УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 551.468.1(265.2)

Г.В. Хен, Е.И. Устинова, Ю.Д. Сорокин* Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО), 690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОСВЯЗЬ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА: ТРЕНДЫ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ СДВИГИ, СПЕКТРЫ, КОРРЕЛЯЦИИ

Исследованы особенности межгодовых изменений основных климатических индексов для северной части Тихого океана (AO, Nino 3.4, PDO, ALPI, NPI, PNA, SHI, WP) при годовом и среднезимнем (декабрь-март) осреднении данных за 1950-2018 гг. Выявлены трендовые составляющие, климатические сдвиги и спектры, показаны признаки устойчивого потепления с середины 20-го столетия по настоящее время. Наиболее важные «климатические сдвиги», отмеченные у большинства рассматриваемых индексов, произошли в 1977 и 1989 гг. В последние годы (2015–2017) был заметен положительный «сдвиг» в рядах PDO, WP и NPI, позволяющий сделать предположение о современном переходе в новую климатическую эпоху — более теплую, чем предыдущие два десятилетия. У северотихоокеанских индексов (PDO, ALPI, NPI и PNA) выделяется 19-летний цикл, совпадающий с лунным деклинационным приливом. Индекс Nino 3.4, возможно, связанный с солнечной деятельностью, имеет 11-летнюю ритмику. Основная периодичность SHI составляет 26 лет. У ряда индексов выделяются вторые пики, значительно уступающие по мощности основным. Они соответствуют периодам 7-8 лет у индексов AO и PDO, 11 лет у WP и 15 лет у SHI. Северотихоокеанские индексы (PDO, ALPI, NPI и PNA) тесно связаны между собой и имеют высокие коэффициенты корреляции (0,67-0,96). Индекс Nino 3.4, характеризующий Эль-Ниньо, также связан с ними, но коэффициент корреляции меньше: 0,45–0,56. Статистически значимую связь SHI имеет только с индексом АО, а индекс WP — с Nino 3.4.

Ключевые слова: северная части Тихого океана, климатические индексы, климатические сдвиги, спектры, корреляция.

DOI: 10.26428/1606-9919-2019-199-163-178.

Khen G.V., Ustinova E.I., Sorokin Yu.D. Variability and interrelation of the basic climate indices for the North Pacific: trends, climate shifts, spectra, correlations // Izv. TINRO. — 2019. — Vol. 199. — P. 163–178.

* Хен Геннадий Васильевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: gennady.khen@tinro-center.ru; Устинова Елена Ивановна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: elena.ustinova@tinro-center.ru; Сорокин Юрий Дмитриевич, ведущий специалист, e-mail: yuriy.sorokin@tinro-center.ru.

2019

Khen Gennady V., Ph.D., leading researcher, e-mail: Pacific branch of VNIRO (TINRO), Shevchenko Alley, 4, Vladivostok, 690091, Russia, gennady.khen@tinro-center.ru; Ustinova Elena I., Ph.D., leading researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), Shevchenko Alley, 4, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: elena.ustinova@tinro-center.ru; Sorokin Yury D., leading specialist, Pacific branch of VNIRO (TINRO), Shevchenko Alley, 4, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: yuriy.sorokin@ tinro-center.ru.

The study is continuing, which first results were published in 2019 [Khen et al., 2019]. The main patterns of long-term variability are considered for selected climate indices in the North Pacific and links between them are identified on the common methodological basis. The following indices are analyzed: AO (Arctic Oscillation), PDO (Pacific Decadal Oscillation), Nino 3.4 (index of El-Nino — South Oscillation), ALPI (Aleutian Low Pressure index), NPI (North Pacific index), PNA (Pacific/North American index), SHI (Siberian High index), and WP (West Pacific index). Their time-series are provided on websites of the world climate centers, with exception of the Siberian High index that was calculated from the reanalysis data on the sea level pressure provided by the USA National Center for Environmental Prediction (NCEP) - National Center for Atmospheric Research (NCAR) for 1950-2018. Data were analysed using standard statistical methods. Regime shifts are detected using Rodionov's method of sequential regime shift detection including the regime shift index (RSI) and tools of automatic detection of the regime shifts with improved performance at the ends of time series. Variations of all indices since the middle 20th century correspond to warming that is not monotonous but combines phases of quick transition from one climatic regime to another — climate shifts and periods of relatively stable state between them. The most important climate shifts happened in 1977 and 1989 and they were noted for majority of the considered indices. Values of the indices heightened in the former shift and slightly lowered in the latter one, except of NPI that had opposite changes. PDO. WP and NPI had another positive shift in the recent years (2015–2017) that allows to assume transition to a new climate regime which will be warmer than the previous one in the last two decades. Long-term periodicity coincided with the 19-year cycle of lunar declination is revealed for PDO, ALPI, NPI and PNA; its spectral power amplifies considerably after removing of high-frequency variability by running 5-year averaging of the time series. Nino 3.4 showed a prominent 11-year cycle, possibly associated with the solar activity. SHI, AO and WP changed with periods about two decades: the main frequency is 26 years for SHI, 20 years for AO, and 17 years for WP, but the peaks of spectral power for the two latter indices is low, i.e. non-periodic oscillations dominate for them. Secondary peaks of spectral power are much lower than the main ones, they correspond to cycles of 7–8 years for AO and PDO. 11 years for WP, and 15 years for SHI. The indices of the North Pacific quartette (PDO, ALPI, NPI and PNA) are closely related between each other with high correlation coefficients (0.67–0.96). The Nino 3.4 index is also linked with them, but with lower correlation (0.45-0.56). SHI has statistically significant relationship with AO only, and WP correlates with Nino 3.4. Contribution of the large-scale climate processes to environmental variability in the Far-Eastern Seas of Russia and the Northwestern Pacific will be considered in the next issue.

Key words: North Pacific, climate index, regime shift, spectrum, correlation.

