

ОСОБЕННОСТИ ТИПИЗАЦИЙ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ЯПОНСКОМ МОРЕ (ТАТАРСКИЙ ПРОЛИВ И ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО) ПО СУРОВОСТИ ЗИМ И ПО ЛЕДОВИТОСТИ РАЙОНОВ МОРЯ

И.О. Думанская

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации
sea-ice@mescom.ru*

Введение

Значительные аномалии ледовитости в Татарском проливе и заливе Петра Великого (ЗПВ) не обязательно связаны с температурными условиями в зимы различной суровости. Существенное влияние на формирование ледовых условий в этих районах оказывают динамические факторы, прежде всего, ветровой режим и интенсивность поступления теплых вод из центральной части Японского моря. Однако именно температура воздуха является основной характеристикой выхолаживания поверхности моря и, следовательно, интенсивности ледообразования.

В настоящее время готовится к печати информационно-справочное пособие "Ледовые условия морей азиатской части России" (далее – Пособие). В нем так же, как и в уже изданном Пособии для европейских морей [2], типизация зим по степени суровости для всех российских морей (с выделением групп мягких, умеренных и суровых зим) осуществлялась по суммам градусодней мороза (СГДМ). К умеренным зимам отнесены такие зимы, для которых СГДМ попадает в интервал от значения, соответствующего "среднее плюс 20 % амплитуды" до значения "среднее минус 20 % амплитуды". Все ледовые сезоны, для которых СГДМ выше, чем "среднее плюс 20 % амплитуды" отнесены к суровым, а те, для которых СГДМ ниже, чем "среднее минус 20 % амплитуды" – к мягким (при этом, как наименее характерные, из расчета исключены две аномальные зимы – самая холодная и самая теплая). Расчет осуществлен по данным репрезентативных гидрометстанций (ГМС) с длительными рядами наблюдений за единый временной интервал с 1901 по 2000 год (что обеспечивает возможность сравнительного анализа результатов типизации для всех российских морей).

Такой способ выделения групп мягких, умеренных и суровых зим традиционен и хорошо зарекомендовал себя при характеристике ледовых условий на различных морях [2, 11–13]. Однако есть исследователи, которые считают оптимальной характеристикой ледовых условий в море его ледовитость. Ледовитостью, как известно, называют отношение площади, занятой льдом любой сплоченности и любого возраста (толщины), к общей площади моря (или района моря). Данная характеристика для осени, начала зимы и для весны, т. е. для периодов, когда в море наблюдаются льды различной сплоченности и толщины, не является показательной с точки зрения оценки степени влияния ледовых условий на ледопроездимость судов или проведение других морских операций (например, добычу углеводородов, эксплуатацию гидротехнических сооружений и т. д.). Ледовитость как характеристика сложности ледовых условий достаточно информативна для времени наибольшего развития льда в северных европейских морях (Белом и Баренцевом) и северных дальневосточных морях (Беринговом и Охотском), где в это время наблюдаются преимущественно сплоченные до 9–10 баллов льды в возрасте тонкого однолетнего и старше. В южных морях и районах Японского моря (где в течение всей зимы сплоченность на большой площади варьирует от 1 до 8 баллов, при этом обширные зоны заняты начальными видами льда, ниласом и серым льдом) эта характеристика не является объективным свидетельством тяжелых или легких ледовых условий.

В ряде работ, выполненных авторами дальневосточного региона (в Трудах ДВНИГМИ, Вестнике ДВО РАН и др.), при типизации ледовых условий в Японском море, а также в его районах (например, в ЗПВ) используются различные подходы для выделения групп зим по ледовитости. Так, в [9] в качестве определителя границ интервалов низкой и высокой ледовитости в Японском море выбрано среднеквадратическое отклонение (СКО) для 42-летнего ряда ежегодной ледовитости моря с 1959 по 2000 год. К зимам, по ледовитости близким к норме, отнесены такие, для которых большинство величин декадной ледовитости попадает в интервал от "среднее плюс СКО" до "среднее минус СКО", ниже и выше этих границ – значения ледовитости, соответствующие «минимально ледовитым зимам» и «максимально ледовитым зимам».

Для определения легких, средних и тяжелых ледовых условий в ЗПВ:

- в некоторых работах используют значения, равные 0,8 или 0,67 от СКО, для определения границ интервалов низкой и высокой ледовитости;
- часто ранжируют ряд по убыванию ледовитости и комплектуют группы минимально ледовитых, близких к норме и максимально ледовитых зим, исходя из принципа равенства количества лет в каждой группе;

– иногда отсекают фиксированное число лет (например, по 5 или 10 лет) от начала и от конца ранжированного по убыванию ряда ледовитости. Первые 10 лет относят к годам максимально суровых ледовых условий, последние 10 лет – к годам максимально легких ледовых условий;

– кроме ледовитости, в качестве индикатора сложности ледовых условий используют площади, занятые сплоченным льдом (8–10 баллов), что более целесообразно, однако не учитывает толщину (возраст) льда.

Любой из этих способов типизации имеет право на существование и позволяет выявить определенные климатические закономерности. Однако результаты анализа ледовой обстановки сильно зависят от способа типизации и с трудом поддаются сравнению между собой.

В [7] представлены группы лет для площади, занятой сплоченным льдом (8–10 баллов) в ЗПВ, выделенные по трем различным принципам: по равному количеству лет в группах наиболее и наименее ледовитых зим, по 0,67 от СКО, по делению на равные интервалы амплитуды изменчивости площади сплоченного льда.

В [8] наиболее и наименее ледовитые зимы в ЗПВ выделены путем отсечения 10 зим в начале и в конце ранжированного 52-летнего ряда максимальных за зиму площадей льда сплоченностью 8–10 баллов.

Необходимо отметить, что если измерение температуры воздуха (по которой рассчитывается СГДМ) является строго инструментальным методом наблюдений (температура фиксируется с точностью $\pm 0,1$ °C), то в визуальном определении ледовитости морей имеется ряд неопределенностей.

Во второй половине XX века до конца 1970-х годов единственным способом получения данных о ледовой обстановке были визуальные наблюдения с берега, с самолетов и вертолетов, с кораблей. Недостатком ледовых авиационных разведок, выполняемых по фиксированным галсам (до 1990-х гг. XX в.), являлась неоднозначность определения границ ледяного покрова между галсами. В то же время полеты на низких высотах позволяли надежно фиксировать и включать в состав площади ледяного покрова при расчете ледовитости зоны начальных видов льда и редкого льда.

Начиная с 1980-х гг. для определения положения кромок льда используются снимки низкого и среднего разрешения с искусственных спутников Земли (сканирование в видимом, инфракрасном, радиолокационном диапазонах, микроволновое радиометрическое сканирование). Для каждого сканера имеются ограничения по достоверности дешифрирования ледовых условий: на снимках в видимом и инфракрасном спектрах нельзя

определить границы льда в условиях облачности; низкое разрешение снимков даже в условиях хорошей видимости не всегда дает возможность зафиксировать наличие начальных видов или редкого льда; используемые в настоящее время для автоматического определения ледовитости данные микроволновых радиометров игнорируют начальные виды и редкий лед, а также могут интерпретировать мокрый лед любой сплоченность как чистую воду. Таким образом, определяемая по различным данным площадь ледяного покрова фиксируется с точностью в лучшем случае до $\pm 5\%$.

