

**УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ**

УДК 551.526.6(265.5)

**Т.А. Шатилина<sup>1</sup>, Г.Ш. Цициашвили<sup>2</sup>, Т.В. Радченкова<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Тихоокеанский научно исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии,  
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;

<sup>2</sup> Институт прикладной математики ДВО РАН,  
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ  
ТИХОГО ОКЕАНА В ИЮЛЕ-СЕНТЯБРЕ 1950–2014 ГГ.**

Приводится оценка значимости тренда в изменчивости временных серий поверхностной температуры воды в северо-западной части Тихого океана. Для выделения доминирующих периодов использовался метод Фурье в предположении, что имеется линейный тренд на фоне достаточно больших флюктуаций. Для выявления особенностей атмосферной циркуляции, предшествующих экстремальным термическим режимам в летний период, применялся метод интервального распознавания. Получено, что на фоне резкого повышения поверхностной температуры воды в период 1983–2014 гг. наблюдается рост ее флюктуаций и их смещение на август и сентябрь. В изменчивости поверхностной температуры воды в период 1983–2014 гг. выявлено доминирующее влияние 7-летнего цикла. Основными механизмами, формирующими экстремально теплые термические режимы, являются субтропические антициклоны, которые имеют тенденцию к усилению. Холодные режимы в летний период наблюдаются при усилении весной первой стадии дальневосточного муссона.

**Ключевые слова:** значимость тренда, доминирующие периоды во временных рядах температуры воды, механизмы формирования экстремальных режимов, субтропические антициклоны, метод Фурье, интервальное распознавание.

**Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V.** Complex assessment of variability for the sea surface temperature in the North-West Pacific in July-September 1950–2014 // *Izv. TINRO*. — 2016. — Vol. 184. — P. 120–134.

Trend significance is evaluated and periodicities are revealed for time series of the sea surface temperature in the North-West Pacific. The dominant periods are selected using Fourier method under the assumption of linear trend existing over sufficiently large fluctuations. On the background of rapid warming in the 1983–2014, increasing fluctuations of summer SST were observed, with 7-year cycle domination, which were gradually shifted to August-September. Patterns of atmospheric circulation preceding to events of extreme thermal regime in summer are identified using the method of interval recognition: the extreme warm thermal regimes are

---

\* Шатилина Татьяна Александровна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, e-mail: shatilina@tinro.ru; Цициашвили Гурам Шалвович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, e-mail: guram@iam.dvo.ru; Радченкова Татьяна Вадимовна, инженер, e-mail: tarad@yandex.ru.

Shatilina Tatyana A., Ph.D., senior researcher, e-mail: shatilina@tinro.ru; Tsitsiashvili G.Sh., D.Sc., head of laboratory, e-mail: guram@iam.dvo.ru; Radchenkova Tatyana V., engineer, e-mail: tarad@yandex.ru.

formed mainly by subtropical anticyclones having a tendency to strengthen, and the extreme cold regimes are conditioned by strengthening of summer monsoon in its first stage.

**Key words:** trend significance, dominant periodicity, sea surface temperature, mechanism of extreme regime, subtropical anticyclone, Fourier method, interval recognition method.

## Введение

Практика прогнозирования термического типа и циркуляции вод в Дальневосточном регионе показала, что все неоправдавшиеся прогнозы океанологических условий, как правило, связаны с аномальными гидрометеорологическими процессами.

Для прогноза термических условий в Южно-Курильском районе (ЮКР) были разработаны линейные прогностические модели температуры воды по метеорологическим предикторам (Шатилина и др., 1992). Однако анализ ошибок прогнозирования температуры воды по линейным моделям для прибрежных вод ЮКР (Шатилина, 1995) показал, что количество неоправдавшихся прогнозов увеличивается в июле-августе, а наиболее крупные расхождения между прогнозируемыми значениями температуры воды и истинными наблюдаются при аномальных (резких) изменениях температуры воды. Поэтому появилась необходимость выявления механизмов формирования экстремальных термических условий и разработки метода прогноза экстремальных условий в Дальневосточном регионе.

