

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНЫХ АНОМАЛИЙ ЛЕДОВИТОСТИ В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ

канд. геогр. наук В.П. КАРКЛИН¹, д-р геогр. наук Е.У. МИРОНОВ¹,
канд. геогр. наук В.В. ИВАНОВ¹, научн. сотр. С.П. ШКОРБА²

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: karklin@aari.ru

² — Тихоокеанский океанологический институт (ТОИ) ДВО РАН, г. Владивосток, e-mail: pvi711@yandex.ru

Выполнен анализ ледовых условий в Татарском проливе за период 1950–2016 гг. Приведены оценки повторяемости крупных аномалий ледовитости (положительных и отрицательных). Выявлено, что крупные аномалии ледовитости, а следовательно, тяжелые или легкие ледовые условия, не обязательно формируются температурными условиями в суровые или мягкие зимы, значительную роль в их формировании играют аномальные перестройки крупномасштабных атмосферных процессов в тихоокеано-американском регионе. Показана связь крупных аномалий ледовитости с соответствующими разновидностями типов атмосферной циркуляции.

На основании анализа климатических трендов в изменениях западной формы атмосферной циркуляции и температуры воздуха за период 1900–2016 гг. дана прогностическая оценка повышенной повторяемости легких ледовых условий в Татарском проливе в ближайшие годы.

Ключевые слова: Японское море, Татарский пролив, аномалии ледовитости, аномалии температуры воздуха, типы атмосферной циркуляции, климатические тренды.

ВВЕДЕНИЕ

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ) в течение осенне-зимних сезонов 2006–2016 гг. проводит ежедневный спутниковый мониторинг развития ледовых условий в Татарском проливе для гидрометеорологического обеспечения танкеров, вывозящих углеводородное сырье от терминала в пункте Де-Кастри (Миронов и др., 2008). Используемая для оперативного обеспечения плаваний в Татарском проливе спутниковая информация позволяет с суточной дискретностью определять ледовитость, сплоченность и возраст (толщину) льда, что также позволяет дополнять режимные характеристики ледяного покрова в проливе, установленные в период авиационных ледовых разведок.

Анализ полученных за эти годы материалов убедительно показывает, что, несмотря на возросшие технические возможности специализированных судов, сохраняется их значительная зависимость от состояния ледяного покрова в проливе, особенно в сезоны с тяжелыми ледовыми условиями. Поэтому исследование условий формирования крупных аномалий ледовитости (площади распространения льда) в проливе представляется актуальным, как в практическом, так и в научном отношении.

Для поставленной задачи использованы данные о ледовитости в Татарском проливе за период 1950–2016 гг. Часть данных содержится в отчетах о ледовых авиаразведках на

дальневосточных морях за период 1950–1990 гг. (Фонды ААНИИ). Данные за период 1991–2005 гг., полученные по наблюдениям с ИСЗ, предоставлены сотрудниками Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН. Данные за период 2006–2016 гг. получены за годы оперативного обеспечения навигации в проливе специалистами ААНИИ.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ

Значительная меридиональная протяженность пролива (около 700 км), его положение между холодным зимой азиатским материком и теплым Тихим океаном определяют как многообразие гидрометеорологических условий в проливе, так и особенности формирования и развития ледяного покрова в нем.

Меридиональный контраст температуры воздуха усиливается циркуляцией водных масс в проливе. На глубоководный район в южной части Татарского пролива

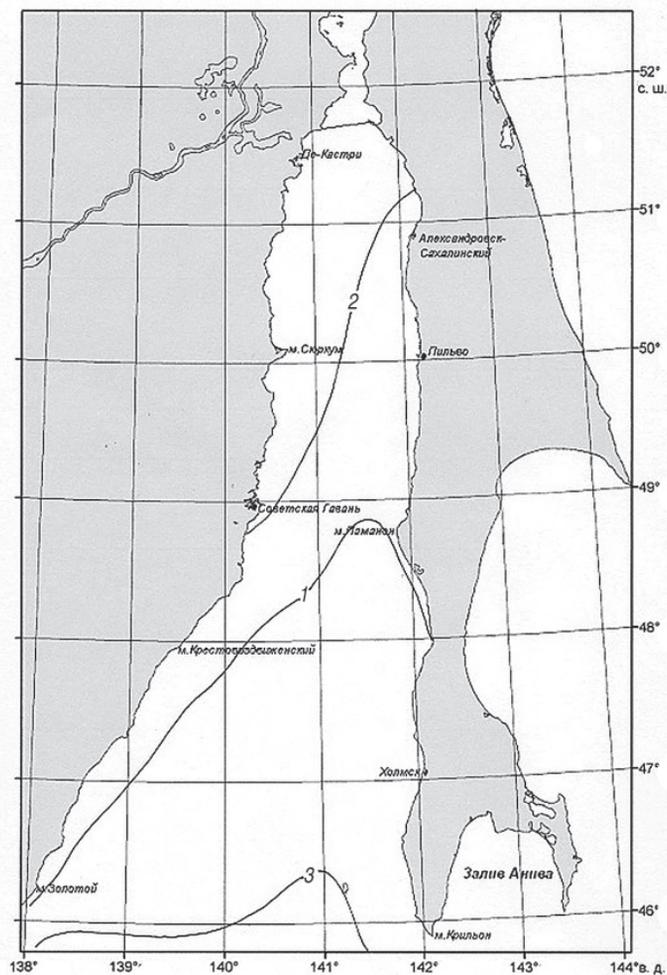


Рис. 1. Положение кромок ледяного покрова в период его максимального развития (февраль) в Татарском проливе (1 — среднее, 2 — минимальное, 3 — максимальное).

