

Климатические колебания как главный фактор  
изменчивости условий среды обитания про-  
мысловых биоресурсов и функционирования  
морских экосистем

УДК [551.463.6:551.5] (265.54)

**Долгопериодные изменения термических характеристик  
поверхностных вод Японского моря и залива Петра Великого  
и их связь с крупномасштабными климатическими процессами**

*Г.В. Хен, Е.И. Устинова, Ю.Д. Сорокин, Л.Ю. Матюшенко*

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток

E-mail: gennady.khen@tinro-center.ru

На основании региональных баз данных о термических характеристиках поверхностных вод, включая ледовитость залива Петра Великого, сформированных из открытых источников, проведён анализ их долгопериодных изменений в различных районах Японского моря. Исследована связь наблюдаемых изменений с крупномасштабными процессами, которые характеризуются известными климатическими индексами. Выявлено, что изменения температуры поверхности в Японском море, его северной части и в заливе Петра Великого зимой и летом происходят синхронно. В новом столетии (2001–2017 гг.) темп роста поверхностной температуры замедлился по сравнению с последним 25-летием XX столетия. Наиболее влиятельными в этих районах оказались крупномасштабные климатические процессы, которые характеризуются индексом Сибирского антициклона и Западно-Тихоокеанским индексом. Мы также проанализировали устойчивость статистических связей между региональными термическими характеристиками и крупномасштабными климатическими индексами. Особое внимание уделялось изменению характера связей в разные периоды времени. Яркие выраженные перестройки связей, сопровождающиеся сменой знака коэффициента корреляции, соответствовали известным «сдвигам» климатического режима (regime shift) в большинстве рассмотренных случаев. Самые заметные перестройки произошли в 1988–1989 гг.

**Ключевые слова:** Японское море, залив Петра Великого, температура поверхности моря, ледовитость, многолетние изменения, климатические индексы.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-72-87

**ВВЕДЕНИЕ**

Среди дальневосточных морей России Японское море (ЯМ) является самым обособленным и закрытым глубоководным бассейном с малой долей шельфа. Оно имеет гораздо более значительную протяжённость в меридиональном направлении, чем широтном, и расположено так, что оказыва-

ется под сильным воздействием восточно-азиатского муссона, что обуславливает региональное своеобразие практически всех климатообразующих факторов. Ещё большей «региональностью» обладает залив Петра Великого (ЗПВ) в силу его географического положения. ЯМ «обладает высокой чувствительностью к климатическим изме-

нениям, происходящим в Азиатско-Тихоокеанском регионе» [Пономарев и др., 2000]. Изменения глобального масштаба в системе океан — атмосфера также находят своё отражение в районах ЯМ [Ростов и др., 2016].

Обобщённые сведения о наблюдающихся климатических изменениях в Японском море приведены в главе 5.4 Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, посвящённой дальневосточным морям России [Лобанов и др., 2014]. Изменения термического режима залива Петра Великого исследовались по данным прибрежных гидрометеорологических станций и по океанографическим съёмкам. Была выявлена такая важная особенность этих изменений как существенная их неоднородность по пространству: в отдельных частях ЗПВ могут наблюдаться значительно отличающиеся по величине и даже противоположные по знаку длительные температурные тренды [Гайко, 2005; 2013; Лучин и др., 2005; Лучин, Тихомирова, 2010; Ростов и др., 2016].

Несмотря на известные достижения в исследованиях, к настоящему времени всё ещё остаётся недостаточно изученной долгопериодная изменчивость параметров вод, поскольку «нет непрерывных рядов наблюдений на преобладающей части залива» [Лучин и др., 2005]. Актуальность исследований в данном направлении обусловлена и тем, что региональные и крупномасштабные климатические изменения оказывают влияние на компоненты экосистемы ЯМ [Зуенко и др., 2008], включая водные биоресурсы, например, такие промысловые виды, как навага [Зуенко и др., 2010].

Цель данной работы — выявление наиболее существенных особенностей долгопериодных изменений регионального термического режима в районах Японского моря и их взаимосвязи с крупномасштабными климатическими процессами на основании данных из открытых источников. Основной акцент в работе сделан на ЗПВ.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для характеристики термического состояния (включая его многолетние изменения)

ЯМ и его отдельных областей привлекались данные о температуре воды поверхностного слоя, о ледяном покрове и о температуре воздуха, взятые из открытых источников.

Данные по льду были взяты из архива National Ice Center США, представленного на сайте [U.S. National Ice Center, 2019]. Суточные ледовые данные с 1997 г. по настоящее время хранятся в полярной проекции, а также часть данных — в десятичных градусах в формате шейп-файлов. Площадь полигона, занятая льдом, рассчитывалась нами с помощью программы ArcGIS ArcMap 10.1. По суточным данным рассчитывалась средняя площадь ледяного покрова за январь-февраль, самых ледовитых месяцев года [Плотников, 2013]. Данные 1997 г., когда шла настройка приёмной системы, не учитывались. Для сравнения на рис. 1 приведён временной ход ледовитости по расчётным данным ТИНРО и по данным, заимствованным из работы [Плотников, 2013] для совпадающего периода. Несмотря на значительные отличия в отдельные годы (максимальная разность отмечалась в 2010 г.), общий ход межгодовых изменений имеет некоторое подобие. Коэффициент корреляции между этими двумя рядами составил 0,55.

Выборка данных по температуре воды на поверхности моря (ТПМ), начиная с 1950 г. по настоящее время, сформирована на основе баз данных Японского метеорологического агентства (JMA), доступ к которым предоставлен в рамках международного проекта NEAR-GOOS [2019]. При этом были использованы 2 типа данных:

1) «COBE-SST» (среднемесячная температура для периода с 1891 г. по настоящее время; разрешение  $1 \times 1^\circ$ ; анализ на основе данных in-situ по методу Ишии с соавторами [Ishii et al., 2005]);

2) «MGDSST» (среднедекадная температура для периода с 1982 г. по июнь 2017 г.; разрешение  $0,25 \times 0,25^\circ$ ; анализ на основе спутниковых данных и данных in-situ по методу, предложенному Курихара с соавторами [Kurihara et al., 2006]).

Поскольку одноградусная сетка слишком груба для оценки температуры воды в ЗПВ,

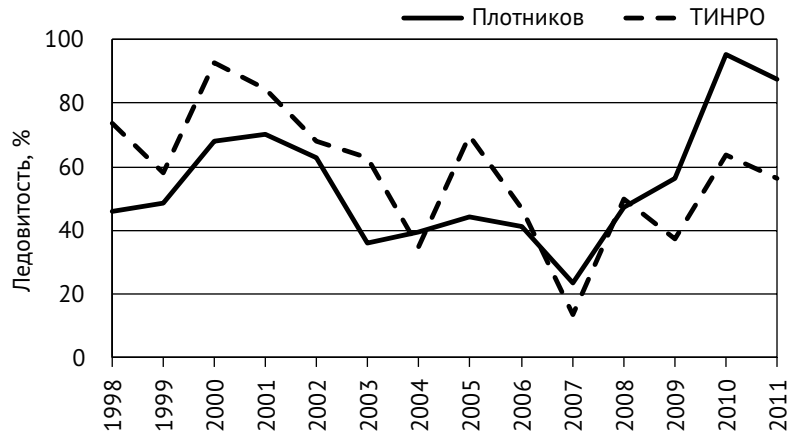


Рис. 1. Ледовитость залива Петра Великого по расчётам ТИНРО (прерывистая линия) и по расчётам В.В. Плотникова (сплошная линия)

мы расширили район осреднения, включив в него «внешние воды», расположенные мористее. На рис. 2 он отмечен чёрными треугольниками. Лучшего пространственного разрешения для периода ранее 1982 г. не существует. Следующее «поколение» данных о ТПМ с разрешением  $0,25 \times 0,25^\circ$ , охватывающее период с 1982 г. до середины 2017 г., было заменено на данные высокого ( $0,1 \times 0,1^\circ$ ) разрешения, однако данные с та-

ким высоким разрешением охватывают период чуть менее полутора лет и не могут использоваться для оценки многолетних изменений. Исходя из такого положения дел, мы работали с первыми двумя базами для охвата максимально возможного периода относительно однородных данных и сравнивали полученные результаты. О наличии существенных отличий между результатами