Введение

Крупномасштабные климатические процессы, на фоне и под влиянием которых развиваются региональные гидрометеорологические условия в дальневосточных морях и СЗТО, можно охарактеризовать рядом так называемых климатических индексов, достаточно широко применяемых в современных исследованиях климатических изменений. В первом сообщении [Хен и др., 2019] нами были описаны наиболее значимые для северной части Тихого океана климатические индексы. Из множества глобальных и региональных индексов были выбраны следующие: Арктического колебания (АК) — Arctic Oscillation (AO), Nino 3.4 (характеризует Эль-Ниньо/Южное колебания (ЕНЮК) — El-Nino/Southern Oscillation (ENSO)), Тихоокеанского декадного колебания (ТДК) — Pacific Decadal Oscillation (PDO), Алеутской депрессии (ИАД) — Aleutian Low Pressure Index (ALPI), Сибирского антициклона (ИСА) — Siberian High Index (SHI), Северо-Тихоокеанский (СТИ) — North Pacific Index (NPI), Тихоокеанский/Североамериканский (ТСАИ) — Pacific-North American Pattern (PNA), Западно-Тихоокеанский (ЗТИ) — West Pacific Pattern (WP).

Настоящая работа является продолжением предыдущей [Хен и др., 2019]. Цель наших исследований на данном этапе — выявление закономерностей многолетней изменчивости выбранных климатических индексов и их взаимосвязи на единой методической основе. Для этого нами проведена определенная статистическая обработка временных рядов этих индексов, сформированных с учетом данных для периода с 1950 по 2018 г. Следует заметить, что для некоторых выбранных нами индексов подобные работы проводились ранее (их основная часть относится к концу 1990-х — началу 2000-х гг.) другими исследователями на разных временных интервалах, часть из них выполнена с использованием альтернативных методов обработки. Сравнение полученных нами закономерностей с результатами этих работ будет приведено ниже по мере изложения. В данной работе представлены особенности межгодовых изменений вышеуказанных климатических индексов при годовом и среднезимнем (декабрь-март) осреднении данных, выявлены трендовые составляющие, климатические сдвиги и спектры. При этом использованы латинские сокращения названий индексов как наиболее часто встречаемые в литературе.

Полученные результаты будут использоваться в дальнейших исследованиях при оценке вклада крупномасштабных климатических изменений в региональную изменчивость в районах дальневосточных морей России и северо-западной части Тихого океана. Они могут быть полезны при разработке процедур статистического даунскейлинга, применяемого для перехода от глобальных климатических моделей к региональной детализации, а также для анализа влияния крупномасштабных климатических изменений на компоненты морских экосистем.

Материалы и методы

Значения климатических индексов (исторические и оперативные) представлены на WEB-сайтах ведущих мировых климатических центров, таких как https://www.esrl. noaa.gov/psd/data/climateindices/list/; http://www.beringclimate.noaa.gov/data.html; http:// www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/ и др.

Данные представлены с 1900 г. и регулярно (раз в 1–3 мес.) обновляются, за исключением ALPI, обновляемого с запаздыванием в 2 года (http://www.beringclimate.noaa. gov/data.html), и SHI, о котором будет сказано ниже. В нашей работе были использованы данные с 1950 по 2018 г., представляющие наибольший интерес для современной промысловой океанографии. Все данные представлены в виде нормированных аномалий, рассчитанных относительно последней климатической нормы за период 1981–2010 гг., принятой на 16-й сессии Всемирной метеорологической организации*.

Из перечисленных выше индексов нам не удалось найти регулярно обновляемых данных по индексу Сибирского антициклона, в частности для последнего десятилетия. Мы его рассчитали самостоятельно по «площадной» методике, изложенной Хазанеаном с соавторами [Hasanean et al., 2013], с использованием обновляемых данных по приземному давлению Национального центра по прогнозированию окружающей среды (NCEP) Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) США. Учитывая большой разброс центра Сибирского антициклона в пространстве: по широте от 43 до 57° с.ш. и по долготе от 87 до 113° в.д. [Бабкин и др., 2005], — индекс рассчитывался для трапеции с координатами 40-65° с.ш. и 80-120° в.д. Сравнение с имеющимися оценками данного индекса разных исследователей (рис. 1) показало неплохое соответствие многолетнего хода наших данных с литературными [Panagiotopoulos et al., 2005; Hasanean et al., 2013] с коэффициентами корреляции соответственно 0,73 и 0,97. С данными Т.А. Шатилиной с соавторами [2014] и индексами Сибирского антициклона, представленными на сайте http://www.beringclimate.noaa.gov/data.html, где они обозначены аббревиатурой SAI, которые были получены для большей области, чем наша трапеция, корреляция ниже (соответственно 0,59 и 0,57).

Анализ временных рядов климатических индексов проводился с использованием стандартных статистических методов.

Для оценки возможных сдвигов климатического режима (резких переходов от одного режима к другому) мы использовали метод С.Н. Родионова [Rodionov, 2004, 2006] и рассчитали предложенный им «индекс сдвига режима» (regime shift index, RSI) при помощи программного обеспечения, разработанного автором и доступного через открытый

^{*} Комиссия по климатологии. Шестнадцатая сессия. Сокращенный окончательный отчет с резолюциями и рекомендациями. Гейдельберг, 3–8 июля 2014. Цюрих: ВМО, 2014. 79 с.



Рис. 1. Многолетний ход аномалий SHI в зимний сезон (декабрь-февраль) по данным разных источников [Panagiotopoulos et al., 2005; Hasanean et al., 2013; Шатилина и др., 2014; SAI с сайта http://www.beringclimate.noaa.gov/data.html; наши расчеты — рассчитанный нами индекс по данным NCEP для периода 1950–2018 гг.]

Fig. 1. Long-term variability of SHI anomalies in winter season (December-February) according to different sources [Panagiotopoulos et al., 2005; Hasanean et al., 2013; Шатилина и др., 2014; http://www.beringclimate.noaa.gov/data.html). *Red line* — authors' estimations calculated on the NCEP-NCAR data of atmospheric pressure for 1950–2018]

интернет-pecypc https://www.beringclimate.noaa.gov/regimes/index.html. Метод основан на последовательном анализе значимых изменений во временном ряде с использованием t-теста Стьюдента, который позволяет выявлять возможную смену климатического режима в реальном времени. Для этого автором метода был создан «детектор смены режимов» (regime shift detector, RSD), который в автоматическом режиме может обнаруживать сдвиги в климатических индексах. Полученные результаты зависят от задаваемых исследователем параметров *р* (заданный уровень значимости) и временного интервала *l*. В настоящей работе нами был выбран уровень p = 0,1 на основании рекомендаций автора методики и проведенных тестовых расчетов. Временной интервал *l* определяет минимальную длительность режимов, для которых величина сдвигов остается неизменной. Например, если задать l = 10 лет, то все изменения режима порядка одного стандартного отклонения σ или менее будут отфильтрованы, если они будут длиться менее 10 лет. Параметр *I* аналогичен «точке отсечения» при низкочастотной фильтрации. Поскольку здесь рассматриваются длительные (1950–2018 гг.) изменения, нами был выбран *l* = 10 лет. Однако если изменения в течение нескольких лет превышали одно стандартное отклонение, то продолжительность климатического режима могла быть меньше 10 лет.