Еще хуже обстоят дела с определением ледовитости в первой половине XX в., когда в основном для расчета площади льда использовали данные редких попутных судовых наблюдений и наблюдений с берега, в этих случаях ошибки в определении ледовитости могут составлять 25–30 %.

В настоящей статье сделана попытка объективной оценки ледовых условий в Татарском проливе и в ЗПВ с помощью типизации зим по суммам градусодней мороза и ледовитости (либо площадям, занятым сплоченным льдом). Выполнена оценка корреляционных связей между ледовитостью и СГДМ в районах Японского моря. Осуществлен анализ связи ледовитости и суровости зим с толщиной припайного льда. Приведены конкретные примеры ледовых условий для мягкой, умеренной, суровой зим в Татарском проливе и в заливе Петра Великого. При обобщении материалов литературных источников по ледовым условиям в ЗПВ были выявлены некоторые противоречивые факты, о которых будет сказано ниже.

Типизация зим по степени суровости (по СГДМ) в районах Японского моря

В табл. 1 приведены критерии мягких, умеренных и суровых зим по данным пяти морских ГМС, расположенных в Татарском проливе и в ЗПВ, а также средние значения СГДМ для длительных рядов наблюдений и для последних 30 ледовых сезонов (с сезона 1985/1986 гг. по сезон 2014/2015 гг.).

Анализ табл. 1 показывает, что СГДМ в Татарском проливе за последние 30 лет уменьшились в среднем на 175 °С, а в ЗПВ – на 130 °С.

В табл. 2 – результаты типизации зим по степени суровости для морских ГМС.

В табл. 3 представлены количественные характеристики последствий потепления в Татарском проливе и в ЗПВ за последние 30 лет.

Анализ табл. 3 показывает, что за последнее 30-летие, по сравнению с данными за XX в. в Татарском проливе, количество мягких зим возросло

в среднем на 28 %, а повторяемость суровых зим уменьшилась на 16 %. В ЗПВ за последнее 30-летие количество мягких зим возросло в среднем на 28 %, а повторяемость суровых зим уменьшилась на 12 %.

На рис. 1–3 – ледовая обстановка в Татарском проливе, на рис. 4–6 – ледовая обстановка в ЗПВ в период максимального развития ледяного покрова (в феврале) мягкой, умеренной, суровой зим. Раскраска на всех картах – по преобладающей возрастной характеристике дрейфующего льда [6].

Таблица 1. Критерии мягких, умеренных и суровых зим и характерные значения СГДМ для ГМС Татарского пролива и залива Петра Великого (в °С)

Район моря	Татарский пролив			Залив Петра Великого	
	Александровск-Сахалинский	Советская Гавань	Холмск	Владивосток	Посьет
Период наблюдений	1891–2015 (125 лет)	1913–2015 (103 года)	1946–2015 (70 лет)	1881–2015 (135 лет)	1931–2015 (85 лет)
Расчетный период для критериев	1901–2000 (100 лет)	1913–2000 (88 лет)	1946–2000 (55 лет)	1901–2000 (100 лет)	1931–2000 (70 лет)
Критерии для мягкой зимы	<1635	<1585	<670	<965	<690
Критерии для умеренной зимы	1635–2015	1585–2000	670-870	965-1280	690–930
Критерии для суровой зимы	>2015	>2000	>870	>1280	>930
СГДМ самой суровой зимы	2331 1930/1931	2419 1914/1915	1044 1976/1977	1561 1935/1936	1230 1935/1936
СГДМ самой мягкой зимы	1176 2014/2015	1129 1990/1991	438 2014/2015	667 2006/2007	448 2006/2007
Средняя за весь период СГДМ	1800	1750	750	1120	790
Средняя за XX в. СГДМ	1820	1795	770	1130	810
Средняя за последние 30 лет СГДМ	1640	1540	680	985	690
Уменьшение СГДМ за послед. 30 лет по сравнению с XX в.	180	255	90	145	120

Таблица 2. Типизация зим в Татарском проливе и ЗПВ по СГДМ в Александровске (АС), Советской Гавани (СГ), Владивостоке (В), Посъете (П)

Ледовый сезон	АС	СГ	В	П	Ледовый сезон	АС	СГ	В	П	Ледовый сезон	АС	СГ	В	П
1881/82	-	-	У	-	1926/27	У	У	С	-	1971/72	У	-	У	У
1882/83	-	-	С	-	1927/28	У	-	С	-	1972/73	У	У	У	М
1883/84	-	-	У	-	1928/29	С	С	С	-	1973/74	У	М	У	У
1884/85	-	-	С	-	1929/30	У	У	У	-	1974/75	У	У	У	У
1885/86	-	-	У	-	1930/31	С	С	С	С	1975/76	М	М	У	М
1886/87	-	-	У	-	1931/32	У	У	У	У	1976/77	У	У	С	С
1887/88	-	-	У	-	1932/33	У	-	С	С	1977/78	С	У	У	У
1888/89	-	-	У	-	1933/34	М	М	У	У	1978/79	У	У	У	М
1889/90	-	-	У	-	1934/35	У	У	М	М	1979/80	У	У	У	У
1890/91	-	-	М	-	1935/36	У	У	С	С	1980/81	У	У	У	У
1891/92	С	-	С	-	1936/37	У	С	У	У	1981/82	У	-	У	М
1892/93	-	-	С	-	1937/38	У	У	У	С	1982/83	У	У	М	М
1893/94	У	-	С	-	1938/39	У	У	У	С	1983/84	У	У	У	У
1894/95	У	-	С	-	1939/40	У	У	У	У	1984/85	У	-	У	У
1895/96	У	-	С	-	1940/41	У	У	У	У	1985/86	У	-	У	У
1896/97	У	-	У	-	1941/42	С	С	У	У	1986/87	У	У	У	У
1897/98	-	-	М	-	1942/43	У	У	У	У	1987/88	У	У	У	У
1898/99	У	-	М	-	1943/44	У	С	У	У	1988/89	М	М	М	М
1899/00	С	-	У	-	1944/45	У	С	С	С	1989/90	М	М	М	У
1900/01	У	-	М	-	1945/46	С	С	У	С	1990/91	М	М	М	У
1901/02	С	-	У	-	1946/47	У	У	С	С	1991/92	У	У	М	М
1902/03	У	-	М	-	1947/48	У	У	С	С	1992/93	М	М	М	М
1903/04	У	-	У	-	1948/49	У	У	М	М	1993/94	У	У	У	У
1904/05	-	-	М	-	1949/50	У	У	У	У	1994/95	М	М	М	М
1905/06	-	-	У	-	1950/51	С	С	С	С	1995/96	М	М	М	М
1906/07	У	-	У	-	1951/52	У	У	У	У	1996/97	М	М	У	М
1907/08	С	-	У	-	1952/53	С	С	С	С	1997/98	У	У	М	М
1908/09	С	-	У	-	1953/54	С	С	У	У	1998/99	С	У	У	У
1909/10	У	-	У	-	1954/55	У	У	У	С	1999/00	У	У	У	У
1910/11	У	-	С	-	1955/56	У	У	У	У	2000/01	У	У	С	С
1911/12	У	-	М	-	1956/57	У	У	С	С	2001/02	М	М	М	М
1912/13	С	-	С	-	1957/58	У	У	У	У	2002/03	У	У	У	У
1913/14	У	С	М	-	1958/59	У	М	М	М	2003/04	У	У	М	М
1914/15	С	С	С	-	1959/60	С	У	У	У	2004/05	У	М	У	У
1915/16	У	С	У	-	1960/61	У	У	У	У	2005/06	М	М	У	У
1916/17	У	У	У	-	1961/62	У	М	У	У	2006/07	У	-	М	М
1917/18	М	-	С	-	1962/63	М	М	У	У	2007/08	М	М	М	М
1918/19	С	-	У	-	1963/64	У	У	У	М	2008/09	М	М	М	М