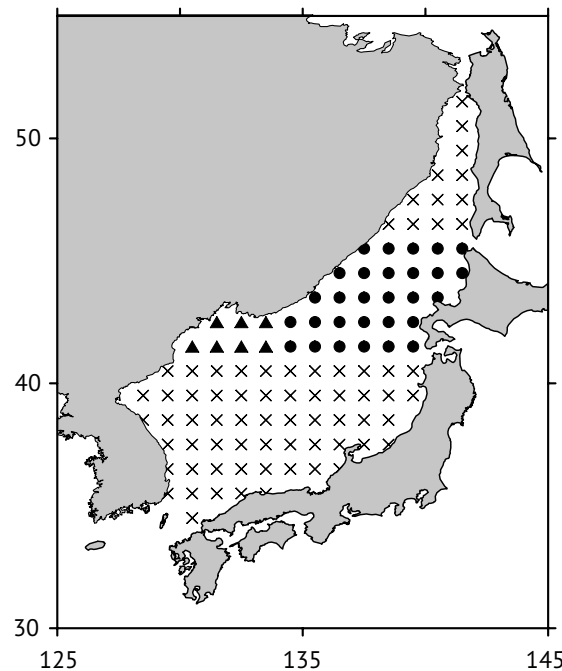


Рис. 2. Центры одноградусных квадратов в Японском море:

- ▲ — ЗПВ и районы, прилегающие к нему с юга; ● — северная часть Японского моря без Татарского пролива;  
× — остальные районы моря

по этим двум базам данных будет оговорено ниже.

Были рассмотрены средние годовые и сезонные (зимние, весенние и летние) температуры всего ЯМ, его северной части (СЧМ, между  $41-46^\circ$  с. ш. и  $131-142^\circ$  в. д.) и в области между  $41-43^\circ$  с. ш. и  $130-134^\circ$  в. д., включающей в себя воды ЗПВ и прилегающие к нему внешние воды. Далее для краткости последняя область будет обозначена, как и сам залив, аббревиатурой ЗПВ. Границы гидрологических сезонов, по сравнению с обычно применяемыми границами для температуры воздуха, смещены на 1 месяц в связи с отставанием термических процессов в море по причине инерционности. К гидрологической зиме отнесён период январь-март, весне — апрель-июнь, лету — июль-сентябрь.

Нужно отметить, что многолетний ход аномалии температуры поверхности всего моря соответствует многолетнему ходу временных коэффициентов первой моды разложения полей ТПМ по ЭОФ, вклад которой в общую изменчивость составляет от 61% зимой до 78% летом, с коэффициентом корреляции 0,98.

Для анализа также привлекалась среднезимняя температура воздуха, осреднённая по 14 береговым станциям Приморья, которая была заимствована из статьи В.Д. Будаевой и В.Г. Макарова [2013].

В качестве показателей крупномасштабных климатических процессов были использованы наиболее значимые для северной части Тихого океана климатические индексы: Арктическое колебание (АО), Эль-Ниньо-Южное колебание (ENSO), Тихоокеанское декадное колебание (PDO), индекс Алеутской депрессии (ALPI), индекс Сибирского антициклона (SHI), Северо-тихоокеанский индекс (NPI), Тихоокеанский/Североамериканский индекс (PNA), Западно-Тихоокеанский индекс (WP), физический смысл которых подробно рассмотрен нами в литературном обзоре [Хен и др., 2019]. Их значения (исторические и оперативные) представлены на WEB-сайтах ведущих мировых климатических центров и крупных исследовательских проектов [Climate Indices, 2019;

Bering Climate Data, 2019; NCAR Climate ..., 2019 и др.].

Наиболее «крупномасштабным» индексом, используемым в данной работе, является индекс АО. Арктическое колебание в широком смысле характеризует состояние тропосферы и стратосферы Северного полушария, где имеет место постоянное «перекачивание» массы атмосферы между полюсом и средними широтами (в ту и другую стороны). Когда геопотенциальные высоты над полярным районом выше нормы, высоты над средними широтами — ниже нормы. В этой фазе стратосферный западный перенос значительно интенсивнее нормы, полярный вихрь более интенсивен и значительно холоднее по сравнению с нормой. Арктическая осцилляция является доминантной модой изменчивости и в поле приземного атмосферного давления в северном полушарии от  $20^\circ$  с. ш. до Северного полюса, и в поле геопотенциальных высот [Thompson, Wallace, 1998]. В общих чертах долгопериодные колебания АО должны отражать изменения в тепловом контрасте полюс-экватор (тепловая машина 1 рода) и колебания интенсивности западно-восточного переноса, в то время как изменения интенсивности зимнего дальневосточного муссона отражают изменения в работе тепловой машины 2 рода (контраст материк-океан) и колебания в интенсивности меридионального переноса. Мощный Сибирский антициклон вносит существенную меридиональную составляющую в перенос воздуха над ЗПВ (отсюда меткая поговорка про данный район: «широта крымская, да долгота колымская», и эта долгота многое определяет). По отношению к зимнему дальневосточному муссону «масштаб действия» АО больше. В некотором смысле при высоких значениях индекса АО происходит своего рода «подавление» Сибирского антициклона. Ряд исследователей к настоящему времени пришли к выводу (см., например, работу [Overland et al, 1999]), что в положительную фазу АО и Сибирский антициклон, и Алеутская депрессия имеют тенденцию к ослаблению относительно нормы. Однако в конкретные годы эта закономерность может нарушаться.

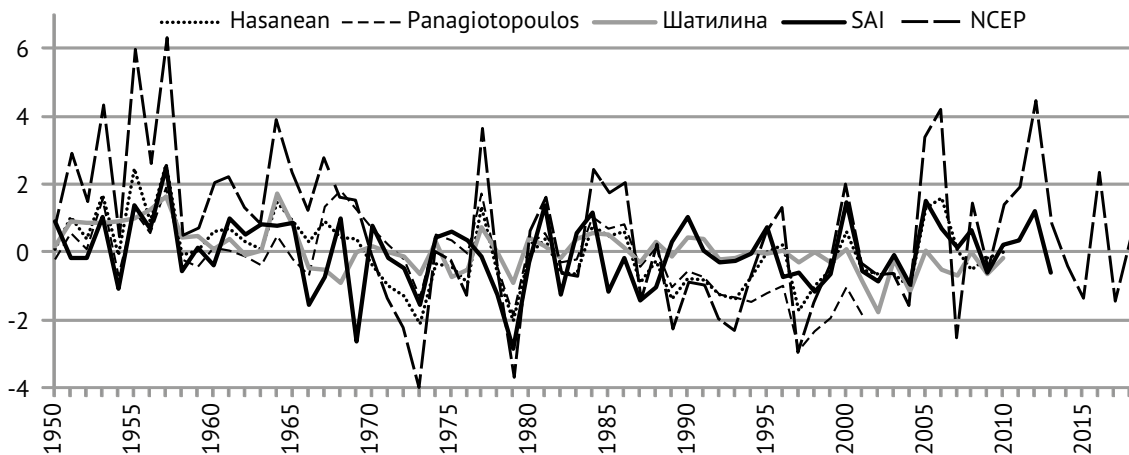


Рис. 3. Долгопериодные изменения аномалий SHI в зимний сезон по данным разных источников [Panagiotopoulos et al., 2005; Hasanean et al., 2013; Шатилина и др., 2014; SAI с сайта [Bering Climate Data, 2019]; NCEP — рассчитанный нами индекс по данным NCEP для периода 1950–2017 гг.

Нам не удалось найти регулярно обновляемых данных по индексу Сибирского антициклона для современного периода, поэтому он был рассчитан нами самостоятельно по «площадной» методике, изложенной Хазанеаном с соавторами [Hasanean et al., 2013] с использованием обновляемых данных NCEP. 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, полученными разными авторами (рис. 3), показало неплохое соответствие его многолетнего хода (рассчитанного нами), с литературными данными [Panagiotopoulos et al., 2005; Hasanean et al., 2013]. Наибольшая разница была отмечена с индексами Сибирского антициклона, приведёнными на сайте [Bering Climate Data, 2019], где они обозначены аббревиатурой SAI.

