Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского.

География. Геология. Том 5 (71). № 3. 2019 г. С. 276–287.

УДК 912:656.6.08

ОСОБЕННОСТИ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ ВТОРЖЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ВОЗДУХА НАД ТИХИМ ОКЕАНОМ В 1948–2017 ГГ.

Холопцев А.В.^{1, 2}, Подпорин С.А.², Семивеличенко А.А.²

¹Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», г. Севастополь, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Российская Федерация

E-mail: kholoptsev@mail.ru, SAPodporin@sevsu.ru, cimanan2@gmail.com

Рассмотрены особенности межгодовых изменений в 1948–2017 гг. частоты возникновения, а также годовой и месячной суммарной продолжительности вторжений Арктического воздуха, происходивших в различных секторах Северной части Тихого океана в том или ином месяце. Современные тенденции изменения данных характеристик оценены для изучаемых воздушных течений, которые имеют различную ширину фронта.

Ключевые слова: атмосферная циркуляция, вторжение Арктического воздуха, Тихий океан, суммарная продолжительность, повторяемость, безопасность судоходства

введение

Вторжения арктического воздуха (BAB) являются существенными меридиональных составляющих общей компонентами циркуляции земной атмосферы, которые значимо влияют на погоду и состояние экосистем во многих внетропических регионах мира. Характеристики повторяемости данных процессов в каждом таком регионе во многом определяют гидрометеорологические риски при функционировании различных секторов экономики, в том числе и морского транспортного комплекса. В этой связи, выявление современных тенденций изменения этих характеристик является актуальной проблемой физической географии, океанографии, метеорологии, а также эксплуатации водного транспорта.

ВАВ представляют собой быстрые тропосферные течения, которые переносят холодный, сухой воздух из высоких широт к соответствующим субтропическим антициклонам. Так как подобный воздух является весьма плотным, на всех участках земной поверхности, над которыми он проходит, повышается атмосферное давление (P_{ar}).

Области повышенного P_{ат}, которые образуются при этом, связывают на время существования ВАВ Субтропический антициклон с Арктическим антициклоном [1].

Влияние ВАВ на гидрометеорологические условия в умеренных и субтропических широтах тем сильней, чем больше доставляемые ими объемы холодного и сухого арктического воздуха. Такие объемы тем больше, чем больше продолжительность ВАВ и шире фронт данного воздушного течения. Учитывая сказанное, к числу характеристик повторяемости ВАВ, оказывающих наибольшее влияние на гидрометеорологические риски, следует отнести частоту возникновения (N_{Σ}) и суммарную продолжительность за год или определенный месяц (СП_{Σ}) данных процессов при любой ширине фронта (F), а также аналогичные показатели тех же

процессов, но при определенном значении F – (N_F, CП_F).

Выявление особенностей изменчивости указанных характеристик повторяемости ВАВ, в том числе их современных тенденций, представляет наибольший интерес для регионов, через которые проходят трансокеанские маршруты с интенсивным трафиком. Одним из них является Северная часть Тихого океана, через которую проходят важнейшие водные пути мира, ведущие к портам России, Китая, Японии, Южной Кореи, США, а также Панамскому каналу [2].

Северная часть Тихого океана, как известно, располагается между меридианами 120° в.д. и 120° з.д., а также параллелями 65,5° с.ш. и 30° с.ш. Вследствие этого, данному региону соответствуют Дальневосточный (120–170°в.д.) и Тихоокеанский (170°в.д.–120°з.д.) сектор земной атмосферы. Гидрометеорологические условия в данном регионе определяются взаимодействием Алеутского минимума с Гавайским максимумом и Арктическим антициклоном, одним из результатов которого является образование ВАВ [3, 4].

Существующие методики обнаружения ВАВ основаны на выявлении полос с повышенным Р_{ат}, которые возникают при данных процессах.