Для временного ряда, составленного из ежегодных значений параметра X, представляющего собой последовательность $X_1, X_2, ..., X_i, ...,$ производится проверка для каждого последующего члена ряда на значимое отличие «нового» среднего (с учетом нового члена ряда) с предыдущим средним, и если найдено статистически значимое отличие на уровне *p*, то данный год C отмечается как год потенциального изменения режима. Индекс сдвига режима RSI для каждого такого года C рассчитывается по формуле, приведенной ранее [Rodionov and Overland, 2005]:

$$\mathrm{RSI}_{c} = \sum_{i=c}^{c+m} \frac{X_{i}^{*}}{l\sigma_{l}},$$

где m = 0, …, *l*-1 (номер года с начала нового режима); *l* — выбранная минимальная длительность режимов для тестирования; σ_l — среднеквадратичное отклонение для

для ряда l; X_i^* — нормированные на дисперсию ежегодные значения параметра X. Его величина отражает степень отличия одного климатического режима от другого.

Результаты и их обсуждение

Многолетняя изменчивость

Климатические индексы, отражающие состояние сложных динамических систем в атмосфере и гидросфере, можно представить в виде временных рядов, в которых наблюдаемые климатические изменения хорошо заметны. На рис. 2 представлены многолетние изменения годовых и зимних (декабрь-март) индексов. Для ряда индек-



Рис. 2. Многолетний ход годовых (слева) и зимних (справа) нормированных аномалий индексов в 1950–2018 гг. *Пунктирная линия* — линия тренда. Аномалии рассчитаны относительно средней величины за 1980–2010 гг.

Fig. 2. Long-term variability of anomalies of normalized climate indices averaged annualy (left) and in winter season (**right**) relative to their mean values in 1980–2010. *Dashed lines* — linear trends for 1950–2018



сов (ALPI, SHI и NPI), отражающих исключительно зимние процессы в атмосфере, годовые индексы не определяются.

Важная особенность многолетнего хода климатических индексов — неоднократная смена знаков аномалий, на первый взгляд происходящая хаотично. При этом периоды положительных и отрицательных аномалий меняются от одного года до пяти лет и более. Спектральный анализ не выявил явного преимущества какой-либо частоты в колебаниях как годовых, так и зимних индексов. Спектральная мощность не превышала 0,4 (рис. 3, слева). Однако у северотихоокеанских индексов (PDO, ALPI, NPI и PNA) можно выделить 19-летний цикл.

При пятилетнем скользящем осреднении рядов данных, т.е. фильтрации высокочастотных гармоник, спектральная мощность усиливается до 0,5 единицы и более (рис. 3, справа). Так, мощности 19-летних колебаний у индексов PDO, ALPI, NPI и PNA и 12-летнего у Nino 3.4 достигают 0,6–0,8 единицы, это достаточно высокий уровень, чтобы обратить на них внимание. У индексов АО и WP мощности спектральных пиков заметно ниже, т.е. в них преобладают непериодические колебания, тем не менее в них тоже обнаруживается максимальный спектральный пик на периодах соответственно 20 и 17 лет.

Считается, что на периодичность Эль-Ниньо (индекс Nino 3.4) активно влияет колебательный процесс энергетического ядра Солнца [Чистяков, 1999] с периодами 11,8 – 5,3 – 3,5 – 2,2. И, видимо, 11,8-летний цикл, практически совпадающий с активностью на поверхности Солнца, более значим для экваториальной зоны Тихого океана. К сожалению, исследование энергетического ядра В.Ф. Чистяковым не продолжилось. Но для нас важно наличие в колебаниях ENSO квазиодиннадцатилетнего солнечного цикла.

Колебания с периодом 18–19 лет совпадают с лунным деклинационным приливом [Максимов, 1970]. Более точный период гармоники составляет 18,6 года [Кауе and Stuckey, 1973], что связано с соответствующим периодом изменения склонения Луны относительно земной оси. Считается, что лунный деклинационный прилив заметно влияет на состояние атмосферы и гидросферы северной части Тихого океана и поведение алеутского минимума [Воробьев и др., 2012].

Следует отметить 26-летний цикл в колебании SHI. Близкий по продолжительности ритм (в среднем 24 года) был обнаружен Н.В. Ловелиусом [1979] при исследовании скорости роста хвойных деревьев во всей Восточной Сибири, климат которой формируется под влиянием Сибирского антициклона.

У всех индексов обнаруживается возрастание спектральной мощности с увеличением периодов лет, что свидетельствует о наличии ритмики с бо́льшими масштабами. Ранее был выявлен и проанализирован 50–60-летний масштаб колебаний [Minobe, 1999; Бардин, Воскресенская, 2007]. У ряда индексов выделяются вторые спектральные пики, значительно уступающие по мощности основным. Их периоды меньше и составляют 7–8 лет для индексов АО и PDO, 11 лет для WP и 15 лет для SHI.

Климатические сдвиги

Общая для большинства индексов особенность — их положительный тренд (см. рис. 2). Тенденция в ходе «термических» индексов соответствует ходу глобальной температуры Земли в сторону потепления. Положительный тренд в ходе индекса Арктического колебания свидетельствует об увеличении зональности, уменьшении амплитуды планетарных волн и соответствующем потеплении умеренных широт [Thompson and Wallace, 1998]. Отрицательные тренды SHI и NPI показывают ослабление Сибирского антициклона и усиление алеутского минимума, что также характеризует потепление в приземной атмосфере.

Однако климат Земли меняется не равномерно, а скорее скачкообразно, т.е. на определенном этапе изменчивости происходит «климатический сдвиг» («Regime shift») [Mantua et al., 1997; Minobe, 1999; Hare, Mantua, 2000; Rodionov and Overland, 2005; Newman et al., 2016], который может быть как в сторону потепления, так и в сторону



Рис. 3. Спектры зимних климатических индексов. Слева — для ежегодных значений всего ряда лет (1950–2018 гг.); справа — при пятилетнем скользящем осреднении и фильтрации трендов

Fig. 3. Spectra of winter climate indices for unfiltered time-series (left) and for the time-series filtered with running 5-year smoothing (right)

похолодания. После «климатического сдвига» тренд в течение нескольких лет и даже десятилетий отсутствует, слабые короткопериодные колебания происходят вокруг очередной средней величины. При этом общий ход всего ряда приобретает ступенчатую форму. Скорее всего, такой тип изменчивости чаще встречается в природе, чем равномерное повышение или понижение.

