

Гидрометеорология и экология. 2023. № 71. С. 260—276.
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(71):260—276.

Научная статья
УДК [551.524.3:551.465.7](265.53)(265.54)
doi: 1033933/2713-3001-2023-71-260-276

Особенности формирования крупных положительных аномалий температуры воздуха в прибрежных районах Охотского и Японского морей в 1950—2021 гг.

*Татьяна Александровна Шатилина¹, Гурам Шалвович Цициашвили²,
Татьяна Вадимовна Радченкова²*

¹ Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия, tatyana.shatilina@tinro-center.ru

² Учреждение Российской академии наук Институт прикладной математики ИПМ ДВО РАН, г. Владивосток, Радио 7, тел. 231-23-75, guram@iam.dvo.ru, tarad@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются крупные положительные аномалии температуры воздуха в прибрежных районах Охотского и Японского морей в период 1950—2021 гг. по данным метеорологической сети. Рассчитывается внутригодовой ход количества и частоты появления крупных положительных аномалий температуры воздуха в периоды 1950—1979 и 1980—2021 гг. Показано, что частота появления этих аномалий во все месяцы года в период 1980—2021 гг. значительно выше, чем в период 1950—1979 гг. Различие между климатическими особенностями в периоды 1950—1979 гг. и 1980—2021 гг. обусловлено изменениями циркуляционного режима в центрах действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона. В зимние периоды 1980—2021 гг. частота появления крупных положительных аномалий определяется режимом тропосферной ложбины у восточного побережья Азии и положением охотского тропосферного циклона.

Ключевые слова: прибрежные районы Охотского и Японского морей, частота появления крупных аномалий температуры воздуха, изменчивость циркуляции

Для цитирования: Шатилина Т. А., Цициашвили Г. Ш., Радченкова Т. В. Особенности формирования крупных положительных аномалий температуры воздуха в прибрежных районах Охотского и Японского морей в 1950—2021 гг. // Гидрометеорология и экология. 2023. № 71. С. 260—276. doi: 1033933/2713-3001-2023-71-260-276.

Original article

Feature of the formation of major positive air temperature anomalies in the coastal areas of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan in 1950—2021

*Tatiana A. Shatilina¹, Guram Sh. Tsitsiashvili²,
Tatiana V. Radchenkova²*

¹ Research institute of fisheries and oceanography, VNIRO, pacific branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia

² Institute of Applied Mathematics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia

Summary. Major positive air temperature anomalies in the coastal areas of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan in 1950—2021 are considered according to the meteorological network. The intra-annual variation in the number and frequency of occurrence of major positive air temperature anomalies in the periods 1950—1979 and 1980—2021 are calculated. It is shown that the frequency of occurrence of these anomalies in all months of the year in 1980—2021 is much higher than in 1950—1979. The maximum number of the anomalies was indicated through January to March of 1980—2021 in the northern part of the Sea of Okhotsk. The maximum frequency of occurrence of the anomalies was in March for all stations of the Sea of Okhotsk. What about the stations situated in the coastal areas of the Sea of Japan, the maximum frequency of occurrence of the anomalies was indicated in May. It is shown that the difference between the climatic peculiarities of 1950—1979 and 1980—2021 were determined by changes of the circulation regime in the centers of action of the Asia-Pacific region atmosphere. During winter periods of 1980—2021, the frequency of occurrence of major positive anomalies was determined by the tropospheric through regime near the eastern coast of Asia and by the position of the Okhotsk tropospheric cyclone while in warm periods of 1980—2021 it was determined by the circulation regime variability in the area of the Asia depression and of the Hawaiian anticyclone, their intensity being increased as compared to those of 1950—1979.

Keywords: coastal areas of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan, frequency of occurrence of major air temperature anomalies, variability of circulation

For citation: Shatilina T. A., Tsitsiashvili G. Sh., Radchenkova T. V. Feature of the formation of major positive air temperature anomalies in the coastal areas of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan in 1950—2021. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(71):260—276. (In Russ.). doi: 1033933/2713-3001-2023-71-260-276.

Введение

В настоящее время в связи с глобальным потеплением климата и увеличением повторяемости и интенсивности крупных аномалий гидрометеорологических явлений большое внимание уделяется их анализу. Так, в работе [1] рассмотрены особенности пространственно-временной изменчивости экстремальных характеристик температурного режима и осадков в Северном полушарии.

Регионы Охотского и Японского морей имеют для России особое экономическое значение. Экстремальные похолодания в прибрежных районах Охотского моря являются причиной тяжелых ледовых условий и негативно влияют на производство охотской сельди. Значительная роль экстремальных факторов среды в формировании численности горбуши и условий ее миграций в прибрежные

районы Курильских о-в, Восточного Сахалина и Японского моря показана в работах [2, 3].

В тоже время механизм влияния колебаний климата на численность тихоокеанских лососей изучен недостаточно [4], что затрудняет прогноз величины уловов в различных промысловых зонах. Это же относится и к другим промысловым объектам (минтай, сайра, сардина) Дальнего Востока.

В ряде работ [5, 6] большое внимание уделяется крупномасштабной изменчивости среды и недостаточное внимание анализу внутригодовой изменчивости крупных аномалий и механизмам их формирования. Проблема прогнозирования динамики численности гидробионтов не может быть решена успешно без обобщения данных о текущем состоянии региональных климатических систем и оценки степени ее экстремальности.

На формирование крупных аномалий температуры воздуха большое влияние оказывают положение и интенсивность региональных центров действия над Дальним Востоком. На связь температуры воздуха с центрами действия атмосферы (ЦДА) указывалось в работе [7]. Установлено, что ЦДА являются информативными характеристиками для прогноза приземной температуры воздуха.

В данной работе рассматриваются аномалии интенсивности региональных ЦДА: Охотский тропосферный циклон (ОТЦ), летняя дальневосточная депрессия (ЛДД), охотский антициклон (ОА), азиатская депрессия (АД), западный отрог гавайского антициклона (ГА).

Цель статьи — оценить количество и частоту появления крупных положительных аномалий температуры воздуха в прибрежных районах Японского и Охотского морей и выявить влияние на них региональных ЦДА. Для этого необходимо провести сравнительную оценку внутригодового хода крупных аномалий температуры воздуха для ряда станций, расположенных в различных климатических зонах Дальнего Востока, а также определить районы и месяцы с наибольшими изменениями приземной температуры воздуха и установить связь крупных аномалий температуры воздуха с интенсивностью региональных центров действия атмосферы.

Данные и методы

Всемирная метеорологическая организация (ВМО) рекомендует рассчитывать климатологические стандартные нормы [8] как средние данные за ближайший к текущему времени 30-тилетний базисный период, который завершается годом с последней цифрой 0. Нами в качестве базисного периода для расчета аномалий температуры воздуха был выбран период 1981—2010 гг.