распространяется ветвь теплого и соленого Цусимского течения. Вдоль побережья азиатского континента с северной части Татарского пролива на юг распространяется холодное Приморское течение. Приморское течение особенно выражено зимой, когда над проливом преобладают северные и северо-западные ветры.

В зимний период относительно теплые воды Цусимского течения выклиниваются вблизи сахалинского побережья на широтах около 48–50° с.ш. и сдерживают продвижение кромки льда к югу. Под влиянием Приморского течения льды дрейфуют вдоль восточного побережья пролива и распространяются за его пределы. В результате противоположного влияния этих течений, кромка льда в проливе вытянута от сахалинского побережья на юго-запад к материковому побережью, как это показано на рис. 1. Положение кромок льда на рис. 1 соответствует среднему, максимальному и минимальному распространению льда в Татарском проливе в феврале. Для его построения использованы данные о вероятности встречи со льдами в проливе (Гидрометеорология и гидрохимия морей, 2003), а также ледовые карты за период обеспечения плаваний танкеров специалистами ААНИИ.

Согласно историческим данным, в годы с максимумом ледовитости лед заполняет весь Татарский пролив и спускается к острову Хоккайдо (Гидрометеорология и гидрохимия морей, 2003).

Как показывает опыт гидрометеорологического обеспечения навигации в Татарском проливе, в зимние месяцы над проливом преобладают ветры северных румбов, и льды дрейфуют в южном и юго-восточном направлении. В западной части пролива дрейф льда усиливается Приморским течением. В результате в северо-западной части пролива в течение всей зимы образуются зоны с чистой водой, в которых почти сразу начинается образование начальных видов льда. В это же время в южной части пролива, в прикромочной зоне, лед разрушается и вытаскивается.

Этой особенности формирования ледяного покрова в Татарском проливе способствует пространственная неравномерность температурного поля, в результате которой создаются условия одновременного образования льда на севере пролива и его таяния на юге. Так, в среднем за январь и февраль разность температуры воздуха между северной (к северу от 49° с.ш.) и южной частью пролива составляет около 7,5 °С.

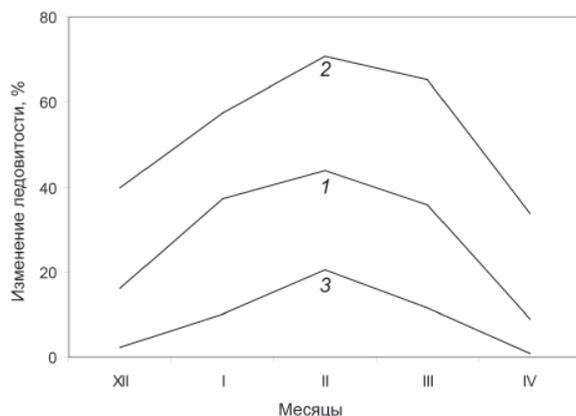


Рис. 2. Изменения средней месячной (1) максимальной (2) и минимальной (3) ледовитости в Татарском проливе по данным за период 1950–2016 гг., %.

Устойчивое ледообразование в Татарском проливе начинается в начале ноября на границе с проливом Невельского и постепенно распространяется на прибрежные заливы, а затем и на открытую акваторию северной части пролива. Развитие ледяного покрова в проливе продолжается в течение декабря–февраля. В первой половине марта ледовитость начинает уменьшаться вследствие активизации процессов таяния льда в прикромочной зоне пролива. Окончательное исчезновение льда в проливе происходит в одной из декад апреля.

В сезонном изменении ледовитости в проливе самым ледовитым месяцем является февраль (рис. 2). Связь ледовитости в феврале со средней за сезон ледовитостью (в декабре–марте) оценивается коэффициентом корреляции, близким к 0,9. Поэтому ледовитость в феврале в основном характеризует ледовые условия всего зимнего сезона и использована для анализа формирования крупных аномалий ледовитости в Татарском проливе.

МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ И ВЫДЕЛЕНИЕ ТИПОВ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ

Многолетние колебания ледовитости в Татарском проливе довольно значительны. При среднем значении в феврале, равном 44 %, ее колебания за период 1950–2016 гг. происходили в пределах 19–71 % (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики среднемесячной ледовитости в Татарском проливе в феврале за период 1950–2016 гг., %

Характеристика	Значение
Средняя	44
Максимальная	71
Минимальная	19
Размах колебаний	52
Стандартное отклонение (σ)	10

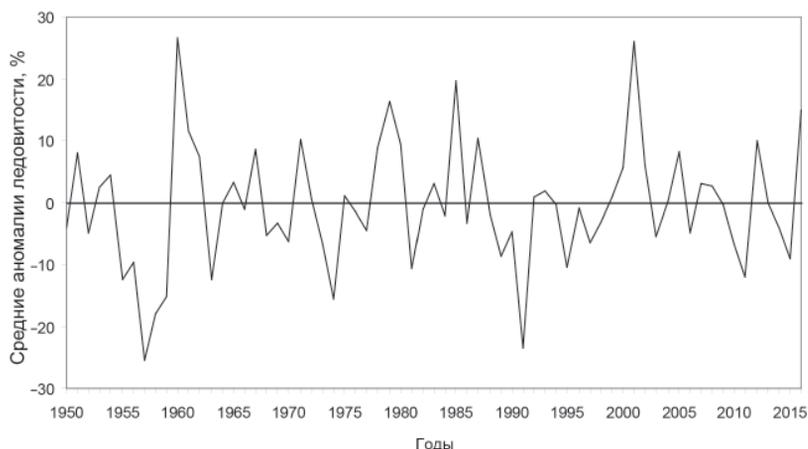


Рис. 3. Изменения средних за февраль аномалий ледовитости в Татарском проливе за период 1950–2016 гг., %.