При годовом осреднении данных сдвиг в сторону повышения был выявлен в 1989 г. у индекса АО (рис. 4). Данный сдвиг соответствует потеплению планетарного масштаба и обнаруживается по многим природным показателям [Yeh et al., 2011; Miyasaka et al., 2014; Кровнин и др., 2018]. Этому событию был посвящен специальный сборник научных статей [Мониторинг..., 1991], в котором рассмотрены гидрометеорологические особенности в основных рыбопромысловых районах России.



Рис. 4. Межгодовые изменения годовых (январь-декабрь) климатических индексов и их «климатические сдвиги». Вертикальные прерывистые линии и цифры над ними показывают «климатические сдвиги» и годы их наступления

Fig. 4. Year-to-year variation of annual (January-December) climate indices. Regime shifts are shown by vertical dashed lines, figures over the lines indicate the years of climate shifts

В многолетнем ходе индекса PDO обнаруживаются три «климатических сдвига». Первый в 1976 г. в сторону повышения (теплой фазы); второй в 2007 г. — понижение; третий в 2014 г. — новое повышение. Первый «сдвиг» известен давно. К нему многократно возвращались многие исследователи, и в настоящее время он уже не является предметом научной дискуссии. В последние годы широко обсуждается резкое похолодание в северной части Тихого океана и Беринговом море, наступившее в 2007 г. [Coyle et al., 2011; Overland et al., 2012; Miller et al., 2015]. Потепление, начавшееся в 2014 г., связывают с аномальным развитием атмосферной циркуляции над северной частью Тихого океана зимой 2013/14 г. [Bond et al., 2015; Peterson et al., 2016]. На поверхности зал. Аляска образовалась большая область («The Blob») [Bond et al., 2015; Peterson et al., 2016] аномально высоких температур, которая сохранилась и в конце 2018 г. [Ross et al., 2019].

Индекс WP показывает «сдвиг» в 2018 г. Так как он находится на конце ряда, о его существовании можно будет судить после нескольких лет наблюдений. Однако уже в этом году появилась публикация о сильном изменении в стратосфере и тропосфере полярной области Северного полушария зимой 2017/18 г. [Варгин, Кирюшов, 2019]. Заслуживает внимания прогноз перехода WP в отрицательную фазу в 2016–2017 гг., сделанный Б.Н. Котеневым с соавторами [2012] на основе выявленной цикличности, что достаточно близко к нашему результату.

Стоит отметить отсутствие «сдвигов» у индексов Nino 3.4 и PNA. В многолетнем ходе индекса Nino 3.4 ступенчатый тренд не проявился и в зимний сезон (рис. 5). На рис. 2 видно, что общий тренд у него слабый, и метод Родионова не обнаруживает время резкого перехода величин аномалий от одного уровня к другому. Возможно, при других заданных параметрах p и l в методе Родионова «сдвиг» появится. Однако установленные нами параметры наиболее реально отражают «сдвиги», проявленные у других индексов.



Рис. 5. Межгодовые изменения зимних (декабрь-март) климатических индексов и их «климатические сдвиги». Вертикальные прерывистые линии и цифры над ними показывают «климатические сдвиги» и годы их наступления

Fig. 5. Year-to-year variation of winter (December-March) climate indices. Regime shifts are shown by vertical dashed lines, figures over the lines indicate the years of climate shifts

Совпадения «сдвигов» у северотихоокеанских зимних индексов в 1977 и 1989 гг. (у NPI — 1988 г.) свидетельствуют об их тесной взаимосвязи. Как было отмечено выше, эти «сдвиги» отмечены и описаны многими гидрометеорологами, и их существование в настоящее время не вызывает сомнения. С другой стороны, отмечается разброс времени наступления «сдвига» последних лет: 2015 г. для PDO, 2016 г. для WP и 2017 г. для NPI. Это связано с близостью к концу ряда, так как продолжительность последу-

ющего периода (наши данные ограничены 2018 г.) заметно уступает установленному параметру l = 10 лет. Через 5–10 лет сроки «сдвига», скорее всего, совпадут. Стоит отметить, что в 2015–2016 гг. наблюдалось одно из самых мощных Эль-Ниньо (рис. 2) в рассматриваемый нами период лет. Положительные аномалии температуры в области Nino 3.4 зимой (2,29 °C) превышали даже предыдущие максимумы 1983 (1,98 °C) и 1998 (2,02 °C) гг. Такое событие не могло не найти отклика в атмосфере и гидросфере северной части Тихого океана.

На примере индекса PDO можно заметить разницу «климатических сдвигов» между годовыми и зимними индексами, связанную с различиями в межгодовом ходе индексов внутри года из-за сезонных особенностей в атмосфере и гидросфере. В зимний период взаимодействие океана и атмосферы интенсифицируется, что влияет на крупномасштабные циркуляционные процессы, которые вызывают значительные колебания климата [Бардин и др., 2015]. Зимние процессы более показательны, и этот сезон влияет на условия всего года. В другие сезоны также происходят изменения климата, но масштабы межгодовых колебаний заметно уступают зимнему диапазону. Как следствие, размах межгодовых колебаний у годовых индексов по сравнению с зимним сезоном заметно меньше (рис. 2).

Несмотря на указанные различия, общим для годовых и зимних индексов остаются «сдвиги» в 1976–1977 гг. и 1989 г., что свидетельствует об их устойчивости. О реальности последнего «сдвига» (2015–2017 гг.) можно будет судить по истечении нескольких лет. Однако наши результаты дают основание считать его очередным этапом масштабной смены климата в северной части Тихого океана.

Обратим внимание на «сдвиги», характерные только для одного индекса: PNA — 1958 г., SHI — 1971 г., AO — 1996 г. Они никем и никогда не были отмечены и, видимо, не оказали заметного влияния на состояние климата. Однако они показывают ступенчатый характер изменчивости, на который следует обратить внимание при анализе отдельных региональных событий и поиске связей с указанными климатическими индексами.

Связи между индексами

Близкие спектры у северотихоокеанских индексов (PDO, ALPI, NPI и PNA) связаны с их природой. Они характеризуют атмосферные и океанические процессы в северной части Тихого океана и тесно связаны между собой (табл. 1). Коэффициенты корреляции между ними превышают 0,6, т.е. значимы для наших рядов данных при р = 0,01.