Данные о температуре воздуха на ГМС Японии размещены на сайте https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_s3_en.php?block_no=47421&view=1. Данные о температуре воздуха на прибрежных ГМС России были получены из архивов ВНИИГМИ МЦД за период 1950—2021 гг.

Для расчета крупных аномалий температуры воздуха применяется метод, изложенный в работе [9]. Критерием появления крупной положительной аномалии

температуры воздуха в фиксированный момент времени исследуемого периода является отклонение температуры от среднего на величину $1,2\sigma$, где σ — стандартное отклонение. Для сравнительной оценки внутригодового хода числа лет и частоты появления крупных аномалий температуры воздуха выбраны периоды 1950—1979 и 1980—2021, которые отличаются интенсивностью циркуляции в ЦДА [10]. В табл. 1 представлены координаты станций, выбранные для расчета.

Таблица 1

Координаты гидрометеорологических станций (ГМС)

Coordinates of hydro-meteorological stations (GMS)

ГМС	Координаты	ГМС	Координаты
Станции бассейна Охотского моря		Станции бассейна Японского моря	
Охотск	59°22' с.ш. 143°12' в.д.	Советская Гавань	49° с.ш. 140°8' в.д.
Поронайск	49°13' с.ш. 143°06' в.д.	Рудная Пристань	44°22' с.ш. 135°51' в.д.
Усть-Хайрюзово	57°05' с.ш. 156°42' в.д.	Углегорск	49°04' с.ш. 142°02' в.д.
Курильск	45°15' с.ш. 147°53' в.д.	Вадзима	37°23,4' с.ш. 136°53,7' в.д.
Абашири	44°01' с.ш. 144°16,7' в.д.		

Далее в работе использовался этот критерий появления крупных аномалий. Выбор станций для выявления числа лет с крупными аномалиями проводился с таким расчетом, чтобы они располагались в разных климатических зонах: северный район (57 — 70° с.ш., 120 — 160° в.д.), умеренный район (45 — 55° с.ш., 120 — 160° в.д.), южный район (30 — 40° с.ш., 120 — 160° в.д.) (табл. 1).

Также была рассчитана частота f превышения значения $1,2\sigma$, как отношение количества крупных аномалий температуры воздуха к длине ряда. Частота f является вероятностно-статистической оценкой временного ряда [11].

Для оценки изменчивости атмосферной циркуляции рассчитывались аномалии приземного давления P_0 и геопотенциала H_{500} в ЦДА, которые характеризуют региональные особенности температурных и циркуляционных условий в целом для районов их расположения: АД — (25° — 40° с.ш.) — (80° — 115° в.д.), ГА — (25° — 40° с.ш.) — (140° — 180° в.д.), ЛДД — (40° — 55° с.ш.) — (115° — 135° в.д.). Интенсивность ОТЦ и ОА оценивалась по данным геопотенциала H_{500} и приземного давления над Охотским морем. Основными данными послужили архивы реанализа (NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables) атмосферного давления P_0 , геопотенциала H_{500} в узлах регулярной сетки $2,5 \times 2,5^\circ$ за период с 1950 по 2021 гг.

Результаты и обсуждение

В качестве примера на рис. 1. представлен временной ход аномалий температуры воздуха на станциях Усть-Хайрюзово и Рудная Пристань в марте и на станциях Курильск и Вадзима в августе 1950—2021 гг., которые расположены в разных климатических зонах. Для выделения крупных аномалий оценка σ рассчитывалась дважды: до 1980 г. и после него.

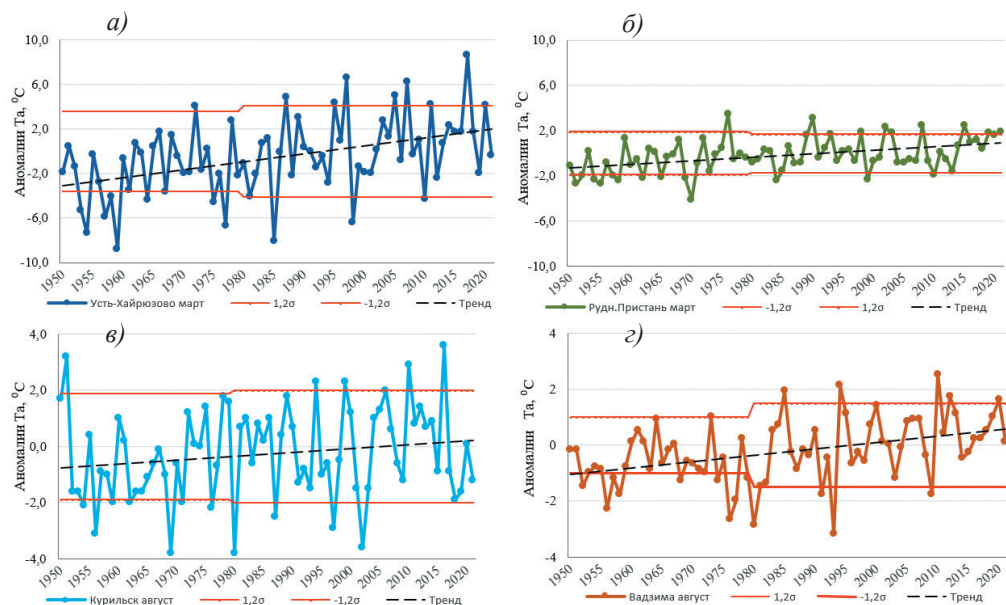


Рис. 1. Временные ряды аномалий среднемесячной температуры воздуха, в марте — на станциях Усть-Хайрюзово (а) и Рудная Пристань (б), в августе — на станциях Курильск (в) и Вадзима (г) 1950—2021 гг.

Пунктиром обозначены линии линейного тренда, красными линиями — границы крупных аномалий.

Fig. 1. Time series of anomalies of average monthly air temperature at Ust-Khairuzovo (a) and Rudnaya Pristan (b) stations in March, at Kurilsk (c) and Vajima (d) stations in August 1950—2021.

Dotted lines marc linear trends, in red are the boundaries of the major anomalies.

На станциях Усть-Хайрюзово и Рудная Пристань в 1980—2021 гг. наблюдается значительное количество крупных аномалий и обнаруживается, что они не только отличаются значениями, но и не совпадают по годам. Так, в марте на станции Рудная Пристань крупная положительная аномалия температуры воздуха отмечалась в 2015 г. (рис. 1 б), а на станции Усть-Хайрюзово она была в пределах нормы. Крупная аномалия на станции Усть-Хайрюзово отмечалась в 2017 г. (рис. 1 а), а на станции Рудная Пристань она была в пределах нормы. В августе также наблюдается несовпадение величин крупных аномалий на станциях, расположенных в различных климатических зонах (рис. 1 в, г). Несовпадение крупных аномалий означает, что их формирование имеет локальную природу. Линия линейного тренда во всех сезонах пролегает в границах крупных аномалий температуры воздуха (рис. 1 а — г).

В табл. 2 представлены значения крупных аномалий температуры воздуха для станций в 1950—1979 и 1980—2021 гг.