Количество лет с различными типами ледовых условий в Татарском проливе и их повторяемость (P, %) за период 1950–2016 гг.

Тип ледовых условий	Количество лет	P, %
Тяжелый	14	21
Средний	39	58
Легкий	14	21

Для оценки величины аномалии ледовитости и, соответственно, типа ледовых условий (тяжелого, среднего или легкого) в качестве критерия типизации принята величина, равная $0,8\sigma$ от значения стандартного отклонения. К крупным положительным аномалиям отнесены аномалии равные или превышающие $+0,8\sigma$, к крупным отрицательным аномалиям – аномалии равные или меньшие $-0,8\sigma$. Среднему типу условий соответствуют аномалии в диапазоне $\pm 0,8\sigma$. Многолетняя изменчивость аномалий ледовитости в феврале представлена на рис. 3.

Рассчитанные для всего ряда аномалии нормировались по стандартному отклонению и ранжировались по величине. В соответствии с принятым критерием были выделены крупные положительные, отрицательные и средние аномалии ледовитости и соответствующие им годы с тяжелым, средним и легким типами ледовых условий в Татарском проливе. Как видно из табл. 2, за период 1950–2016 гг. тяжелый и легкий тип ледовых условий наблюдались по 14 лет каждый, в остальные годы наблюдались средние ледовые условия.

В табл. 3 перечислены годы с тяжелыми и легкими ледовыми условиями и соответствующие им величины ледовитости, а также фактические и нормированные аномалии ледовитости, которые наблюдались в период 1950–2016 гг.

Таблица 3

Характеристика лет с тяжелыми и легкими ледовыми условиями в Татарском проливе в период 1950–2016 гг.
(A — величина аномалии ледовитости, σ — стандартное отклонение)

Годы	Тяжелые ледовые условия			Легкие ледовые условия			
	Ледовитость, %	A, %	A/ σ	Годы	Ледовитость, %	A, %	A/ σ
1951	52	8	0,8	1955	32	-12	-1,2
1960	71	27	2,7	1956	34	-10	-1,0
1961	56	12	1,2	1957	19	-25	-2,5
1967	53	9	0,9	1958	26	-18	-1,8
1971	54	10	1,1	1959	29	-15	-1,5
1978	53	9	0,9	1963	32	-12	-1,2
1979	60	16	1,6	1974	28	-16	-1,6
1980	53	9	1,0	1981	33	-11	-1,1
1985	64	20	2,0	1989	35	-9	-0,9
1987	54	10	1,0	1991	21	-23	-2,3
2001	70	26	2,6	1995	34	-10	-1,1
2005	52	8	0,8	2002	21	-23	-2,3
2012	54	10	1,0	2011	32	-12	-1,2
2016	59	15	1,5	2015	35	-9	-0,9
Средняя	58	13	1,4	Средняя	29	-15	-1,5

Как можно видеть из табл. 3, в годы с тяжелыми ледовыми условиями ледовитость в Татарском проливе изменялась в пределах 52–71 %, в годы с легкими условиями — в пределах 19–35%.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ КРУПНЫХ АНОМАЛИЙ ЛЕДОВИТОСТИ

Для оценки влияния температурных условий на формирование крупных аномалий ледовитости часто используется показатель суровости зим, за который принимаются суммы градусо-дней мороза или средняя температура воздуха за период формирования ледяного покрова. Как уже упоминалось выше, максимальная ледовитость в Татарском проливе наблюдается в феврале, таким образом, формирование ледяного покрова к этому времени происходит в течение зимнего сезона, включающего четыре месяца — с ноября текущего года по февраль последующего года.

Для анализа суровости зим в Татарском проливе использованы данные станции Александровск-Сахалинский за тот же период, что и ледовитость, — 1950–2016 гг. Для района Татарского пролива эта станция является репрезентативной. К тому же наблюдения за температурой воздуха на станции ведутся регулярно с 1881 года.

Как можно видеть из табл. 4, многолетние колебания ледовых условий в Татарском проливе в течение 1950–2016 гг. происходили в интервале от –9,0 до –16,5 °С.

Таблица 4

Характеристики средней за ноябрь–февраль температуры воздуха (°С) в Александровске-Сахалинском за период 1950–2016 гг.

Характеристика	Величина
Средняя температура	–13,2
Максимальная	–9,0
Минимальная	–16,5
Размах колебаний	7,5
Стандартное отклонение (σ)	1,7

По аналогии с ледовитостью, для оценки суровости зим ряд аномалий средней за ноябрь–февраль температуры воздуха после нормирования был разбит на три типа, соответствующие мягким, средним и суровым зимам. За критерий типизации, как и в случае с ледовитостью, принималась величина, равная $0,8\sigma$. К умеренным зимам отнесены годы, в которые аномалии температур воздуха находились в интервале значений $\pm 0,8\sigma$, к суровым — аномалии температуры были равны или меньше $-0,8\sigma$ и к мягким — аномалии были равны или больше $0,8\sigma$.