Таблица 1

Корреляция между зимними индексами. Выделены значимые коэффициенты корреляции при p = 0,01. Подчеркнуты сильные связи

Table 1

Correlation between winter indices. Bold figures indicate the significant correlation coefficients at p = 0.01; the coefficients of strong links are underlined

		1 ,			0			
	AO	Nino 3.4	PDO	ALPI	NPI	PNA	SHI	WP
AO		-0,10	-0,09	-0,25	0,20	-0,10	-0,41	0,05
Nino 3.4			<u>0,52</u>	0,45	<u>-0,51</u>	<u>0,56</u>	-0,17	0,47
PDO				<u>0,67</u>	<u>-0,68</u>	<u>0,74</u>	-0,11	0,29
ALPI					<u>0,96</u>	<u>-0,85</u>	0,02	-0,02
NPI						<u>-0,87</u>	0,03	0,04
PNA							0,00	0,26
SHI								-0,20
WP								

Стоит отметить и высокий уровень статистических связей этих индексов с индексом Nino 3.4, хотя спектры, как было отмечено выше, сильно различаются. Ранее [Бугаев и др., 2018] для более короткого временного периода 1971–2015 гг. были получены менее значимые коэффициенты R: между PDO и ALPI — 0,53, между PDO и PNA — 0,46. А.В. Бугаев с соавторами [2018], к сожалению, не указали месяцы осреднения данных, за исключением ALPI — декабрь-март, т.е. как и для наших данных. По всей видимости, остальные индексы представляют собой средние годовые данные, а летом, как показали наши эксперименты, связи становятся слабыми.

Океан и атмосфера постоянно взаимодействуют между собой, оказывая сильное влияние на погодные и климатические условия Земли. На рис. 6 показано такое взаимодействие на примере PDO. Как видно, на PDO оказывают влияние гидрометеорологические процессы как умеренной, так и тропической областей Тихого океана. В первую очередь нужно отметить прямое воздействие алеутского минимума; во вторую очередь по «атмосферному мосту» заметное влияние на этот минимум оказывает Эль-Ниньо. Этим объясняется обнаруженная выше корреляция индекса PDO с северотихоокеанскими атмосферными индексами и индексом Nino 3.4. PDO, в свою очередь, через волны Россби, направленные с востока на запад, и через систему западных пограничных течений и их продолжений может повлиять на алеутский минимум.



Рис. 6. Схема основных процессов в атмосфере и гидросфере, вовлеченных в PDO [Newman et al., 2016]

Fig. 6. Scheme of basic processes in atmosphere and ocean involved in PDO [Newman et al., 2016]

Возвращаясь к связям, можно заметить значимую связь между AO и SHI, что вполне очевидно, учитывая природу AO, индекс которого характеризует степень взаимного проникновения арктических и субарктических воздушных масс по всему Северному полушарию, в особенности над континентальными областями Земли [Thompson and Wallace, 1998]. Сибирский антициклон, занимающий огромное пространство центральной части азиатского континента, неизбежно вовлекается в этот процесс.

Западнотихоокеанская мода WP, важная для северной части Тихого океана [Linkin and Nigam, 2008], в особенности для северной границы субтропической области океана и Куросио [Котенев и др., 2012], статистически значимо связана только с индексом Nino 3.4.

При пятилетнем скользящем осреднении связи между северотихоокеанскими индексами заметно усиливаются, R превышает 0,8 (табл. 2). С другой стороны, значение корреляции индекса Nino 3.4 с другими индексами или не меняется (для PDO), или понижается (для ALPI, PNA, NPI, WP). По всей видимости, высокочастотные колебания (с периодом менее 5 лет) в северной части Тихого океана в немалой степени обусловлены изменениями в экваториальной зоне, тогда как природа изменчивости на масштабах более 10 лет кроется в других причинах, включая внеземные, частично упомянутые выше. Стоит отметить усиление статистических связей до значимых величин (более 0,3) между SHI и тихоокеанскими индексами, а также между индексами WP и PDO.

Таблица 2

Корреляция между зимними индексами при 5-летнем скользящем осреднении. Выделены значимые коэффициенты корреляции при p = 0,01. Подчеркнуты сильные связи Table 2

Correlation between time-series of winter indices filtered with running 5-year averaging. Bold figures indicate the significant correlation coefficients at p = 0.01;

	AO	Nino 3.4	PDO	ALPI	NPI	PNA	SHI	WP
AO		0,20	0,16	0,03	0,06	0,18	<u>-0,57</u>	0,46
Nino 3.4			<u>0,54</u>	0,40	-0,35	0,40	-0,18	0,14
PDO				<u>0,87</u>	<u>-0,85</u>	<u>0,88</u>	-0,32	0,33
ALPI					<u>-0,92</u>	<u>0,92</u>	-0,33	0,27
NPI						-0,85	0,42	-0,13
PNA							-0,35	0,44
SHI								-0,31
WP								

the coefficients of strong links are underlined

Заключение

Важные для атмосферы и гидросферы северной части Тихого океана климатические индексы (AO, Nino 3.4, PDO, ALPI, NPI, PNA, SHI, WP) свидетельствуют об устойчивом потеплении с середины 20-го столетия по настоящее время. Однако изменения протекают не равномерно, а ступенчато, с резкими переходами от одного климатического состояния к другому, названными «климатическими сдвигами». Наиболее важные «сдвиги» произошли в 1977 и 1989 гг., они отмечены у большинства рассматриваемых индексов. В первом случае у северотихоокеанских индексов наблюдался положительный «сдвиг», а во втором — отрицательный. Исключение составил NPI с противоположными тенденциями. В последние годы (2015–2018) был заметен положительный «сдвиг» в рядах PDO, WP и NPI, позволяющий сделать предположение о современном переходе в новую климатическую эпоху — более теплую, чем предыдущие два десятилетия.

У северотихоокеанских индексов (PDO, ALPI, NPI и PNA) выделяется 19-летний цикл, совпадающий с лунным деклинационным приливом. При пятилетнем скользящем осреднении рядов данных, т.е. фильтрации высокочастотных гармоник, спектральная мощность данного цикла заметно усиливается.