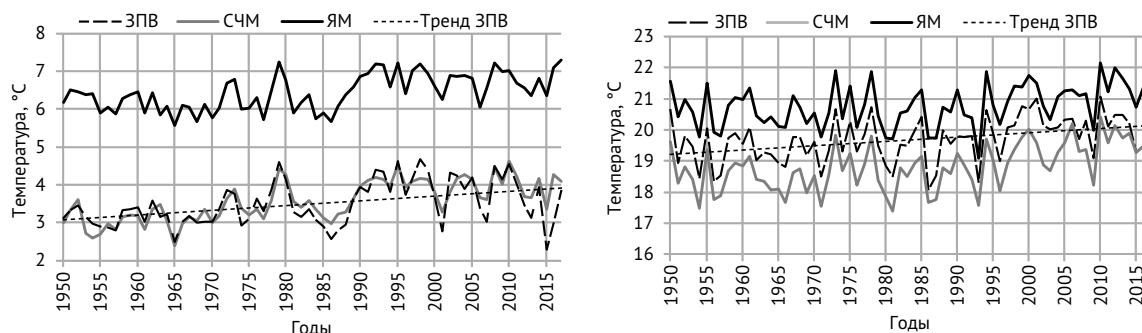
### РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Зимой и летом температура воды на поверхности в ЯМ, СЧМ и ЗПВ, включая прилегающие к нему воды, изменялась практически синхронно (рис. 4), коэффициенты корреляции между температурами в этих районах зимой составили 0,83–0,86, летом — 0,92–0,94. В период 1950–2017 гг. во всех рас-

считываемых областях очевиден тренд повышения температуры как в холодный, так и в тёплый сезоны, что согласуется с прежними исследованиями [Дьяков, 2011; 2012; Ponomarev and Dmitrieva, 2009; Zuenko, 2012].

Повышение ТПМ, определённое по разнице средних величин 1976–2010 гг. и 1951–1975 гг., составило зимой в ЯМ — 0,38°, СЧМ — 0,66° и ЗПВ — 0,54 °С, летом, соответственно — 0,09, 0,26, 0,30 °С за 25 лет. В субарктических водах северной части моря потепление происходило с большей скоростью, чем в субтропических водах на юге моря, т. е. соблюдается «правило Тихого океана» [Кильматов и др., 2012].

Известно, что температура воздуха во Владивостоке с начала 40-х гг. до 1971 года постепенно понижалась, затем колебалась около нормы, а с 1988 г. резко повысилась [Василевская и др., 2013]. На рис. 4 можно заметить подобные изменения ТПМ во всех выделенных нами областях, причём, и зимой, и летом. Однако есть и существенное отличие: в конце 1970-х гг. на поверхности моря произошло резкое похолодание, которое по срокам совпало с известным климатическим сдвигом в Тихом океане [Minobe, 1997], в то время как температура воздуха незначительно отклонялась от нормы. Потепление в конце 1980-х гг. оказалось очень существенным и для поверхности моря, и для воздуха, и хорошо заметным во всех рассматриваемых нами областях. Это резкое изменение также



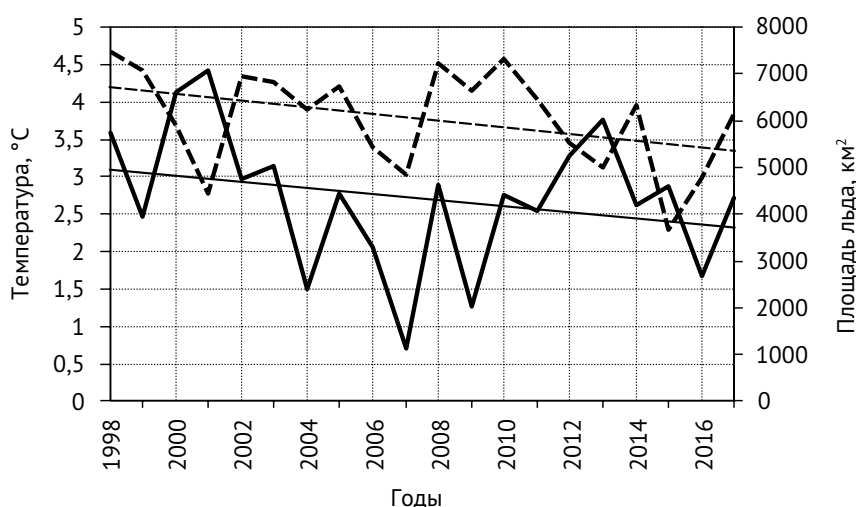
**Рис. 4.** Изменения температуры воды на поверхности зимой (слева) и летом (справа) в Японском море и его отдельных областях в 1950–2017 гг.

произошло на фоне сдвига климатического режима в северной части Тихого океана, на этот раз к потеплению [Hare and Mantua, 1989]. Начиная с 1989 г. на прибрежных гидрометеорологических станциях залива отмечались только положительные аномалии температуры воды в поверхностном слое [Гайко, 2005].

В новом столетии (2001–2017 гг.) средняя ТПМ в заливе Петра Великого и прилегающих к нему водах зимой практически не изменилась, незначительно отклоняясь от среднеевропейского значения (рис. 4), тогда как в СЧМ и ЯМ она повысилась на 0,21 и 0,20 °C, соответственно. Такие темпы роста температуры оказались ниже, чем в предыдущем 25-лети. Однако летом темп повышения температуры в период 2001–

2017 гг. усилился. Температура на поверхности увеличилась в ЗПВ на 0,51 °C; в СЧМ — на 0,80 °C; в ЯМ — на 0,57 °C. Наши летние оценки скорости роста температуры в новом столетии сравнимы с оценками скорости потепления на гидрометеорологической станции «Владивосток» за весь длительный период существующих сравнительно однородных наблюдений за ТПМ с 1936 по 2010 гг., выполненные Л.А. Гайко [2013].

Сравнение зимней ТПМ в заливе Петра Великого и прилегающих к нему водах с ледовитостью в за период 1998–2017 гг. выявило две особенности: синхронное трендовое понижение зимней ТПМ и площади льда в последние 20 лет (рис. 5), и практически нулевой коэффициент корреляции ( $r = 0,01$ ), т. е. отсутствие связи между ними.



**Рис. 5.** Изменения зимней ТПМ в заливе Петра Великого и прилегающих водах и ледяного покрова в период 1998–2017 гг. Сплошная линия — площадь ледяного покрова и её многолетний тренд; пунктирная линия — ТПМ зимой и её многолетний тренд

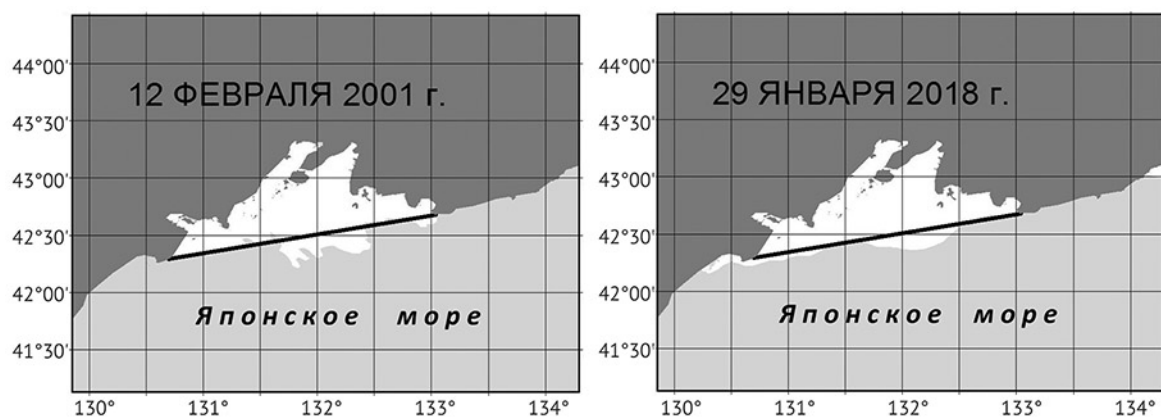
Исключение трендовых составляющих практически не увеличивает тесноту связи ( $r = 0,07$ ). Очевидно, роль процессов, формирующих изменчивость термических условий во внутренних районах залива, где формируется ледяной покров, и в окружающих его внешних водах, различна. На внешние воды залива сильное влияние могут оказывать воды Приморского течения и мезомасштабные вихри, тогда как изменчивость в районах образования ледяного покрова в холодный период года формирует теплообмен через поверхность, который определяется интенсивностью зимнего муссона. Предположение о преобладающем влиянии адвективных факторов на изменчивость температуры воды в юго-восточной части залива было высказано Л.А. Гайко [2005].