Как видно из табл. 5, за период 1950–2016 гг. суровые зимы в Татарском проливе наблюдались в 17 годах, мягкие — в 18, в остальные годы зимы были умеренными.

Таблица 5

Количество лет с различными типами зим в Татарском проливе и их повторяемость (Р, %) по данным станции Александровск-Сахалинский за период 1950–2016 гг.

Тип зимы	Количество лет	Р, %
Суровая	17	25
Умеренная	32	48
Мягкая	18	27

**Средние за зимние сезоны температуры воздуха (Т) и их аномалии (ΔТ)(°С)
в суровые и мягкие зимы в Татарском проливе
по данным станции Александровск-Сахалинский за период 1950–2016 гг.
(σ — стандартное отклонение, ΔТ/σ — нормированные аномалии температуры)**

Суровые зимы				Мягкие зимы			
Сезоны	Т	ΔТ	ΔТ/σ	Сезоны	Т	ΔТ	ΔТ/σ
1950–1951	-14,5	-1,3	-0,8	1955–1956	-11,7	1,5	0,9
1952–1953	-16,5	-3,3	-2,0	1956–1957	-11,4	1,8	1,0
1953–1954	-14,7	-1,5	-0,9	1957–1958	-11,9	1,3	0,8
1966–1967	-15,2	-2,0	-1,1	1961–1962	-11,9	1,3	0,8
1968–1969	-15,3	-2,1	-1,2	1970–1971	-11,2	2,0	1,2
1977–1978	-14,7	-1,5	-0,9	1973–1974	-11,9	1,4	0,8
1984–1985	-15,2	-2,0	-1,2	1975–1976	-11,2	2,0	1,2
1985–1986	-15,7	-2,5	-1,4	1980–1981	-11,9	1,3	0,8
1986–1987	-14,7	-1,5	-0,9	1990–1991	-9,4	3,9	2,3
1987–1988	-15,1	-1,9	-1,1	2006–2007	-11,9	1,4	0,8
1991–1992	-14,9	-1,7	-1,0	2007–2008	-11,8	1,4	0,8
1993–1994	-14,8	-1,6	-0,9	2008–2009	-10,8	2,4	1,4
1997–1998	-15,2	-2,0	-1,2	2009–2010	-11,0	2,2	1,3
1999–1999	-16,0	-2,8	-1,7	2010–2011	-9,2	4,0	2,4
2000–2001	-14,6	-1,4	-0,8	2012–2013	-10,5	2,7	1,6
2002–2003	-16,2	-3,0	-1,7	2013–2014	-10,3	2,9	1,7
2003–2004	-15,6	-2,4	-1,4	2014–2015	-9,0	4,3	2,5
Средняя	-15,2	-2,0	-1,2	2015–2016	-11,6	1,6	1,0
				Средняя	-10,9	-2,3	1,3

Годы с суровыми и мягкими зимами в Татарском проливе и соответствующие им температуры и их аномалии приведены в табл. 6.

Как можно видеть из табл. 6, средняя за зимний сезон (ноябрь–февраль) температура воздуха в суровые зимы изменялась в пределах $-14,5...-16,5$ °С, в мягкие зимы в пределах $-9,0...-11,9$ °С.

Обычно тяжелые или легкие ледовые условия обусловлены суровыми или мягкими зимами соответственно. В табл. 7 сопоставлены нормированные аномалии температуры воздуха и ледовитости в годы с суровыми и мягкими зимами.

Полужирным шрифтом в табл. 7 выделены крупные аномалии ледовитости в суровые и мягкие зимы. Из таблицы можно видеть, что из 17 суровых зим только в 6 зимах наблюдались крупные положительные аномалии ледовитости и, соответственно, тяжелые ледовые условия (35 %). Только в 8 мягких зимах из 18 ледовые условия были легкими (44 %). В мягкие зимы 1970–1971 и 2015–2016 гг. в Татарском проливе сформировались даже тяжелые ледовые условия с крупными положительными аномалиями. В остальные зимы этого типа ледовые условия были средними.

Температуры воздуха и их аномалии, при которых формируются тяжелые или легкие ледовые условия в Татарском проливе, приведены в табл. 8.

В суровые зимы тяжелые ледовые условия наблюдались в 6 случаях (в табл. 8 выделены жирным шрифтом). В 5 случаях эти ледовые условия формировались при

Таблица 7

**Сопоставление нормированных аномалий температуры воздуха и ледовитости
в суровые и мягкие зимы в Татарском проливе**

Суровые зимы			Мягкие зимы		
Сезоны	Температура	Ледовитость	Сезоны	Температура	Ледовитость
1950–1951	-0,8	0,8	1955–1956	0,9	-1,0
1952–1953	-2,0	0,3	1956–1957	1,2	-2,5
1953–1954	-0,9	0,4	1957–1958	0,8	-1,8
1966–1967	-0,9	0,9	1961–1962	0,9	0,6
1968–1969	-1,2	-0,3	1970–1971	1,3	1,0
1977–1978	-0,9	0,9	1973–1974	0,9	-1,6
1984–1985	-1,2	2,0	1975–1976	1,3	-0,2
1985–1986	-1,4	-0,3	1980–1981	0,8	-1,1
1986–1987	-0,9	1,0	1990–1991	2,4	-2,3
1987–1988	-1,1	-0,2	2006–2007	0,9	0,3
1991–1992	-1,0	0,1	2007–2008	0,9	0,3
1993–1994	-0,9	0,0	2008–2009	1,5	0,0
1997–1998	-1,2	-0,3	2009–2010	1,4	-0,6
1999–1999	-1,7	0,1	2010–2011	2,4	-1,2
2000–2001	-0,8	2,6	2012–2013	1,7	0,0
2002–2003	-2,2	-0,6	2013–2014	1,9	-0,4
2003–2004	-1,4	0,0	2014–2015	2,5	-0,9
			2015–2016	1,0	1,5

