Известия ТИНРО

2019 **Том 197**

УДК 551.585.1(265.5)

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

ОСНОВНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИНДЕКСЫ ДЛЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА: ПРИРОДА И ИСТОРИЯ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

Рассмотрены климатические индексы, отражающие природные условия и закономерности их изменчивости в северной части Тихого океана и его отдельных областей водного пространства и прилегающей суши. Сделаны описания физической природы и механизмов этих индексов, указаны их география, способы определения и первое упоминание. Из множества глобальных и региональных индексов, имеющих жесткую географическую привязку, были выбраны индексы Арктического колебания (АК), Эль-Ниньо — Южного колебания (ЭНЮК), Тихоокеанского декадного колебания (ТДК), индекс Алеутской депрессии (ИАД), индекс Сибирского антициклона (ИСА), Северо-Тихоокеанский индекс (СТИ), Тихоокеанский-Североамериканский индекс (ТСАИ), Западно-Тихоокеанский индекс (ЗТИ). Индекс АК является крупномасштабным индексом атмосферной циркуляции, отражающим преобладающие процессы не только в тропосфере, но и в стратосфере, где так же, как и в нижней тропосфере, происходит постоянный переток воздушных масс между полюсом и средними широтами. Индекс ЭНЮК является тоже крупномасштабным, так как он показывает крупномасштабные взаимодействия полей температуры, атмосферного давления, ветра, облачности всего Тихого океана. Остальные индексы скорее региональные, поскольку их влияние не распространяется далеко за пределы области их определения, хотя их дальние связи можно обнаружить практически по всему Северному полушарию. Тем не менее они играют заметную, иногда ведущую, роль в климатических колебаниях отдельных областей северной части Тихого океана.

Ключевые слова: Тихий океан, климатические индексы, атмосферные процессы, теплая фаза, холодная фаза.

DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-166-181.

Khen G.V., Ustinova E.I., Sorokin Yu.D. Principal climate indices for the North Pacific: nature and history (a review) // Izv. TINRO. — 2019. — Vol. 197. — P. 166–181.

Climatic indices reflecting the environmental conditions and patterns of their variability in the entire northern Pacific and in its local regions are overviewed. Their physical nature and mechanisms of the processes, their geography and methods of calculation are presented, with citing of the first descriptions. Among a variety of global and regional climatic indices concern-

* *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 инженер, e-mail: yuriy.sorokin@tinro-center.ru.*

Khen Gennady V., Ph.D., leading researcher, e-mail: gennady.khen@tinro-center.ru; Ustinova Elena I., Ph.D., leading researcher, e-mail: elena.ustinova@tinro-center.ru; Sorokin Yury D., leading engineer, e-mail: yuriy.sorokin@tinro-center.ru.

ing the North Pacific, the following ones are described: the indices of Arctic Oscillation (AO), El Niño — Southern Oscillation (ENSO), Pacific Decadal Oscillation (PDO), Aleutian Low Pressure Index (ALPI), Siberian High Index (SHI), North Pacific Index (NPI), Pacific/North American (PNA) Index, and West Pacific Index (WP). AO is a large-scale index of atmospheric circulation reflecting the processes both in the troposphere and stratosphere, where «pumping» of air masses between the high and moderate latitudes occurs continuously. ENSO is also a large-scale index that reflects large-scale interactions in the fields of temperature, atmospheric pressure, wind, and cloudiness over the whole Pacific. Other indices are rather regional, since their influence does not extend far beyond the limits of the domains of their definition. Nevertheless, their role in environmental fluctuations in certain areas could be significant and their influence could be traced throughout the Northern Hemisphere.

Key words: Pacific Ocean, climate index, atmospheric process, warm phase, cold phase.

Введение

Климатические изменения атмосферы и водной среды значительно влияют на состояние природных условий того или иного региона планеты и, как следствие, могут оказать существенные воздействия на различные стороны жизни социального общества и его экономики. Изменения природных условий очень сложны, хотя многие аспекты достаточно понятны и для неспециалистов, такие как, например, смена сезонов. Но многие изменения климата можно заметить только при целенаправленных исследованиях с применением как простых, так и довольно сложных методов их определения. Для этого требуются длительные стандартные наблюдения с использованием многочисленных специальных приборов, например, на метеорологических станциях на суше или стандартных разрезах, или станциях в водной среде. В последние несколько десятилетий существенное развитие получила спутниковая информация, позволяющая фиксировать состояние параметров природной среды с различным пространственным и временным разрешением.

С накоплением спутниковых данных стал вопрос о систематизации и стандартизации природных процессов. Возникли различные индексы состояния атмосферы, водной среды или даже мультивариантные комбинации различных параметров. Современные информационные базы данных, включающие спутниковые и наземные наблюдения и соответствующие статистические обработки уже общей базы данных, позволили продлить ряды на исторический период. Для этого были разработаны процедуры реанализов данных с ассимиляцией их в регулярные узлы географических координат [Kalnay et al., 1996], т.е. с помощью моделей проведено динамическое согласование глобальных полей, характеризующих состояние атмосферы и гидросферы. Благодаря этому к настоящему времени практически все основные климатические индексы рассчитаны с начала 20-го столетия. Эти индексы имеют определенную географическую привязку, что позволяет их представить в унифицированном виде (числовом). Их значения (исторические и оперативные) представлены на WEB сайтах ведущих мировых климатических центров. С ними можно проводить различные математические или графические манипуляции, доступные любому исследователю. Характеристика основных групп климатических индексов в русскоязычном варианте приводится на сайте ЕСИМО (http://data.oceaninfo.ru/applications/indexes/index.jsp).

Атмосферные циркуляционные индексы получены либо путем вычисления разности нормированных значений давления на уровне моря, либо разложением по естественным ортогональным функциям (ЕОФ) колебаний поля геопотенциала изобарической поверхности 500, 700 или 1000 мбар. Океанические индексы получены теми же способами, но с поверхностными температурами воды или высотой уровня моря.

Современные индексы получили широкое признание как инструмент для изучения разномасштабных изменений в атмосфере и гидросфере и долгосрочного прогноза природных условий. Немало публикаций, где проводятся сопоставления климатических индексов с морскими биологическими объектами северной части Тихого океана. Недостатком многих работ является слабое знание природы климатических индексов. Климатические индексы используются механически, зачастую просто подбором наи-

более приемлемых статистических связей, при этом никак не рассматривается сама среда обитания, хотя в природе именно она оказывает влияние на морскую биоту. Отсутствие этого промежуточного звена делает невозможным выявление механизмов связи рыб с климатическими индексами. Справедливости ради следует признаться, что до сих пор нет убедительного объяснения влияния самой среды обитания на биологические ресурсы.

В данной работе рассматриваются основные климатические индексы, которые могут быть полезными при оценке состояния и изменчивости гидросферы северной части Тихого океана. Показаны их история, природа, методы расчета, даны первые упоминания. Из множества глобальных и региональных индексов, имеющих географическую привязку, были выбраны индексы Арктического колебания (АК) — Arctic Oscilation (AO), Эль-Ниньо — Южного колебания (ЭНЮК) — El Niño — Southern Oscillation (ENSO), Тихоокеанского декадного колебания (ТДК) — Pacific Decadal Oscillation (PDO), индекс Алеутской депрессии (ИАД) — Aleutian Low Pressure Index (ALPI), индекс Сибирского антициклона (ИСА) — Siberian High Index (SHI), Северо-Тихоокеанский индекс (СТИ) — North Pacific Index (NPI), Тихоокеанский-Североамериканский индекс (ТСАИ) — Pacific-North American Pattern (PNA), Западно-Тихоокеанский индекс (ЗТИ) — West Pacific Pattern (WP).

Арктическое колебание (Arctic Oscilation) является доминантной модой изменчивости в поле приземного атмосферного давления и в поле геопотенциальных высот в Северном полушарии от 20° с.ш. до Северного полюса, описывает формы изменчивости атмосферных процессов и характеризуется аномалиями приземного давления одного знака в Арктике и аномалиями противоположного знака в поясе 40–50° с.ш.