Известно, что температура воздуха во Владивостоке после 2000 г. продолжала расти [Василевская и др., 2013; Гайко, 2013], что могло отразиться на уменьшении ледовитости ЗПВ. По данным А.Г. Петрова [2012] этот процесс уменьшения ледовитости начался в середине 60-х гг. Однако, несмотря на выраженную тенденцию к уменьшению ледяного покрова, в отдельные годы нового столетия наблюдалось полное покрытие залива Петра Великого ледяным покровом разной сплочённости. Примеры такого пространственного распределения ледяного покрова в периоды его экстремального развития для 2001 и 2018 гг. приведены на рис. 6.

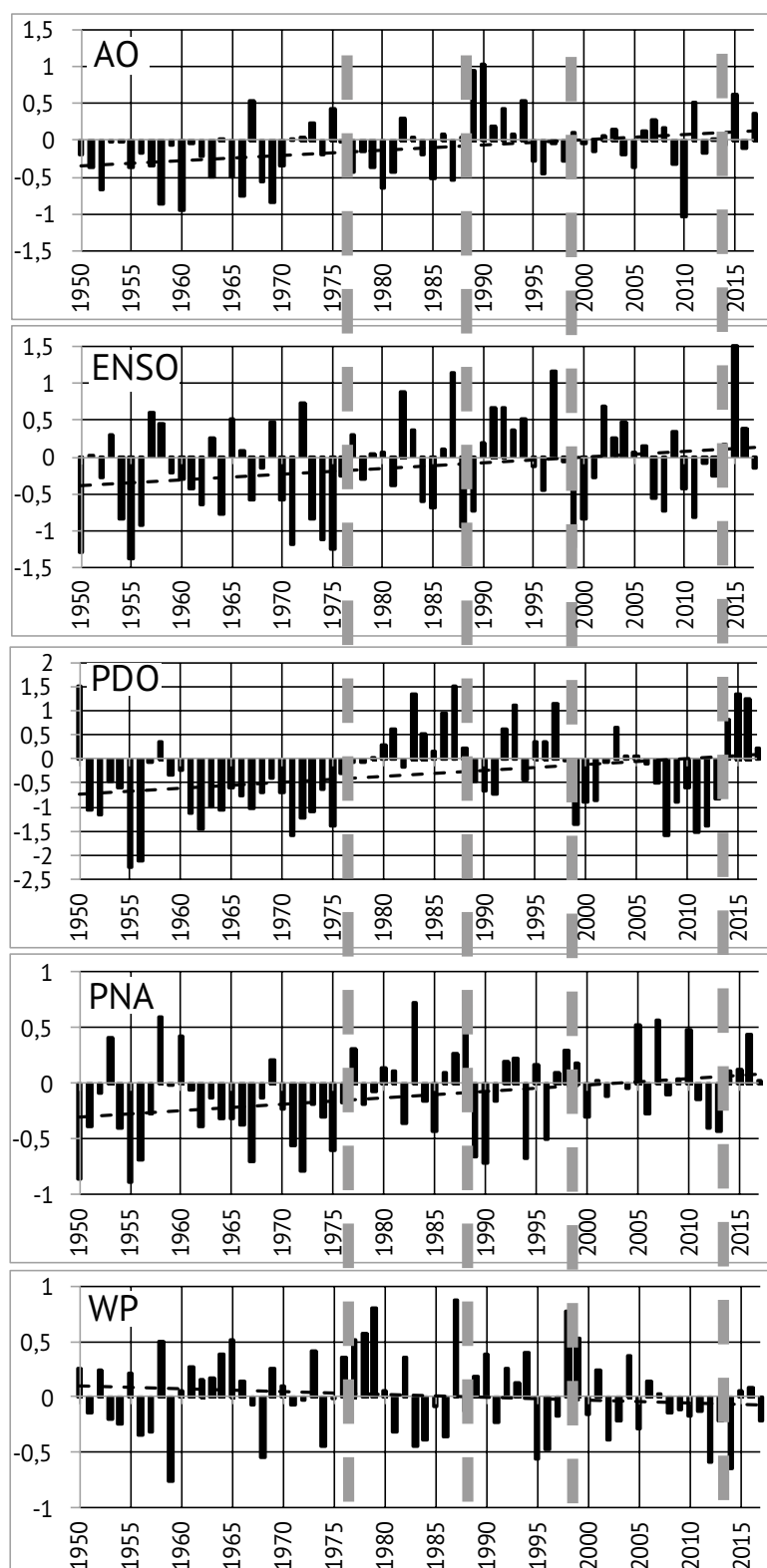
Хорошая связь с обратным знаком обнаружена между ледовитостью ЗПВ и температурой воздуха, осреднённой по 14 станциям Приморья ( $r = -0,65$ ), что ещё раз подтверждает предположение о преимущественном влиянии зимнего муссона на ледовые условия.

Для большинства климатических индексов, с которыми в той или иной степени связаны термические условия в Японском море, смена режимов (здесь это видно как резкая смена преобладающего знака аномалий) происходила в 1976–1977, 1988–1989, 1997–1998 и 2013–2014 гг. (рис. 7). Достоверность последнего «сдвига режима» из-за близости к концу ряда невысока. Климатический сдвиг 1988–1989 гг. весьма существен для Японского моря [Зуенко и др., 2008; 2010]. Этот сдвиг проявился как в крупномасштабных климатических индексах, в том числе значимых для Японского моря индексах интенсивности Сибирского антициклона (произошло его резкое ослабление), индекса Арктической осцилляции и индекса WP (для двух последних, напротив, отмечался резкий рост), так и росте ТПМ в Японском море.

Проведённый нами анализ взаимосвязи региональных термических условий и крупномасштабных климатических индексов с различными сдвигами и с фильтрацией колебаний различных масштабов показал, что в большинстве случаев эта связь синхронна либо квазисинхронна (в масштабах одного года, но со сдвигом до нескольких месяцев).



**Рис. 6.** Распространение ледяного покрова в заливе Петра Великого в экстремально ледовитые годы начала XXI века. Жирной чёрной линией обозначена условная граница залива согласно Лоции [Лоция..., 1996]



**Рис. 7.** Аномалии годовых климатических индексов за период 1950–2017 гг. (относительно среднееголетних значений, рассчитанных для 1981–2010 гг.). Вертикальными пунктирными линиями выделены климатические сдвиги по PDO



Влияние крупномасштабных процессов, представленных климатическими индексами, неоднозначно. Связи сезонной и годовой ТПМ в ЯМ, СЧМ и ЗПВ с годовыми индексами (АО, ENSO, PDO, NPI, WP) слабые, коэффициенты корреляции не превышают  $\pm 0,3$ . Зимние индексы оказались несколько существеннее, в особенности индекс Сибирского антициклона (SHI) (табл. 1). Роль Сибирского антициклона в изменении термики вод северной части Японского моря хорошо изучена [Дьяков, 2011; Зуенко и др., 2008; 2010; Ustinova, Zuenko, 2011; Zuenko, 2012; Зуенко, Рачков, 2015]. Наивысшие коэффициенты корреляции ( $-0,50 \dots -0,57$ ) отмечены зимой, весной связи уменьшаются, а летом исчезают.

Следует отметить связь ТПМ с Западно-Тихоокеанским индексом (WP). Наиболее высокие коэффициенты корреляции с этим индексом имеют зимняя и годовая температура ЯМ. Для СЧМ и ЗПВ связи несколько слабее, но с годовой ТПМ все же значимы при 95% уровне доверительной вероятности. Индекс WP 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 WP свидетельствует о сдвиге траекторий циклонов к северу (+WP) или к югу (–WP) от их среднего положения [Ueno, 1993].

Значимая связь обнаруживается между ЯМ и АО: зимой — 0,43, весной — 0,39. С СЧМ и ЗПВ связи слабее. Видимо, влияние АО на небольшие акватории слабеет из-за повышения роли региональных процессов в атмосфере.

С пятью зимними индексами (ENSO, PDO, ALPI, NPI, PNA) ТПМ Японского моря связана слабо. Видимо, сказывается относительная удалённость от районов, для которых определялись эти индексы, и изолированность Японского моря. Связь зимней ТПМ всего моря с ENSO на уровне 0,3, видимо, объясняется проникновением субтропических вод с Цусимским течением.