При поиске данных барических неоднородностей анализируются срочные или суточные карты погоды, либо результаты соответствующих реанализов P_{at} [5]. Подобные источники содержат информацию, позволяющую выявлять изучаемые процессы в каждом регионе мира и в любые даты, относящиеся, как минимум, к последним нескольким десятилетиям. Тем не менее, современные тенденции и другие особенности изменений рассматриваемых характеристик повторяемости ВАВ над Северной частью Тихого океана, ранее не оценивались. Это осложняет их моделирование и прогнозирование, а также учет при управлении транспортным комплексом данного региона, а также океанскими и воздушными судами.

Целью данной работы является выявление особенностей и современных тенденций межгодовой изменчивости N_{Σ} , $C\Pi_{\Sigma}$, а также N_F , $C\Pi_F$ BAB над Тихим океаном.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для достижения указанной цели в качестве фактического материала использованы результаты реанализа NCEP/NCAR среднесуточных значений приведенного к уровню моря P_{ar} [6]. В указанном реанализе информация о значениях данного показателя представлена за период с 1.01.1948 по 31.12.2017 гг. для всех пунктов земной поверхности, которые соответствуют узлам координатной сетки с шагом 2,5°х2,5°.

Для обнаружения ВАВ применена методика [7]. Она основана на том, что на участке земной поверхности, над которым проходит ВАВ, в каждые сутки из отрезка времени, когда происходит данное явление, Р_{ат} всегда больше, чем в сутки непосредственно перед его началом.

Принято допущение, согласно которому минимальная продолжительность ВАВ составляет 3 суток. Поэтому при обнаружении ВАВ в скользящем окне заданной длительности для каждого узла координатной сетки (λ , φ), расположенного на

параллелях 40-65° с.ш. в пределах Северной части Тихого океана, определяется значения показателя:

$$\Delta P = \Delta P_a(\lambda, \varphi, t+1) \cdot \Delta P_a(\lambda, \varphi, t+2) \cdot \Delta P_a(\lambda, \varphi, t+3), \tag{1}$$

где $\Delta P_a(\lambda, \varphi, t+\tau) = P_{am}(\lambda, \varphi, t+\tau) - P_{am}(\lambda, \varphi, t-1); \lambda$ – долгота (°); φ – широта (°); t – дата начала скользящего окна, где обнаруживается ВАВ; τ – сдвиг по времени в пределах периода ВАВ (τ =1, 2, 3...).

Предполагается также, что максимальная продолжительность учитываемых ВАВ может составлять 10 суток.

При обнаружении производится полный перебор всех значений длин скользящего окна в пределах от 3 до 10 суток.

Вычисленное для каждого скользящего окна значение ΔP сравнивается с пороговым уровнем. Анализ законов распределения рассматриваемого показателя в случаях, кода существуют ВАВ, а также когда они отсутствуют, показал, что в качестве такого уровня может быть принят уровень 0 гПа. Решение об обнаружении ВАВ в рассматриваемом скользящем окне производится, если значения ΔP являются положительными для всех ϕ из интервала (30–65°с.ш.).

Очевидно, что обнаружение по данной методике может произойти лишь в случае, если длина применяемого скользящего окна не превышает фактическую длительность ВАВ. Поэтому при оценке периодов времени, в которые существовали обнаруженные ВАВ, среди всех длин скользящих окон, в которых они выявлены, учитывались наибольшие.

Подобная методика позволяет выявлять ВАВ, при которых на всех параллелях из указанного интервала широт ΔP являлось положительным. При этом она не позволяет обнаруживать ВАВ, которые распространяются под крутыми углами к меридиану и при этом имеют малую F. Подобные ВАВ возникают редко. Поэтому предполагалось, что на достоверность получаемых результатов данный недостаток влияет несущественно.

Изложенная методика применена для выявления всех отрезков времени, относящихся к периоду с 1.01.1948 по 31.12.2017 гг., в течение которых ВАВ проходили через тот или иной сектор Северной части Тихого океана, имеющий ширину 2,5°.