Индекс АК считается одним из основных климатических индексов, характеризующих несезонные вариации атмосферного давления над уровнем моря всего Северного полушария [Мордвинов и др., 2009]. Основой расчета индексов АК в настоящее время является первая мода разложения на естественные ортогональные функции средних месячных полей геопотенциальных высот изобарической поверхности 1000 мбар Северного полушария от 20° с.ш. до Северного полюса с ноября по апрель [Thompson and Wallace, 1998].

АК представляет собой доминирующую форму изменчивости зимней внетропической атмосферы Северного полушария и во многом определяющую состояние атмосферы от земной поверхности до средней стратосферы. Он характеризует результат взаимодействия тропосферы и стратосферы Северного полушария, где происходит регулярный реверсивный переток воздушных масс между полюсом и средними широтами. Когда геопотенциальные высоты над полярным районом выше нормы, над средними широтами они ниже нормы. В этой фазе стратосферный западный перенос значительно интенсивнее нормы.

АК — зимний феномен и связан с возникновением волн Россби (гигантские изгибы высотных струйных течений, опоясывающих вдоль умеренной зоны весь земной шар) на контрасте температуры поверхности океанов и континентов. Эти волны из тропосферы распространяются в стратосферу, где взаимодействуют с циркумполярым вихрем [Крыжов, Горелиц, 2015]. С изменчивостью АК связаны тренды полушарных метеорологических параметров [Thompson et al., 2000]. АК проявляется в низкочастотных изменениях полей ветра и температуры воздуха, в характеристиках снежного и ледяного покровов, может определить похолодание или потепление Европы и Северной Америки.

АК представляют в виде теплой и холодной фаз, которым соответствуют положительные и отрицательные значения индексов. В теплую фазу атмосферное давление над Арктикой понижается, соответственно усиливается циркумполярный вихрь, уменьшается амплитуда планетарных волн Россби, преобладают зональные потоки (рис. 1). Над Арктикой воздух аномально холодный, а в умеренной зоне — теплый. В холодную фазу наблюдается обратная картина. Увеличение амплитуды планетарных волн приводит к ослаблению зональных потоков и усилению меридиональных движений воздуха, что приводит к выхолаживанию средних широт.

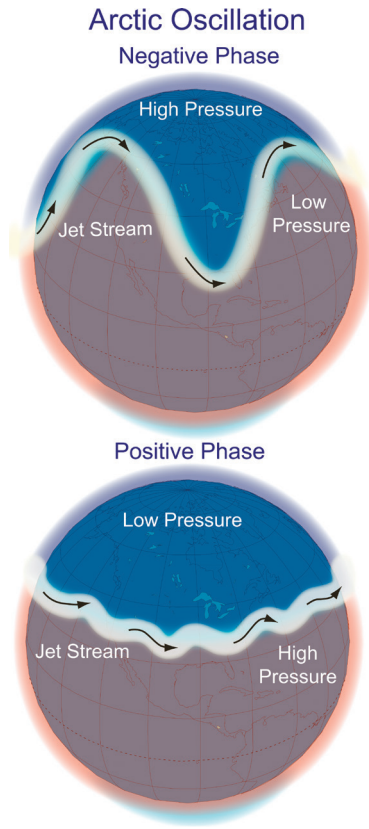

Рис. 1. Атмосферное давление и струйное течение при отрицательной и положительной фазах АК (https://www.ncdc.noaa.gov/bams-state-of-the-climate)

Fig. 1. Atmospheric pressure and jet flow at negative and positive phases of Arctic Oscillation (https://www.ncdc.noaa.gov/bams-state-of-the-climate)

АК оказывает непосредственное влияние на температуру воздуха и атмосферное давление Восточной Азии севернее 35° с.ш. [Wu, Wang, 2002]. Когда зимой АК находится в позитивной фазе, Алеутский минимум и Сибирский максимум синхронно ослабевают и наоборот [Overland et al., 1999].

В положительную фазу обостряется атмосферный арктический фронт, атлантические циклоны смещаются на север Евразии, усиливая приток теплых воздушных масс на континент, повышаются осадки в Сибири и над Северным Ледовитым океаном [Крыжов, Горелиц, 2015]. В отрицательную фазу траектория циклонов сильно отклоняется на юг, холодный арктический воздух вторгается на Евразию, осадки перемещаются на Среднюю Азию и Монголию.

Эль-Ниньо — Южное колебание (El Niño — Southern Oscillation). Еще одним общеизвестным показателем состояния планетарной климатической системы является индекс Эль-Ниньо — Южного колебания, отражающий степень и фазу развития явления Эль-Ниньо в экваториальной области Тихого океана. Влияние явления ЭНЮК на климат и формирование экстремальных событий в разных районах планеты общепризнано, но степень обусловленности им климата умеренных и полярных широт еще далеко не полностью исследована. Считается, что это самый большой и наиболее важный сигнал в межгодовой климатической изменчивости в системе океан–атмосфера, наблюдаемый регулярно каждые 2–7 лет, а его последствия проявляются в виде значимых климатических аномалий в различных районах земного шара [Wolter and Timlin, 2011]. Идентификация явления ЭНЮК осуществляется в основном по среднемесячным данным приземного давления (индекс SOI) или среднемесячных аномалий температуры поверхности в экваториальном районе Тихого океана (индексы Эль-Ниньо и Ла-Нинья). Индекс SOI представляет стандартизированную разность нормализованных среднемесячных аномалий давления на станциях Таити и Дарвин.

ЭНЮК как крупномасштабное колебание температуры воды на поверхности в экваториальной части Тихого океана сопровождается значительной перестройкой атмосферной циркуляции в тропической зоне и за ее пределами, выбросом огромного количества тепла и влаги в атмосферу и оказывает существенное влияние на климат и погоду многих регионов земной поверхности [Железнова, Гущина, 2016]. Явление Эль-Ниньо связано с прекращением действий пассатов, постоянно дующих восточных ветров, к югу и северу от экватора. Они сгоняют воду от берегов Южной Америки, в результате здесь образуется зона интенсивного подъема промежуточных вод на поверхность, которые формируют холодное Перуанское течение, направленное вдоль экватора на запад. На противоположной стороне океана у о-вов Индонезии накапливается огромная масса теплой воды, часть которой, испаряясь, поднимается вверх, образуя мощную облачность в нижней и верхней тропосфере. В верхней тропосфере ветер имеет обратное направление, т.е. с запада на восток. Несущий воздух постепенно охлаждается и на

востоке океана опускается к земле, где пассатами переносится в обратное направление. Такую схему движения воздушных масс Бьеркнес [Bjerknes, 1969] назвал «циркуляцией Уолкера» (рис. 2) в честь основателя понятия «южная осцилляция», которая характеризуется разностью приземного атмосферного давления между о. Таити и г. Дарвин на севере Австралии. Обычно атмосферное давление на востоке океана выше, чем на западе, что является основной причиной возникновения «циркуляции Уолкера». В период Ла-Нинья теплая область на западе океана смещается еще дальше на запад. В толще океана также возникает похожая циркуляция, но с обратным знаком. При этом происходит подъем промежуточных вод на востоке и опускание на западе, приводящие к наклону термоклина обратно наклону уровня поверхности океана.