Ледовый сезон	АС	СГ	В	П	Ледовый сезон	АС	СГ	В	П	Ледовый сезон	АС	СГ	В	П
1919/20	М	–	У	–	1964/65	У	У	У	У	2009/10	У	М	С	С
1920/21	–	–	У	–	1965/66	С	У	С	У	2010/11	М	М	У	У
1921/22	–	–	С	–	1966/67	С	У	У	У	2011/12	У	У	У	У
1922/23	У	–	У	–	1967/68	М	М	У	У	2012/13	У	У	С	С
1923/24	С	–	С	–	1968/69	У	–	У	У	2013/14	М	М	М	М
1924/25	У	–	С	–	1969/70	С	С	С	С	2014/15	М	М	М	М
1925/26	У	–	У	–	1970/71	У	У	У	У					

Примечание: М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима, пропуск – нет данных.

Таблица 3. Повторяемость мягких (М), умеренных (У) и суровых (С) зим в Японском море в различные периоды времени

Район моря	ГМС	Повторяемость зим, %								
		в XX веке			за последние 30 лет			за 15 лет XXI века		
		М	У	С	М	У	С	М	У	С
Татарский пролив	Александровск-Сахалинский	17	64	19	47	50	3	47	53	0
	Советская Гавань	20	61	19	57	43	0	64	36	0
	Холмск	34	45	21	50	40	10	53	47	0
Залив Петра Великого	Владивосток	20	56	24	50	40	10	47	33	20
	Посьет	23	56	21	47	43	10	47	33	20
Средняя по Татарскому проливу		24	56	20	52	44	4	55	45	0
Средняя по заливу Петра Великого		22	56	22	50	40	10	47	33	20
Изменение по сравнению с XX веком для Татарского пролива					28	-12	-16	31	-11	-20
Изменение по сравнению с XX веком для залива Петра Великого					28	-16	-12	25	-23	-2

При подготовке ряда ледовых пособий [2, 11–13] типизация зим по СГДМ именно потому выбрана в качестве основной, что позволяет довольно четко описать различия между ледовой обстановкой, характерной для мягкой, умеренной и суровой зим:

- по толщинам и распространению припайного льда;
- по преобладанию возрастных видов и торосистости дрейфующего льда.

Об этом свидетельствуют ледовые карты, приведенные на рис. 1–6.

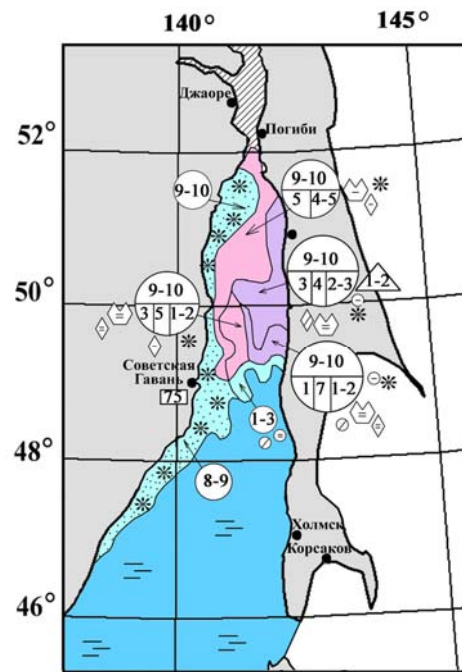


Рис. 1. Ледовая обстановка в Татарском проливе в феврале 1989 г. Мягкая зима.

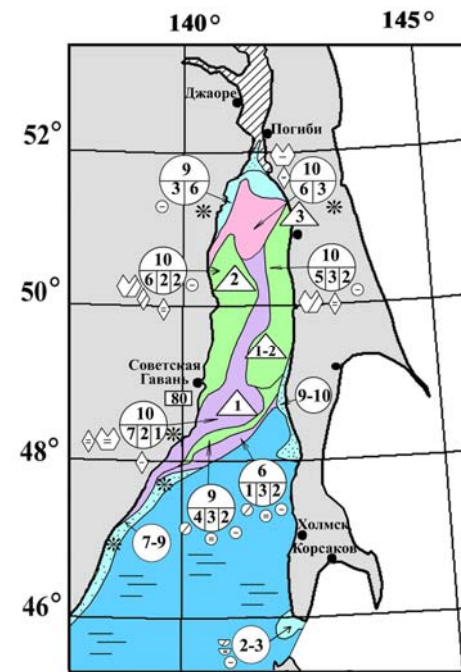


Рис. 2. Ледовая обстановка в Татарском проливе в феврале 1983 г. Умеренная зима.

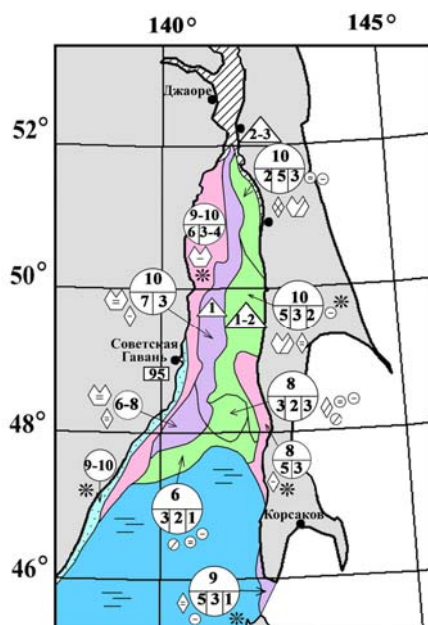


Рис. 3. Ледовая обстановка в Татарском проливе в феврале 1978 г. Суровая зима.