Таблица 8

Характеристики температуры воздуха при тяжелых и легких ледовых условиях, °С

Тяжелые условия				Легкие условия			
Сезоны	T	ΔT	$\Delta T/\sigma$	Сезоны	T	ΔT	$\Delta T/\sigma$
1950–1951	-14,5	-1,3	-0,8	1954–1955	-12,8	0,4	0,3
1959–1960	-13,4	-0,2	-0,1	1955–1956	-11,7	1,5	0,9
1960–1961	-14,3	-1,1	-0,6	1956–1957	-11,4	1,8	1,2
1966–1967	-15,2	-2,0	-1,1	1957–1958	-12,0	1,3	0,8
1970–1971	-11,2	2,0	1,3	1958–1959	-12,5	0,7	0,5
1977–1978	-14,7	-1,5	-0,9	1962–1963	-12,2	1,0	0,6
1978–1979	-13,2	0,0	0,0	1973–1974	-11,9	1,4	0,9
1979–1980	-13,4	-0,2	-0,1	1980–1981	-12,0	1,3	0,8
1984–1985	-15,2	-2,0	-1,2	1988–1989	-12,8	0,4	0,2
1986–1987	-14,7	-1,5	-0,9	1990–1991	-9,4	3,9	2,4
2000–2001	-14,6	-1,4	-0,8	1994–1995	-13,4	-0,2	-0,1
2004–2005	-14,2	-1,0	-0,6	2001–2002	-13,5	-0,3	-0,2
2011–2012	-12,4	0,8	0,6	2010–2011	-9,2	4,0	2,4
2015–2016	-11,6	1,6	1,0	2014–2015	-9,0	4,3	2,5

средних аномалиях температуры воздуха того же знака, то есть — в умеренные зимы. В трех случаях тяжелые ледовые условия наблюдались при положительных аномалиях температуры воздуха (выделены курсивом), то есть в мягкие зимы.

В большинстве зимних сезонов легкие ледовые условия формировались при крупных положительных аномалиях температуры воздуха (выделены жирным шрифтом), в остальные сезоны — в основном (за исключением двух случаев) при средних положительных аномалиях того же знака, то есть в умеренные зимы (табл. 8).

Вполне естественно, что легкие ледовые условия в Татарском проливе формируются на повышенном температурном фоне (аномально высоком или среднем), однако феномен формирования тяжелых ледовых условий в мягкие зимы нуждается в объяснении.

ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ КРУПНЫХ АНОМАЛИЙ ЛЕДОВИТОСТИ

Как показал опыт оперативного обеспечения плаваний танкеров в Татарском проливе, формирование ледяного покрова в проливе и изменчивость ледовых условий в значительной степени обусловлены взаимодействием крупномасштабных атмосферных процессов при различных типах атмосферной циркуляции. Для оценки влияния крупномасштабных атмосферных процессов на формирование крупных аномалий ледовитости в Татарском проливе использовались данные многолетнего каталога типов макросиноптических процессов в тихоокеано-американском секторе Северного полушария по классификации А.А. Гирса (Гирс, 1948). По этой классификации выделяются три основных типа циркуляции атмосферы: зональный (З) и два меридиональных (M_1 и M_2).

Для каждого типа характерна географическая ориентация основных блокирующих гребней антициклонов, влияющих на положение высотной фронтальной зоны (ведущего потока в средней тропосфере) и высокоширотные или низкоширотные траектории циклонов в системе алеутского минимума.

По данным каталога типов атмосферной циркуляции были рассчитаны аномалии количества дней с различными типами атмосферной циркуляции в среднем за

Таблица 9

Нормированные аномалии ледовитости ($\Delta L/\sigma$) и температуры воздуха ($\Delta T/\sigma$), аномалии количества дней с различными типами атмосферной циркуляции и разновидности типов атмосферной циркуляции в сезоны с тяжелыми ледовыми условиями в Татарском проливе

Сезоны	$\Delta L/\sigma$	$\Delta T/\sigma$	Аномалии типов циркуляции			Тип циркуляции
			З	M_1	M_2	
1950–1951	0,82	-0,8	-28	2	26	M_2
1959–1960	2,70	-0,1	27	-13	-14	Z_B
1960–1961	1,18	-0,6	10	-16	6	$Z_B + M_2$
1966–1967	0,88	-1,1	3	-28	25	$M_2 + Z$
1970–1971	1,03	1,3	4	29	-33	$M_1 + Z_H$
1977–1978	0,90	-0,9	2	-9	7	$Z_B + M_2$
1978–1979	1,66	0,0	23	2	-25	$Z_H + M_1$
1979–1980	0,96	-0,1	20	-7	-12	Z_B
1984–1985	1,99	-1,2	35	-2	-33	Z_B
1986–1987	1,04	-0,9	36	-3	-33	Z_B
2000–2001	2,63	-0,8	8	-16	8	$Z_B + M_2$
2004–2005	0,83	-0,6	-11	-1	12	M_2
2011–2012	1,01	0,6	10	2	-12	$Z_H + M_1$
2015–2016	1,50	1,0	-10	8	2	M_1

Примечание: Z_B, Z_H — западный тип атмосферной циркуляции с высокоширотными и низкоширотными траекториями циклонов соответственно.