Таблица 2

Оценки максимальных аномалий температуры
среднемесячной температуры воздуха T_a °С для всех выбранных станций

Estimates of the maximum anomalies of mean monthly air temperature T_a °С for selected stations

Станция	Пе- риод	Аномалии температуры воздуха T_a , °С, по месяцам											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Охотск	1	3,9	3,2	2,5	1,6	1,2	1,6	1,2	0,9	1,1	1,9	3,0	3,4
	2	3,0	3,2	2,7	1,8	1,4	1,5	1,3	1,0	1,4	2,2	3,4	3,5
Поронайск	1	3,6	2,5	2,1	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	0,9	1,1	2,3	2,9
	2	3,2	3,1	2,3	1,1	1,2	1,5	1,6	1,5	0,9	1,3	2,5	3,0
Усть-Хайрю- зово	1	5,4	5,0	3,6	2,1	1,1	1,2	1,1	1,0	1,3	1,1	2,5	3,0
	2	3,9	4,0	4,1	2,7	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3	1,6	2,5	3,8
Курильск	1	1,7	2,4	1,6	1,3	1,4	1,5	2,3	1,9	1,4	1,0	1,2	1,6
	2	1,3	2,5	1,8	1,2	1,4	1,8	2,0	2,0	1,3	1,0	1,5	1,4
Абашири	1	1,6	2,3	1,4	1,5	1,8	1,4	2,3	2,0	1,2	1,0	1,5	1,9
	2	1,7	2,1	1,6	1,6	1,9	2,1	2,0	2,0	1,4	1,2	1,6	1,6
Сов. Гавань	1	3,3	2,3	2,1	1,3	1,4	1,1	1,2	1,4	1,0	1,1	2,3	2,7
	2	2,8	2,6	2,2	1,3	1,2	1,2	1,0	1,5	1,0	1,3	2,2	2,5
Рудная Пристань	1	2,5	2,3	1,9	0,8	1,3	1,4	1,5	1,5	1,0	1,2	2,0	2,6
	2	2,3	2,2	1,7	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,0	1,2	2,1	2,1
Углегорск	1	3,7	2,6	2,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,6	1,1	1,2	2,0	2,7
	2	2,6	2,6	2,0	1,1	1,4	1,2	1,2	1,4	1,1	1,4	2,0	2,2
Вадзима	1	1,3	1,4	1,2	1,1	0,7	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	0,9	1,5
	2	1,3	1,5	1,2	1,2	1,2	1,1	1,6	1,5	1,4	1,1	1,3	1,2

Примечание: период 1 — 1950 — 1979 гг., период 2 — 1980 — 2021 гг.

Наибольшие значения крупных положительных аномалий температуры воздуха отмечаются зимой на ГМС Охотск и Усть-Хайрюзово. На станции Курильск, Абашири, Рудная Пристань, Вадзима величины их значительно меньше. В летний период на станциях, расположенных в северной части Охотского моря, значения крупных аномалий уменьшаются. В летний сезон на станциях, расположенных в умеренных и южных районах, величина крупной положительной аномалии сравнима с холодным периодом.

Сравнительная оценка внутригодового хода числа лет с крупными положительными аномалиями температуры воздуха в периоды 1950—1979 и 1980—2021 гг. представлена на рис. 2.

Наблюдается явное различие числа лет с крупными аномалиями в 1950—1979 и 1980—2021 гг. Наибольшее количество крупных аномалий (8 лет) в 1980—2021 гг. отмечается в январе на станциях Охотск и Усть-Хайрюзово (рис. 2 а). В феврале наибольшее число отмечается только на станции Охотск (9 лет) (рис. 2 б). В марте число лет с крупными аномалиями увеличивается на станциях Абашири, Курильск, Рудная Пристань, и Вадзима (рис. 2 в). Наименьшее число крупных аномалий отмечается в апреле. В мае увеличивается только на станциях Поронайск, Советская Гавань, Рудная Пристань, Углегорск и Вадзима (рис. 2 в, г).

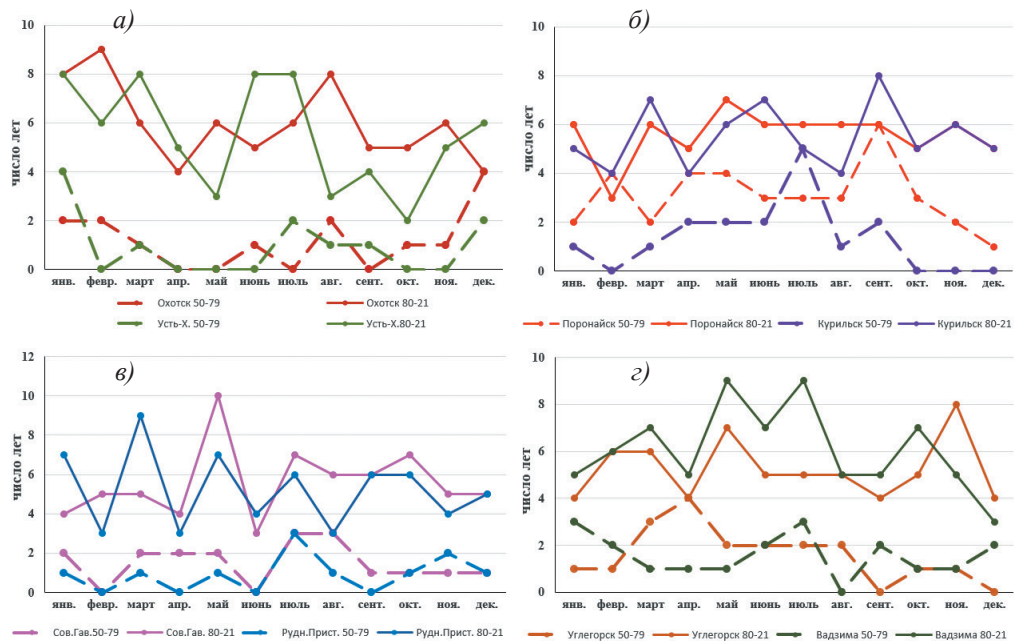


Рис. 2. Внутригодовой ход числа лет с крупными положительными аномалиями температуры воздуха в периоды 1950—1979 гг. и 1980—2021 гг.:

- а) Охотск и Усть-Хайрюзово, б) Поронайск и Курильск,
- в) Советская Гавань и Рудная Пристань, з) Углегорск и Вадзима.

Fig. 2. Intra-year course of the number of years with major positive air temperature anomalies in the periods 1950—1979 and 1980—2021:

- a) Okhotsk and Ust-Khairuzovo, b) Poronaysk and Kurilsk,
- c) Sovetskaya Gavan and Rudnaya Pier, d) Uglegorok and Vajima.