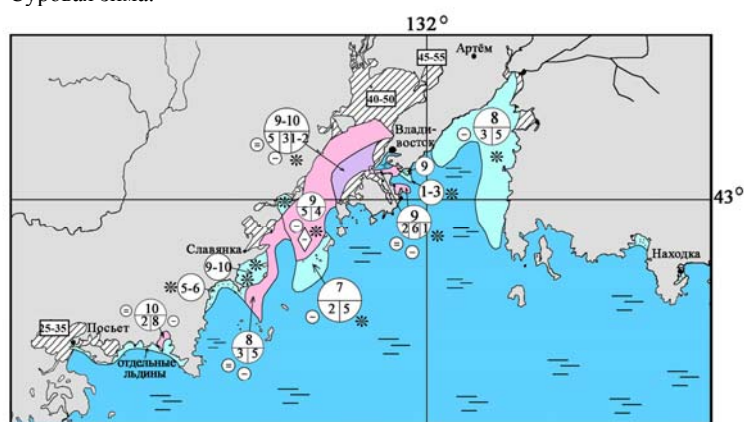


Рис. 4. Ледовая обстановка в заливе Петра Великого в феврале 1989 г. Мягкая зима.

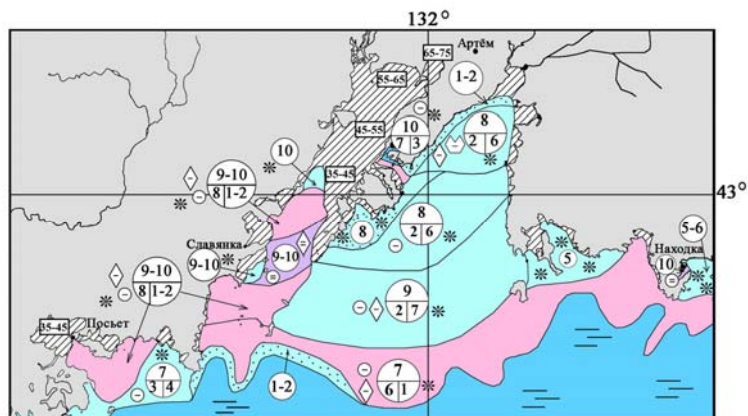


Рис. 5. Ледовая обстановка в заливе Петра Великого в феврале 1988 г. Умеренная зима.

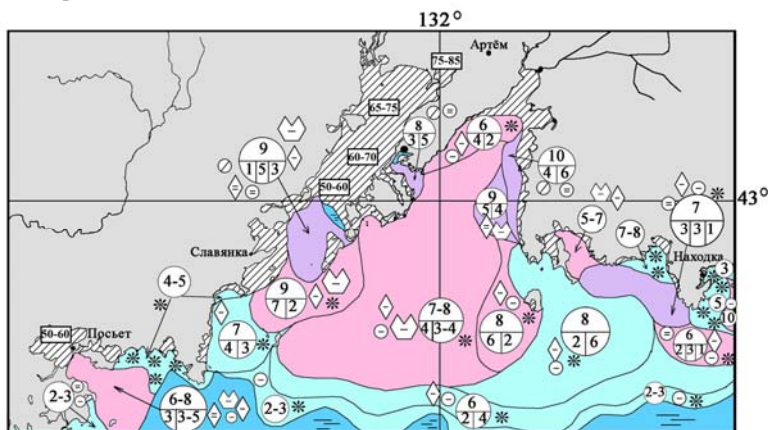


Рис. 6. Ледовая обстановка в заливе Петра Великого в феврале 1977 г. Суровая зима.

Имея в распоряжении значение СГДМ для конкретной зимы (попавшее в интервал мягкой, умеренной или суровой зимы), можно в общем представить характерные элементы ледовой обстановки в Татарском проливе или в ЗПВ (или в любом другом море либо районе моря [2]).

При типизации зим по ледовитости, как будет показано ниже, сделать это практически невозможно.

В табл. 4 представлены некоторые характерные для различных типов зим элементы ледового режима в Татарском проливе в феврале.

Таблица 4. Характеристика ледовых условий в мягкие (М), умеренные (У) и суровые (С) зимы в Татарском проливе в феврале

Тип зимы	Преобладающий возрастной вид дрейфующего льда в зоне наиболее тяжелого льда	Положение кромки льда у побережья о. Сахалин (параллель)	Толщина припайного льда в районе Советской Гавани	Максимальная торосистость (баллы)
Мягкая	серо-белый (15–30 см)	49° с.ш.	60–80 см	1–2
Умеренная	тонкий однолетний (30–50 см)	48° с.ш.	80–100 см	2–3
Суровая	тонкий однолетний (50–70 см)	47° с.ш.	90–115 см	2–3

В мягкие и умеренные зимы в Татарском проливе зона наиболее тяжелого льда располагается обычно либо в центральном районе северной части пролива, либо у его западного берега, в суровые зимы зона тяжелого льда формируется и удерживается устойчивыми ветрами западной четверти у восточного побережья пролива.

В табл. 5 представлены некоторые характерные для различных типов зим элементы ледового режима в ЗПВ в феврале.

Таблица 5. Характеристика ледовых условий в мягкие (М), умеренные (У) и суровые (С) зимы в ЗПВ в феврале

Тип зимы	Лед в центральной части залива	Площадь припая в Амурском заливе	Толщина припайного льда в Амурском заливе	Лед за припаем в Амурском заливе	Лед в Уссурийском заливе
Мягкая	отсутствует	30–40 %	40–55 см	серый (10–15 см)	нилас (5–10 см)
Умеренная	нилас (5–10 см)	50–70 %	60–75 см – в вершине; 40–55 см – в центральной части	серый и серо-белый (10–30 см)	нилас (5–10 см)
Суровая	серый (10–15 см)	70–80 %	75–85 см – в вершине; 50–70 см – в центральной части	серо-белый и тонкий однолетний (20–45 см)	серый и серо-белый (10–25 см)

Для умеренной и суровой зим (а также на короткое время и для некоторых мягких зим) в ЗПВ в период максимального развития ледяного покрова характерно покрытие льдом различной сплоченности и возраста значительной части акватории. Ледовитость в умеренные и суровые зимы для ЗПВ мало отличается, зато существенно отличаются в соответствии с табл. 5 возрастные характеристики дрейфующего льда в ЗПВ; площадь, занятая припаем и толщина льда в Амурском заливе.

Типизация зим по ледовитости в районах Японского моря

Татарский пролив

В табл. 6 приводятся данные о среднемесячной (осредненной по трем декадам) ледовитости Татарского пролива (данные Гидрометцентра России).

Таблица 6. Среднемесячная (осредненная по трем декадам) ледовитость Татарского пролива за длительный период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 15 лет XXI века (в %)

Месяц	XII	I	II	III	IV
С сезона 1950/1951 гг. по сезон 2014/2015 гг. – 65 лет					
Средняя	17	43	50	41	11
Макс.	40	70	75	69	34
Мин.	2	22	30	18	1
СКО	8	12	11	13	8
С сезона 1985/1986 гг. по сезон 2014/2015 гг. – 30 лет					
Средняя	17	41	49	36	9
Макс.	38	65	69	55	25
Мин.	4	25	30	18	1
СКО	8	10	10	10	5
С сезона 2000/2001 гг. по сезон 2014/2015 гг. – 15 лет					
Средняя	15	37	45	31	8
Макс.	30	50	60	45	17
Мин.	4	25	30	18	1
СКО	7	7	8	7	4

Абсолютный максимум ледовитости Татарского пролива за 65-летний период наблюдений составил 92 % (в первой декаде февраля 1985 гг.), при этом среднемесячная (осредненная по трем декадам) ледовитость Татарского пролива в феврале 1985 г. достигла лишь 75 %.