Индекс Nino 3.4, возможно, связанный с солнечной деятельностью, имеет 11-летнюю ритмику. Основная периодичность SHI составляет 26 лет. У ряда индексов выделяются вторые пики, значительно уступающие по мощности основным. Их периоды составляют 7–8 лет у индексов AO и PDO, 11 лет у WP и 15 лет у SHI.

Северотихоокеанские индексы (PDO, ALPI, NPI и PNA) тесно связаны между собой и имеют высокие коэффициенты корреляции (0,67–0,96). Nino 3.4 также связан с ними, но коэффициент корреляции меньше — 0,45–0,56. Статистически значимую связь SHI имеет только с AO, а индекс WP — с Nino 3.4.

На следующем этапе исследований планируется выявить вклад крупномасштабных климатических процессов в региональные климатические изменения в дальневосточных морях России и северо-западной части Тихого океана с учетом полученных в данной работе результатов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотруднику Института по изучению атмосферы и океана Вашингтонского университета С.Н. Родионову за разработку методики

выявления сдвигов климатического режима и доступное программное обеспечение, а также Центру климатического прогнозирования (Climate Prediction Center), Национальному центру по прогнозированию окружающей среды (NCEP) и Национальному центру атмосферных исследований (NCAR) Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) США за регулярно обновляемые данные о климатических индексах и данные реанализа о приземном атмосферном давлении на открытых информационных Интернет-ресурсах. Авторы искренне признательны анонимному рецензенту за полезные и конструктивные замечания.

Финансирование работы

Результаты настоящего исследования были получены в рамках выполнения государственного задания № 076-00005-19-00 ФГБНУ «ВНИРО» на 2019 г. (тема 4.4.7.11. Мониторинг океанологических условий дальневосточных морей по комплексу показателей).

Соблюдение этических стандартов

Авторы заявляют, что настоящая работа не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные данные других авторов оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

Постановка задачи принадлежит Г.В. Хену, работу с базами данных, основные расчеты и часть иллюстраций выполнил Ю.Д. Сорокин, в анализе и обсуждении результатов принимали участие все авторы, подготовку текста статьи осуществляли Г.В. Хен и Е.И. Устинова.

Список литературы

Бабкин В.И., Воробьев В.Н., Смирнов Н.П. Сибирский антициклон и его влияние на сток Оби, Енисея и Лены // Метеорол. и гидрол. — 2005. — № 4. — С. 102–108.

Бардин М.Ю., Воскресенская Е.Н. Тихоокеанская декадная осцилляция и европейские климатические аномалии // Мор. гидрофиз. журн. — 2007. — № 4. — С. 13–23.

Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. Особенности наблюдаемых изменений климата на территории Северной Евразии по данным регулярного мониторинга и возможные их факторы // Тр. Гидрометеоцентра России. — 2015. — Вып. 358. — С. 13–35.

Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Радченко В.И. Климатическая изменчивость и продуктивность тихоокеанских лососей Дальнего Востока России // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.зап. части Тихого океана. — 2018. — Вып. 49. — С. 5–50. DOI: 10.15853/2072-8212.2018.49.5-50.

Варгин П.Н., Кирюшов Б.М. Внезапное стратосферное потепление в Арктике в феврале 2018 г. и его влияние на тропосферу, мезосферу и озоновый слой // Метеорол. и гидрол. — 2019. — № 2. — С. 41–56.

Воробьев В.Н., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Лунный нодальный (деклинационный) прилив и его возможное влияние на циркуляцию атмосферы : моногр. — СПб. : РГГМУ, 2012. — 122 с.

Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Кивва К.К. и др. Низкочастотные изменения зимних климатических условий в северо-западной части Тихого океана в 1950–2012 гг. // Вопр. промысл. океанол. — 2012. — Вып. 9, № 2. — С. 33–60.

Кровнин А.С., Котенев Б.Н., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. Дальние связи в атмосфере и океане как основа долгосрочного рыбопромыслового прогнозирования // Тр. ВНИРО. — 2018. — Т. 173. — С. 33–65.

Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий : моногр. — Л. : Наука, 1979. — 232 с.

Максимов И.В. Геофизические силы и воды океана : моногр. — Л. : Гидрометеоиздат, 1970. — 447 с.

Мониторинг условий среды в районах морского рыбного промысла в 1989–1990 гг. : сб. статей / под ред. проф. Д.Е. Гершановича. — М. : ВНИРО, 1991. — 124 с.

Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Основные климатические индексы для северной части Тихого океана: природа и история (литературный обзор) // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 197. — С. 166–181.

Чистяков В.Ф. Активность Солнца и периодичность Эль-Ниньо // Вестн. ДВО РАН. — 1999. — № 5. — С. 59–68.

Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Муктепавел Л.С. и др. Статистические оценки трендов климатических изменений над Дальним Востоком в зимний и летний периоды 1980–2012 гг. // Вопр. промысл. океанол. — 2014. — Вып. 11. — С. 76–97.

Bond N.A., Cronin M.F., Freeland H., Mantua N. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific // Geophys. Res. Lett. — 2015. — Vol. 42, Iss. 9. — P. 3414–3420. DOI: 10.1002/2015GL063306.

Coyle K.O., Eisner L.B., Mueter F.J. et al. Climate change in the southeastern Bering Sea: impacts on pollock stocks and implications for the oscillating control hypothesis // Fish. Oceanogr. — 2011. — Vol. 20, Iss. 2. — P. 139–156. DOI: 10.1111/j.1365-2419.2011.00574.x.

Hare S.R., Mantua N.J. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989 // Prog. Oceanogr. — 2000. — Vol. 47, Iss. 2–4. — P. 103–145. DOI: 10.1016/S0079-6611(00)00033-1.

Hasanean H.M., Almazroui M., Jones P.D., Alamoudi A.A. Siberian high variability and its teleconnections with tropical circulations and surface air temperature over Saudi Arabia // Clim. Dyn. — 2013. — Vol. 41, № 7–8. — P. 2003–2018. DOI: 10.1007/s00382-012-1657-9.

Kaye C.A. and Stuckey G.W. Nodal Tidal Cycle of 18.6 Yr.: Its Importance in Sea-Level Curves of the East Coast of the United States and Its Value in Explaining Long-Term Sea-Level Changes // Geology. — 1973. — Vol. 1, № 3. — P. 141–144. DOI: 10.1130/0091-7613(1973)1<141:NTCOYI>2.0.CO;2.

Linkin M.E. and Nigam S. The North Pacific Oscillation–West Pacific Teleconnection Pattern: Mature-Phase Structure and Winter Impacts // J. Climate. — 2008. — Vol. 21, Iss. 9. — P. 1979–1997. DOI: 10.1175/2007JCLI2048.1.

Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y. et al. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1997. — Vol. 78, № 6. — P. 1069–1079. DOI: 10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2.

Miller A.J., Song H., Subramanian A.C. The physical oceanographic environment during the CCE-LTER years: Changes in climate and concepts // Deep-Sea Res. II. — 2015. — Vol. 112. — P. 6–17. DOI: 10.1016/j.dsr2.2014.01.003.

Minobe S. Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific: Role in climatic regime shifts // Geophys. Res. Lett. — 1999. — Vol. 26, Iss. 7. — P. 855–858. DOI: 10.1029/1999GL900119.

Miyasaka T., Nakamura H., Taguchi B., Nonaka M. Multidecadal modulations of the low-frequency climate variability in the wintertime North Pacific since 1950 // Geophys. Res. Lett. — 2014. — Vol. 41, Iss. 8. — P. 2948–2955. DOI: 10.1002/2014GL059696.

Newman M., Alexander M.A., Ault T.R. et al. The Pacific Decadal Oscillation, Revisited // J. Climate. — 2016. — Vol. 29, Iss. 12. — P. 4399–4427. DOI: 10.1175/jcli-d-15-0508.1.

Overland J.E., Wang M., Wood K.R. et al. Recent Bering Sea warm and cold events in a 95year context // Deep-Sea Res. II. — 2012. — Vol. 65–70. — P. 6–13. DOI: 10.1016/j.dsr2.2012.02.013.

Panagiotopoulos F., Shahgedanova M., Hannachi A., Stephenson D.B. Observed trends and teleconnections of the Siberian high: a recently declining center of action // J. Climate. — 2005. — Vol. 18, Iss. 9. — P. 1411–1422. DOI: 10.1175/JCLI3352.1.

Peterson W., Bond N., Robert M. The Blob is gone but has morphed into a strongly positive PDO/SST pattern // PICES Press. — 2016. — Vol. 24, № 2. — P. 46–47.

Rodionov S.N. A sequential algorithm for testing climate regime shifts // Geophys. Res. Lett. — 2004. — Vol. 31, № 9. — L09204, DOI: 10.1029/2004GL019448.

Rodionov S.N. The use of prewhitening in climate regime shift detection // Geophys. Res. Lett. -2006. - Vol. 33, N 12. - L12707, DOI: 10.1029/2006GL025904.

Rodionov S.N. and Overland J.E. Application of a sequential regime shift detection method to the Bering Sea ecosystem // ICES J. Mar. Sci. — 2005. — Vol. 62. — P. 328–332. DOI: 10.1016/j. icesjms.2005.01.013.

Ross T., Fisher J., Bond N. et al. The Northeast Pacific: Current status and recent trends // PICES Press. -2019. -Vol. 27, Not 1. -P. 36-39.

Thompson D.W.J. and Wallace J.M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // Geophys. Res. Lett. — 1998. — Vol. 25, Iss. 9. — P. 1297–1300. DOI: 10.1029/98GL00950.

Yeh S.-W., Kang Y.-J., Noh Y., Miller A.J. The North Pacific Climate Transitions of the Winter of 1976/77 and 1988/89 // J. Climate. — 2011. — Vol. 24, Iss. 4. — P. 1170–1183. DOI: 10.1175/2010JCLI3325.1.

References

Babkin, V.I., Vorobev, V.N., and Smirnov, N.P., Siberian anticyclone and its effect on the runoff of the Ob, Yenisei and Lena, *Meteorol. Gidrol.*, 2005, no. 4, pp. 102–108.

Bardin, M.Yu. and Voskresenskaya, E.N. Pacific decadal oscillation and European climatic anomalies, *Morskoi Gidrofizicheskii Zhurnal*, 2007, no. 4, pp. 13–23.

Bardin, M.Yu., Platova, T.V., and Samokhina, O.F., Features of observed climate changes in Northern Eurasia according to regular monitoring and their possible factors, *Tr. Gidrometeotsentra Rossii*, 2015, iss. 358, pp. 13–35.

Bugaev, A.V., Tepnin, O.B., and Radchenko, V.I. Climate variability and pacific salmon productivity in Russian Far East, *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severozapadnoi chasti Tikhogo okeana* (Research of Water Biological Resources of Kamchatka and of the Northwest Part of Pacific Ocean), 2018, vol. 49, pp. 5–50, doi 10.15853/2072-8212.2018.49.5-50

Vargin, P.N. and Kiryushov, B.M., Major Sudden Stratospheric Warming in the Arctic in February 2018 and Its Impacts on the Troposphere, Mesosphere, and Ozone Layer, *Meteorol. Gidrol.*, 2019, no. 2, pp. 41–56.

Vorobiev, V.N., Sarukhanyan, E.I., and Smirnov, N.P., *Lunnyy nodal'nyy (deklinatsionnyy) priliv i yego vozmozhnoye vliyaniye na tsirkulyatsiyu atmosfery* (Lunar nodal (declinational) tide and its possible effect on the circulation of the atmosphere), St. Petersburg: RGGMU, 2012.

Kotenev, B.N., Krovnin, A.S., Kivva, K.K., Bogdanov, M.A., Mordasova, N.V., and Mury, G.P., Low-frequency changes in winter climatic conditions in the northwestern part of the Pacific Ocean in 1950–2012, *Vopr. Promysl. Okeanol.*, 2012, vol. 9, no. 2, pp. 33–60.

Krovnin, A.S., Kotenev, B.N., Mordasova, N.V., and Mury, G.P., Long-range communications in the atmosphere and ocean as the basis for long-term fishing forecasting, *Tr. Vseross. Nauchno–Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 173, pp. 33–65.

Lovelius, N.V., *Izmenchivost' prirosta derev'yev. Dendroindikatsiya prirodnykh protsessov i antropogennykh vozdeystviy* (Variability of growth of trees. Dendroindication of natural processes and anthropogenic impacts), Leningrad: Nauka, 1979.

Maksimov, I.V., *Geofizicheskiye sily i vody okeana* (Geophysical forces and ocean waters), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970.

Monitoring usloviy sredy v rayonakh morskogo rybnogo promysla v 1989–1990 gg. (Monitoring environmental conditions in marine fishing areas in 1989–1990) / Gershanovich D.E., ed., Moscow: VNIRO, 1991.