ноябрь–февраль и разновидности типов циркуляции для сезонов с тяжелыми и легкими ледовыми условиями. Результаты расчетов сопоставлены с нормированными аномалиями ледовитости и температуры воздуха и представлены в таблицах 9 и 10.

Из табл. 9 видно, что *тяжелые ледовые условия* в основном формируются на пониженном температурном фоне при повышенной повторяемости типов атмосферной циркуляции M_2 и Z_6 с разновидностями процессов с высокоширотными траекториями циклонов. При этих типах атмосферной циркуляции в приземном поле давления под влиянием высотного гребня над азиатским континентом располагается мощный сибирский антициклон, гребень которого нередко распространяется на север Татарского пролива, наблюдается устойчивая адвекция холодных воздушных масс с континента при наибольшей повторяемости северо-западных направлений с пониженными скоростями ветров и малым количеством штормов. Возникающие в Японском море циклоны быстро смещаются на восток, северо-восток в район Алеутских островов и в Берингово море, минуя Татарский пролив, который оказывается под влиянием их тыловой периферии (Гирс, 1948; Иванов и др., 2008).

Значительно реже формирование *тяжелых ледовых условий* связано с высокой повторяемостью другой разновидности типов атмосферной циркуляции M_1 и Z_n с низкоширотными по сравнению с нормой траекториями циклонов. В табл. 9 эти случаи выделены жирным шрифтом. При этих типах циркуляции в приземном поле атмосферного давления под влиянием гребней азиатского и арктического антициклонов циклоны из района Японского моря перемещаются южнее Татарского пролива, Курильских и Алеутских островов. В толще тропосферы над Тихим океаном на широте Татарского пролива отмечается ослабление западно-восточного переноса воздушных

Таблица 10

Нормированные аномалии ледовитости ($\Delta L/\sigma$) и температуры воздуха ($\Delta T/\sigma$), аномалии количества дней с различными типами атмосферной циркуляции и разновидности типов атмосферной циркуляции в сезоны с легкими ледовыми условиями в Татарском проливе

Сезоны	$\Delta L/\sigma$	$\Delta T/\sigma$	Аномалии типов циркуляции			Тип циркуляции
			З	M_1	M_2	
1954–1955	–1,2	0,3	22	–1	–21	З
1955–1956	–1,0	1,0	–20	49	–28	M_1
1956–1957	–2,5	1,2	14	22	–36	З + M_1
1957–1958	–1,8	0,8	36	–7	–29	З
1958–1959	–1,5	0,5	–13	–12	25	M_2
1962–1963	–1,2	0,6	–13	–12	25	M_2
1973–1974	–1,6	0,9	11	24	–35	З + M_1
1980–1981	–1,1	0,8	25	–12	–13	З
1988–1989	–0,9	0,2	29	5	–34	З + M_1
1990–1991	–2,3	2,4	28	1	–29	З + M_1
1994–1995	–1,1	–0,1	24	6	–30	З + M_1
2001–2002	–2,3	–0,2	1	–9	8	M_2
2010–2011	–1,2	2,4	21	–2	–19	З
2014–2015	–0,9	2,5	–14	10	4	M_1

масс с холодного азиатского континента, более частые отходы воздушных потоков к восточным направлениям и формирование положительных аномалий температуры воздуха в районе Татарского пролива.

Вследствие того, что циклоны минуют Татарский пролив, в проливе наблюдается слабовеетрие, ослабление дрейфа льда, и при отрицательных температурах воздуха (выше средних) в зимний период происходит сравнительно «спокойное» нарастание ледяного покрова, накопление его в акватории пролива и, как следствие, — формирование тяжелых ледовых условий с крупными положительными аномалиями ледовитости. Как можно видеть из табл. 8, средняя за сезон температура воздуха в таких случаях изменялась в пределах $-11,2... -12,4^{\circ}\text{C}$.

Легкие ледовые условия формируются в основном при повышенной повторяемости типов M_1 и 3 (табл. 10). При этих типах в приземном поле давления сибирский антициклон ослаблен, и над континентом преобладают отрицательные аномалии давления. Циклоны в системе алеутского минимума смещаются в основном низкоширотными траекториями, обуславливая своей северной и северо-западной перифериями устойчивую адвекцию теплых воздушных масс с Тихого океана в район Татарского пролива. Наблюдается повышенная повторяемость штормовых усилений ветров.

Наиболее характерное распределение аномалий приземного атмосферного давления и температуры воздуха в среднем для периода нарастания ледяного покрова (ноябрь–февраль) и положение траекторий циклонов в сезоны с тяжелыми и легкими ледовыми условиями показаны на рис. 4. Поля аномалий атмосферного давления и температуры воздуха отражают различия в крупномасштабных атмосферных процессах в тихоокеанском регионе, примыкающем к Татарскому проливу.