Выявление этих отрезков позволило определить все изучаемые характеристики повторяемости ВАВ – N_{Σ} , СП_{Σ}, а также N_F, СП_F, а также тенденции их изменения в целом за весь изучаемый период, а также за период 2000–2017 гг.

Как количественная мера тенденции изменения некоторого показателя на том или ином отрезке времени рассматривался угловой коэффициент линейного тренда соответствующего фрагмента его временного ряда. Значимость вычисленного показателя оценивалась по методике [8].

При оценке тенденции изменения повторяемости процессов, возникающих редко, в качестве количественной меры вычислялись разности средних значений их показателей за периоды 1948–1982 и 1983 –2017 гг.

Результаты исследования и их анализ

С помощью изложенной методики определены все отрезки времени из периода 1.01.1948–31.12.2017 гг., в течение которых ВАВ проходили в том или ином секторе северной части Тихого океана, имеющем ширину 2,5°.

Это позволило определить значения $N_{\Sigma}(\lambda)$, с которыми над таким сектором со средней долготой λ за периоды 1948–1982 и 1983–2017 гг. возникали ВАВ, имеющие любую F. Значение $N_{\Sigma}(\lambda)$ определялось как отношение количества ВАВ, приходящегося на рассматриваемый сектор, к количеству суток в любом из этих периодов (равно 12786).

Функции $N_{\Sigma}(\lambda)$, рассчитанные для периодов 1948–1982 и 1983–2017 гг., приведены на рис. 1.



Рис. 1. Функции Ν_Σ(λ), рассчитанные для периодов 1948–1982 и 1983–2017 гг.

Из рис. 1 видно, что соответствующие периодам 1948–1982 и 1983–2017гг. функции $N_{\Sigma}(\lambda)$ являются практически подобными.

Пониженные средние уровни обеих функций соответствуют долготам от 135° в.д. до 170° з.д. Они соответствуют Японскому, Охотскому и Берингову морю, а также другим акваториям Северной части Тихого океана, которые расположены к западу от меридиана линии перемены дат в Беринговом проливе (середины пролива между о. Ратманова и о. Крузенштерна).

Над акваториями, расположенными как восточнее, так и западнее границ указанного диапазона долгот, значения функций $N_{\Sigma}(\lambda)$, вычисленных для обоих периодов, являются повышенными.

Данная особенность пространственной изменчивости N_{Σ} соответствует представлениям об особенностях климата, а также средних поверхностных температур различных акваторий Северной части Тихого океана [9]. Пониженные значения рассматриваемого показателя соответствуют расположениям акваторий, над которыми наиболее велика повторяемость тайфунов и внетропических циклонов. Его повышенные значения соответствуют секторам, в которых

располагается Гавайский максимум (Гонолульский антициклон), либо сказывается влияние восточного отрога Монгольского антициклона.

Снижение повторяемости ВАВ приводит к увеличению повторяемости циклонов, а значит и штормовой погоды [10]. Следовательно, данный результат соответствует представлениям [11] о том, что на маршрутах к портам России, Японии и Южной Кореи гидрометеорологические условия, как правило, сложнее, чем на маршрутах по той же части Тихого океана, относящих к Западному полушарию.

Из Рис. 1 следует, что значения N_{Σ} , вычисленные для периода 1983–2017 гг. практически всюду больше, чем оцененные для периода 1948–1982 гг. Их уменьшение было наиболее существенным в секторах 145–150° в.д и 165–157,5° з.д.