Ледовитость ЗПВ весьма слабо связана со всеми рассматриваемыми климатическими индексами (табл. 2). Возможной причиной этого является недлинный (1998–2017 гг.) ряд параллельных наблюдений. С другой стороны, сравнение ледовитости с суммой градусодней мороза во Владивостоке, взятой из публикации И.О. Думанской [2017], при той же длине ряда показало значимую корреляцию (0,46) при 95%-ном уровне доверительной вероятности.

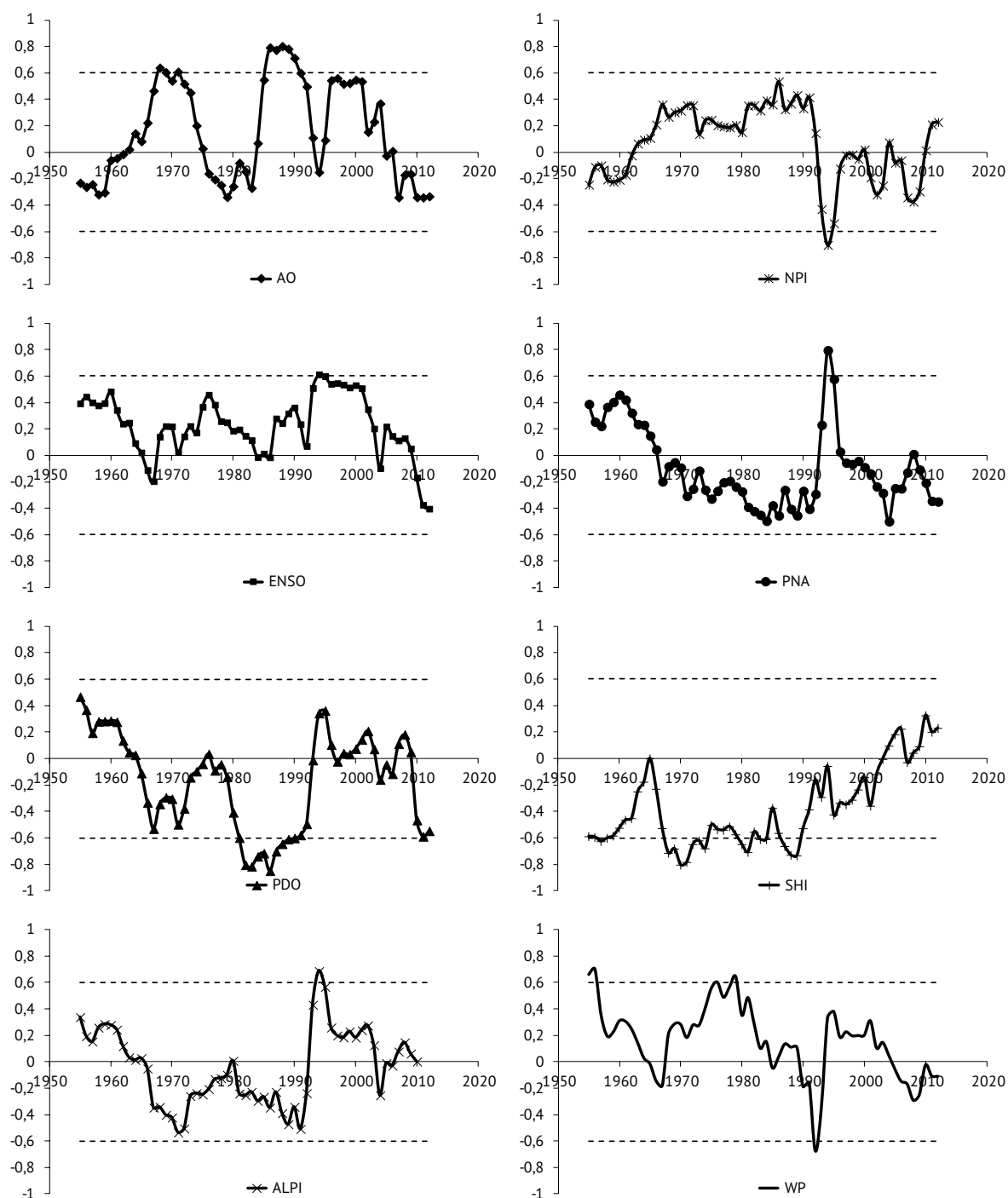
При сравнении оценок взаимосвязи крупномасштабных климатических процессов и ТПМ на основе двух баз данных было отмечено снижение коэффициентов корреляции для данных по температуре более высокого разрешения. Это предсказуемый результат, связанный с ролью мелкомас-

**Таблица 1.** Корреляционные связи ТПМ в ЯМ, СЧМ и ЗПВ с зимними климатическими индексами

		АО	ENSO	PDO	ALPI	NPI	PNA	SHI	WP
ЯМ	Зима	0,43	0,30	0,03	-0,03	0,08	0,07	-0,57	0,46
ЯМ	Весна	0,39	0,19	0,09	0,00	0,01	0,13	-0,40	0,33
ЯМ	Лето	0,05	0,03	0,11	0,06	0,02	0,17	-0,01	0,27
ЯМ	Год	0,27	0,20	0,11	0,03	0,05	0,18	-0,31	0,43
СЧМ	Зима	0,28	0,23	0,17	0,16	-0,08	0,20	-0,54	0,31
СЧМ	Весна	0,33	0,14	0,14	0,18	-0,15	0,26	-0,41	0,15
СЧМ	Лето	0,11	0,00	0,15	0,07	0,01	0,19	-0,04	0,26
СЧМ	Год	0,22	0,15	0,16	0,13	-0,03	0,25	-0,32	0,31
ЗПВ	Зима	0,25	0,14	-0,04	0,07	0,01	0,04	-0,50	0,25
ЗПВ	Весна	0,24	0,06	0,05	0,14	-0,12	0,15	-0,40	0,16
ЗПВ	Лето	0,06	0,01	0,14	0,11	-0,04	0,19	-0,13	0,31
ЗПВ	Год	0,15	0,10	0,05	0,11	-0,02	0,17	-0,34	0,34

**Таблица 2.** Корреляция ледовитости с зимними климатическими индексами в 1998–2017 гг.

Индексы	AO	ENSO	PDO	ALPI	NPI	PNA	SHI	WP
R	-0,23	-0,19	0,01	0,22	-0,33	-0,04	-0,32	-0,13



**Рис. 8.** «Скользкая корреляция» (11 лет) между зимней ТПМ залива Петра Великого с прилегающими водами и крупномасштабными климатическими индексами. Пунктирной линией нанесены значения  $R_{\text{крит}}$  при уровне доверительной вероятности 95%

штабной изменчивости, которая сильнее сглаживается при одноградусном осреднении.

После фильтрации колебаний последовательно с масштабами менее 3, 5 и 7 лет, как правило, отмечается рост коэффициентов корреляции, характеризующих связь региональных термических условий с крупномасштабными климатическими процессами, в среднем на 0,11 для большинства индексов.

Мы также проанализировали устойчивость статистических связей между региональными термическими характеристиками и крупномасштабными климатическими индексами. При этом особое внимание уделялось изменению характера связей в разные периоды времени. Были исследованы ряды характеристик с различными преобразованиями данных. Анализировались связи между разными элементами по «скользящим» промежуткам начиная с 11 лет, а также по выборкам из временных рядов до и после сдвигов режима. На рис. 8 в качестве примера представлена «скользящая корреляция» между зимней ТПМ залива Петра Великого с прилегающими водами и крупномасштабными климатическими индексами с минимально возможным (для оценки значимости полученных коэффициентов) периодом 11 лет.  $R_{\text{крит.}}$  при таком периоде составляет 0,6. Как видно из рис. 8, наиболее длительные периоды относительно устойчивой связи обнаружены для ТПМ с индексами Сибирского антициклона (SHI) и Эль-Ниньо (ENSO). Интересен тренд к уменьшению связи (вплоть до смены её знака) с сибирским антициклоном после сдвига климатического режима в 1988/1989 гг. Связь региональной температуры с Северотихоокеанским индексом (NPI), индексом Алеутской депрессии (ALPI) и Тихоокеанской декадной осцилляции (PDO) в целом изменяется одинаково.