Анализ табл. 6 показывает, что средняя ледовитость Татарского пролива в месяц наибольшего развития ледяного покрова по 65-летнему ряду

наблюдений составляет 50 %. Средняя ледовитость Татарского пролива на момент наибольшего развития ледяного покрова (февраль) уменьшилась за последние 30 лет на 1 %, максимальная ледовитость – на 6 %.

В табл. 7 приводится типизация ледовых сезонов в Татарском проливе по ледовитости (S) (по принципу отсечения 10 лет от начала и от конца ранжированного ряда ледовитости) и типизация суровости тех же зим по СГДМ в Александровске-Сахалинском (в соответствии с табл. 2). Анализ табл. 7 показывает, что в 33 случаях из 65 (51 %) тип суровости ледового сезона, определенный по СГДМ, соответствует типу ледовых условий, определенному по S.

Таблица 7. Типизация зим в Татарском проливе по ледовитости (S) и по СГДМ в Александровске-Сахалинском

Ледовый сезон	Типизация		Ледовый сезон	Типизация		Ледовый сезон	Типизация	
	по S	по СГДМ		по S	по СГДМ		по S	по СГДМ
1950/51	СЛ	С	1972/73	УЛ	У	1994/95	УЛ	М
1951/52	СЛ	У	1973/74	МЛ	У	1995/96	УЛ	М
1952/53	СЛ	С	1974/75	МЛ	У	1996/97	УЛ	М
1953/54	УЛ	С	1975/76	СЛ	М	1997/98	УЛ	У
1954/55	УЛ	У	1976/77	УЛ	У	1998/99	УЛ	С
1955/56	УЛ	У	1977/78	УЛ	С	1999/00	УЛ	У
1956/57	МЛ	У	1978/79	СЛ	У	2000/01	УЛ	У
1957/58	УЛ	У	1979/80	СЛ	У	2001/02	УЛ	М
1958/59	УЛ	У	1980/81	УЛ	У	2002/03	УЛ	У
1959/60	СЛ	С	1981/82	УЛ	У	2003/04	МЛ	У
1960/61	УЛ	У	1982/83	УЛ	У	2004/05	УЛ	У
1961/62	УЛ	У	1983/84	УЛ	У	2005/06	УЛ	М
1962/63	МЛ	М	1984/85	СЛ	У	2006/07	УЛ	У
1963/64	УЛ	У	1985/86	СЛ	У	2007/08	МЛ	М
1964/65	УЛ	У	1986/87	СЛ	У	2008/09	УЛ	М
1965/66	УЛ	С	1987/88	УЛ	У	2009/10	МЛ	У
1966/67	УЛ	С	1988/89	УЛ	М	2010/11	МЛ	М
1967/68	УЛ	М	1989/90	УЛ	М	2011/12	УЛ	У
1968/69	УЛ	У	1990/91	УЛ	М	2012/13	УЛ	У
1969/70	МЛ	С	1991/92	УЛ	У	2013/14	УЛ	М
1970/71	УЛ	У	1992/93	УЛ	М	2014/15	УЛ	М
1971/72	МЛ	У	1993/94	УЛ	У			

Примечание: М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима (по СГДМ в Александровске Сахалинском); МЛ – мягкие ледовые условия, УЛ – умеренные ледовые условия, СЛ – сложные ледовые условия (по S).

Однако в 49 % случаев данное соответствие нарушается. Из девяти суровых ледовых сезонов только трем соответствовали крупные положительные аномалии распространения льда (33 %), из семнадцати мягких ледовых сезонов только трем соответствовали крупные отрицательные аномалии распространения сплоченного льда (18 %). Мы видим, что значительные аномалии ледовитости в Татарском проливе не обязательно связаны с температурными условиями в зимы различной суровости, это отмечают и авторы статьи [4].

В табл. 8 приведены коэффициенты корреляции, показывающие тесноту связей между СГДМ и элементами ледового режима, а также между ледовитостью и теми же элементами ледового режима.

Анализ табл. 8 показывает предпочтительность использования в качестве параметра, наиболее объективно характеризующего ледовые условия в Татарском проливе, сумму градусодней мороза.

Таблица 8. Связь максимальной ледовитости Татарского пролива ($S_{\text{Тат}}$), СГДМ в Александровске-Сахалинском, ($S_{\text{ГДМАС}}$), СГДМ в Советской Гавани ($S_{\text{ГДМСГ}}$) с параметрами ледового режима Татарского пролива (коэффициенты корреляции)

Параметр	ТЛ _{СГ} (II)	ТЛ _{АС} (II)	ЛП _{СГ}	ЛП _{АС}	$S_{\text{Тат}}$	$S_{\text{ГДМАС}}$	$S_{\text{ГДМСГ}}$	Средний
$S_{\text{Тат}}$	0,1	0,3	0,2	0,3	1,0	0,5	0,5	0,4
$S_{\text{ГДМАС}}$	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	1,0	0,9	0,6
$S_{\text{ГДМСГ}}$	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9	1,0	0,6

Примечание: ТЛ_{СГ} (II) – толщина льда в Советской Гавани в феврале; ТЛ_{АС} (II) – толщина льда в Александровске-Сахалинском в феврале; ЛП_{СГ} – продолжительность ледового периода в Советской Гавани; ЛП_{АС} – продолжительность ледового периода в Александровске-Сахалинском.

Залив Петра Великого

В табл. 9 приводятся типизации для ряда зим с 1945/1946 по 2007/2008 гг. (63 года):

– по максимальной за ледовый сезон площади сплоченных льдов ЗПВ по ряду (S_{8-10}) путем отсечения 10 зим в начале и в конце ранжированного ряда [8];

– по максимальной за ледовый сезон ледовитости зим в ЗПВ по ряду (S) [10] путем отсечения 10 зим в начале и в конце ранжированного ряда;

– по СГДМ во Владивостоке (в соответствии с табл. 2 по данным Гидрометцентра России).