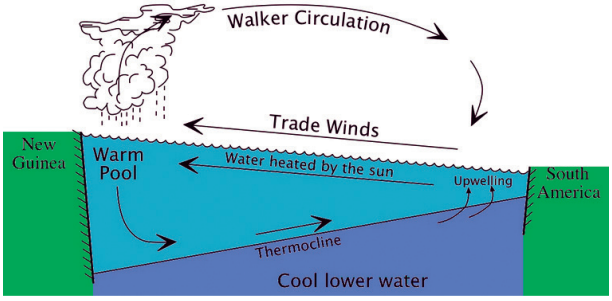

Рис. 2. «Циркуляция Уолкера» в обычном режиме (http://charlie.weathertogether.net/library/earths-climate-system/el-nino-southern-oscillation)

Fig. 2. Walker circulation in its normal regime (http://charlie.weathertogether.net/library/earths-climate-system/el-nino-southern-oscillation)

В определенный момент уровень океана на западе становится выше 60 см, пассаты резко ослабевают, приземное давление между Таити и Дарвином выравнивается или даже меняет знак. «Циркуляция Уолкера» меняет свое направление, приземный ветер дует уже с запада на восток. Накопившаяся на западе океана масса теплой воды устремляется на восток до берегов Южной Америки, холодное Перуанское течение исчезает, на его месте формируются положительные (до 4–5 °С) аномалии температуры относительно среднего значения порядка 25 °С. Так возникает Эль-Ниньо. После того как Эль-Ниньо прекращает свое действие, развивается противоположная фаза — Ла-Нинья, когда температура воды на поверхности восточной части Тихого океана становится ниже нормы на 5 °С (http://meteoweb.ru/2015/aao005.php).

В период Эль-Ниньо перекрывается знаменитый Перуанский апвеллинг — подъем к поверхности глубинных вод, богатых элементами минерального питания. Нехватка этих элементов (прежде всего азота и фосфора) приводит к резкому сокращению продукции фитопланктона, служащего основой всей пищевой цепи океанической экосистемы. В конце концов катастрофически падают уловы анчоуса и других рыб. Но последствия Эль-Ниньо не ограничиваются прибрежными районами Южной Америки, а затрагивают тропическую зону всего Земного шара. И если в некоторых пустынных районах Южной Америки в годы Эль-Ниньо выпадают обильные осадки, то в районах, примыкающих к западной части Тихого океана, наблюдается сильнейшая засуха. В период Ла-Нинья на значительной территории Южного полушария устанавливается более прохладная и влажная погода.

В 2000-е гг. вместо канонического Эль-Ниньо с повышенной положительной аномалией температуры воды на восточной окраине океана стали преобладать случаи высокой температуры в центральной экваториальной части Тихого океана [Степанов, 2016]. Такое явление получило название Эль-Ниньо Модоки [Ashok et al., 2007], или ЭНЮК Модоки. Модоки — японское слово, и оно переводится как «похожее, но другое», т.е. это, конечно, Эль-Ниньо, но совсем другое. Этот феномен связан с раздвоением «циркуляции Уолкера» на западный круговорот, где движение воздуха происходит против часовой стрелки, и восточный круговорот, где движение воздуха — по часовой стрелке. На месте встречи западного и восточного ветров в центральной части океана накапливается огромная масса теплых вод, часть которых, испаряясь, поднимается вверх, образуя мощные облака. При этом на западной и восточной окраинах экваториальной части Тихого океана заметно прохладнее.

До 2000-х гг., когда высокие положительные аномалии накапливались на востоке океана, основными показателями Эль-Ниньо и Ла-Нинья были аномалии в области Nino 1+2 (экватор — 10° ю.ш. 90–80° з.д.). Но с появлением ЭНЮК Модоки их главными показателями приняты аномалии в Nino 3.4 (5° с.ш — 5° ю.ш. 170–120° з.д.). За пороговые значения Эль-Ниньо и Ла-Нинья приняты соответственно ≥ +0,5 °С и ≤ –0,5 °С [Петросянц, Гущина, 2002].

Считается [Ashok et al., 2007], что Эль-Ниньо Модоки более значим для северной части Тихого океана, Дальнего Востока и западного побережья Северной Америки, чем просто ЭНЮК, оказывающий основное влияние на климат Южного полушария.

В фазу Эль-Ниньо происходит ослабление зональных западных и юго-западных потоков над северо-западной частью Тихого океана и Дальним Востоком [Бышев и др., 2014], увеличивается повторяемость вторжений холодного воздуха с севера, способствующих понижению температуры воздуха и установлению периодов холодной погоды. В арктическом бассейне в зимние месяцы усиливается полярный антициклон, больше, чем обычно, развита Алеутская депрессия, сибирский антициклон ослабевает.

В последние годы все большее распространение получил интегрально-многомерный индекс Эль-Ниньо — Южного колебания (MEI_ENSO), основанный на полях 6 наблюдаемых параметров в тропической части Тихого океана: приземного давления, зональной и меридиональной компоненты приповерхностного ветра, ТПО, температуры воздуха и общей облачности [Wolter and Timlin, 1998]. MEI_ENSO рассчитывается как коэффициент первой компоненты при разложении всего комплекса этих шести наблюдаемых полей по главным компонентам.

Тихоокеанское декадное колебание (Pacific Decadal Oscillation) — это климатическое явление, наблюдаемое преимущественно в северной части Тихого океана, но его влияние распространяется далеко за ее пределы. Являясь доминирующей формой изменчивости температуры воды, оно отражает ряд важных физических процессов в океане, а индекс этого колебания — один из основных климатических индексов для всего Тихого океана и части Арктики. Его природа тесно связана как с тропическими, так и с внетропическими взаимодействиями океана и атмосферы, через которые проявляются временные масштабы, свойственные ТДК [Capotondi and Alexander, 2001; Newman et al., 2016].

Первые авторы [Mantua et al., 1997] представили ТДК как главную компоненту (первую моду) разложения среднемесячной аномалии температуры воды на поверхности северной части Тихого океана от 20 до 70° с.ш., т.е. включая дальневосточные моря России, по естественным ортогональным функциям (ЕОФ). Индекс ТДК — проекция среднемесячного поля аномалий температуры на базовую (среднюю за определенный период лет) структуру с последующей нормировкой. В многолетнем ряде выделяются положительные и отрицательные фазы ТДК длиной 20–30 лет, что послужило основанием для названия «декадное колебание» [Hare, 1996]. Эти фазы могут прерываться короткими (1–3 года) периодами противоположного знака аномалий, которые не играют существенной роли в общем устойчивом состоянии системы океан–атмосфера всей северной части Тихого океана. В ряде случаев положительные и отрицательные фазы приравниваются к теплым и холодным периодам, согласно терминологии, принятой в исследованиях, связанных с изучением влияния изменчивости теплового состояния прибрежных вод Северной Америки на биомассу местных лососей. Действительно, при положительных фазах ТДК вдоль Северной Америки появляется полоса теплых вод, тогда как в остальных частях северной части Тихого океана, включая обширную центральную область, преобладают отрицательные аномалии температуры (рис. 3). Отрицательная фаза показывает преобладание положительных аномалий во всей северной части Тихого океана, и только у побережья Северной Америки устанавливаются холодные условия.

Приведенный здесь рис. 3 достаточно условен и соответствует скорее идеальным условиям преобладания фаз ТДК. В реальности на эту картину накладываются другие, не менее мощные природные силы, которые существенно меняют термическую структуру. В первую очередь — ЭНЮК, у которого временные периоды изменчивости более короткие и не совпадают с ТДК. При сильных Эль-Ниньо и Ла-Нинья структура ТДК заметно изменяется, но знак полярности между востоком и центром северной части

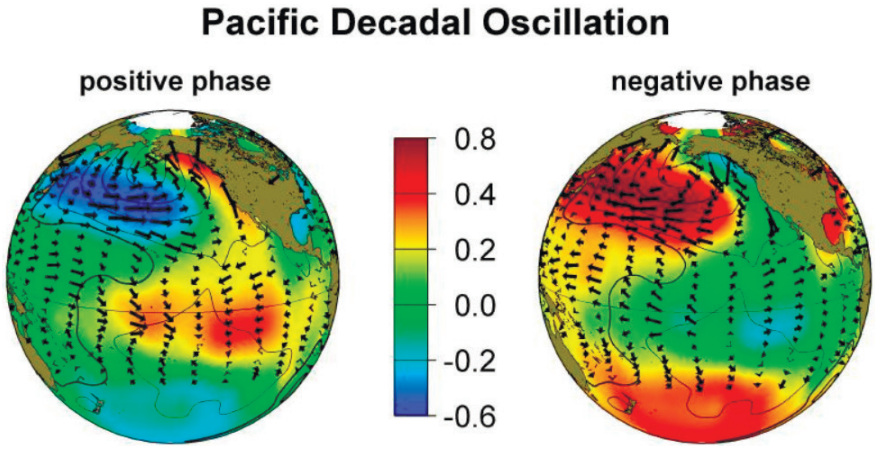

Рис. 3. Типичные среднезимние аномалии температуры воды (*показаны цветом*), приземного атмосферного давления (*контурные линии*) и напряжения ветра (*стрелки*) в Тихом океане при положительной (**слева**) и отрицательной (**справа**) фазах ТДК (http://www.jisao.washington.edu/pdo/)

Fig. 3. Typical winter patterns of sea surface temperature (*colors*), sea level pressure (*contours*), and wind stress at the sea surface (*arrows*) anomalies in the Pacific during warm (**left**) and cool (**right**) phases of Pacific Decadal Oscillation (http://www.jisao.washington.edu/pdo/)

Тихого океана сохраняется [Newman et al., 2016]. Однако влияние ТДК на ЭНЮК не столь существенно.