В июне наибольшее число лет с крупными аномалиями отмечается на станции Усть-Хайрюзово, Абашири, Курильск и Вадзима, в июле — на станции Усть-Хайрюзово и Вадзима, в августе — только в Охотске, в сентябре — в Курильске, в ноябре — только на станции Углегорск. Таким образом, для каждой станции наблюдаются сезонные различия в числе лет с крупными положительными аномалиями температуры воздуха.

Другой важной характеристикой временного ряда является частота появления крупных положительных аномалий. Эти данные приведены в табл. 3 также для двух периодов: 1950—1979 и 1980—2021 гг.

Расчеты показывают, что частота f появления крупных положительных аномалий в период 1980—2021 гг. заметно выше, чем в период 1950—1979 гг. Отсюда можно сделать вывод: хвост распределения аномалий в период 1980—2021 гг. тяжелее, чем хвост распределения аномалий в период 1950—1979 гг., хвост распределения аномалий в период 1980—2021 гг. является тяжелым.

Таблица 3

Оценки частоты появления крупных положительных аномалий
среднемесячной температуры воздуха в 1950—1979 и 1980—2021 гг.
Frequency of occurrence time series of major positive anomalies of air temperature
at the stations in 1950—1979 and 1980—2021

Периоды	Частота											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Охотск											
1	0,07	0,07	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,03	0,03	0,13
2	0,19	0,21	0,14	0,10	0,14	0,12	0,14	0,19	0,12	0,12	0,14	0,10
	Поронайск											
1	0,07	0,13	0,07	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,07	0,03
2	0,14	0,07	0,14	0,12	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,14	0,12
	Усть-Хайрюзово											
1	0,13	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,03	0,03	0,00	0,00	0,07
2	0,19	0,14	0,19	0,12	0,07	0,19	0,19	0,07	0,10	0,05	0,12	0,14
	Курильск											
1	0,03	0,00	0,03	0,07	0,07	0,07	0,17	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00
2	0,12	0,10	0,17	0,10	0,14	0,17	0,12	0,10	0,19	0,12	0,14	0,12
	Абашери											
1	0,00	0,00	0,03	0,10	0,10	0,07	0,13	0,07	0,03	0,00	0,00	0,07
2	0,10	0,12	0,17	0,12	0,14	0,17	0,12	0,12	0,12	0,14	0,10	0,12
	Сов.Гавань											
1	0,07	0,00	0,07	0,07	0,07	0,00	0,10	0,10	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,10	0,12	0,12	0,10	0,24	0,07	0,17	0,14	0,14	0,17	0,12	0,12
	Рудная Пристань											
1	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,10	0,03	0,00	0,03	0,07	0,03
2	0,17	0,07	0,21	0,07	0,17	0,10	0,14	0,07	0,14	0,14	0,10	0,12
	Углегорск											
1	0,03	0,03	0,10	0,13	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0,03	0,03	0,00
2	0,10	0,14	0,14	0,10	0,17	0,12	0,12	0,12	0,10	0,12	0,19	0,10
	Вадзима											
1	0,10	0,07	0,03	0,03	0,03	0,07	0,10	0,00	0,07	0,03	0,03	0,07
2	0,12	0,14	0,17	0,12	0,21	0,17	0,21	0,12	0,12	0,17	0,12	0,07

Примечание: период 1 — 1950—1979 гг., период 2 — 1980—2021 гг.

Понятие тяжелого хвоста распределения можно проиллюстрировать следующим образом. Например, хвост распределения Парето $1/t$, $t > 1$, существенно тяжелее хвоста распределения $\exp(-t)$. Это означает, что большие значения случайной величины с распределением Парето редкие, но не такие редкие, как у случайной величины с показательным распределением. Распределения с тяжелыми хвостами в последнее время активно используются в страховой математике при расчетах вероятности разорения страховой компании с большим начальным капиталом [11].

Наибольшая частота появления крупных положительных аномалий в период 1980—2021 гг. отмечается в Охотске в январе, феврале и в августе (табл. 3). На станции Усть-Хайрюзово — январе, марте, июне и июле. На станции Поронайск — в январе, марте, мае. На станции Курильск она отмечается в марте, июне и сентябре. На станции Советская Гавань максимальная частота наблюдается в мае, а на станции Рудная Пристань — в январе, марте и мае. На станции Углегорск максимальная частота отмечается в мае и ноябре, а на станции Вадзима — в мае и июле, т.е. частота экстремальных выбросов аномалий температуры воздуха для каждой станции существенно меняется в течение года.

Для более детального представления различий в частоте появления аномалий температуры приведены расчеты для двух одинаковых тридцатилетних периодов 1950—1979 и 1992—2021 гг.

Наибольшие различия в частоте появления аномалий в разные периоды на станции Охотск наблюдаются в феврале и августе, на станции Усть-Хайрюзово — в феврале и июле (рис. 3 а), на станции Вадзима — в марте и июле и на станции Советская Гавань — в апреле и октябре (рис. 3 б).

Таким образом, на станциях, расположенных в северной части Охотского моря, максимальная частота появления крупных положительных аномалий отмечается в январе и феврале. Практически для всех районов Охотского моря максимальное превышение критического уровня было в марте. На станциях, расположенных в прибрежных районах Японского моря, наибольшее превышение частоты критического уровня отмечается в мае.

Различия в изменчивости числа лет с крупными аномалиями и частоты появления крупных положительных аномалий температуры воздуха в периоды 1950—1979 и 1980—2021 гг. могут быть обусловлены особенностями атмосферной

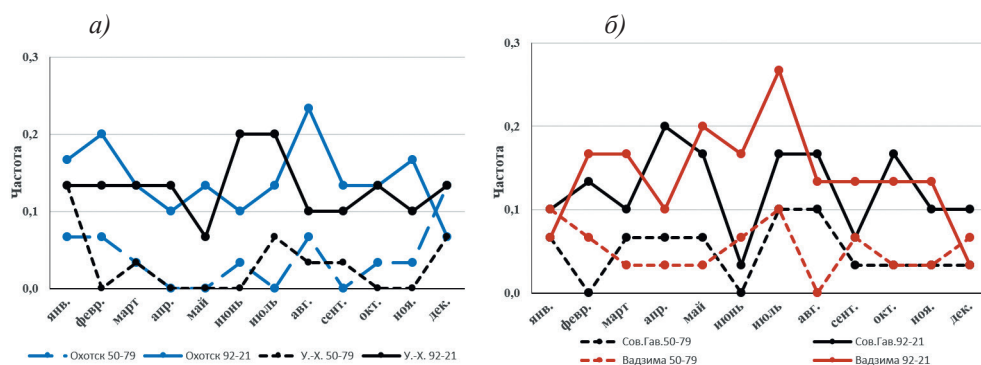


Рис. 3. Частота появления крупных положительных аномалий температуры воздуха в 1950—1979 и 1992—2021 гг.:

а) Охотск и Усть-Хайрюзово, б) Советская Гавань и Вадзима.

Fig. 3. Frequency of occurrence of large positive air temperature anomalies in the periods 1950—1979 and 1980—2021:

a) Okhotsk and Ust-Khairuzovo, b) Sovetskaya Gavan and Vajima.