Ярко выраженные перестройки связей, сопровождающиеся сменой знака коэф-

фициента корреляции, в большинстве рассмотренных случаев соответствовали указанным выше «сдвигам» климатического режима (regime shift). Особенно заметны перестройки, произошедшие в 1988/1989 гг. На рис. 8 они отмечаются как резкие изменения, соответствующие на временной шкале началу 1990-х гг., из-за специфики «скользящего» представления. По нашему мнению, квазиустойчивое состояние климатической системы (от первого «сдвига режима» до другого) в Японском море и ЗПВ может в значительной степени нарушаться вследствие регионального перемещения климатических атмосферных и океанических фронтов, траекторий циклонов, изменений процессов блокирования и других явлений, характерных для пограничных районов.

## ВЫВОДЫ

1. Изменения температуры поверхности в Японском море, его северной части и заливе Петра Великого с прилегающими к нему водами зимой и летом происходят синхронно ( $R > 0,83-0,94$ ).

2. В новом столетии (2001–2017 гг.) темп роста ТПМ во всех рассматриваемых районах замедлился по сравнению с последним 25-летием XX столетия.

3. Колебания зимней температуры поверхности залива Петра Великого с прилегающими водами и ледовитости в самом заливе Петра Великого в последние 20 лет оказались не связаны.

4. Для Японского моря, его северной части и залива Петра Великого с прилегающими водами наиболее значимыми оказались крупномасштабные климатические процессы, отражаемые индексом сибирского антициклона и Западно-Тихоокеанским индексом.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бабкин В.И., Воробьев В.Н., Смирнов Н.П. 2005. Сибирский антициклон и его влияние на сток Оби, Енисея и Лены // Метеорология и гидрология. № 4. С. 102–108.
- Будаева В.Д., Макаров В.Г. 2013. О воздействии зимнего выхолаживания на структуру и динамику вод северо-западной части Японского моря // Вестник ДВО РАН. № 6. С. 30–41.
- Василевская Л.Н., Шкаберда О.А., Ламаиш Б.Е., Платонова В.А., Кукаренко Е.А. 2013. Особенности долгопериодной изменчивости температуры, осадков и сроков наступления второй стадии летнего муссона в районе залива Петра Великого // Вестник ДВО РАН. № 6. С. 71–82.
- Гайко Л.А. 2005. Особенности гидрометеорологического режима прибрежной зоны залива Петра Великого (Японское море). Владивосток: Дальнаука. 151 с.
- Гайко Л.А. 2013. Многолетняя изменчивость температуры воды и воздуха у российского побережья Японского моря по данным гидрометеорологических станций // Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана. Книга 1. Гл. ред. Акуличев В.А. Владивосток: Дальнаука. С. 64–78.
- Думанская И.О. 2017. Особенности типизаций ледовых условий в Японском море (Татарский пролив и залив Петра Великого) по суровости зим и по ледовитости районов моря // Труды Гидрометцентра России. Вып. 364. С. 170–192.
- Дьяков Б.С. 2011. Крупномасштабные колебания в системе океан-атмосфера и перспектива сверхдолгосрочного прогноза температуры воды Японского моря // Известия ТИНРО. Т. 165. С. 231–250.
- Дьяков Б.С. 2012. Некоторые результаты океанологических исследований режима вод северной части Японского моря в 2011–2012 гг. // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 9. № 2. С. 153–166.
- Зуенко Ю.И., Устинова Е.И., Вдовин А.Н., Нуждин В.А., Долганова Н.Т. 2008. Временные сдвиги между изменениями климатических индексов и некоторых биотических компонент экосистемы Японского моря // Современное состояние водных биоресурсов. Мат. науч. конф., посвящённой 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 532–536.
- Зуенко Ю.И., Черноиванова Л.А., Вдовин А.Н., Устинова Е.И. 2010. Влияние изменений климата на воспроизводство наваги *Elegus gracilis* в заливе Петра Великого (Японское море) // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 7. № 1. С. 132–144.
- Зуенко Ю.И., Рачков В.И. 2015. Климатические изменения температуры, солёности и концентраций биогенных элементов в Амурском заливе Японского моря // Известия ТИНРО. Т. 183. С. 186–199.
- Кильматов Т.Р., Тринько О.И., Дмитриева Е.В. 2012. Климатический тренд в Тихом океане и теория катастроф // Известия ТИНРО. Т. 170. С. 184–191.
- Лобанов В.Б., Данченков М.А., Лучин В.А., Мезенцева Л.И., Пономарев В.И., Соколов О.В., Трусенкова О.О., Устинова Е.И., Ушакова Р.Н., Хен Г.В. 2014. Дальневосточные моря России (глава 5.4) // Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет. С. 684–743.
- Лоция северо-западного берега Японского моря. 1996. СПб.: ГУНИО МО. 354 с.
- Лучин В.А., Тихомирова Е.А., Круц А.А. 2005. Океанографический режим вод залива Петра Великого (Японское море) // Известия ТИНРО. Т. 140. С. 130–169.
- Лучин В.А., Тихомирова Е.А. 2010. Межгодовая изменчивость температуры воды в заливе Петра Великого (Японское море) // Известия ТИНРО. Т. 163. С. 344–354.
- Петров А.Г., Стасюк Е.И., Кислова С.И. 2012. Характеристика суровости зим в ледовом отношении и некоторые особенности ледяного покрова залива Петра Великого // Труды ДВНИГМИ. Вып. 154. С. 101–121.
- Плотников В.В. 2013. Пространственно-временная изменчивость ледяного покрова залива Петра Великого // Вестник ДВО РАН. № 6. С. 42–49.
- Пономарёв В.И., Устинова Е.И., Салюк А.Н., Каплуненко Д.Д. 2000. Климатические изменения в Японском море и прилегающих районах в 20-м столетии // Известия ТИНРО. Т. 127. С. 20–36.
- Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И., Воронцов А.А. 2016. Проявления глобальных климатических изменений в прибрежных водах северной части Японского моря // Вестник ДВО РАН. № 5. С. 100–112.
- Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. 2019. Основные климатические индексы для северной части Тихого океана: природа и история (литературный обзор) // Известия ТИНРО. Т. 197. С. 166–181.
- Шатилина Т.А., Цицашвили Г.Ш., Муктепавел Л.С., Никитин А.А., Радченкова Т.В. 2014. Оценки трендов климатических изменений над Дальним Востоком в зимний и летний периоды 1980–2012 гг. // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 11. С. 76–97.
- Bering Climate Data. Accessible via: <https://www.beringclimate.noaa.gov/data/index.php>. 02.07.2019.
- Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time-Series. Accessible via: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>. 02.07.2019.
- Hare S.R., Mantua N.J. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989 // Progress in Oceanography. V. 47. P. 103–146.
- Hasanean H. M., Almazroui M., Jones P. D., Alamoudi A.A. 2013. Siberian high variability and

- its teleconnections with tropical circulations and surface air temperature over Saudi Arabia // *Clim. Dyn.* V. 41. P. 2003–2018.
- Ishii M., Shouji A., Sugimoto S., Matsumoto T. 2005. Objective Analyses of Sea-Surface Temperature and Marine Meteorological Variables for the 20th Century using ICOADS and the Kobe Collection // *Int. J. Climatol.* V.25. P. 865–879.
- Kurihara Y., Sakurai T., Kuragano T. 2006. Global daily sea surface temperature analysis using data from satellite microwave radiometer, satellite infrared radiometer and in-situ observations // *Weath. Bulletin.* V. 73. Sp. iss. P. 1–18 (in Japanese)
- Minobe S. 1997. Climate variability with periodicity of 50–70 years over the North Pacific and North America // *Proceeding of CREAMS'97 (Circulation Research of the East Asian Marginal Seas)*. Fukuoka, Japan, 28–30 January 1997. P. 149–152.
- NCAR Climate Data Guide Climate Indices. Accessible via: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind>. 02.07.2019.
- NEAR-GOOS Regional Real Time Data Base. Accessible via: <https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro.html>. 02.07.2019.
- Overland J.E., Adams J.M., Bond N.A. 1999. Decadal variability of the Aleutian Low and its relation to high-latitude circulation // *J. Climate.* V. 12. P. 1542–1548.
- Panagiotopoulos F, Shahgedanova M, Hannachi A, Stephenson D.B. 2005. Observed trends and teleconnections of the Siberian High: a recently declining center of action. // *J. Climate.* V. 18. P. 1411–1422.
- Ponomarev V.I., Dmitrieva E.V. 2009. Multiscale climatic variability of Asian Marginal Seas and Northwestern Pacific // *Proc. of PICES Asian Marginal Seas Workshop*. Busan, Korea, April 2009. P. 18–20.
- Thompson D.W.J., Wallace J.M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // *Geophys. Res. Lett.* V. 25. P. 1297–1300
- Ueno K. 1993. Inter-annual variability of surface cyclone tracks, atmospheric circulation patterns and precipitation patterns, in winter // *J. Meteorological Society of Japan.* V. 71. P. 655–671.
- Ustinova E.I., Zuenko Yu.I. 2011. Evolution of climatic variability in the Far-Eastern Seas using regional data sets and the relationship with large-scale climate processes // *PICES Scientific Report.* № 40. P. 83–97.
- Zuenko Yu. I. 2012. Climate change influence on the Japan/East sea ecosystem: productivity lowering vs. efficiency enhancing // *Proc. Int. Workshop Marginal Seas in Changes. The East Sea and the Mediterranean*. Seoul, Korea, 6–8 November 2012. Seoul: SNU. P. 123–131.