Существует несколько однонаправленных режимов PDO — холодный в 1890–1924 и 1947–1976 гг. и теплый — в 1925–1946 и 1977–1997 гг. Минобе [Minobe, 1999] выявил две основных периодичности в ходе индексов PDO — квазидвадцатилетнюю и с масштабом 50–70 лет.

Обычно рассматриваются три периода для ТДК: зимний (декабрь-февраль), летний (июнь-август) и годовой (январь-декабрь). В целом они совпадают, но могут различаться в отдельные периоды лет, что следует иметь в виду при сравнении с выбранными природными параметрами.

Индекс Алеутской депрессии (Aleutian Low Pressure Index). Центр Алеутского минимума (АМ) обычно располагается над Алеутскими островами. Он начинает формироваться в осенние месяцы, зимой с повышением активности тихоокеанских циклонов и увеличением контрастности между температурой воздуха и поверхностью океана заметно интенсифицируется, весной начинает ослабевать, а в начале лета полностью разрушается. Он занимает огромное пространство и в течение холодного полугодия оказывает сильное влияние на гидрометеорологические условия северной части Тихого океана, а также Охотского и Берингова морей.

Интенсивность АМ, т.е. уровень атмосферного давление в нем и площадь распространения, из года в год сильно меняется, что дало основание для использования его характеристик в качестве показателя межгодовых колебаний в нижней тропосфере северной части Тихого океана. Для этого были рассчитаны индексы АМ (ИАД) [Beamish, Bouillon, 1993], определена площадь (км^2) территории северной части Тихого океана, покрытая изобарой менее 1005 мбар. Beamish, Bouillon [1993] не объясняют выбор данной величины. По всей видимости, с 1900 г. это была самая высокая величина приземного давления (кратная 5 мбар), всегда имевшая замкнутый контур в заданной авторами области исследования: между 20 и 70° с.ш. и между 120° в.д. и 120° з.д. Были посчитаны площади для зимы (декабрь-февраль) и весны (март-май), которые затем суммировались для окончательного определения индекса.

Позднее Бимиш с соавторами [Beamish et al., 1999] за индекс приняли аномалии площадей. При этом аномалии рассчитывались относительно средней площади за 1950–1997 гг., т.е. с начала получения многочисленных инструментальных данных по приземному давлению в северной части Тихого океана с проходящих судов. Средняя площадь

территории, оконтуренная изобарой 1005 мбар, составила 5 524 183 км^2 [Surry and King, 2015]. За индекс принимали разницу между данными конкретного года и средней величиной в миллион квадратных километров. Например, в 2010 г. размер площади составил 9 606 800 км^2. Определим индекс года: (9 606 800 – 5 524 183)/10^6, что составляет 4,08.

С 1950 по 2015 г. индекс менялся в пределах –4,58 ÷ 6,69, т.е. диапазон размеров площадей превышает 11 млн км^2, что в два раза превосходит среднюю многолетнюю величину.

Выявлено [Кинг и др., 2006], что в периоды усиления АМ увеличивается повторяемость зональных и меридиональных процессов второго типа по классификации А.А. Гирса [1971]. При этом траектории зимних циклонов проходят вдоль Алеутских островов с частыми вторжениями глубоких циклонов в Охотское море. На перифериях циклона усиливаются южные и восточные ветра, что способствует поступлению теплых вод продолжения Куросио и субтропиков на север. В периоды ослабления АМ увеличивается повторяемость меридиональной циркуляции первого типа, когда траектории циклонов проходят южнее Алеутских островов. Усиливается поступление арктического воздуха на акватории Берингова и Охотского морей.

Индекс Сибирского антициклона (Siberian High Index). Сибирский (Азиатский) антициклон (СА) — обширная область высокого давления, которая находится над Центральной Азией, Монголией и Сибирью в течение всего зимнего периода (рис. 4) главным образом вследствие сильного охлаждения материка. Он начинает формироваться в октябре и сохраняется до конца апреля [Lydolph, 1977]. Среднее давление в центре Азиатского антициклона в январе превышает 1030 мбар, в некоторых случаях может доходить до 1050 мбар.

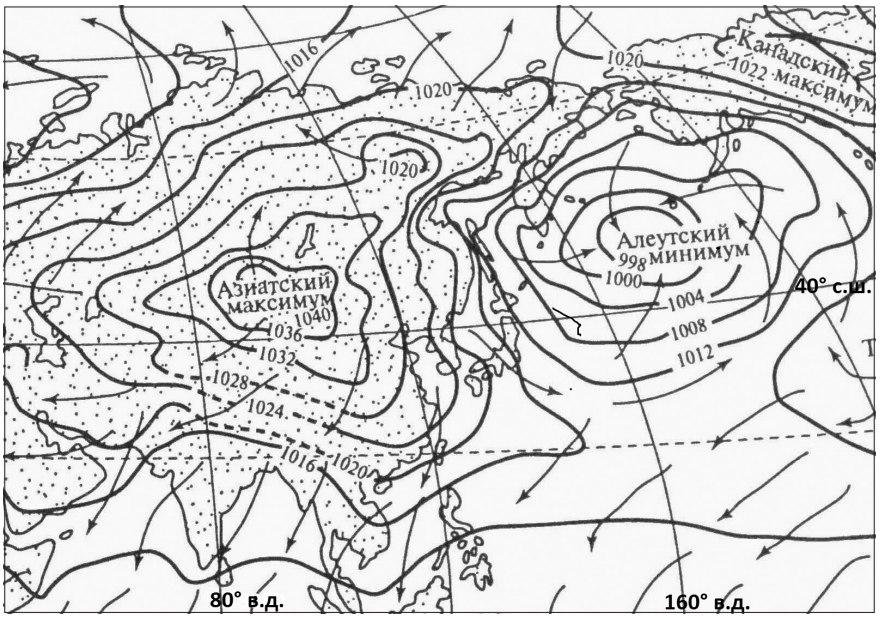

Рис. 4. Область распространения Сибирского (Азиатского) антициклона и среднемноголетнее положение его центра в январе (https://studfiles.net/preview/6456088/)

Fig. 4. The Siberian (Asian) High area and normal position of its center in January (https://studfiles.net/preview/6456088/)

СА приносит очень холодную, малооблачную и, следовательно, малоснежную зиму во внутриматериковые районы Азии. Из-за географической среды (горы Азии) холодный воздух не может разойтись, что приводит к еще большему его охлаждению, температура около поверхности земли опускается до 60 °С ниже нуля. Влияние СА распространяется далеко на восток, включая дальневосточные моря России. В летние периоды на смену антициклону приходит Азиатская депрессия.