циркуляции над вторым естественным синоптическим районом северного полушария (2 е.с.р.). В зимний период в район Охотского моря выходят активные циклоны, способствующие неустойчивости метеорологических параметров. В районах с высокой циклонической активностью увеличиваются флуктуации приземной температуры воздуха. В умеренных и южных районах в зимний сезон пролегает высотная фронтальная зона (ВФЗ). Колебания метеорологических параметров в этой зоне уменьшаются вследствие уменьшения активности циклонической деятельности.

Особенности атмосферной циркуляции в периоды 1950—1979 и 1980—2021 гг. представлены рядами аномалий среднемесячного приземного давления и геопотенциала H_{500} в центрах действия атмосферы (ЦДА) над Азиатско-Тихоокеанским регионом. В работе [12] была выявлена изменчивость режима тропосферной ложбины в период 1948—2017 гг. Было показано, что после 1980 г. увеличивается число лет с экстремально большими значениями геопотенциала H_{500} , а в марте над Охотским морем отмечался активный циклогенез.

В результате анализа многолетнего хода усредненных нормированных значений приземного давления и высоты изобарической поверхности 500 гПа в теплый период 1950—2021 гг. было выявлено, что после 1980 г. наблюдалось повышение давления в области азиатской депрессии и гавайского антициклона [10].

Многолетний ход интегральных характеристик атмосферы в период 1950—2021 гг. демонстрирует рис. 4. На этом рисунке представлены временные ряды аномалий приземного давления и геопотенциала H_{500} над Охотским морем (в области тропосферной ложбины) и северо-западной частью Тихого океана (в области ВФЗ) в марте и в августе в области охотского антициклона (ОА), летней дальневосточной депрессии (ЛДД), азиатской депрессии (АД) и северо-западном отроге гавайского антициклона (ГА).

В марте 1980—2021 гг. над Охотским морем (в области тропосферной ложбины) увеличивается число лет с активным циклогенезом, наблюдается отрицательный тренд по сравнению с предыдущим периодом (рис. 4 а). В отдельные годы отрицательные аномалии P_0 достигали минус 7—8 гПа. В северо-западной части Тихого океана (в области ВФЗ) циклоническая активность заметно ниже, а с 2010 г. отмечается рост приземного давления (рис. 4 б).

В июле и августе над Охотским морем циклоническая активность заметно уменьшается и увеличивается число лет с антициклонической циркуляцией.

Максимальное развитие антициклона над Охотским морем в августе отмечалось в 1980, 1987, 2002, 2015, 2019 и 2021 гг. (рис. 4 в). Над областью летней дальневосточной депрессии в период 1950—1979 гг. наблюдался рост приземного давления, однако значимого тренда в 1980—2021 гг. не выявлено.

Заметное отличие в тенденциях изменчивости в приземном поле и на изобарической поверхности AT_{500} гПа отмечается в области азиатской депрессии (рис. 4 д) и гавайского антициклона (рис. 4 е). Над ними наблюдается хорошо видимый положительный тренд, оба антициклона усиливаются.

Связь между температурой воздуха и циркуляцией атмосферы в зимний и летний период можно оценить коэффициентами корреляции между температурой

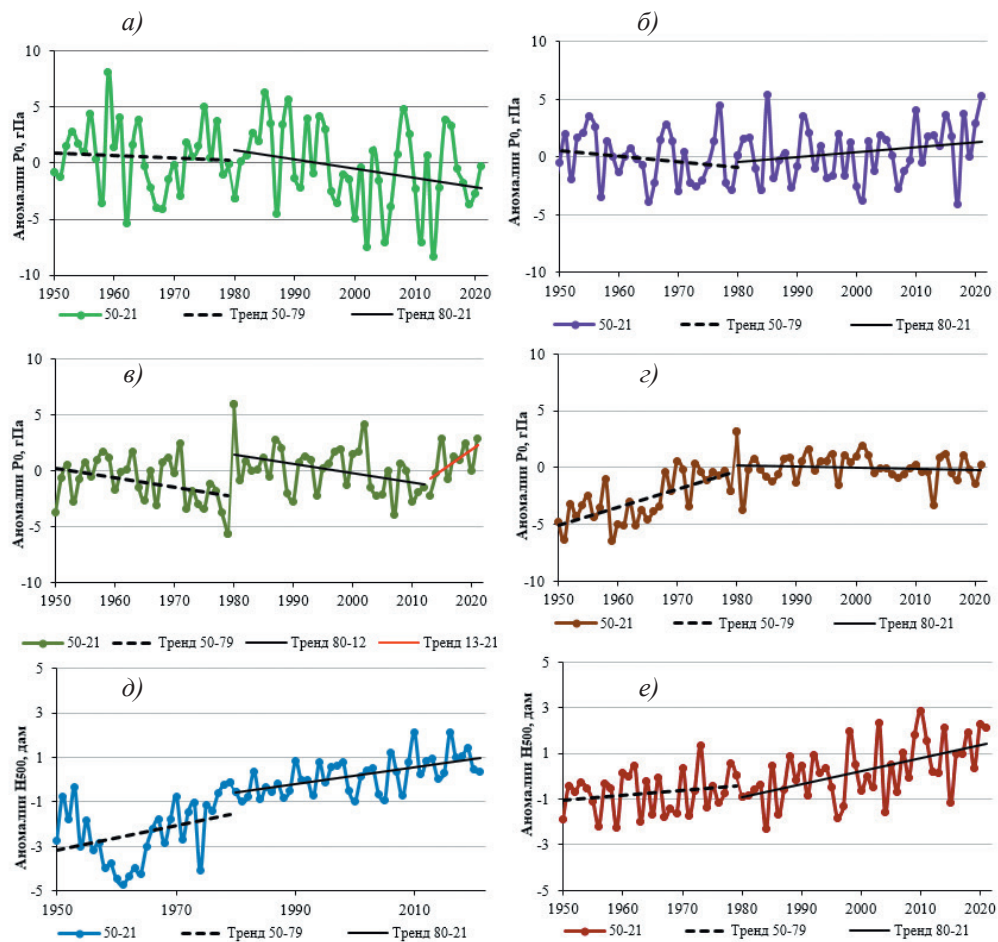


Рис. 4. Временные ряды аномалий в 1950—2021 гг.: аномалий среднемесячного приземного давления, в марте — над Охотским морем (а) и северо-западной частью Тихого океана (б), в августе — над Охотским морем (в) и летней дальневосточной депрессией (г); аномалий геопотенциала H_{500} в области азиатской депрессии (д) и гавайского антициклона (е).

Линейные тренды показаны для 1950—1979 и 1980—2021 гг., а также для августа 2013—2021 гг.

Fig. 4. Time series of anomalies in 1950—2021: average monthly surface pressure anomalies in March over the Sea of Okhotsk (a) and the Northwestern Pacific Ocean (b), in August over the Sea of Okhotsk (c) and the summer Far Eastern depression (d), H_{500} geopotential anomalies in the areas of the Asian depression (e) and the Hawaiian anticyclone (f).