Тем не менее, это не позволяет утверждать, что в современном периоде гидрометеорологические риски в данном регионе снижаются. Для более точного определения современных тенденций изменения N_{Σ} за период 2000–2017 гг. для каждого относящегося к нему месяца вычислены средние значения данного показателя по секторам, относящимся к Западной и Восточной части. Они сопоставлены с соответствующими значениями N_{Σ} , рассчитанными за весь период 1948–2017 гг. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

	1948	-2017	2000–2017						
Месяц	Запад	Восток	Запад	Восток					
январь	0,0034	-0,0004	-0,0162	-0,0026					
февраль	0,0003	0,0002	-0,0179	0,0365					
март	-0,0006	0,0023	-0,0110	-0,0906					
апрель	0,0061	0,0106	-0,0004	-0,0162					
май	0,0105	0,0056	0,005669	0,0053					
ИЮНЬ	0,0094	-0,0003	-0,0378	-0,0234					
июль	0,0013	0,0036	-0,0206	-0,0099					
август	-0,0021	-0,0071	0,0079	0,0078					
сентябрь	-0,0009	0,0016	-0,0620	-0,1010					
октябрь	-0,0003	0,0021	-0,1000	-0,0073					
ноябрь	8,36E-05	0,0058	-0,0717	-0,0385					
декабрь	0,0076	-0,0044	-0,0018	-0,0484					
год	0,0252	0,0269	-0,384	-0,244					

Значения угловых коэффициентов линейных трендов межгодовых изменений месячных и годового N_{Σ} , вычисленных для периодов 1948–2017 и 2000–2017 гг.

Из таблицы 1 видно, что значимые тенденции к увеличению месячных N_{Σ} за период 1948–2017 гг. как на западе, так и на востоке Северной части Тихого океана имели место лишь в апреле и мае, а также в среднем за год. В июне и декабре подобные тенденции имели место лишь для западного сектора Тихого океана, а в ноябре – лишь для его восточного сектора.

Значимая тенденция к уменьшению месячных N_{Σ} за тот же период выявлена лишь для восточного сектора Северной части Тихого океана и для декабря.

В современном периоде (2000–2017 гг.) значимые тенденции к уменьшению месячных N_{Σ} во всей Северной части Тихого океана выявлены для июня, июля, сентября, ноября и в целом за год. Такие же тенденции на западе этой акватории выявлены также в январе, феврале и октябре, а в ее Тихоокеанском секторе – в марте, апреле и декабре.

Значимая тенденция к увеличению данного показателя выявлена лишь в феврале и только в Тихоокеанском секторе.

Таблица 1 свидетельствует о том, что тенденции изменения N_{Σ} (не только годовых, но и месячных) в современном периоде по сравнению со всем изучаемым отрезком времени сменились на противоположные. Ныне в регионе преобладают тенденции к уменьшению данного показателя и увеличению составляющей гидрометеорологических рисков, связанной со штормами.

Значения годовых и месячных СП_{Σ} для всех акваторий Северной части Тихого океана, расположенных в Западном и Восточном полушарии, вычислены с использованием выявленных отрезков времени существования над ними ВАВ с любой F. В качестве примера, на Рис. 2 приведены зависимости от года начала скользящего окна длиной 10 лет, усредненных по нему годовых СП_{Σ} (G, сут) над указанными акваториями.



Рис. 2. Зависимости от года начала скользящего окна длиной 10 лет усредненных по нему годовых СП $_{\Sigma}$ для акваторий Северной части Тихого океана, которые расположены в западном (3) и восточном (В) полушариях

Из рис. 2 видно, что зависимости усредненных за десятилетие годовых $C\Pi_{\Sigma}(t)$, представляют собой сложные колебания, в которых присутствуют возрастающие тренды (значения их угловых коэффициентов соответственно равны 2,163 сут./дес.

для Западной части региона и 3,038 сут./дес. для его Восточной части). Статистическая связь между изменениями рассматриваемых показателей на совпадающих отрезках времени усиливается. В период, начиная с 1988 г., их корреляция является положительной, а статистический вывод о ее значимости характеризуется достоверностью по критерию Стьюдента близкой к 95%.

В современном периоде (после 2000 г.) изменения усредненных за десятилетие годовых СП_{Σ} над рассматриваемыми регионами мира пребывают в фазах, при которых их значения монотонно снижаются. Такие же особенности характерны и для межгодовых изменений месячных СП_{Σ} (GM, сут.) над теми же регионами, которые соответствуют большинству месяцев. Исключениями являются такие месяцы как январь и июль, для которых рассматриваемые зависимости представлены на рис. 3.