Есть разные способы определения его индекса. Первый способ — точечный со снятием приземного давления в центре антициклона [Sahsamanoglou et al., 1991; Мохов, Петухов, 2000; Khen et al., 2013]; второй — площадной, когда определяется среднее

давление в фиксированной области [Panagiotopoulos et al., 2005; Hasanean et al., 2013; Шатилина и др., 2014]. При точечной фиксации центра антициклона возможны большие ошибки, связанные с использованием различных архивов данных по приземному давлению. Результаты даже могут противоречить друг другу. Например, согласно работам И.И. Мохова и В.К. Петухова [2000] после 1960 г. СА интенсифицируется, тогда как у Sahsamanoglou с соавторами [1991] после 1970 г. он ослабевает. По данным Г.В. Хена с соавторами [Khen et al., 2013] падение давления в центре СА началось с 1950-х гг., а после 2000-х гг. наметился его рост.

Площадная оценка приземного давления более реально отражает межгодовую изменчивость СА независимо от используемого архива данных. Эксперименты, приведенные в двух публикациях [Panagiotopoulos et al., 2005; Hasanean et al., 2013] с четырьмя разнородными архивами, показали, что коэффициенты корреляции между ними превышают 0,80, т.е. кривые изменчивости практически полностью совпадают, соответственно, трендовые составляющие в них одинаковые.

В обеих публикациях один общий архив данных [Trenberth and Paolino, 1980] с продолжением, который и стал базовым для них. Учитывая большой разброс центра СА в пространстве — по широте от 43 до 57° с.ш. и по долготе от 87 до 113° в.д., — В.И. Бабкин с соавторами [2005] рассчитали индекс для трапеции с координатами 40–65° с.ш. 80–120° в.д.

В настоящее время, к большому сожалению, все ряды прерваны, и унифицированный ИСА, как для других климатических характеристик атмосферы, отсутствует.

Тихоокеанский-Североамериканский индекс (Pacific-North American Pattern) характеризует четыре центра в средней тропосфере [Wallace and Gutzler, 1981]. Один из них расположен возле Гавайских островов (20° с.ш. 160° з.д.), второй — над северной частью Тихого океана (45° с.ш. 165° з.д.), третий — над провинцией Альберта в Канаде (55° с.ш. 115° з.д.), а четвертый — над побережьем Мексиканского залива в США (30° с.ш. 85° з.д.). Индекс определяется по формуле

$$\text{ТСАИ} = \tfrac{1}{4}\,[z(20^\circ\,\text{N}, 160^\circ\,\text{W}) - z(45^\circ\,\text{N}, 165^\circ\,\text{W}) + z(55^\circ\,\text{N}, 115^\circ\,\text{W}) - z(30^\circ\,\text{N}, 85^\circ\,\text{W})],$$

где z — нормализованная аномалия геопотенциальных высот поверхности 500 мбар, т.е. отклонение от среднего значения, деленное на стандартное отклонение. ТСАИ наиболее репрезентативен в холодную половину года [Barnston, Livezey, 1987] и может быть заметен в течение нескольких лет подряд. ТСАИ характеризует конфигурацию геопотенциального поля средней тропосферы (500 мбар) северной части Тихого океана и Северной Америки. При положительной фазе Тихоокеанского-Североамериканского (ТСА) колебания над Тихим океаном устанавливаются большие отрицательные аномалии давления, соответственно зимой Алеутский минимум углубляется. Восточно-Азиатское струйное течение усиливается и глубоко проникает в сторону США. Важным моментом является поле высокого давления вдоль западного побережья Северной Америки при отрицательной фазе этого колебания. При этом Алеутский минимум ослабевает, Восточно-Азиатское струйное течение, замедляясь, сильно разветвляется над центральной частью Тихого океана, а иногда может даже повернуть в обратном направлении.

Несмотря на ограниченную пространственную протяженность, ТСАИ характеризует режим низкочастотной изменчивости с периодом более 10 сут [Галин, 2007] во внетропических районах всего Северного полушария [Wallace and Gutzler, 1981]. Атмосферные процессы такого временного масштаба составляют значительную часть суммарной изменчивости атмосферной циркуляции и обнаруживаются во всех широтных зонах.

Валлес и Гютцлер [Wallace and Gutzler, 1981] построили карты одноточечных корреляций (каждая точка четырех центров, указанных выше, с каждой точкой сетки 5 × 5° Северного полушария) по среднемесячным данным геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 мбар и обнаружили, что эти корреляции не представляют собой хаос или монотонно убывающие функции от расстояний, а имеют вид стоячих крупномасштабных волн с фиксированными узлами и пучностями, т.е. показывают закономерную картину геопотенциального поля. На этом основании они построили карту приземного давления в теплую (положительную) и холодную (от-

рицательную) фазы ТСА колебания (рис. 5). На них обнаруживается более высокое давление над Тихим океаном и западным побережьем Северной Америки в холодную фазу и противофазность между Алеутским и Исландским минимумами. В теплую фазу меняется знак противофазности между Алеутским и Исландским минимумами, а над Тихим океаном устанавливается пониженное давление.

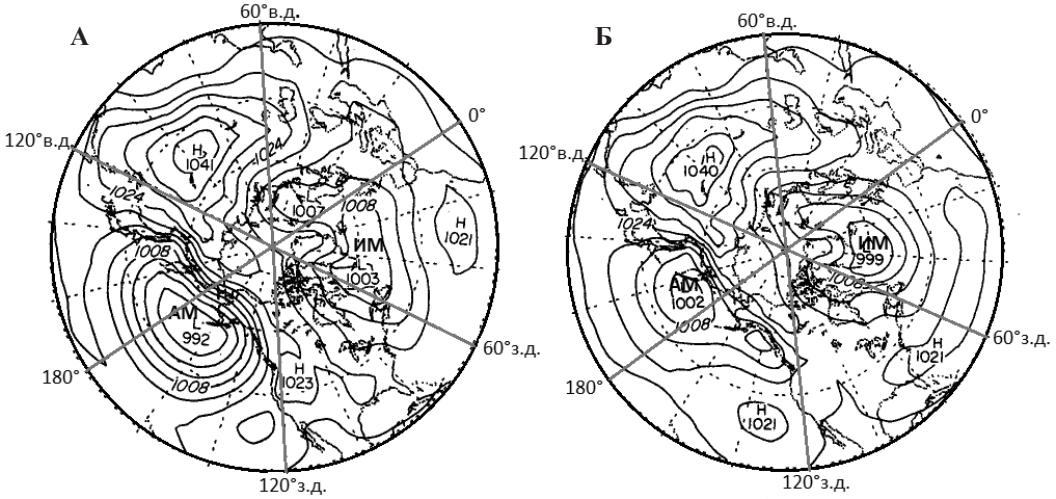

Рис. 5. Приземное давление в положительную (**А**) и отрицательную (**Б**) фазы Тихоокеанского-Североамериканского колебания зимой [Wallace and Gutzler, 1981]: *АМ* — Алеутский минимум; *ИМ* — Исландский минимум

Fig. 5. Sea level pressure in winter during positive (**А**) and negative (**Б**) phases of Pacific/North American oscillation: *АМ* — Aleutian Low; *ИМ* — Icelandic Low [from: Wallace and Gutzler, 1981]

Несмотря на то что влияние ТСА колебания в значительной степени распространяется на территорию Северной Америки, его опосредованная роль может быть заметна и на Дальнем Востоке России. Так, влияние данного колебания проявляется в полях температуры на Чукотке зимой и весной [Киктев и др., 2015]. При этом в случае положительной (отрицательной) фазы отмечаются отрицательные (положительные) аномалии температуры воздуха.

Считается [Renshaw et al., 1998], что особую роль в формировании ТСА колебания играет ЭНЮК. Положительная фаза этого колебания проявляется в период умеренных эпизодов Эль-Ниньо, тогда как отрицательные фазы — в периоды Ла-Нинья.