Linear trends are shown for 1950—1979 and 1980—2021, as well as for August 2013—2021.

воздуха на ГМС Вадзима, Охотск, Советская Гавань, Усть-Хайрюзово и геопотенциалом H_{500} над областью высотной фронтальной зоны (ВФЗ) и областью тропосферной ложбины, располагающейся над Охотским морем (ТЛ) в 1950–1979 и 1992–2021 гг. Для этих лет была рассчитана частота f крупных аномалий (рис. 3).

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между температурой воздуха на ГМС Вадзима, Охотск, Советская Гавань, Усть-Хайрюзово и геопотенциалом H_{500} над областью ВФЗ, ТЛ и частота (f) крупных аномалий температуры воздуха в январе и феврале 1950–1979 и 1992–2021 гг.

Correlation coefficients between the air temperature on GMS Vajima, Okhotsk, Soviet Havan, Ust-Khayruzovo and H_{500} over the VFZ, TL and frequency (f) of major air temperature anomalies in January and February 1950–1979 and 1992–2021

ГМС	1950—1979						1992—2021					
	Январь			Февраль			Январь			Февраль		
	ВФЗ	ТЛ	f	ВФЗ	ТЛ	f	ВФЗ	ТЛ	f	ВФЗ	ТЛ	f
Вадзима	0,63	-0,27	0,1	0,60	0,13	0,07	0,55	0,16	0,07	0,20	0,25	0,17
Охотск	-0,70	0,61	0,07	-0,42	0,65	0,07	-0,55	0,56	0,17	-0,55	0,54	0,2
Сов. Гав.	-0,52	0,60	0,07	-0,32	0,69	0,00	0,05	0,58	0,10	-0,43	0,78	0,13
У.-Хайр.	-0,58	0,63	0,13	-0,32	0,60	0,00	-0,37	0,27	0,13	-0,35	0,58	0,13

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения коэффициентов корреляции больших 0,5.

На станции Вадзима, которая располагается в южном районе, наибольшие коэффициенты корреляции температуры с геопотенциалом H_{500} отмечаются над областью ВФЗ, причем эта связь ослабляется во втором тридцатилетии. Особенно это заметно для февраля, когда увеличивается частота экстремальных выбросов, по сравнению с февралем предыдущего периода.

На ГМС Охотск, расположенной с северо-западной Охотского моря, (где обычно располагается охотский тропосферный циклон), наибольшая корреляция наблюдается в первом тридцатилетии, во втором тридцатилетии корреляция снижается при увеличении частоты f . В феврале первого периода наибольшие коэффициенты корреляции отмечаются над Охотским морем, во втором связь уменьшается с ТЛ, но увеличивается с ВФЗ. Заметим, что в этом месяце отмечается самая высокая частота крупных аномалий. На станции Советская Гавань наибольшая связь отмечается с тропосферной ложбиной. На станции Усть-Хайрюзово наблюдаются высокие коэффициенты корреляции с ВФЗ и ТЛ. Но заметно, что в январе 1992–2021 гг. данная связь ослабляется. Это связано с ослаблением интенсивности тропосферной ложбины, которое наблюдается с 1980 г. и увеличением частоты f [12].

Эти данные свидетельствуют о влиянии циркуляционных факторов на температуру воздуха в прибрежных районах Охотского и Японского морей. Для большинства станций уменьшение корреляционной связи между температурой воздуха и циркуляцией атмосферы во втором периоде наблюдается при росте частоты появления экстремальных выбросов.

В табл. 5 представлены коэффициенты корреляции между температурой воздуха на ГМС Вадзима, Охотск, Советская Гавань, Усть-Хайрюзово и приземным давлением P_0 над областью гавайского антициклона (ГА) и охотского антициклона (ОА) и частота появления экстремумов в июле и августе 1950—1979 и 1992—2021 гг.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции между температурой воздуха на ГМС Вадзима, Охотск, Советская Гавань, Усть-Хайрюзово и приземным давлением P_0 над областью ГА и ОА и частота появления экстремумов в июле и августе 1950—1979 и 1992—2021 гг.

Correlation coefficients between the air temperature on GMS Vajima, Okhotsk, Soviet Havan, Ust-Khayruzovo and ground pressure P_0 over the region of GA and OA and the frequency of occurrence of extremums in July and August 1950—1979 and 1992—2021

ГМС	1950—1979						1992—2021					
	Июль			Август			Июль			Август		
	ГА	ОА	<i>f</i>	ГА	ОА	<i>f</i>	ГА	ОА	<i>f</i>	ГА	ОА	<i>f</i>
Вадзима	0,22	-0,50	0,10	0,25	-0,16	0,00	0,09	-0,36	0,27	0,13	-0,35	0,13
Охотск	0,25	-0,16	0,00	-0,11	0,11	0,07	0,46	0,01	0,13	0,04	-0,17	0,23
Сов.Гав.	0,32	-0,75	0,10	0,07	-0,44	0,10	-0,03	-0,22	0,17	0,12	-0,59	0,17
У.-Хайр.	0,02	-0,12	0,07	0,07	-0,07	0,03	-0,11	-0,19	0,2	-0,26	-0,29	0,10

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения коэффициентов корреляции больших 0,5.

В летнее время связь между температурой воздуха и ЦДА значительно уменьшается. Это связано с тем, что контраст между сушей и океаном ослабевает и число активных циклонов значительно уменьшается. Но здесь также прослеживается тенденция уменьшения коэффициентов корреляции с увеличением частоты. Это наблюдается в июле для станции Вадзима. На станции Охотск в июле повышается связь с ГА для второго периода, что согласуется с ростом давления в ГА (рис. 4 е).

На станции Советская Гавань в первый период в июле отмечалась большая связь с ОА, а в июле 1992—2021 гг. коэффициенты понизились при увеличении частоты появления экстремальных явлений. В августе 1992—2021 гг. увеличивается связь с ОА, что соответствует его росту (рис. 4 в).

На станции Усть-Хайрюзово во все периоды связь отсутствует.

Таким образом, можно полагать, что выявленные различия в числе крупных положительных аномалий и частоте их появления в значительной степени обусловлены изменениями циркуляционного режима в ЦДА.

