИнтерКарто/ИнтерГИС 23: Материалы Междунар. конф. М.: Изд-во Моск. университета, 2017. Т. 3. С. 20–31. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-20-31.

4. Жемчугова Т.А. Перспективы нефтегазоносности осадочного чехла центральной части Татарского пролива по результатам бассейнового моделирования // Научно-технический вестник ПАО «НК «Роснефть». 2012. Вып. 28. С. 16–19.
5. Крындин А.Н. Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда на дальневосточных морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Тр. ГОИН. 1964. Вып. 71. С. 5–80.
6. Лобанов В.Б., Данченков М.А., Лучин В.А. и др. Дальневосточные моря России // Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. С. 684–743.
7. Ломтев В.Л. К строению и газоносности западного борта Северо-Татарского трога (Японское море) // Современное состояние наук о Земле. Материалы Междунар. конф. памяти В.Е. Хаина. М.: Изд-во Геологического фак-та МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. С. 1162–1165.
8. Митник Л.М., Трусенкова О.О., Лобанов В.Б. Дистанционное радиофизическое зондирование океана и атмосферы из космоса: достижения и перспективы (обзор) // Вестник ДВО РАН. 2015. № 6. С. 21–22.
9. Нечаюк А.Е., Обжиров А.И. Структуры и нефтегазоносность бассейнов Татарского пролива // Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле, 2010. Вып. 16. № 2. С. 27–34.
10. 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.
11. Пищальник В.М., Минервин И.Г., Романюк В.А. Анализ изменений ледового режима в отдельных районах Охотского моря в период потепления // Вестник РАН. 2017. Т. 87, № 5. С. 429–440. DOI: 10.7868/S0869587317050024.
12. Плотников В.В. Изменчивость ледовых условий дальневосточных морей России и их прогноз. Владивосток: Дальнаука, 2002. 171 с.
13. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов М.: Мир, 1978. 834 с.
14. Спичкин В.А. Определение критерия крупной аномалии // Тр. АНИИ. 1987. Т. 402. С. 15–20.
15. Поплавский А.А., Храмушин В.Н., Непон К.И., Королев Ю.П. Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. Владивосток: ДВО РАН, 1997. 272 с.
16. Якунин Л.П., Плотников В.В., Петров А.Г. Ледовые условия // Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VIII. Японское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат, 1998. С. 347–394.

REFERENCES

1. Dumanskaya I.O. Distinctive properties of the typing of the situations in the Sea of Japan (in the Strait of Tartary and Peter the Great Bay) on the basis of severity of winters and on the basis of the ice cover of these regions. Trudy gidromet center RF. 2017a. P. 170–192 (in Russian).
2. Dumanskaya I.O. Ice conditions of the seas of the Asian part of Russia. M.; Obninsk: IG-SOTsIN, 2017b. 640 p. ISBN 978-5-9908623-6-4 (in Russian).
3. Eremenko I.V., Dorofeyeva D.V., Romanyuk V.A., Pishchalnik V.M. Investigation of changes in the ice extent of the Tatar Strait on the basis of data from remote observation zones. InterKarto, InterGIS 23. Materialy Mezhdunar. konf. M. Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, 2017. P. 20–31 (in Russian).
4. Krindin A.N. 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. P. 5–81 (in Russian).

5. *Lobanov V.B., Danchenkov M.A., Luchin V.A. et al.* Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. M.: Rosgidromet, 2014. P. 684–743 (in Russian).
6. *Lomtev V.L.* The structure and gas content of the western side of the North Tatar Trough (the Sea of Japan). *Sovremennoye sostoyaniye nauk o Zemle. Mat-ly mezhd. Konf. pamyati V.E. Khaina.* M.: Izd-vo Geologicheskogo fak-ta MGU im. M.V. Lomanosova, 2011. P. 1162–1165 (in Russian).
7. *Mitnik L.M., Trusenkova O.O., Lobanov V.B.* Remote radiophysical sounding of the ocean and the atmosphere from space: achievements and prospects (review). *Vestnik DVO RAN.* 2015. No 6. P. 21–22 (in Russian).
8. *Nechayuk A.E., Obzhirov A.I.* Structures and oil and gas content of the basins of the Tatar Strait. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle.* 2010. V. 16, No 2. P. 27–34 (in Russian).
9. *Pischalnik V.M., Romanyuk V.A., Minervin I.G., Batuhtina A.S.,* Analysis of the dynamics of anomalies in the ice cover of the Sea of Okhotsk during the period from 1882 to 2015. *Izv. TINRO,* 2016. V. 185. P. 228–239 (in Russian).
10. *Pischalnik V.M., Minervin I.G., Romanyuk V.A.,* Analysis of ice regime changes in separate areas of the Sea of Okhotsk during warming. *Vestnik RAN.* 2017. T. 87, No 5. P. 429–440. DOI: 10.7868/S0869587317050024 (in Russian).
11. *Plotnikov V.V.* Variability of ice conditions in the Far Eastern seas of Russia and their forecast. Vladivostok: Dalnauka, 2002. 172 p. (in Russian).
12. *Poplavskiy A.A., Khramushin V.N., Nepon K.I., Korolev Yu.P.* Operative forecast of tsunami on the sea coasts of the Russian Far East. DVO RAN, 1997. 272 p.
13. *Rabiner L., Gould B.* Theory and method of signal processing. M.: Mir, 1978. 834 p. (in Russian).
14. *Spichkin V.A.* Determination of the criterion of a large anomaly. *Tr. AANII.* 1987. V. 402. P. 15–20 (in Russian).
15. *Yakunin L.P., Plotnikov V.V., Petrov V.A.* Ice conditions. Proekt "Morya". *Gidrologiya i gidrohimiya morei.* T. VIII. Yaponskoye more. Vip. 1. *Gidrometeorologicheskie usloviya.* SPb.: Gidrometeoizdat, 1998. P. 347–394 (in Russian).
16. *Zhemchugova T.A.* Prospects of oil and gas content of the sedimentary cover of the central part of the Tatar Strait according to the results of basin modeling. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik PAO "NK "Rosneft".* 2012. V. 28. P. 16–19 (in Russian).