Северо-Тихоокеанский индекс (North Pacific Index). ТСАИ основан на анализе четырех далеко удаленных друг от друга точек, а не всей сеточной информации, не лишен недостатка и, как считают Треберс и Харрел [Trenberth, Hurrell, 1994], чувствителен к ошибкам. Поэтому они ввели, по их мнению, более надежный и простой индекс для северной части Тихого океана — СТИ. Он рассчитывается по средневзвешенному приземному давлению в области, ограниченной широтой 30–65° с.ш. и долготой 160° в.д. — 140° з.д. Такой выбор авторы обосновывают тем, что эта область более надежно показывает десятилетние изменения атмосферы в северной части Тихого океана. Временные ряды СТИ отражают изменения Алеутского минимума, т.е. имеется сходство с ИАД, что вполне объяснимо, учитывая их построение на основе приземного давления, но разными методами.

Наиболее информативен СТИ в зимние месяцы (ноябрь-март), когда над северной частью Тихого океана устанавливается поле пониженного давления. В другие месяцы года он характеризует динамику субтропического (Гавайского) антициклона, поэтому на практике не используется.

Западно-Тихоокеанский индекс (West Pacific Pattern). Западно-Тихоокеанское колебание представляет собой ориентированный в меридиональном направлении диполь, т.е. две области с противоположными знаками аномалий, расположенный на западе северной части Тихого океана [Wallace and Gutzler, 1981]. Центры действия

для этого колебания расположены один в умеренной зоне над зал. Шелихова, другой, противоположного знака, — в субтропической зоне Тихого океана, и имеют следующие координаты: J (60° с.ш. 155° в.д.), K (30° с.ш. 155° в.д.).

Первоначально [Wallace and Gutzler, 1981] индекс Западно-Тихоокеанского колебания (ЗТИ) рассчитывался по формуле

$$I_{WP} = ½[z(J) – z(K)],$$

где z — нормализованное значение геопотенциальной высоты H = 500 мбар.

В настоящее время эти индексы рассчитываются на регулярной основе Центром климатических прогнозов США с использованием метода главных компонент для полей геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 мбар как временные коэффициенты главной моды.

Положительная фаза Западно-Тихоокеанского колебания (высокое давление на севере и низкое на юге) сопровождается ослаблением Алеутского минимума и ослаблением восточноазиатского (над Японией) струйного течения на западе северной части Тихого океана. В случае отрицательной фазы колебания — картина обратная.

Положительная фаза Западно-Тихоокеанского колебания сопровождается более высокими температурами на южных широтах западной части северной половины Тихого океана как зимой, так и весной, а также пониженными — над Восточной Сибирью в любое время года. В высоких широтах северной части Тихого океана во все времена года интенсивность осадков выше среднего, а в центральной части — ниже среднего, особенно зимой и весной.

ЗТИ важен для Дальнего Востока, так как в значительной степени отражает состояние Дальневосточной высотной ложбины, которая во многом «дирижирует» основными процессами теплообмена системы океан–атмосфера в этом регионе. Знак индекса ЗТИ свидетельствует о широтном сдвиге траекторий циклонов к северу (+ЗТИ) или югу (–ЗТИ) от их среднего положения [Ueno, 1993].

В случае положительных (отрицательных) значений ЗТИ в полях температуры отмечаются положительные (отрицательные) аномалии на Чукотке, в Магаданской области и на Камчатке [Киктев и др., 2015]. В полях осадков сигнал прослеживается лишь в летний период на юге Дальнего Востока. При этом в случае положительной (отрицательной) фазы этого колебания, которая сопровождается ослаблением (усилением) тихоокеанского максимума, в данном регионе отмечается избыточное увлажнение (дефицит осадков).

Заключение

Рассмотренные климатические индексы отражают многие крупномасштабные и региональные атмосферные и океанические процессы в северном полушарии. Они имеют существенное значение для исследования климата северной части Тихого океана и могут быть полезны при отслеживании состояния и изменчивости природных условий отдельных областей суши и океана. В данном обзоре были сделаны описания физической природы и механизмов этих индексов, указаны их география, способы определения и первые упоминания. В таблице эта информация представлена в компактном виде.

Климат постоянно меняется, порой быстро, а зачастую неожиданно, что определяет необходимость усиления исследования проблемы его изменчивости. Наблюдения за климатом по регионам показывают, что региональные изменения и колебания могут быть значительнее, чем глобальные [Панин и др., 2008]. Например, рост среднегодовой температуры воздуха и воды отмечается практически во всей северной части Тихого океана и прилегающих областей азиатского и американского материков, однако из-за огромной протяженности и большого разнообразия природных условий климатические изменения проявляются неравномерно по различным регионам и сезонам.

В следующих частях работы мы проведем исследования взаимосвязи климатических индексов и роли крупномасштабных мод климатической изменчивости в формировании термических условий и ледовитости дальневосточных морей России и отдельных областей северной части Тихого океана.

Характеристика основных климатических индексов для северной части Тихого океана
Characteristics of the principal climate indices for the North Pacific

Индекс	Физический смысл	Методика расчета	Период	Источники обновляемых данных (на 25.02.2019)
АК — индекс Арктического колебания	Характеризует основной тип изменчивости атмосферной циркуляции Северного полушария — зональную и меридиональную форму. Отражает состояние тропосферы и стратосферы	Временные коэффициенты 1-й моды EOF геопотенциальной высоты поверхности 1000 мбар в зоне 20–90° с.ш.	1950–2018	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii.table
ЭНЮК — индекс Эль-Ниньо — Южного колебания	1) комплексный индекс на базе 6 параметров (приземное давление, зональная и меридиональная компоненты ветра, ТПО, температура воздуха, облачность) в тропической зоне Тихого океана (MEI); 2) характеризует степень аномальности термических условий в тропической части Тихого океана	1) временные коэффициенты 1-й компоненты при разложе-нии шести полей по главным компонентам; 2) средняя ТПО по району 5° с.ш. — 5° ю.ш. 170–120° з.д.	1950–2018 1870–2018	https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nino34.long.anom.data
ТДК — индекс Тихоокеанского колебания	Доминирующая мода изменчивости температуры воды на поверхности северной части Тихого океана	Временные коэффициенты 1-й моды EOF ТПО северной части Тихого океана (к северу от 20° с.ш)	1900–2018	https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Data/pdo.long.data
ИАД — индекс Алеутской депрессии	Характеризует интенсивность Алеутской депрессии с декабря по март. Положительные значения индекса соответствуют периоду интенсификации Алеутской депрессии	Аномалия площади с приземным атмосферным давлением ≤ 1005 мбар	1950–2015	http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/documents/data-donnees/climatology-climatologie/alpi-eng.txt
ИСА — индекс Сибирского антициклона	Характеризует интенсивность развития Сибирского антициклона в холодный период года	Среднее атмосферное давление для трапеции с координатами 40–65° с.ш. 80–120° в.д., осредненное за декабрь-февраль	1950–2018	Рассчитан нами самостоятельно по «площадной» методике, изложенной Hasanean с соавторами [2013] с использованием обновляемых данных NCEP о приземном давлении
ТСАИ — Тихоокеанский-Североамериканский индекс	Четырехцентровая мода изменчивости аномалий высоты 500 мбар поверхности с аномалиями одного знака южнее Алеутских островов и над юго-востоком США и противоположного знака — над Гавайями и центром Канады	PNA = ¼ [z(20° N, 160° W) – z(45° N, 165° W) + + z(55° N, 115° W) – z(30° N, 85° W)], где z — нормированная аномалия геопотенциала высоты поверхности 500 мбар	1950–2018	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.pna.monthly.b5001.current.ascii.table
СТИ — Северо-Тихоокеанский индекс	В холодный период года отражает интенсивность Алеутского минимума, в теплый — Гавайского максимума	Средневзвешенное по району 30–65° с.ш. 160° в.д. — 140° з.д. атмосферное давление	1900–2018	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/np.data
ЗТИ — Западно-Тихоокеанский индекс	Характеризует основную изменчивость поля геопотенциальных высот поверхности 500 мбар в виде диполя — областей с противоположными знаками аномалий, расположенных в умеренной зоне над зал. Шелихова и на западе в субтропической зоне	Временные коэффициенты главной моды полей геопотен-циальных высот изобарической поверхности 500 мбар (с использованием метода главных компонент)	1950–2018	ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/wp_index.tim

Благодарности

Авторы выражают благодарность 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 д-ру биол. наук Е.П. Дулеповой (ТИНРО) за полезное обсуждение и конструктивные замечания.