В качестве конкретного примера механизма влияния циркуляции атмосферы на формирование крупных аномалий приземной температуры воздуха (рис. 5) представлены барические поля в марте 1998 г., когда на станциях Магадан и Усть-Хайрюзово аномалии температуры воздуха составили минус 4,4 °С и минус 6,6 °С, и в марте 2017 г., когда на станциях Магадан, Усть-Хайрюзово и Ича аномалии температуры воздуха достигали 8,5 °С [13]. На этом рисунке также представлены барические поля в августе 2002 г., когда на станциях о-ва Хоккайдо (Абашири, Немуро) и Курильске температура воздуха была ниже нормы

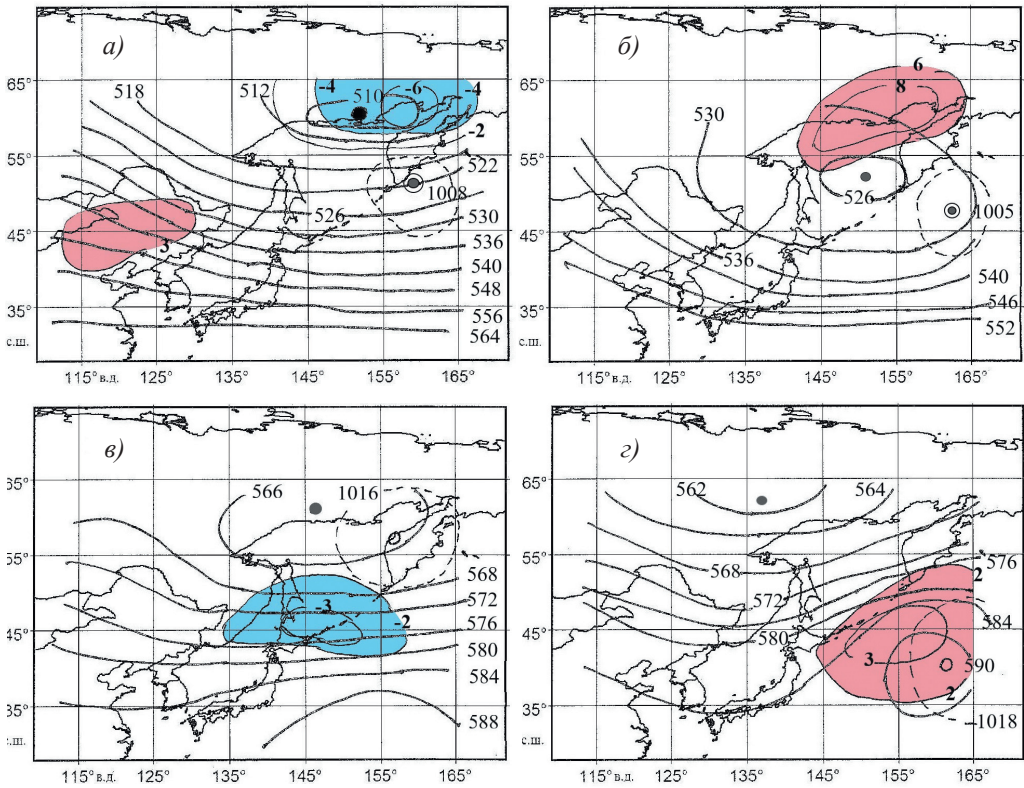


Рис. 5. Среднемесячная структура поля изобарической поверхности геопотенциала 500 гПа и положение экстремальных областей приземной температуры воздуха в марте 1998 г. (а) и 2017 г. (б), в августе 2002 г. (в) и 2016 г. (г).

Черным кружком обозначены центры депрессии, прозрачным кружком обозначены центры антициклонов, прозрачным кружком с черным центром обозначены центры приземных циклонов, голубым цветом выделены очаги с экстремально низкой температурой воздуха у земли, а розовым цветом — очаги с экстремально высокой температурой воздуха у земли.

Fig. 5. Average monthly field structure of 500 gP isobaric surface geopotential and the positions of surface air temperature extreme areas in March 1998 (a) and 2017 (b), in August 2002 (c) and 2016 (d).

The black circle denotes the depression centers, the transparent circle denotes the anticyclone centers, the transparent circle with the black center denotes the centers of ground-level cyclones, the blue color indicates the hotbeds with extremely low temperature near the ground, and pink — hot spots with extremely high air temperature near the ground.

на 2,9—3,6 °С и августе 2016 гг., когда аномалии температуры воздуха составляли на этих станциях 2,5 и 3,6 °С.

Нетрудно видеть, что крупные аномалии температуры воздуха, которые располагаются в небольших областях, имеют локальную природу. В марте 1998 г. экстремальное похолодание отмечалось в области депрессии, а циклоническая

активность отмечалась у юго-восточного побережья западной Камчатки (рис. 5 а). Экстремальное потепление над западной Камчаткой было обусловлено смещением центра депрессии в центральную часть Охотского моря, по восточной периферии циклонического вихря в северо-восточную часть Охотского моря поступали экстремально теплые воздушные массы. Циклоны были смещены в океаническую часть района (рис. 5 б).

В августе 2002 г. над северной частью Охотского моря располагалась депрессия, а в приземном поле антициклон, по его восточной периферии на район о-ва Хоккайдо и Южно-Курильском районе вторгались холодные воздушные массы (рис. 5 в). В августе 2016 г. район Камчатки оказался под воздействием гребня гавайского антициклона, что и явилось причиной появления очага крупных аномалий (рис. 5 г).

Выводы

Оценка внутригодового изменения числа лет и частоты появления крупных положительных аномалий температуры воздуха показала, что в период 1980—2021 гг. их было значительно больше, чем в период 1950—1979 гг.

На станциях, расположенных в северной части Охотского моря, максимальное число крупных положительных аномалий отмечается в январе и феврале. Практически для всех районов Охотского моря — в марте. На станциях, расположенных в прибрежных районах Японского моря, наибольшее превышение частоты критического уровня отмечается в мае.

Выявленные различия числа и частоты аномалий в периоды 1950—1979 гг. и 1980—2021 гг. определяются изменениями циркуляционного режима в центрах действия атмосферы над Азиатско-Тихоокеанским регионом.

В период 1980—2021 гг. резкий рост числа и частоты крупных аномалий приземной температуры воздуха совпадает с изменением режима тропосферной ложбины у восточного побережья Азии и продолжающимся усилением субтропических антициклонов (положительный тренд над их областями).

Рост числа крупных положительных аномалий температуры воздуха над Охотским морем в зимний период 1980—2021 гг. является причиной появления лет с аномально низкой ледовитостью, что было благоприятным климатическим фактором для ведения промысла минтая, являющегося одним из основных промысловых объектов Дальнего Востока.