Поступила в редакцию 09.07.2019 г.  
Принята после рецензии 04.12.2019 г.

## Habitat of aquatic biological resources

Climatic factors of variability of environmental  
conditions of fishery resources and marine  
ecosystem functioning

**Long-term changes of the thermal characteristics in the  
Japan Sea surface water and Peter the Great Bay and their  
relationship with large-scale climatic processes**

*G. V. Khen, E. I. Ustinova, Yu. D. Sorokin, L. Yu. Matyushenko*

Pacific branch of FSBSI «VNIRO» («TINRO»), Vladivostok, Russia

Analysis of the long-period changes of the surface thermal characteristics in the Japan Sea, including the ice cover of Peter the Great Bay, was carried on the basis of the regional databases formed from open sources. The relationship of the observed changes with large-scale processes characterized by well-known climatic indices was investigated. It was revealed that surface temperature changes in the Japan Sea, its Northern part and in Peter the Great Bay in winter and summer occur synchronously. In the new century (2001–2017), the growth rate of the sea surface temperature slowed down in comparison with the last 25 years of the 20th century. The most influential in these areas were the large-scale processes, which are characterized by the index of the Siberian anticyclone and the West Pacific index. We also analyzed the sustainability of the statistical relationships between regional thermal characteristics and large-scale climate indices. Special attention was paid to the change in the character of the relationships at different time periods. The pronounced rearrangements of the linkages accompanied by a change in the sign of the correlation coefficients corresponded to the well known climatic regime shifts in most of the cases under study. The most notable restructuring occurred in 1988/89.

**Keywords:** Japan Sea, Peter the Great Bay, sea surface temperature, ice cover, long-term changes, climatic indices.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-72-87

# REFERENCES

- Babkin V.I., Vorob'ev V.N., Smirnov N.P.* 2005. Sibirskij antitsiklon i ego vliyanie na stok Obi, Eniseya i Leny [Siberian anticyclone and its influence on the runoff of the Ob, Yenisei and Lena] // *Meteorologiya i gidrologiya*. № 4. S.102–108.
- Budaeva V.D., Makarov V.G.* 2013. O vozdeystvii zimnego vykhlozhivaniya na strukturu i dinamiku vod severo-zapadnoj chasti Yaponskogo morya [The influence of winter cooling on seawater structure and dynamics in the north-west part of the Sea of Japan] // *Vestnik DVO RAN*. № 6. S. 30–41.
- Vasilevskaya L.N., Shkaberda O.A., Lamash B.E., Platonova V.A., Kukarenko E.A.* 2013. Osobennosti dolgoperiodnoj izmenchivosti temperatury, osadkov i srokov nastupleniya vtoroj stadii letnego mussona v rajone zaliva Petra Velikogo [Long-term variability of temperature, precipitation and occurrence time of the second stage of summer monsoon around Peter the Great Bay] // *Vestnik DVO RAN*. № 6. S. 71–82.
- Gajko L.A.* 2005. Osobennosti gidrometeorologicheskogo rezhima pribrezhnoj zony zaliva Petra Velikogo (Yaponskoe more) [Peculiarities of hydrometeorological regime of the coastal zone in the Peter the Great Bay (Sea of Japan)]. Vladivostok: Dal'nauka. S. 151
- Gajko L.A.* 2013. Mnogoletnyaya izmenchivost' temperatury vody i vozdukh u rossijskogo poberezh'ya Yaponskogo morya po dannym gidrometeorologicheskikh stantsij [Long-term variability of the air and water temperature by the Russian coast of the Japan Sea, according to the meteorological stations data] // *Okeanologicheskie issledovaniya dal'nevostochnykh morej i severo-*

- zapadnoj chasti Tikhogo okeana. Kniga 1. Gl. red. Akulich V.A. Vladivostok: Dal'nauka. S. 64–78.
- Dumanskaya I.O. 2017. Osobennosti tipizatsij ledovykh uslovij v Yaponskom more (Tatarskij proliv i zaliv Petra Velikogo) po surovosti zim i po ledovitosti rajonov morya [Distinctive properties of the typing of the situations in the Japan Sea (in the Tatar Strait and Peter the Great Bay) on the basis of severity of winters and on the basis of the ice cover of these regions] // Trudy Gidromettsentra Rossii. Vyp. 364. S. 170–192.
- D'yakov B.S. 2011. Krupnomasshtabnye kolebaniya v sisteme okean-atmosfera i perspektiva sverkhdolgosrochnogo prognoza temperatury vody Yaponskogo morya [Large-scale fluctuations in the ocean-atmosphere system and prospects of long-term forecasting for water temperature of the Japan Sea] // Izvestiya TINRO. T. 165. S. 231–250.
- D'yakov B.S. 2012. Nekotorye rezul'taty okeanologicheskikh issledovanij rezhima vod severnoj chasti Yaponskogo morya v 2011–2012 gg. [Some results of oceanological studies of the water regime in the Northern Japan Sea in 2011–2012] // Voprosy promyslovoj okeanologii. Vyp. 9. № 2. S. 153–166.
- Zuenko Yu.I., Ustinova E.I., Vdovin A.N., Nuzhdin V.A., Dolganova N.T. 2008. Vremennye sdvigi mezhdu izmeneniyami klimaticheskikh indeksov i nekotorykh bioticheskikh komponent ehkositemy Yaponskogo morya [Time lags between changes in climate indices and some biotic components of the Japan Sea ecosystem] // Sovremennoe sostoyanie vodnykh bioresursov. Mat. nauch. konf., posvyashchennoj 70-letiyu S.M. Konovalova. Vladivostok: TINRO-TSentr. S. 532–536.
- Zuenko Yu.I., Chernoiyanova L.A., Vdovin A.N., Ustinova E.I. 2010. Vliyanie izmenenij klimata na vosproizvodstvo navagi *Elegus gracilis* v zalive Petra Velikogo (Yaponskoe more) [The impact of climate change on the reproduction of saffron cod *Elegus gracilis* in Peter the Great Bay (Japan Sea)] // Voprosy promyslovoj okeanologii. Vyp. 7. № 1. S. 132–144.
- Zuenko Yu.I., Rachkov V.I. 2015. Klimaticheskie izmeneniya temperatury, solyonosti i kontsentratsij biogennykh ehlementov v Amurskom zalive Yaponskogo morya [Climatic changes of temperature, salinity and nutrients in the Amur Bay of the Japan Sea] // Izvestiya TINRO. T. 183. S. 186–199.
- Kil'matov T.R., O.I. Trin'ko, E.V. Dmitrieva. 2012. Klimaticheskij trend v Tikhom okeane i teoriya katastrof [Climate trend in the Pacific Ocean and catastrophe theory] // Izvestiya TINRO. T. 170. S. 184–191.
- Lobanov V.B., Danchenkov M.A., Luchin V.A., Mezentseva L.I., Ponomarev V.I., Sokolov O.V., Trusenkov O.O., Ustinova E.I., Ushakova R.N., Khen G.V. 2014. Dal'nevostochnye morya Rossii (Glava 5.4) [Russian Far-Eastern Seas (Chapter 5.4)] // Vtoroj otsenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossijskoj Federatsii [Second Roshydromet Assessment Report on Climate Change and its Consequences in the Russian Federation]. M.: Rosgidromet. S. 684–743.
- Lotsiya severo-zapadnogo berega Yaponskogo morya [Sailing Directions of the Japan Sea Northwest coast]. 1996. SPb.: GUNIO MO. 354 s.
- Luchin V.A., Tikhomirova E.A., Kruts A.A. 2005. Okeanograficheskij rezhim vod zaliva Petra Velikogo (Yaponskoe more) [Oceanographic regime of Peter the Great Bay (Japan Sea)] // Izvestiya TINRO. T. 140. S. 130–169.
- Luchin V.A., Tikhomirova E.A. 2010. Mezhdogodovaya izmenchivost' temperatury vody v zalive Petra Velikogo (Yaponskoe more) [Interannual variability of water temperature in Peter the Great Bay (Japan Sea)] // Izvestiya TINRO. T. 163. S. 344–354.
- Petrov A.G., Stasyuk E.I., Kislova S.I. 2012. Kharakteristika surovosti zim v ledovom otnoshenii i nekotorye osobennosti ledyanogo pokrova zaliva Petra Velikogo [The characteristic of the severity of winters in the ice relation and some features of the ice cover of Peter the Great Bay] // Trudy DVNIGMI. Vyp. 154. S. 101–121.
- Plotnikov V.V. 2013. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' ledyanogo pokrova zaliva Petra Velikogo [The spatial-temporal variability of the ice cover of Peter the Great Bay] // Vestnik DVO RAN. № 6. S. 42–49.
- Ponomarev V.I., Ustinova E.I., Salyuk A.N., Kaplunenkov D.D. 2000. Klimaticheskie izmeneniya v Yaponskom more i prilegayushchikh rajonakh v 20-m stoletii [Climatic variations in the Japan Sea and adjacent areas in 20th century] // Izvestiya TINRO. T. 127. S. 20–36.
- Rostov I.D., Rudykh N.I., Rostov V.I., Vorontsov A.A. 2016. Proyavleniya global'nykh klimaticheskikh izmenenij v pribrezhnykh vodakh severnoj chasti Yaponskogo morya [Expressions of global climatic changes in coastal waters of the Northern part of the Sea of Japan] // Vestnik DVO RAN. № 5. S. 100–112.
- Khen G.V., Ustinova E.I., Sorokin Yu.D. 2019. Osnovnye klimaticheskie indeksy dlya severnoj chasti Tikhogo okeana: priroda i istoriya (literaturnyj obzor) [Principal climate indices for the North Pacific: nature and history (A Review)] // Izvestiya TINRO. T. 197. S. 166–181.
- Shatilina T.A., Tsitsiashvili G. Sh., Muktepavel L.S., Nikitin A.A., Radchenkova T.V. 2014. Otsenki trendov klimaticheskikh izmenenij nad Dal'nim Vostokom v zimnij i letnij periody 1980–2012 gg. [Estimates of climate change trends over the Far East in winter and summer periods of 1980–2012] // Voprosy promyslovoj okeanologii. Vyp. 11. S. 76–97.
- Bering Climate Data. Accessible via: <https://www.beringclimate.noaa.gov/data/index.php>. 02.07.2019.
- Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time-Series. Accessible via: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>. 02.07.2019.
- Hare S.R., Mantua N.J. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989 // Progress in Oceanography. V. 47. P. 103–146.