Финансирование работы

Работа выполнена согласно Государственному заданию № 076-005-19-00 Федерального агентства по рыболовству.

Соблюдение этических стандартов

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

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.

Бышев В.И., Нейман В.Г., Пономарев В.И. и др. Роль глобальной атмосферной осцилляции в формировании климатических аномалий Дальневосточного региона России // ДАН. — 2014. — Т. 458, № 1. — С. 92–96. DOI: 10.7868/S0869565214250148.

Галин М.Б. Исследование низкочастотной изменчивости общей циркуляции атмосферы с помощью временных эмпирических ортогональных функций // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2007. — Т. 43, № 1. — С. 18–27.

Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы : моногр. — Л. : Гидрометеоиздат, 1971. — 280 с.

Железнова И.В., Гущина Д.Ю. Аномалии циркуляции в центрах действия атмосферы в период восточно-тихоокеанского и центрально-тихоокеанского Эль-Ниньо // Метеорол. и гидрол. — 2016. — № 11. — С. 41–55.

Киктев Д.Б., Круглова Е.Н., Куликова И.А. Крупномасштабные моды атмосферной изменчивости: Часть I. Статистический анализ и гидродинамическое моделирование // Метеорол. и гидрол. — 2015. — № 3. — С. 5–22.

Кинг Дж., Иванов В.В., Курашов В. и др. Индекс общей циркуляции атмосферы над северной частью Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 145. — С. 220–227.

Крыжов В.Н., Горелиц О.В. Арктическая осцилляция и ее влияние на температуру и осадки в Северной Евразии в XX в. // Метеорол. и гидрол. — 2015. — № 11. — С. 5–19.

Мордвинов В.И., Иванова А.С., Девятова Е.В. Возбуждение Арктической и Антарктической осцилляций крутильными колебаниями // Солнечно-земная физика. — 2009. — Вып. 13. — С. 55–65.

Мохов И.И., Петухов В.К. Центры действия в атмосфере и тенденции их изменения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2000. — Т. 36, № 3. — С. 321–329.

Панин Г.Н., Выручалкина Т.Ю., Соломонова И.В. Анализ климатических тенденций в высоких широтах Северного полушария // Изв. РАН. Сер. Геогр. — 2008. — № 6. — С. 31–41.

Петросянц М.А., Гущина Д.Ю. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья // Метеорол и гидрол. — 2002. — № 8. — С. 24–35.

Степанов В.Н. О вероятной причине изменения характеристик Эль-Ниньо в 2000-е годы // Метеорол. и гидрол. — 2016. — № 11. — С. 22–40.

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.

Ashok K., Behera S.K., Rao S.A. et al. El Niño Modoki and its possible teleconnection // J. Geophys. Res. — 2007. — Vol. 112, C11007. DOI: 10.1029/2006JC003798.

Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. — 1987. — Vol. 115. — P. 1083–1126. DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2.

Beamish R.J., Bouillon D.R. Pacific salmon production trends in relation to climate // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1993. — Vol. 50, № 5. — P. 1002–1016.

Beamish R.J., Noakes D.J., McFarlane G.A. et al. The regime concept and natural trends in the production of Pacific salmon // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1999. — Vol. 56, № 3. — P. 516–526.

Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific // Mon. Wea. Rev. — 1969. — Vol. 97, № 3. — P. 163–172. DOI: 10.1175/1520-0493(1969)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2.

Capotondi A. and Alexander M.A. Rossby waves in the tropical North Pacific and their role in decadal thermocline variability // J. of Physical Oceanography. — 2001. — Vol. 31. — P. 3496–3515. DOI: 10.1175/1520-0485(2002)031<3496:RWITTN>2.0.CO;2.

Hare S.R. Low frequency climate variability and salmon production. — Seattle, 1996. — 306 p.

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, Iss. 7–8. — P. 2003–2018. DOI: 10.1007/s00382-012-1657-9.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1996. — Vol. 77, № 3. — P. 437–472. DOI: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2.

Khen G.V., Basyuk E.O., Vanin N.S., Matveev V.I. Hydrography and biological resources in the western Bering Sea // Deep-Sea Res. II. — 2013. — Vol. 94. — P. 106–120. DOI: 10.1016/j.dsr2.2013.03.034.

Lydolph P.E. Climate of the Soviet Union : World Survey of Climatology. — Amsterdam ; N.Y. : Elsevier Scientific Publishing Company, 1977. — Vol. 7. — 443 p.

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.

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.

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

Overland J.E., Adams J.M., Bond N.A. Decadal variability of the Aleutian Low and its relation to high-latitude circulation // J. Climate. — 1999. — Vol. 12. — P. 1542–1548. DOI: 10.1175/1520-0442(1999)012<1542:DVOTAL>2.0.CO;2.

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. — P. 1411–1422. DOI: 10.1175/JCLI3352.1.

Renshaw A.C., Rowell D.P., Folland C.K. Wintertime Low-Frequency Weather Variability in the North Pacific–American Sector 1949–93 // J. Climate. — 1998. — Vol. 11. — P. 1073–1093. DOI: 10.1175/1520-0442(1998)011<1073:WLFWVI>2.0.CO;2.

Sahsamanoglou H.S., Makrogiannis T.J., Kallimopoulos P.P. Some aspects of the basic characteristics of the Siberian anticyclone // Int. J. Climatol. — 1991. — Vol. 11, Iss. 8. — P. 827–839. DOI: 10.1002/joc.3370110803.

Surry A.M. and King J.R. A new method for calculating ALPI: the Aleutian low pressure index : Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. — 2015. — № 3135. — 31 p.

Thompson D.W.J., Wallace J.M., Hegerl G.C. Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends // J. Climate. — 2000. — Vol. 13, № 5. — P. 1018–1036. DOI: 10.1175/1520-0442(2000)013<1018:AMITEC>2.0.CO;2.

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.

Trenberth K.E., Hurrell J.W. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific // Climate Dynamics. — 1994. — Vol. 9, Iss. 6. — P. 303–319. DOI: 10.1007/BF00204745.

Trenberth K.E. and Paolino D.A. The Northern Hemisphere Sea-Level Pressure Data Set: Trends, Errors and Discontinuities // Mon. Wea. Rev. — 1980. — Vol. 108, № 7. — P. 855–872. DOI: 10.1175/1520-0493(1980)108<0855:TNHSLP>2.0.CO;2.

Ueno K. Inter-annual variability of surface cyclone tracks, atmospheric circulation patterns, and precipitation patterns, in winter // J. Meteor. Soc. Japan. — 1993. — Vol. 71, № 6. — P. 655–671. DOI: 10.2151/jmsj1965.71.6_655.

Wallace J.M. and Gutzler D.S. Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter // Mon. Wea. Rev. — 1981. — Vol. 109, № 4. — P. 784–812. DOI: 10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2.

Wolter K. and Timlin M.S. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext) // Int. J. Climatol. — 2011. — Vol. 31, Iss. 7. — P. 1074–1087. DOI: 10.1002/joc.2336.

Wolter K. and Timlin M.S. Measuring the strength of ENSO events: How does 1997/98 rank? // Weather. — 1998. — Vol. 53, Iss. 9. — P. 315–324. DOI: 10.1002/j.1477-8696.1998.tb06408.x.

Wu B.., Wang J. Winter Arctic Oscillation, Siberian High and East Asian Winter Monsoon // Geophys. Res. Lett. — 2002. — Vol. 29, Iss. 19. DOI: 10.1029/2002GL015373.