Рис. 3. Зависимости от года начала скользящего окна длиной 10 лет, усредненных по нему месячных СП_{Σ} над акваториями Северной части Тихого океана, находящихся в 3 и В полушариях, которые соответствуют месяцам: А) Январь; Б) Июль

Как видно из рис. 3А, межгодовые изменения январских CП₂, которые происходили над Западной и Восточной частями рассматриваемого региона, в

течение всего изучаемого периода времени были практически противофазными. В современном периоде (начиная с 2000 г.) изменения рассматриваемого показателя для В части региона происходят на постоянном уровне, а для его 3 части в них присутствует убывающий тренд.

Из Рис. ЗБ следует, что на протяжении всего рассматриваемого периода межгодовые изменения июльских $C\Pi_{\Sigma}$ над теми же частями акватории Тихого океана происходили практически противофазно.

При выявлении особенностей пространственных и временных изменений распределений значений N_F над Северной частью Тихого океана учитывались все обнаруженные здесь ВАВ с показателем F<30°.

В Таблице 2 приведены значения месячных N_F для Тихоокеанского сектора атмосферы в периоды 1948–1982 и 1983–2017 гг.

Таблица 2.

Значения месячных N_F для Тихоокеанского сектора атмосферы в периоды 1948–1982 и 1983–2017 гг.

1948–1982												
месяц	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	
Янв	0,206	0,202	0,115	0,103	0,091	0,047	0,047	0,036	0,055	0,016	0,019	
Фев	0,257	0,183	0,12	0,117	0,075	0,066	0,046	0,017	0,025	0,016	0,012	
Map	0,224	0,178	0,11	0,121	0,135	0,049	0,039	0,036	0,018	0,018	0,004	
Апр	0,185	0,228	0,157	0,102	0,047	0,039	0,047	0,059	0,039	0,016	0,019	
Май	0,284	0,188	0,096	0,088	0,084	0,06	0,052	0,032	0,032	0,016	0,008	
Июн	0,241	0,213	0,149	0,108	0,04	0,064	0,028	0,028	0,048	0,004	0,016	
Июл	0,244	0,241	0,132	0,08	0,056	0,044	0,072	0,024	0,028	0,028	0,024	
Авг	0,255	0,18	0,102	0,129	0,047	0,043	0,086	0,039	0,039	0,019	0,019	
Сен	0,256	0,215	0,141	0,1	0,07	0,048	0,048	0,007	0,033	0,0186	0,015	
Окт	0,254	0,173	0,141	0,092	0,077	0,063	0,028	0,035	0,035	0,007	0,025	
Ноя	0,214	0,21	0,142	0,096	0,064	0,057	0,032	0,043	0,018	0,025	0,018	
Дек	0,228	0,188	0,131	0,104	0,067	0,084	0,047	0,01	0,027	0,02	0,013	
Год	2,848	2,399	1,536	1,24	0,853	0,664	0,572	0,366	0,397	0,2036	0,192	
	-	-	-	-	1983-	-2017		-	-	-		
месяц	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	
Янв	0,218	0,214	0,152	0,097	0,082	0,066	0,031	0,047	0,043	0,019	0,016	
Фев	0,175	0,223	0,171	0,105	0,072	0,044	0,044	0,028	0,032	0,032	0,028	
Map	0,233	0,226	0,126	0,119	0,053	0,056	0,023	0,043	0,023	0,017	0,023	
Апр	0,226	0,167	0,159	0,097	0,083	0,042	0,038	0,031	0,038	0,035	0,024	
Май	0,298	0,159	0,129	0,122	0,059	0,044	0,044	0,029	0,026	0,018	0,018	
Июн	0,241	0,213	0,148	0,108	0,04	0,064	0,028	0,028	0,048	0,004	0,016	
Июл	0,242	0,219	0,132	0,072	0,087	0,053	0,03	0,049	0,026	0,015	0,034	
Авг	0,246	0,211	0,138	0,078	0,069	0,06	0,043	0,03	0,017	0,021	0,034	
Сен	0,278	0,139	0,171	0,111	0,071	0,075	0,032	0,025	0,025	0,014	0,021	
Окт	0,238	0,218	0,134	0,104	0,067	0,06	0,047	0,034	0,013	0,01	0,013	
Ноя	0,216	0,216	0,17	0,124	0,064	0,049	0,028	0,025	0,018	0,025	0,017	
Дек	0,279	0,204	0,093	0,126	0,059	0,045	0,056	0,026	0,015	0,022	0,011	
Год	2,89	2,335	1,723	1,263	0,806	0,658	0,444	0,395	0,324	0,232	0,255	