Проблема прогноза аномальных термических условий нами уже рассматривалась (Шатилина и др., 2002; Цициашвили и др., 2012). Цель настоящей работы — попытка провести анализ синоптико-климатических условий, создающих аномальные термические условия в северо-западной части Тихого океана.

## Материалы и методы

Основными данными послужили архивы реанализа (NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables) атмосферного давления, геопотенциала  $H_{500}$  и температуры воздуха в узлах регулярной сетки  $2,5 \times 2,5^\circ$  за период 1948–2014 гг.

Источником информации о поверхностной температуре воды стал архив JMA ([http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro/cobe\\_sst\\_glb\\_M.html](http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro/cobe_sst_glb_M.html)), содержащий декадные данные по температуре в одноградусной сетке с 1950 по 2014 г. и оперативно пополняемый в режиме реального времени. Средние многолетние значения и средние квадратические отклонения от них для используемых в работе параметров рассчитаны за базовый период 1971–2000 гг.

Анализ изменчивости температуры воды на поверхности проводится в области течения Соя ( $45,50\text{--}47,50^\circ$  с.ш.  $143,50\text{--}146,50^\circ$  в.д.), Южно-Курильском районе (ЮКР,  $42,50\text{--}44,50^\circ$  с.ш.  $146,50\text{--}149,50^\circ$  в.д.), первой ветви Куроисио (1ВК,  $36,30\text{--}38,30^\circ$  с.ш.  $142,30\text{--}146,30^\circ$  в.д.), в области второй ветви Куроисио (2ВК,  $35\text{--}40^\circ$  с.ш.  $147\text{--}150^\circ$  в.д.), третьей ветви Куроисио (3ВК,  $36\text{--}39^\circ$  с.ш.  $154\text{--}160^\circ$  в.д.).

Выбор этих районов основывался на том, что они расположены в основных течениях СЗТО, а также отражают условия миграций сайры.

Методы оценки значимости тренда и их применение для оценок климатических изменений довольно подробно обсуждались в литературе (Шатилина и др., 2010; Цициашвили и др., 2011). Значимость тренда оценивалась величиной  $a/s$ , где  $a$  — коэффициент линейного тренда временного ряда,  $s$  — среднеквадратическая амплитуда остаточных вариаций температуры воды. Величина  $a/s$  характеризует статистическую значимость результатов при фиксированной длине рядов и при указании критического значения, соответствующего принятому уровню значимости. В случае рядов длительностью 30 лет для 95 %-ного уровня значимости критическое значение составляет 0,04.

Для выделения периодов используется метод Фурье в предположении, что имеется линейный тренд на фоне достаточно больших флюктуаций. Поскольку его оценка содержит ошибку, то предлагается альтернативный вариант оценки коэффициентов Фурье.

Пусть задана функция  $x(t)$ , определенная в точках  $t = 1, \dots, T + 1$ :

$$x(t) = \sum_{j=0}^1 a_j t^j + \sum_{k=1}^T c_k \exp\left(\frac{2\pi i k t}{T}\right),$$

где  $i$  — мнимая единица. Вычислим коэффициенты Фурье  $c_k = r_k + i j_k$  и их абсолютные значения  $s_k$ ,  $k = 1, \dots, T - 1$ , не прибегая к вычислению коэффициентов линейного тренда  $a_j$ ,  $j = 0, 1$ .

Определим функцию

$$\Delta x(t) = x(t + 1) - x(t), \quad t = 1, \dots, T, \quad (1)$$

тогда

$$\Delta x(t) = \sum_{k=1}^T c_k \left[ \exp\left(\frac{2\pi i k}{T}\right) - 1 \right] \exp\left(\frac{2\pi i k t}{T}\right), \quad t = 1, \dots, T,$$

значит

$$c_k = r_k + i j_k = \sum_{t=1}^T \frac{\Delta x(t) e^{-\frac{2\pi i k t}{T}}}{T \left[ e^{\frac{2\pi i k}{T}} - 1 \right]}.$$

Обозначим

$$\left[ \left( \cos \frac{2\pi k}{T} - 1 \right) - i \sin \frac{2\pi k}{T} \right] = A_k + i B_k,$$