Таблица 9. Типизация зим в ЗПВ по площади сплоченных льдов (S₈₋₁₀), ледовитости (S) и СГДМ во Владивостоке

Ледовый сезон	Типизация			Ледовый сезон	Типизация		
	по S ₈₋₁₀	по S	по СГДМ		по S ₈₋₁₀	по S	по СГДМ
1945/46	МЛ	УЛ	У	1977/78	УЛ	УЛ	У
1946/47	УЛ	СЛ	С	1978/79	УЛ	УЛ	У
1947/48	УЛ	МЛ	С	1979/80	УЛ	СЛ	У
1948/49	МЛ	МЛ	М	1980/81	УЛ	МЛ	У
1949/50	МЛ	УЛ	У	1981/82	УЛ	УЛ	У
1950/51	МЛ	УЛ	С	1982/83	УЛ	МЛ	М
1951/52	МЛ	УЛ	У	1983/84	МЛ	УЛ	У
1952/53	УЛ	УЛ	С	1984/85	УЛ	УЛ	У
1953/54	УЛ	УЛ	У	1985/86	СЛ	УЛ	У
1954/55	УЛ	УЛ	У	1986/87	УЛ	УЛ	У
1955/56	УЛ	УЛ	У	1987/88	СЛ	СЛ	У
1956/57	УЛ	УЛ	С	1988/89	МЛ	УЛ	М
1957/58	УЛ	УЛ	У	1989/90	н.д.	МЛ	М
1958/59	МЛ	УЛ	М	1990/91	н.д.	МЛ	М
1959/60	УЛ	УЛ	У	1991/92	н.д.	УЛ	М
1960/61	н.д.	УЛ	У	1992/93	н.д.	УЛ	М
1961/62	УЛ	УЛ	У	1993/94	н.д.	УЛ	У
1962/63	УЛ	УЛ	У	1994/95	н.д.	УЛ	М
1963/64	УЛ	УЛ	У	1995/96	н.д.	СЛ	М
1964/65	СЛ	УЛ	У	1996/97	н.д.	УЛ	У
1965/66	УЛ	УЛ	С	1997/98	н.д.	УЛ	М
1966/67	СЛ	СЛ	У	1998/99	н.д.	УЛ	У
1967/68	СЛ	СЛ	У	1999/00	н.д.	УЛ	У
1968/69	СЛ	УЛ	У	2000/01	СЛ	СЛ	С
1969/70	СЛ	СЛ	С	2001/02	УЛ	УЛ	М
1970/71	УЛ	УЛ	У	2002/03	УЛ	МЛ	У
1971/72	СЛ	УЛ	У	2003/04	УЛ	УЛ	М
1972/73	УЛ	МЛ	У	2004/05	УЛ	СЛ	У
1973/74	УЛ	УЛ	У	2005/06	УЛ	УЛ	У
1974/75	УЛ	УЛ	У	2006/07	МЛ	МЛ	М
1975/76	МЛ	МЛ	У	2007/08	УЛ	УЛ	М
1976/77	СЛ	СЛ	С				

Примечание: М – мягкая зима; У – умеренная зима; С – суровая зима (по СГДМ во Владивостоке); МЛ – мягкие ледовые условия; УЛ – умеренные ледовые условия; СЛ – сложные ледовые условия (по S₈₋₁₀ и S).

Анализ табл. 9 показывает, что в 29 случаях из 51 (58 %) тип суровости ледового сезона, определенный по СГДМ, сопоставим

с соответствующим типом ледовых условий, определенным по S₈₋₁₀. Однако в 42 % случаев данное соответствие нарушается: из девяти суровых (по СГДМ) ледовых сезонов только трем (33 %) соответствовали крупные положительные аномалии распространения сплоченного льда, из семи мягких ледовых сезонов только четырем (57 %) соответствовали крупные отрицательные аномалии распространения сплоченного льда.

В 39 случаях из 63 (в 62 %) тип суровости ледового сезона, определенный по СГДМ, соответствует аналогичным типам ледовых условий, определенным по S. Из девяти суровых ледовых сезонов только четырем (44 %) соответствовали крупные положительные аномалии ледовитости ЗПВ, из 15 мягких ледовых сезонов только пяти (33 %) соответствовали крупные отрицательные аномалии ледовитости ЗПВ.

Ледовый сезон 1987/1988 гг., приведенный выше в качестве типового (по СГДМ) для умеренной зимы, при типизациях по S₈₋₁₀ и S попал в группу, характеризующую "сложные ледовые условия". Действительно, сплоченным льдом (8–10 баллов) в феврале 1988 г. было занято 64 % площади залива, а ледовитость на непродолжительное время доходила до 93 %. Однако, как показывает рис. 5, в центральной части ЗПВ, а также в Уссурийском заливе в феврале наблюдался преимущественно нилас (толщиной до 5–10 см), а в Амурском заливе за кромкой припая – преимущественно серый лед (толщиной до 15 см).

Ледовый сезон 1976/1977 гг., приведенный в качестве типового (по СГДМ) для суровой зимы при типизации по S₈₋₁₀ и S также попал в группу, характеризующую "сложные ледовые условия". Сплоченным льдом (8–10 баллов) в феврале 1977 г. было занято 67 % площади залива, а ледовитость составляла 98 %, что всего на несколько процентов больше, чем в 1988 г. Однако, как показывает рис. 6, это был преимущественно серый лед (толщиной 10–15 см), в Уссурийском заливе преобладал серый и серо-белый лед (толщиной от 10 до 30 см), а в Амурском заливе за кромкой припая – преимущественно серо-белый лед с включением тонкого однолетнего льда (толщиной более 30 см).

В период максимального развития ледяного покрова в умеренные зимы, как было показано выше, значительную часть акватории ЗПВ занимают нилас и начальные виды льда. Этому способствует преобладающие северо-западные ветры, вызывающие дрейф льда в южном направлении со скоростью 0,2–0,6 м/с в открытом Уссурийском заливе и просторной южной части моря. При длине ЗПВ с севера на юг около 80 км и средней скорости дрейфа 0,4 м/с лед из северной части залива достигнет южной его границы менее, чем за 3 дня. Этого времени не хватит для того, чтоб толщина льда достигла существенных значений. Авторы [1] справедливо

замечают, что в этих условиях по характеру динамики залив Петра Великого можно рассматривать как стационарную прибрежную полынью, формирующуюся перед узким поясом более толстого (по сравнению с ниласом) преимущественно серого, реже – серо-белого дрейфующего льда (толщиной 10–20 см), вынесенного к южной границе залива. Рост толщины льда в этом поясе льда и распространение его на юг быстро прекращаются под воздействием теплых вод Японского моря. Лишь в суровые зимы при достаточно низких температурах воздуха лед, дрейфуя с севера на юг, успевает в центральной части сформировать зоны преобладания серого льда в виде полей и обломков полей (как показано на рис. 6).

В более узком и закрытом Амурском заливе в середине февраля северный район и часть центрального района заняты припаем. К югу от кромки припая средняя скорость дрейфа льда составляет в среднем 0,1–0,3 м/с. Дрейфующий лед, двигаясь на юг, успевает достичь толщины 10–15 см в мягкие и умеренные зимы и 15–30 см – в суровые.

Коэффициент корреляции между площадью сплоченного льда в ЗПВ (S_{8-10}) в период наибольшего распространения льда и СГДМ в районе ГМС Владивосток равен 0,50.

В табл. 10 приведены данные о декадных значениях S_{8-10} (средних, максимальных и минимальных) в ЗПВ, полученных только при использовании фактических материалов наблюдений за ледовой обстановкой в ЗПВ [8], эти данные заслуживают доверия. К сожалению, иная степень доверия к данным о ледовитости ЗПВ за 95-летний период, приведенным в [10], для которых (при такой большой длине ряда) было бы интересно выявить связи с СГДМ во Владивостоке и с другими характеристиками ледового режима ЗПВ.