Из таблицы 2 следует, что значения годовых и месячных NF для любых месяцев и Тихоокеанского сектора атмосферы в периоды 1948–1982 и 1983–2017 гг. являлись убывающими функциями F.

При F>15° количества случаев выявления таких ВАВ было настолько мало, что погрешности вычисления NF, обусловленные ограниченностью такой выборки, превосходили различия между их значениями для рассматриваемых периодов. Тем не менее, для F=10° и 12,5° такие различия являются значимыми. Для таких F, значения NF, соответствующие периоду 1948–1982 гг., чаще превышали их значения для периода 1983–2017 гг.

Значимых различий оценок NF, для акваторий Северной части Тихого океана, которые расположены в Западном и в Восточном полушарии, не выявлено.

При изучении зависимостей от времени годовых и месячных СПF учитывались ВАВ с $F=2,5-15^{\circ}$. Подобные зависимости получены для обеих частей рассматриваемого океанического региона. Как пример, на Рис. 4 представлены зависимости от года начала скользящего окна длиной 10 лет усредненных по нему СП_F, соответствующие Тихоокеанскому сектору Северного полушария, январю и $F=2,5-10^{\circ}$.



Рис. 4. Зависимости от года начала скользящего окна длиной 10 лет усредненных по нему СП_F, соответствующие Тихоокеанскому сектору Северного полушария, а также январю

Из рис. 4 видно, что рассматриваемые зависимости представляют собой сложные колебания. При этом в современном периоде (после 2000 г.) в их изменениях присутствуют убывающие тренды. Аналогичная особенность характерна и для других месяцев, а также для Западной части рассматриваемого региона.

Последнее свидетельствует о том, что в современном периоде уменьшаются не

только суммарные продолжительности ВАВ, проходящих над акваториями Северной части Тихого океана, но и средние значения F. Вследствие этого уменьшаются также объемы холодного и сухого арктического воздуха, доставляемые ВАВ в умеренные и субтропические широты. Следовательно, влияние рассматриваемых процессов на гидрометеорологические условия в изучаемом регионе в современном периоде ослабевает.

выводы

В результате проведенного исследования установлено, что:

1. В современном периоде значимые тенденции к уменьшению месячных N_Σ и N_F (при F от 2,5° до 10°) во всей Северной части Тихого океана в период 2000–2017 гг. выявлены для июня, июля, сентября, ноября и в целом за год. Такие же тенденции в Дальневосточном секторе выявлены в январе, феврале и октябре, а в Тихоокеанском секторе – в марте, апреле и декабре. Аналогичные современные тенденции характерны для изменений СП_Σ во все месяцы, кроме января и июля, а также СП_F (во все месяцы).

2. Вследствие произошедших изменений рассматриваемых характеристик повторяемости ВАВ над рассматриваемым регионом, объемы арктического воздуха, доставляемого в умеренные и субтропические широты, в XXI веке уменьшились, как и влияние этих процессов на гидрометеорологические условия на пролегающих здесь маршрутах движения судов. Наиболее ощутимым это явление было в Западной части региона, к востоку от Японских островов, острова Сахалин и в Охотском море (в секторе между меридианами 145–150° в.д).