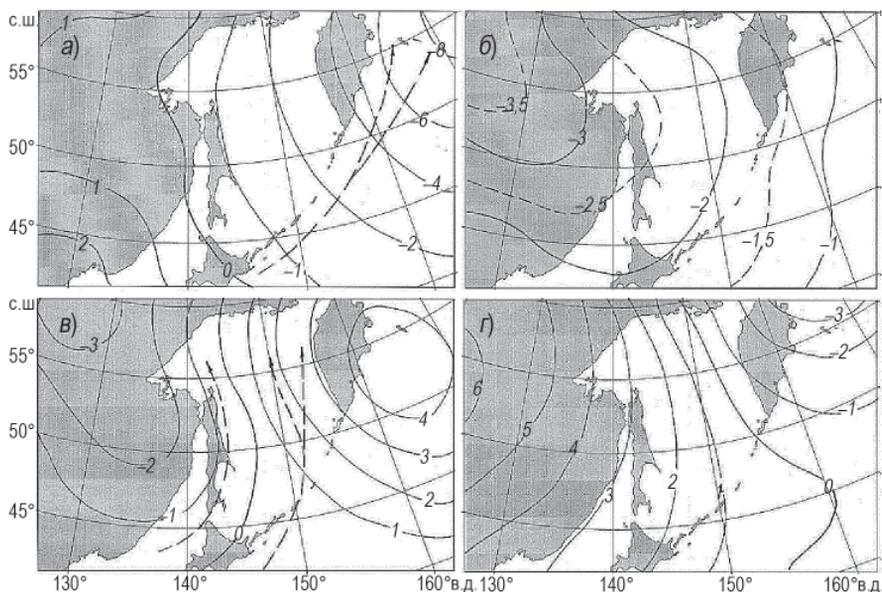


Рис. 4. Аномалии приземного атмосферного давления (мб) при тяжелых (а) и легких (в) ледовых условиях и температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) при тяжелых (б) и легких (г) ледовых условиях в Татарском проливе в среднем за ноябрь–февраль (стрелками показаны траектории циклонов).

КЛИМАТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ЗАПАДНОЙ ФОРМЫ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ И ТЕНДЕНЦИИ В КОЛЕБАНИЯХ ЛЕДОВИТОСТИ

Ряд наблюдений за ледовыми условиями, на основе которого исследованы условия формирования крупных аномалий ледовитости в Татарском проливе, охватывает вторую половину XX в. и полтора десятка лет XXI в. Этот период является частью длительных климатических колебаний, происходящих на фоне положительного тренда, характеризующего потепление климата с начала XX в. Как известно (Карклин и др., 2001; Фролов и др., 2007; Frolov et al., 2009), в арктической зоне климатические изменения и связанные с ними ледовые условия в арктических морях характеризуются полициклическими колебаниями, наиболее энергоемким среди которых является цикл продолжительностью около 60 лет. Этот цикл описывает основные природные климатические феномены в арктической зоне, происходившие в XX в.: потепление Арктики 1920–1940-х гг.; похолодание конца 1950-х — середины 1980-х гг., последующее потепление, начавшееся с конца 1980-х гг., пик которого пришелся на начало XXI в.

Колебания климата с периодом 50–70 лет выявлены также в северной части Тихого океана и в Северной Америке (Minobe, 1997, 2000).

Как отмечалось выше, температурный фон в районе Татарского пролива в зимний период зависит от напряженности западно-восточного переноса воздушных масс. Его усиление сопровождается выносом холодных масс с азиатского континента и понижением температуры воздуха, ослабление сопровождается поступлением в регион сравнительно теплых тихоокеанских воздушных масс. Эти крупномасштабные колебания, в свою очередь, отражаются на ледовых условиях в Татарском проливе.

Для оценки климатического тренда в регионе расположения Татарского пролива нами использованы данные повторяемости западной формы атмосферной циркуляции в американо-тихоокеанском секторе, а также температура воздуха на станции Александровск-Сахалинский за период 1900–2016 гг. На рис. 5 представлены колебания межгодовых аномалий среднего количества дней с западной формой атмосферной и средней температуры воздуха в период нарастания ледяного покрова в проливе (ноябрь–февраль). Тренды этих характеристик за более чем 100-летний период показаны на рисунке полиномами третьей степени.

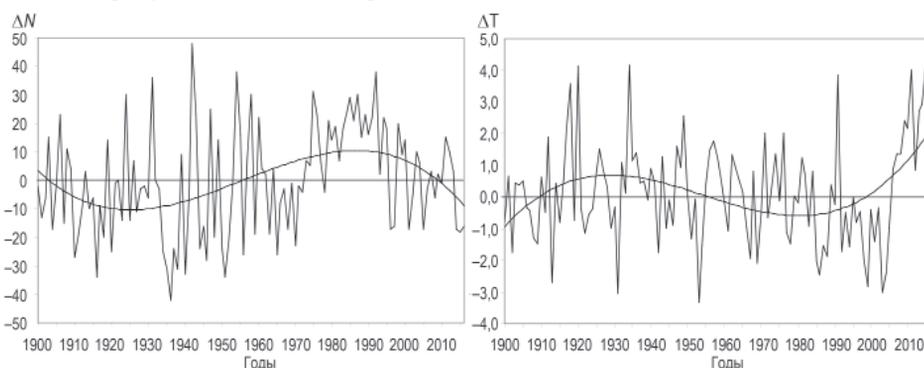


Рис. 5. Изменения аномалий среднего количества дней с западной формой атмосферной циркуляции (ΔN) в американо-тихоокеанском регионе и средних температур воздуха (ΔT) в период нарастания ледяного покрова (ноябрь–февраль) в Татарском проливе за 1900–2016 гг. (плавные кривые — тренды, выраженные полиномами третьей степени).