Список литературы

1. Кикнев Д. Б., Круглова Е. Н., Куликова И. А., Муравьев А. В. Экстремальные метеорологические явления на сезонных и внутри сезонных интервалах времени в контексте изменения климата // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2021. № 1 (379). С. 36—57. doi: <https://doi.org/10/37/162/2618-9631-2021-1-36-57>.
2. Каев А. М. Снижение численности горбуши (*oncorchus gorbucha*) в Сахалино-Курильском регионе как следствие действия экстремальных факторов среды // Изв. ТИНРО. 2018. Т.192. С. 3—14.
3. Лысенко А. В., Шатилина Т. А., Гайко Л. А. Влияние гидрометеорологических условий на динамику вылова (численности) приморской горбуши *Oncorhynchus gorbusha* (*salmonidae*) на основе

- ретроспективных данных (Японское море, Татарский пролив) // Вопросы ихтиологии. 2021. том 61. № 2. С. 206—218. doi: 10.31857/S0042875221020156.
4. Шунтов В. П., Темных О. С., Найдено С. В. Еще раз о факторах, лимитирующих численность тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus* spp., сем. Salmonidae) в океанический период их жизни // Изв. ТИНРО. 2019. Т. 196. С. 3—22. doi: <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2019-196-3-22>.
 5. Кляшторин Л. Б., Любушин А. А. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности // М.: Изд-во ВНИРО, 2005. — ISBN 5-85382-212-8, 235 с.
 6. Кровнин А. С., Кловач Н. В., Котенев Б. Н., Мурый Г. П. Связь уловов западно-камчатской горбуши и нерки с температурой поверхности океана в Северном полушарии и прогноз их вылова в 2010 г. // Рыб. хоз-во. 2010. №3. С. 43—46.
 7. Журавлева Т. М., Анжина Г. И. Долгосрочный прогноз аномалии температуры воздуха на весну по о. Сахалин с помощью статистической модели // Труды ДВНИГМИ. 2002. Вып. 150. С. 59—74.
 8. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм — ВМО. № 1203. Женева, 2017. 21 с.
 9. Спичкин В. А. Определение критерия крупной аномалии // Труды ААНИИ. 1987. Т. 402. С. 15—20.
 10. Шатилина Т. А., Цициашвили Г. Ш., Радченкова Т. В. Особенности изменчивости летних центров действия атмосферы над Дальним Востоком и климатические экстремумы в период 1980—2017 гг. // Ученые записки Российского государственного Гидрометеорологического университета. 2019. № 56. С. 61—80. doi: 10.33933/2074-2762-2019-56-61-80.
 11. Embrechts P., Klueppelberg C., Mikosch T. Modelling Extremal Events for Insurance and Finance: Stochastic Modelling and Applied Probability // Springer: Berlin, Germany. 1997. Volume 33. Ch. 1. pp. 3—19.
 12. Шатилина Т. А., Цициашвили Г. Ш., Радченкова Т. В. Изменчивость режима тропосферной ложбины у восточного побережья Азии и климатические экстремумы в период 1980—2017 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 8. С. 102—106.
 13. Бережная Т. В., Голубев А. Д., Паршина Л. Н. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в марте 2017 г. // Метеорология и гидрология. 2017. № 6. С. 136—142.

References

1. Kiktev D. B., Kruglova E. N., Kulikova I. A., Murav'ev A. V. extreme meteorological phenomena on seasonal and intra-seasonal time intervals in the context of climate change *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy = Hydrometeorological Research and Forecast*. 2021:1 (379): 36—57. doi: <https://doi.org/10/371/162/2618-9631-2021-1-36-57>. (In Russ).
2. Kaev A. M. Reduction in the number of pink salmon (*oncorynchus gorbucha*) in the Sakhalin-Kuril region one as a consequence of the action of extreme environmental factors. *Izvestiya TINRO = Izv. TINRO*. 2018: (192): 3—14. (In Russ).
3. Lysenko A. V., Shatilina T. A., Gayko L. A. Effect of Hydrometeorological Conditions on Dynamics of Catches (Abundance) of the Primorye Pink Salmon *Oncorhynchus gorbusha* Based on Retrospective Data (Sea of Japan, Strait of Tartary). *Voprosy Ikhtiologii = Problems of Ichthyology*. 2021:61(2): 206—218. doi: 10.1134/S0032945221020119. (In Russ).
4. Shuntov, V. P., Temnykh, O. S., Naidenko, S. V. The limiting factors of abundance of Pasific salmon (*Oncorhynchus* spp., fam. Salmonidae) during ocean life period. *Izvestiya TINRO = Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr*. 2019:(196): 3—22. doi: <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2019-196-3-22>. (In Russ).
5. Klyashtorin L. B., Lyubushin A. A. *Tsiklicheskiye izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti = Cyclic climate changes and fish productivity*. VNIRO Publishing: Moscow, Russia. 2005:235 p. (In Russ).
6. Krovnin A. S., Klovach N. V., Kotenev B. N., Mouriy G. P. The connection between of West Kamchatka pink (*Oncorhynchus gorbusha*) and sockeye (*O. nerka*) salmon catches and sea surface temperature of the ocean in the Northern Hemisphere. The approximate forecast of their catches for 2010. *Rybnoye Khozaystvo = Fisheries Journal*. 2010:(3): 43—46. (In Russ).
7. Zhuravleva T. M., Anzhina G. I. Long-term forecast of the air temperature anomaly for spring. *Trudy DVNIGMI = Proceedings of DVNIGMI*. 2002:(150): 59—74. (In Russ).

8. *Rukovodyashchie ukazaniya VMO po raschetu klimaticheskikh norm. VMO.* 1203. Geneva. 2017:21 p. (In Russ).
9. Spichkin V. A. Determination of the criterion for a major anomaly. *Trudy AANII = Proceedings of AANII* 1987:(402): 15—20. (In Russ).
10. Shatilina T. A., Tsitsiashvili G. Sh., Radchenkova T. V. Features of the summer atmospheric force centers variability over the Far East and climatic extremes in the period 1980—2017. *Uchenyye zapiski RGGMU = Scientific notes of RGGMU.* 2019:(56): 61—80. doi: 10. 33933/ 2074-2762- 2019-56-61-80. (In Russ).
11. Embrechts P., Klueppelberg C., Mikosch T. *Modelling Extremal Events for Insurance and Finance: Stochastic Modelling and Applied Probability.* Springer: Berlin, Germany. 1997:(33)1: 3—19.
12. Shatilina T. A., Tsitsiashvili G. Sh., Radchenkova T. V. Variability of the regime of the tropospheric bins off the east coast of Asia and climatic extremes in the period 1980—2017. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology.* 2019:(8): 102—106. (In Russ).
13. Berezhnaya T. V., Golubev A. D., Parshina L. N. Anomalous hydrometeorological phenomena on the territory of the Russian Federation in March 2017 *Meteorologiya i Gidrologiya = Meteorology and hydrology* 2017:(6): 136—142. (In Russ)

Информация об авторах

Шатилина Татьяна Александровна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, ФГБНУ «ВНИРО», tatyana.shatilina@tinro-center.ru.

Цицаишвили Гурам Шалвович, д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник ИПМ ДВО РАН, guram@iam.dvo.ru.

Радченкова Татьяна Вадимовна, инженер-исследователь, сотрудник ИПМ ДВО РАН, tarad@yandex.ru.

Information about authors

Shatilina Tatiana Aleksandrovna, Research institute of fisheries and oceanography, VNIRO, pacific branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia

Tsitsiashvili Guram Shalvovitch, Institute of Applied Mathematics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia

Radchenkova Tatiana Vadimovna, Institute of Applied Mathematics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 01.03.2023

Принята к печати после доработки 23.05.2023

The article was received on 01.03.2023

The article was accepted after revision on 23.05.2023