- Hasanean H. M., Almazroui M., Jones P. D., Alamoudi A. A. 2013. Siberian high variability and its teleconnections with tropical circulations and surface air temperature over Saudi Arabia // *Clim. Dyn.* V. 41. P. 2003–2018.
- Ishii M., Shouji A., Sugimoto S., Matsumoto T. 2005. Objective Analyses of Sea-Surface Temperature and Marine Meteorological Variables for the 20th Century using ICOADS and the Kobe Collection // *Int. J. Climatol.* V. 25. P. 865–879.
- Kurihara Y., Sakurai T., Kuragano T. 2006. Global daily sea surface temperature analysis using data from satellite microwave radiometer, satellite infrared radiometer and in-situ observations // *Weath. Bulletin.* V. 73. Sp. iss. P. 1–18 (in Japanese)
- Minobe S. 1997. Climate variability with periodicity of 50–70 years over the North Pacific and North America // *Proceeding of CREAMS'97 (Circulation Research of the East Asian Marginal Seas)*. Fukuoka, Japan, 28–30 January 1997. P. 149–152.
- NCAR Climate Data Guide Climate Indices. Accessible via: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind>. 02.07.2019.
- NEAR-GOOS Regional Real Time Data Base. Accessible via: <https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro.html>. 02.07.2019.
- Overland J. E., Adams J. M., Bond N. A. 1999. Decadal variability of the Aleutian Low and its relation to high-latitude circulation // *J. Climate.* V. 12. P. 1542–1548.
- Panagiotopoulos F., Shahgedanova M., Hannachi A., Stephenson D. B. 2005. Observed trends and teleconnections of the Siberian High: a recently declining center of action. // *J. Climate.* V. 18. P. 1411–1422.
- Ponomarev V. I., Dmitrieva E. V. 2009. Multiscale climatic variability of Asian Marginal Seas and Northwestern Pacific // *Proc. of PICES Asian Marginal Seas Workshop*. Busan, Korea, April 2009. P. 18–20.
- Thompson D. W. J., Wallace J. M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // *Geophys. Res. Lett.* V. 25. P. 1297–1300
- Ueno K. 1993. Inter-annual variability of surface cyclone tracks, atmospheric circulation patterns and precipitation patterns, in winter // *J. Meteorological Society of Japan.* V. 71. P. 655–671.
- Ustinova E. I., Zuenko Yu. I. 2011. Evolution of climatic variability in the Far-Eastern Seas using regional data sets and the relationship with large-scale climate processes // *PICES Scientific Report.* № 40. P. 83–97.
- U.S. National Ice Center. Accessible via: <http://www.natice.noaa.gov>. 02.07.2019
- Zuenko Yu. I. 2012. Climate change influence on the Japan/East sea ecosystem: productivity lowering vs. efficiency enhancing // *Proc. Int. Workshop Marginal Seas in Changes. The East Sea and the Mediterranean*. Seoul, Korea, 6–8 November 2012. Seoul: SNU. P. 123–131.

## TABLE CAPTIONS

**Table 1.** Correlation between sea surface temperature in the Japan Sea, its north part and the Peter the Great Bay with winter climatic indices

**Table 2.** Correlation of ice cover with winter climatic indices in 1998–2017

## FIGURE CAPTIONS

**Fig. 1.** The ice cover of Peter the Great Bay according to the calculations of the TINRO (dashed line) and according to the calculations of V. V. Plotnikova (solid line)

**Fig. 2.** Centers of one-degree squares in the Japan Sea (▲ — Peter the Great Bay and areas adjacent to it from the south; ● — northern part of the Japan Sea without the Tatar Strait, × — other areas of the Sea)

**Fig. 3.** Long-term variations of SHI anomalies in winter according to various sources [Panagiotopoulos et al, 2005; Hasanean et al, 2013; Shatilina et al., 2014; SAI from [Bering Climate Data, 2019]; NCEP — the index calculated by us according to the NCEP data for the period 1950–2017]

**Fig. 4.** Changes of the sea surface temperature in winter (left) and summer (right) in the Japan Sea and its selected areas in 1950–2017

**Fig. 5.** Changes in winter sea surface temperature in the Peter the Great Bay and adjacent waters and ice cover in the period 1998–2017. The solid line is the area of ice cover and its long-term trend; the dashed line is the sea surface temperature in winter and its long-term trend

**Fig. 6.** Extension of ice cover in Peter the Great Bay in the extremely ice years during the beginning of the 21st century. The red line shows the conditional boundary of the Bay according to Sailing Directions [Sailing Directions..., 1996]

**Fig. 7.** Anomalies of annual climatic indices for the period 1950–2017. (relative to long-term average values calculated for 1981–2010). Vertical dashed lines indicate climatic shifts in PDO

**Fig. 8.** “Running correlation” (11 years) between the winter sea surface temperature of Peter the Great Bay with adjacent waters and large-scale climatic indices. The dashed line shows the values of  $R_{crit}$  at a confidence level of 95%.