Таблица 10. Средние декадные площади, занятые сплоченным льдом (8–10 баллов) в ЗПВ (в %) с ледового сезона 1945/1946 по сезон 2007/2008 гг.

Месяц	XII			I			II			III			IV
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Средняя	5	5	10	19	26	30	35	34	29	21	10	7	4
Макс.	14	12	20	45	67	68	68	67	59	51	38	26	7
Мин.	2	2	4	6	13	8	5	10	4	6	4	3	3
СКО	4	3	5	10	15	18	21	19	18	16	8	5	1

Коэффициент корреляции между ледовитостью любого моря и СГДМ репрезентативной ГМС, расположенной на этом море, по результатам исследований, выполненных для всех российских морей, составляет

в среднем 0,5–0,6. Например, коэффициент корреляции между значениями максимальной за ледовый сезон декадной ледовитости большого по площади Охотского моря со значениями СГДМ в районе Магадана равен 0,60. Если же проводить аналогию природных закономерностей, характерных для малых акваторий, какой является акватория ЗПВ, то можно обратиться к примеру небольшого по площади Азовского моря: для него коэффициент корреляции между максимальной за ледовый сезон декадной ледовитостью и значениями СГДМ в районе Ростова-на-Дону равен 0,68.

Примерно такой коэффициент корреляции предполагалось получить и для ЗПВ. Однако результат оказался другим. В работе [10], из которой взяты данные о ледовитости ЗПВ, сообщается, что при формировании базы данных по ледовитости ЗПВ кроме фактической информации использовались и восстановленные данные. Пропуски декадных значений ледовитости восстанавливались методами аналогов и корреляционно-регрессивного анализа с учетом температур воздуха на четырех станциях, расположенных на побережье ЗПВ (Владивосток, Находка, Гамов, Посьет). В результате восстановления был получен непрерывный ряд изменчивости декадной ледовитости с ледового сезона 1916/1917 гг. по сезон 2010/2011 гг. (95 лет), анализ которого привел к неожиданным результатам: выявилась тенденция очень значительного роста ледовитости ЗПВ в декабре-марте в течение 95-летнего периода (и только в апреле заметна тенденция уменьшения ледовитости). На рис. 7 – многолетняя изменчивость ледовитости в феврале, показанная в работе [10].

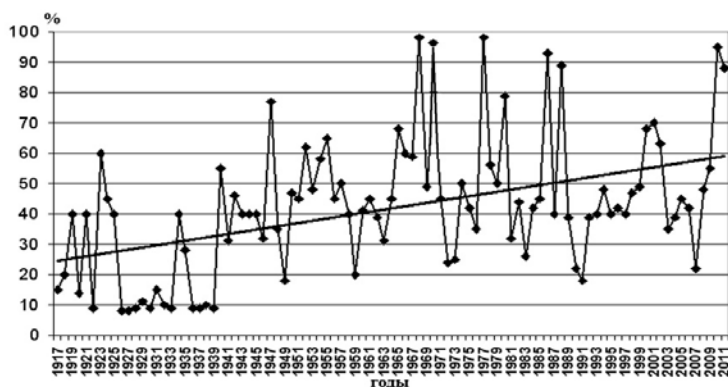


Рис. 7. Многолетняя изменчивость ледовитости в феврале в ЗПВ за период с 1917 по 2011 г. [10].

График на рис. 7 вызывает вопросы, поскольку ни в одном российском море не наблюдается рост ледовитости во второй половине XX – начале XXI вв.

Однако крайне низкая надежность данных о ледовитости ЗПВ до ледового сезона 1945/1946 г., отмеченная в [7, 8], и здравый смысл дают основания для сомнений по поводу крутизны тренда, показанного на рис. 7. Понятно, что в первой половине XX в. при отсутствии материалов ледовых авиаразведок и спутниковой информации значения ледовитости, полученные лишь на основании судовых наблюдений (вероятно, весьма редких в ледовые периоды тех времен), могут быть сильно заниженными, что искусственно увеличит крутизну тренда.

Рис. 7 показывает, что в начале XX в. средняя ледовитость ЗПВ в феврале составляла 25 %, а в XXI в. – 55–60 %. Столь значительное увеличение ледовитости может обеспечить только аналогичный положительный тренд СГДМ во Владивостоке.

На рис. 8 показана изменчивость СГДМ по данным ГМС Владивосток за период с 1917 по 2015 г. со значительным отрицательным трендом, которому должно было бы соответствовать либо уменьшение ледовитости в ЗПВ, либо отсутствие принципиальных изменений в межгодовом ходе ледовитости при условии уменьшения толщины (возраста) льда.

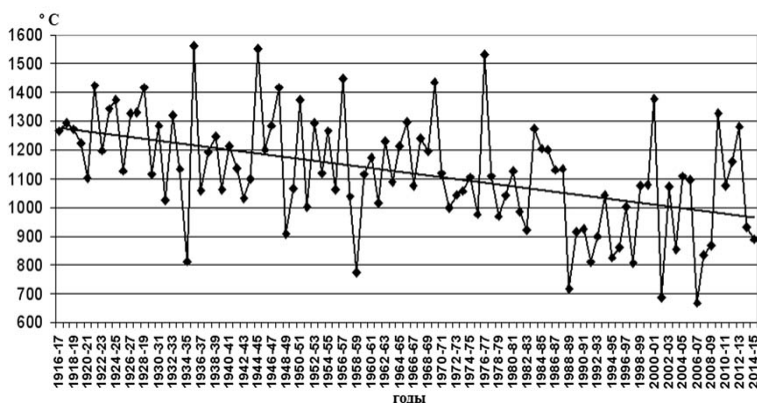


Рис. 8. Изменчивость СГДМ по данным ГМС Владивосток за период с 1917 по 2015 г.

При осуществлении критического анализа ситуации, отображенной на рис. 7, было выявлено, что коэффициент корреляции между значениями максимальной за ледовый сезон декадной ледовитостью ЗПВ по 95-летнему ряду (приведенному в [10]) со значениями СГДМ в районе

Владивостока составил менее 0,1. Этого вызывает вопросы, поскольку для всех российских морей (в том числе дальневосточных) коэффициенты корреляции для аналогичных связей в 5–6 раз выше.

Сокращение 95-летнего частично восстановленного ряда ледовитости ЗПВ до 70-летнего (с 1946 г.) повысило коэффициент корреляции до разумного значения 0,5, а при сокращении ряда до 52-летнего (с 1960 г.) его значение достигло ожидаемого – 0,6 и практически больше не менялось при дальнейшем уменьшении длины ряда. Это значение, вероятно, и есть истинный показатель связи между СГДМ во Владивостоке и ледовитостью ЗПВ. Данный факт свидетельствует о низкой достоверности как фактических, так и восстановленных данных по ледовитости ЗПВ в первой половине XX века и невозможности их использования для климатических обобщений.

На рис. 9 – изменчивость ледовитости по более короткому и наиболее надежному 52-летнему ряду (с 1960 по 2011 г.) в феврале, и этот график более правдоподобен по сравнению с рис. 7. Мы видим, что в изменчивости ледовитости ЗПВ существенных изменений в течение последних 52 лет не произошло.