3. В современном периоде, в сравнении с предыдущим, повышенной является повторяемость ВАВ с наименьшими значениями F, что свидетельствует о происходящем усилении изменчивости общей циркуляции земной атмосферы.

4. Гидрометеорологические условия в Северной части Тихого океана в современном периоде усложняются, вследствие чего связанные с ними риски при функционировании ее транспортного комплекса, возрастают.

5. Практическую значимость полученные в работе результаты могут иметь для судоходных компаний при долгосрочном планировании работы морского транспорта на маршрутах Северной части Тихого океана. Судовладельцам важно оценивать вероятности неблагоприятных погодных явлений и тенденции их развития при обеспечении безопасной эксплуатации своего флота.

Список литературы

 Дзердзеевский Б. Л., Курганская В. М., Витвицкая З. М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология. Вып. 21. Центральный институт прогнозов. М., Л.: Гидрометиздат, 1946. 80 с.

 Видяпин В. И., Степанов М. В. Экономическая география России. Москва: ИНФРА-М, 2010. 567 с.

3. Admiralty Sailing Directions: Bering Sea and Strait Pilot - NP23. 2013. 404 p.

- 4. Admiralty Sailing Directions: South and East Coasts of Korea, East Coast of Siberia and Sea of Okhotsk Pilot. UKHO. 2005. 465 p.
- 5. S. Saha and coauthors The NCEP Climate Forecast System Reanalysis // Bull. Amer. Meteor. Soc., 91:8. 2010. pp. 1015–1057.
- 6. База данных. Результаты реанализа среднесуточных значений атмосферного давления. [Электронный pecypc]. URL: ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalisis.dailyavgs/level sea/
- Холопцев А. В., Подпорин С. А., Курочкин Л. Е. Арктические вторжения и тенденции изменения метеоусловий в океанических регионах Умеренного климатического пояса // Труды международной научной конференции «Science: Discoveries and Progress». III International Scientific Conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Russia, Moscow. September 28–29. 2018, pp. 450–460
- 8. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Справочник для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
- 9. Смирнов Н. П., Воробьев В. Н. Северо-Тихоокеанское колебание и динамика климата в северной части Тихого океана. СПб.: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2002. 122 с.
- 10. Sulby M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics. New York: Academic Press. 1996. 560 p.
- 11. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т. 2. М.: Мир, 1986. 415 с.

THE FEATURES OF THE INTERANNUAL VARIATIONS OF THE FREQUENCY OF ARCTIC AIR OUTBREAKS OVER THE PACIFIC OCEAN IN THE PERIOD OF 1948–2017

Kholoptsev A. V.^{1, 2}, Podporin S. A.², Semivelichenko A. A.²

¹Sevastopol office of federal state budgetary institution 'State Oceanographic Institute of N. N. Zubov'', Sevastopol, Russian Federation

²FSAEI "Sevastopol state university", Sevastopol, Russian Federation E-mail: kholoptsev@mail.ru, SAPodporin@sevsu.ru, cimanan2@gmail.com

The influence of Arctic air outbreaks on hydrometeorological conditions in temperate and subtropical latitudes is the stronger, the longer the duration and the front width of these air currents are. Among the frequency characteristics of these processes with a particular width of their front are the frequency of their occurrence and their total duration per year or per a certain month.

This work aims to identify current trends of the inter-annual variability of the abovementioned characteristics of the Arctic air outbreaks that occur over the North Pacific.

As a source material, the results of the NCEP / NCAR reanalysis of average daily values of atmospheric pressure reduced to sea level were used. In this reanalysis, information on the values of this indicator is presented for the period from January 1, 1948 to December 31, 2017 for all points of the earth's surface, which correspond to the grid nodes with a step of $2.5^{\circ}x2,5^{\circ}$. The distribution of atmospheric pressure over the entire earth's surface is displayed by its values at points located at the intersections of 72 parallels and 144 meridians.