Как можно заметить на графиках, представленных на рис. 5, вековые тренды аномалий западной формы атмосферной циркуляции и температуры воздуха в районе Татарского пролива на близких по продолжительности интервалах лет характеризуются противоположным временным ходом. Пониженной повторяемости числа дней с западной формой циркуляции соответствует повышенный фон температуры воздуха и наоборот, что отмечалось и в межгодовых колебаниях. Отметим, что периоды потеплений и похолоданий в арктической зоне, упомянутые выше, близки по времени и на широте Татарского пролива, что видно на рис. 5.

Для судоходства в Татарском проливе в зимнее время наибольшую сложность представляют тяжелые ледовые условия. Следует отметить, что в 70 % случаев тяжелые ледовые условия наблюдались на фоне пониженной температуры воздуха в период 1950–1987 гг. (табл. 3). При повышенном температурном фоне чаще всего формируются легкие ледовые условия (табл. 8, 10).

Из рис. 5 видно, что в последние десятилетия наблюдается снижение повторяемости количества дней с западной формой атмосферной циркуляции в тихоокеано-американском регионе, начавшееся в 1990-е гг., при этом наблюдается повышение температуры воздуха. Устойчивые многолетние тренды этих климатических характеристик позволяют ожидать сохранения этих тенденций в ближайшие годы и, как следствие, — повышенную повторяемость легких ледовых условий в Татарском проливе.

ВЫВОДЫ

Как следует из выполненного анализа, крупные аномалии ледовитости, а следовательно, тяжелые или легкие ледовые условия в Татарском проливе не обязательно формируются температурными условиями в суровые или мягкие зимы. Значительную роль в их формировании играют аномальные перестройки крупномасштабных процессов в тихоокеано-американском регионе.

Смена типов атмосферной циркуляции с западной на меридиональные, их комбинации и разновидности обуславливают траектории циклонов, с которыми, в свою очередь, связаны ветровые условия в Татарском проливе и, как следствие, динамическое состояние ледяного покрова, при котором происходит накопление льда в проливе или вынос его в прикромочную зону, где он разрушается.

На фоне снижения западной формы атмосферной циркуляции в тихоокеано-американском регионе и сохранения положительных аномалий температуры воздуха в ближайшие годы в Татарском проливе велика вероятность преобладания легких ледовых условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VIII. Японское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеониздат, 2003. 398 с.

Гирс А.А. К вопросу изучения основных форм атмосферной циркуляции // *Метеорология и гидрология*. 1948. № 3. С. 9–21.

Карклин В.П., Юлин А.В., Карелин И.Д., Иванов В.В. Климатические колебания ледовитости арктических морей сибирского шельфа // *Тр. ААНИИ*. 2001. Т. 443. С. 5–11.

Кинг Дж.Р., Иванов В.В., Беамши Р.Дж., МакФарлан Г.А. Индекс общей циркуляции атмосферы в северной части Тихого океана // *Тр. ААНИИ*. 2008. Т. 448. С. 317–328.

Миронов Е.У., Клячкин С.В., Фролов С.В., Щербаков Ю.А. Ледовые прогнозы и навигационные рекомендации для плавания судов на шельфе Сахалина // *Oil&Gas Journal Russia*. 2008. № 8 (21). С. 47–53.

Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. Научные исследования в Арктике. Т. 2. Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука, 2007. 136 с.

Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Kovalev E.G., Smolyanitsky V.M. Climate Change in Eurasian Arctic Shelf Seas. Centennial Ice Cover Observations. Chichester, UK: Praxis Publishing Ltd, 2009. 164 p.

Minobe S. A 50–70 year climatic oscillation over the North Pacific and North America // *Geophys. Res. Lett.* 1997. Vol. 24. P. 683–686.

Minobe S. Spatio-temporal structure of the pentadecadal variability over North Pacific // *Progr. Oceanogr.* 2000. Vol. 47. P. 381–408.

V.P. KARKLIN, E.U. MIRONOV, V.V. IVANOV, S.P. SHKORBA

SPECIAL FEATURES OF ICE EXTENT LARGE ANOMALIES FORMATION IN THE TATAR STRAIT

The analysis of ice conditions in Strait of Tartary during 1950–2016 is made. Estimates of occurrence of positive and negative ice extent large anomalies are given. It is revealed that ice extent large anomalies, and, therefore, difficult or easy ice conditions, are not necessarily formed by the thermal conditions in severe or soft winters and the significant role in the ice extent anomaly formation is played by abnormal reorganizations of large-scale atmospheric processes in the Pacific-American region. Relationship of ice extent large anomalies with the corresponding kinds of atmospheric circulation types is shown.

On the basis of the analysis of climatic trends in changes of the western form of atmospheric circulation and air temperature during 1900–2016, the predictive estimate on an increased repeatability of easy ice conditions in the Tatar Strait in the next years is given.

Keywords: Japan Sea, Tatar Strait, ice extent anomalies, anomaly of air temperature, types of atmospheric circulation, climatic trends.