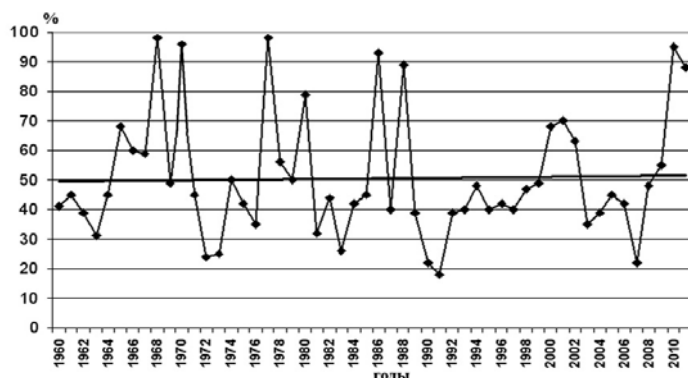


Рис. 9. Многолетняя изменчивость ледовитости в феврале в ЗПВ за период с 1960 по 2011 г. [10].

В табл. 11 – средняя, максимальная и минимальная ледовитость ЗПВ за наиболее надежный период наблюдений с 1960 по 2011 г. (в %).

Анализ табл. 11 показывает, что максимального развития ледяной покров в ЗПВ достигает в середине февраля (в среднем в это время льдом покрывается 50–55 % площади залива). Абсолютный максимум ледовитости ЗПВ по данным [3] составил 95 % в феврале суровой зимы

1969/1970 гг. Однако этот факт тоже вызывает сомнение, поскольку известны случаи, когда ЗПВ был полностью занят льдом различной сплоченности. Например, в нашем распоряжении имеются данные ледовой разведки от 19 января 1986 года. Карта фиксирует полное покрытие залива льдом за исключением части бухты Золотой Рог. В описании сообщается, что льды распространились к югу далеко за пределы ЗПВ, поэтому определить положение кромки льда не представляется возможным. Абсолютный максимум ледовитости ЗПВ, наиболее вероятно близок к 100 %.

Таблица 11. Средняя, максимальная и минимальная ледовитость ЗПВ за период с 1960 по 2011 г. (в %)

Месяц	XII	I	II	III	IV
Средняя	13	39	51	30	4
Макс.	27	90	98	79	12
Мин.	3	5	18	8	0
СКО	6	16	21	18	3

Понятие "тяжелые ледовые условия" для таких районов, как ЗПВ, требует осторожного применения, особенно, если они определены по высокой для залива ледовитости. Во-первых, как сообщает Лоция Японского моря, наличие довольно слабого ледяного покрова в трассовых зонах залива Петра Великого в принципе не создает больших трудностей при плавании судов в зимний период в пределах его акватории [5], поэтому движение судов здесь значительно свободнее, чем в Татарском проливе. Как правило, суда беспрепятственно движутся по центральной части залива. Во-вторых, необходимо анализировать не только сплоченность в пределах ледовых зон, но и возраст льда, который очень слабо зависит от ледовитости ЗПВ.

Выводы

В результате проведенного исследования уточнены некоторые особенности ледового режима районов Японского моря, при этом выявлено следующее.

1. Во всех районах Японского моря в последнее 30-летие наблюдается процесс потепления: сумма градусодней мороза в Татарском проливе уменьшились в среднем на 175 °С, в ЗПВ – на 130 °С.

2. В Татарском проливе за последнее 30-летие по сравнению с данными за XX век количество мягких зим возросло в среднем на 28 %, повторяемость суровых зим уменьшилась на 16 %.

3. В ЗПВ за последнее 30-летие количество мягких зим возросло в среднем на 28 %, повторяемость суровых зим уменьшилась на 12 %.
4. Абсолютный максимум ледовитости Татарского пролива равен 92 % при средней ледовитости в период наибольшего развития льда – 50 %.
5. Средняя ледовитость Татарского пролива на момент наибольшего развития ледяного покрова (февраль) уменьшилась за последние 30 лет (по сравнению со средним значением за 65 лет наблюдений) на 1 %. Максимальная ледовитость уменьшилась за последние 30 лет на 6 %.
6. Абсолютный максимум ледовитости ЗПВ близок к 100 % при средней ледовитости в период наибольшего развития льда – 51 %.
7. В изменчивости ледовитости ЗПВ на момент наибольшего развития ледяного покрова (февраль) в начале XXI века существенных изменений не произошло.
8. Наиболее объективной является типизация ледовых условий в районах Японского моря по суммам градусодней мороза, а не по ледовитости этих районов.
9. Имея в распоряжении данные о СГДМ, можно в общем представить характерные элементы ледовой обстановки в Татарском проливе или в ЗПВ.
10. При получении выводов о климатической изменчивости ледовых условий нежелательно использование восстановленных рядов данных.

Список использованных источников

1. Дубина В.А., Плотников В.В., Лазарюк А.Ю. Особенности ледяного покрова в районе полуострова Ломоносова (залив Петра Великого) // Вестник ДВО РАН. 2015. № 2. С 93-100.
2. Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. М: ИГ-СОЦИН, 2014. 605 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Японское море. Гидрометеорологические условия. Т. 8. Вып. 1. СПб: Гидрометеоиздат, 2003. 398 с.
4. Карклин В.П., Миронов Е.У., Иванов В.В., Шкорба С.П. Особенности формирования крупных аномалий ледовитости в Татарском проливе // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 3 (109). С. 20-33.
5. Лоция северо-западного берега Японского моря от реки Туманная до мыса Белкина. СПб: Изд. ГУНИО, 1996. 360 с.
6. Номенклатура морских льдов. Условные обозначения для ледовых карт. Л: Гидрометеоиздат, 1974. 86 с.
7. Петров А.Г., Стасюк Е.И., Кислова С.И. Характеристика суровости зим в ледовом отношении и некоторые особенности ледяного покрова залива Петра Великого // Труды ДВНИГМИ. 2012. Вып. 154. С. 101-121.
8. Петров А.Г., Стасюк Е.И. Характер ледообразования в экстремальные и близкие к ним зимние периоды на акватории залива Петра Великого // Труды ДВНИГМИ. 2012. Вып. 154. С. 122-144.

9. *Плотников В.В.* Изменчивость ледовых условий дальневосточных морей России и их прогноз. Владивосток: Дальнаука, 2002. 172 с.
10. *Плотников В.В.* Пространственно-временная изменчивость ледяного покрова залива Петра Великого // Вестник ДВО РАН. 2013. №. 6. С. 42-49.
11. Учет ледовых условий при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Азовском море // Под ред. П.А. Гордиенко. Л: Гидрометеоиздат, 1979. 106 с.
12. Учет ледовых условий при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Балтийском море // Под ред. П.А. Гордиенко. Л: Гидрометеоиздат, 1979. 167 с.
13. Учет ледовых явлений при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Каспийском море // Под ред. П.А. Гордиенко. Л: Гидрометеоиздат, 1983. 131 с.

Поступила в редакцию 14.04.2017 г.