где  $A_k, B_k$  — вещественные числа:  $A_k = \rho_k \cos \varphi_k$ ,  $B_k = \rho_k \sin \varphi_k$ ,

$$\rho_k = \sqrt{\left( \cos \frac{2\pi k}{T} - 1 \right)^2 + \left( \sin \frac{2\pi k}{T} \right)^2}, \quad \varphi_k = -\operatorname{arctg} \frac{\sin \frac{2\pi k}{T}}{\cos \frac{2\pi k}{T} - 1}.$$

Тогда получим

$$r_k = \sum_{t=1}^T \frac{\Delta x(t) \left( A_k \cos \frac{2\pi k t}{T} + B_k \sin \frac{2\pi k t}{T} \right)}{T \left[ \left( \cos \frac{2\pi k}{T} - 1 \right) + \left( \sin \frac{2\pi k}{T} \right) \right]}, \quad (2)$$

$$j_k = -\sum_{t=1}^T \frac{\Delta x(t) \left( A_k \sin \frac{2\pi k t}{T} - B_k \cos \frac{2\pi k t}{T} \right)}{T \left[ \left( \cos \frac{2\pi k}{T} - 1 \right) + \left( \sin \frac{2\pi k}{T} \right) \right]}, \quad (3)$$

$$s_k = \sqrt{r_k^2 + j_k^2}, \quad k = 1, \dots, T - 1. \quad (4)$$

Таким образом, вычисления коэффициентов Фурье функции  $x(t)$  не требуют знания коэффициентов линейного тренда  $a_0, a_1$ , которые вычисляются методом наименьших квадратов с ошибками.

Для распознавания экстремальных термических режимов в районах СЗТО применялся метод интервального распознавания (Цициашвили и др., 2002, 2012; Шатилина и др., 2005, 2006). Коэффициент интервального распознавания  $n = r/(r + m)$ , где  $r$  — число критических объектов, а  $m$  — число некритических объектов, является аналогом коэффициента множественной регрессии. Признаками для распознавания экстремальных лет будут данные температуры воздуха и приземного атмосферного давления по трем климатическим зонам (30–40° с.ш., 45–55° с.ш., 60–70° с.ш. между 120 и 160° в.д.).

### Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены данные межгодовой изменчивости температуры воды для выбранных районов северо-западной части Тихого океана в августе.