Khen, G.V., Ustinova, E.I., and Sorokin, Yu.D., Principal climate indices for the North Pacific: nature and history (a review), *Izv. Tikhookean. Nauchno–Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 197, pp. 166–181.

Chistyakov, V.F., Sun Activity and El Nino Frequency, Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 1999, no. 5, pp. 59–68.

Shatilina, T.A., Tsitsiashvili, G.Sh., Muktepavel, L.S., Nikitin, A.A., and Radchenkova, T.V., Statistical estimates of trends in climate change over the Far East in the winter and summer periods of 1980–2012, *Vopr. Promysl. Okeanol.*, 2014, vol. 11, pp. 76–97.

Bond, N.A., Cronin, M.F., Freeland, H., and Mantua, N., Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific, *Geophys. Res. Lett.*, 2015, vol. 42, no. 9, pp. 3414–3420. doi 10.1002/2015GL063306

Coyle, K.O., Eisner, L.B., Mueter, F.J., Pinchuk, A.I., Janout, M.A., Cieciel, K.D., Farley, E.V., and Andrews A.G. Climate change in the southeastern Bering Sea: impacts on pollock stocks and implications for the oscillating control hypothesis, *Fish. Oceanogr.*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 139–156. doi 10.1111/j.1365-2419.2011.00574.x

Hare, S.R. and Mantua, N.J., Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989, *Prog. Oceanogr.*, 2000, vol. 47, no. 2–4, pp. 103–145. doi 10.1016/S0079-6611(00)00033-1

Hasanean, H.M., Almazroui, M., Jones, P.D., and Alamoudi, A.A., Siberian high variability and its teleconnections with tropical circulations and surface air temperature over Saudi Arabia, *Clim. Dyn.*, 2013, vol. 41, no. 7–8, pp. 2003–2018. doi 10.1007/s00382-012-1657-9

Kaye, C.A. and Stuckey, G.W., Nodal Tidal Cycle of 18.6 Yr.: Its Importance in Sea-Level Curves of the East Coast of the United States and Its Value in Explaining Long-Term Sea-Level Changes, Geology, 1973, vol. 1, no. 3, pp. 141–144. doi 10.1130/0091-7613(1973)1<141:NTCOYI >2.0.CO;2

Linkin, M.E. and Nigam, S., The North Pacific Oscillation–West Pacific Teleconnection Pattern: Mature-Phase Structure and Winter Impacts, *J. Climate*, 2008, vol. 21, no. 9, pp. 1979–1997. doi 10.1175/2007JCLI2048.1

Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., φτB Francis, R.C., A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, vol. 78, no. 6, pp. 1069–1079. doi 10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2

Miller, A.J., Song, H., and Subramanian, A.C., The physical oceanographic environment during the CCE-LTER years: Changes in climate and concepts, *Deep-Sea Res. Part II*, 2015, vol. 112, pp. 6–17. doi 10.1016/j.dsr2.2014.01.003

Minobe, S., Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific: Role in climatic regime shifts, *Geophys. Res. Lett.*, 1999, vol. 26, no. 7, pp. 855–858. doi 10.1029/1999GL900119

Miyasaka, T., Nakamura, H., Taguchi, B., and Nonaka, M., Multidecadal modulations of the low-frequency climate variability in the wintertime North Pacific since 1950, *Geophys. Res. Lett.*, 2014, vol. 41, no. 8, pp. 2948–2955. doi 10.1002/2014GL059696

Newman, M., Alexander, M.A., Ault, T.R., Cobb, K.M., Deser, C., Di Lorenzo, E., Mantua, N.J., Miller, A.J., Minobe, S., Nakamura, H., Schneider, N., Vimont, D.J., Phillips, A.S., Scott, J.D., and Smith, C.A., The Pacific decadal oscillation, revisited, *J. Clim.*, 2016, vol. 29, no. 12, pp. 4399–4427. doi 10.1175/jcli-d-15-0508.1

Overland, J.E., Wang, M., Wood, K.R., Percival, D.B., and Bond, N.A., Recent Bering Sea warm and cold events in a 95-year context, *Deep-Sea Res. Part II*, 2012, vol. 65–70, pp. 6–13. doi 10.1016/j.dsr2.2012.02.013

Panagiotopoulos, F., Shahgedanova, M., Hannachi, A., and Stephenson, D.B., Observed trends and teleconnections of the Siberian High: a recently declining center of action, *J. Clim.*, 2005, vol. 18, no. 9, pp. 1411–1422. doi 10.1175/JCLI3352.1

Peterson, W., Bond, N., and Robert, M., The Blob is gone but has morphed into a strongly positive PDO/SST pattern, *PICES Press*, 2016, vol. 24, no. 2, pp. 46–47.

Rodionov, S.N., A sequential algorithm for testing climate regime shifts, *Geophys. Res. Lett.*, 2004, vol. 31, no. 9, L09204, doi 10.1029/2004GL019448

Rodionov S.N. The use of prewhitening in climate regime shift detection, *Geophys. Res. Lett.*, 2006, vol. 33, no. 12, L12707, doi 10.1029/2006GL025904

Rodionov, S.N. and Overland, J.E., Application of a sequential regime shift detection method to the Bering Sea ecosystem, *ICES J. Mar. Sci.*, 2005, vol. 62, pp. 328–332. doi 10.1016/j. icesjms.2005.01.013

Ross, T., Fisher, J., Bond, N., Galbraith, M., and Whitney, F., The Northeast Pacific: Current status and recent trends, *PICES Press*, 2019, vol. 27, no. 1, pp. 36–39.

Thompson, D.W.J. and Wallace, J.M., The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, 1998, vol. 25, no. 9, pp. 1297–1300. doi 10.1029/98GL00950

Yeh, S.-W., Kang, Y.-J., Noh, Y., and Miller. A.J.. The North Pacific Climate Transitions of the Winter of 1976/77 and 1988/89, *J. Climate*, 2011, vol. 24, no. 4, pp. 1170–1183. doi 10.1175/2010JCLI3325.1

Komissiya po klimatologii. Shestnadtsataya sessiya. Sokrashchennyy okonchatel'nyy otchet s rezolyutsiyami i rekomendatsiyami. Geydel'berg, 3–8 Iyulya 2014 (Commission for Climatology. Sixteenth session. Abridged final report with resolutions and recommendations. Heidelberg, July 3–8, 2014), Zurich: WMO, 2014.

Поступила в редакцию 21.06.2019 г.

После доработки 22.07.2019 г.

Принята к публикации 29.10.2019 г.