To detect the Arctic air outbreaks, we applied a technique, which is based on the fact that the atmospheric pressure is always higher on the part of the earth's surface where this process is taking place for each day of the time period when it takes place than it was the day before.

This technique is implemented in the form of a computer program, which allows to completely eliminate human involvement in the process of identifying the processes under study, and thus prevent possible anthropogenic errors.

With the use of such a technique, all the Arctic air outbreaks that occurred over various sectors of the North Pacific during a specified time period were identified. This enabled to identify features of the interannual changes in the frequency of their occurrence, as well as the annual and monthly total duration of the outbreaks of the Arctic air that occurred in a sector in a given month.

The trends of these indicators for the years 1948–1982 and 1983–2017 have been estimated for the processes in question with any front width, as well as specific front widths. It has been shown that the influence of the processes under consideration on the hydrometeorological conditions in the studied region tends to weaken in the modern period. The obtained results expand the existing ideas about climate changes in various sectors of the North Pacific Ocean. They as well can be of interest when planning transpacific voyages of marine vessels.

Keywords: atmospheric circulation, Arctic air outbreaks, Pacific Ocean, frequency, total duration, safety of navigation

References

- 1. Dzerdzeevskij B.L., Kurganskaya V.M., Vitvickaya Z.M. Tipizaciya cirkulyacionnyh mekhanizmov v severnom polusharii i harakteristika sinopticheskih sezonov (Typification of circulation mechanisms in the northern hemisphere and the characteristic of synoptic seasons)// Tr. n.-i. uchrezhdenij Gl. upr. gidrometeorol. sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser. 2. Sinopticheskaya meteorologiya. Vyp. 21. Central'nyj institut prognozov. M., L.: Gidrometizdat (Publ.), 1946. 80 p. (in Russian)
- Vidyapin V. I., Stepanov M. V. Ekonomicheskaya geografiya Rossii (Economical geography of Russia). Moskva: INFRA–M (Publ.), 2010, 567 p. (in Russian)
- 3. Admiralty Sailing Directions: Bering Sea and Strait Pilot NP23, 2013, 404 p.
- 4. Admiralty Sailing Directions: South and East Coasts of Korea, East Coast of Siberia and Sea of Okhotsk Pilot NP43. UKHO, 2005, 465 p.
- S. Saha and coauthors The NCEP Climate Forecast System Reanalysis // Bull. Amer. Meteor. Soc., 91:8, 2010, pp. 1015–1057.
- 6. Database. Results of reanalysis of average daily values of atmospheric pressure. ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalisis.dailyavgs/level sea/
- Kholoptsev A. V., Podporin S. A., Kurochkin L. E. Arkticheskie vtorzheniya i tendencii izmeneniya meteouslovij v okeanicheskih regionah Umerennogo klimaticheskogo poyasa (Arctic Air Outbreaks and Weather Trends in Oceanic Regions of the Temperate Climate Zone) // Proceedings of International Scientific Conference «Science: Discoveries and Progress». III International Scientific Conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Russia, Moscow. September 28–29. 2018. 450–460 pp. (in Russian)
- 8. Kobzar A. I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Spravochnik dlya inzhenerov i nauchnyh rabotnikov (Applied mathematical statistics. Handbook for engineers and scientists). Moscow: Fizmatlit (Publ.), 2006. 816 p. (in Russian)
- 9. Smirnov N. P., Vorob'ev V. N. Severo-Tihookeanskoe kolebanie i dinamika klimata v severnoj chasti Tihogo okeana (North Pacific Oscillation and Climate Dynamics in the North Pacific). SPb.: Russian State Hydrometeorological University, 2002, 122 p. (in Russian)
- 10. Sulby M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics. New York: Academic Press. 1996. 560 p.
- 11. Gill A. Dinamika atmosfery i okeana (Dynamics of the atmosphere and the ocean). V. 2. Moscow: Mir (Publ.), 1986, 415 p. (in Russian)

Поступила в редакцию 09.08.2019