References

Babkin, V.I., Vorobyev, V.N., and Smirnov, N.P., The Siberian High and its influence on the discharge of the Ob, Yenisei, and Lena, *Meteorol. Gidrol.*, 2005, no. 4, pp. 102–108.

Byshev, V.I., Neiman, V.G., Romanov, Y.A., Serykh, I.V., Ponomarev, V.I., and Tsurikova, T.V., The influence of global atmospheric oscillation on formation of climate anomalies in the Russian Far East, *Dokl. Earth Sci.*, 2014, vol. 458, no. 1, pp. 1116–1120. doi 10.7868/S0869565214250148

Galin, M.B., Study of the low-frequency variability of the atmospheric general circulation with the use of time-dependent empirical orthogonal functions, *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics,* 2007, vol. 43, no. 1, pp. 15–23.

Girs, A.A., *Mnogoletniye kolebaniya atmosfernoi tsirkulyatsii i dolgosrochnye gidrometeorologicheskiye prognozy* (Long-Term Fluctuations of Atmospheric Circulation and Long-Term Hydrometeorological Forecasts), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971.

Zheleznova, I.V. and Gushchina, D.Yu., Circulation anomalies in the atmospheric centers of action during the Eastern Pacific and Central Pacific El Niño, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2016, no. 11–12, pp. 760–769.

Kiktev, D.B., Kruglova, E.N., and Kulikova, I.A., Large-scale modes of atmospheric variability. Part I. Statistical analysis and hydrodynamic modeling, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2015, vol. 40, no. 3, pp. 147–159.

King, J.R., Ivanov, V.V., Kurashov, V., Beamish, R.J., and McFarlane, G.A., An index of general circulation of the atmosphere over the North Pacific, *Izv. Tikhookean. Nauchno–Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 145, pp. 220–227.

Kryzhov, V.N. and Gorelits, O.V., The Arctic Oscillation and its impact on temperature and precipitation in Northern Eurasia in the 20th Century, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2015, vol. 40, no. 11, pp. 711–721.

Mordvinov, V.I., Ivanova, A.S., and Devyatova, E.V., Excitation of Arctic and Antarctic oscillations by torsional oscillations, *Soln.-Zemnasya Fiz.*, 2009, vol. 13, pp. 55–65.

Mokhov, I.I. and Petukhov, V.K., Atmospheric centers of action and tendencies of their change, *Izv., Atmos. Ocean. Phys.*, 2000, vol. 36, no. 3, pp. 292–299.

Panin, G.N., Vyruchalkina, T.Yu., and Solomonova, I.V., Analysis of climatic trends in the high latitudes of the Northern Hemisphere, *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2008, no. 6, pp. 31–41.

Petrosyants, M.A. and Gushchina, D.Yu., Definition of El Niño and La Niña events, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2002, no. 8, pp. 16–24.

Stepanov, V.N., A plausible reason for changes in El Niño parameters in the 2000s, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2016, nos. 11–12, pp. 747–759.

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.

Ashok, K., Behera, S.K., Rao, S.A., Weng, H., and Yamagata, T., El Niño Modoki and its possible teleconnection, *J. Geophys. Res.*, 2007, vol. 112, no. C11007. doi 10.1029/2006JC003798

Barnston, A.G. and Livezey, R.E., Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns, *Mon. Weather Rev.*, 1987, vol. 115, pp. 1083–1126. doi 10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2

Beamish, R.J. and Bouillon, D.R., Pacific salmon production trends in relation to climate, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1993, vol. 50, no. 5, pp. 1002–1016.

Beamish, R.J., Noakes, D.J., McFarlane, G.A., Klyashtorin, L., Ivanov, V.V., and Kurashov, V., The regime concept and natural trends in the production of Pacific salmon, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1999, vol. 56, no. 3, pp. 516–526.

Bjerknes, J., Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Mon. Weather Rev.*, 1969, vol. 97, no. 3, pp. 163–172. doi 10.1175/1520-0493(1969)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2

Capotondi, A. and Alexander, M.A., Rossby waves in the Tropical North Pacific and their role in decadal thermocline variability, *J. Phys. Oceanogr.*, 2001, vol. 31, pp. 3496–3515. doi 10.1175/1520-0485(2002)031<3496:RWITTN>2.0.CO;2

Hare, S.R., Low frequency climate variability and salmon production, *PhD Dissertation*, Seattle: Univ. of Washington, 1996.

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

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, B., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., and Joseph, D., The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, vol. 77, no. 3, pp. 437–472. doi 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2

Khen, G.V., Basyuk, E.O., Vanin, N.S., and Matveev, V.I., Hydrography and biological resources in the western Bering Sea, *Deep-Sea Res. II*, 2013, vol. 94, pp. 106–120. doi 10.1016/j.dsr2.2013.03.034

Lydolph, P.E., *Climate of the Soviet Union: World Survey of Climatology*, Amsterdam: Elsevier, 1977, vol. 7.

Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., 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

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. doi10.1029/1999GL900119

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, pp. 4399–4427. doi 10.1175/jcli-d-15-0508.1

Overland, J.E., Adams, J.M., and Bond, N.A., Decadal variability of the Aleutian Low and its relation to high-latitude circulation, *J. Clim.*, 1999, vol. 12, pp. 1542–1548. doi 10.1175/1520-0442(1999)012<1542:DVOTAL>2.0.CO;2

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, pp. 1411–1422. doi 10.1175/JCLI3352.1

Renshaw, A.C., Rowell, D.P., and Folland, C.K., Wintertime low-frequency weather variability in the North Pacific–American Sector 1949–93, *J. Clim.*, 1998, vol. 11, pp. 1073–1093. doi 10.1175/1520-0442(1998)011<1073:WLFWVI>2.0.CO;2

Sahsamanoglou, H.S., Makrogiannis, T.J., and Kallimopoulos, P.P., Some aspects of the basic characteristics of the Siberian anticyclone, *Int. J. Climatol.*, 1991, vol. 11, no. 8, pp. 827–839. doi 10.1002/joc.3370110803

Surry, A.M. and King, J.R., A new method for calculating ALPI: the Aleutian Low pressure index, *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 2015, no. 3135.

Thompson, D.W.J., Wallace, J.M., and Hegerl, G.C., Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends, *J. Clim.*, 2000, vol. 13, no. 5, pp. 1018–1036. doi 10.1175/1520-0442(2000)013<1018:AMITEC>2.0.CO;2

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

Trenberth, K.E. and Hurrell, J.W., Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific, *Clim. Dyn.*, 1994, vol. 9, no. 6, pp. 303–319. doi 10.1007/BF00204745

Trenberth, K.E. and Paolino, D.A., Jr., The Northern Hemisphere sea-level pressure data set: Trends, errors and discontinuities, *Mon. Weather Rev.*, 1980, vol. 108, no. 7, pp. 855–872. doi 10.1175/1520-0493(1980)108<0855:TNHSLP>2.0.CO;2

Ueno, K., Inter-annual variability of surface cyclone tracks, atmospheric circulation patterns, and precipitation patterns, in winter, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 1993, vol. 71, no. 6, pp. 655–671. doi 10.2151/jmsj1965.71.6_655

Wallace, J.M. and Gutzler, D.S., Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Weather Rev.*, 1981, vol. 109, no. 4, pp. 784–812. doi 10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2

Wolter, K. and Timlin, M.S., El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext), *Int. J. Climatol.*, 2011, vol. 31, no. 7, pp. 1074–1087. doi 10.1002/joc.2336

Wolter, K. and Timlin, M.S., Measuring the strength of ENSO events: How does 1997/98 rank?, *Weather*, 1998, vol. 53, no. 9, pp. 315–324. doi 10.1002/j.1477-8696.1998.tb06408.x

Wu, B. and Wang, J., Winter Arctic oscillation, Siberian High and East Asian winter monsoon, *Geophys. Res. Lett.*, 2002, vol. 29, no. 19. doi 10.1029/2002GL015373

Поступила в редакцию 27.02.2019 г.

После доработки 4.03.2019 г.

Принята к публикации 15.05.2019 г.