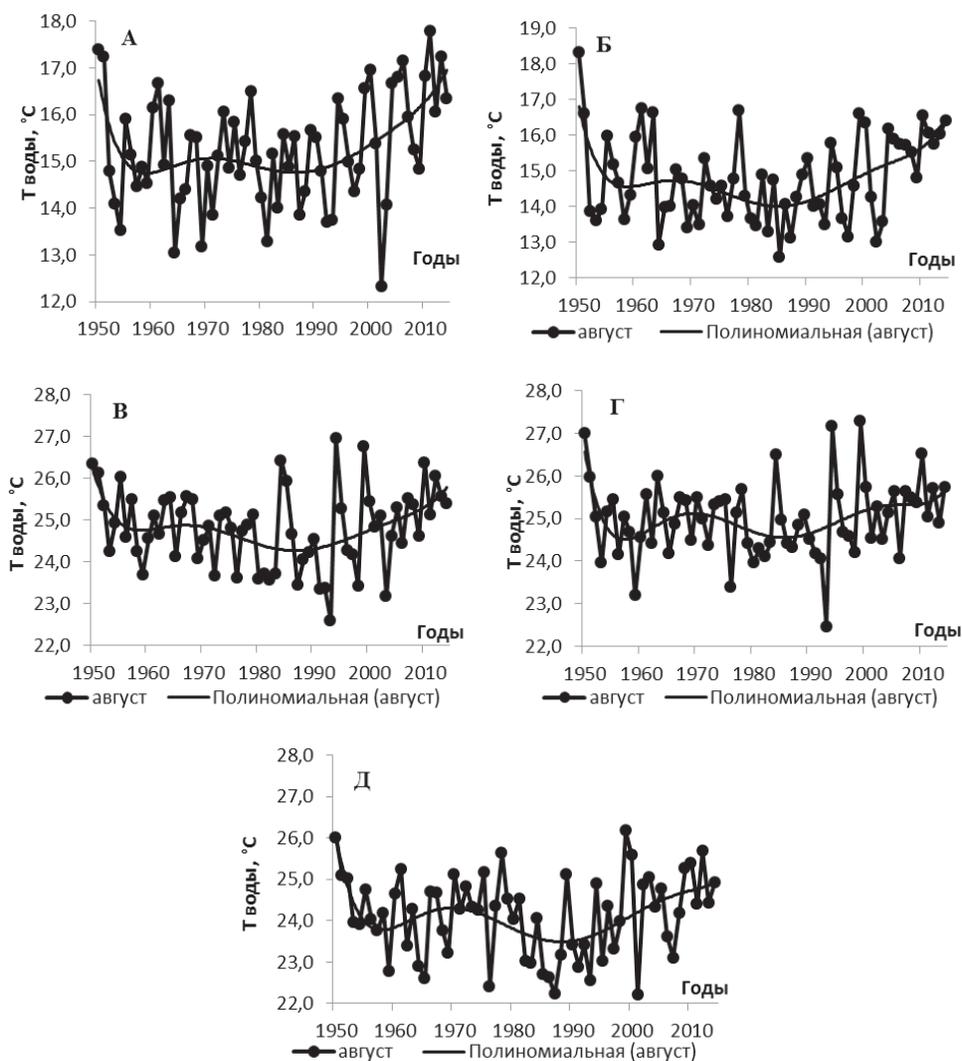


Рис. 1. Многолетняя изменчивость поверхностной температуры воды в августе 1950–2014 гг.: А — область течения Соя; Б — Южно-Курильский район; В — область первой ветви Куросио; Г — второй ветви Куросио; Д — третьей ветви Куросио

Fig. 1. Long-term variations of the sea surface temperature in August, 1950–2014: А — the Soya Current area; Б — the South Kuril area; В — the Kuroshio Current first branch area; Г — the Kuroshio Current second branch area; Д — the Kuroshio Current third branch area

В последние 30 лет усиливается рост температуры воды. Кроме того, у нее наблюдаются значительные межгодовые флюктуации. В последнее тридцатилетие отмечаются как максимальные значения температуры воды, так и минимальные.

На первом этапе количественной оценки тенденций в изменчивости поверхностной температуры воды в СЗТО мы рассчитали значимость трендов и флюктуации для каждого района в июле-сентябре. Эти расчеты были осуществлены для всего временного ряда и для двух 30-летних периодов, эти периоды с разными значениями тенденций визуально просматриваются на рис. 1.

В табл. 1 представлены значения коэффициентов  $a/s$  (значимость тренда) для двух временных рядов: 1950–1982 и 1983–2014 гг. (для всего временного ряда значимость низкая, и эти расчеты не представлены) и  $s$  (остаточная изменчивость). Значимость тренда во временных рядах климатических параметров определяется по значению  $a/s > 0,04$  (95 % обеспеченности тренда).

Из данных табл. 1 хорошо видно различие в тенденциях изменчивости поверхностной температуры воды в периоды 1950–1982 и 1983–2014 гг. Оно проявляется в

Таблица 1

Значения коэффициентов  $a/s$  и  $s$  для временных рядов поверхностной температуры воды в июле-сентябре 1950–1982 и 1983–2014 гг.

Table 1

Coefficients  $a/s$  and  $s$  for SST time series in July-September 1950–1982 and 1983–2014

Район	Июль		Август		Сентябрь	
	1950–1982	1983–1914	1950–1982	1983–1914	1950–1982	1983–1914
Коэффициенты $a/s$						
ЮКР	-0,03	0,07	-0,03	0,09	-0,04	0,10
1ВК	-0,04	0,05	-0,06	0,04	-0,05	0,05
2ВК	-0,01	0,03	-0,03	0,03	-0,05	0,05
3ВК	-0,02	0,05	-0,01	0,07	-0,02	0,08
Соя	-0,03	0,06	-0,02	0,06	-0,03	0,10
Значения $s$						
ЮКР	1,20	0,98	1,16	0,92	0,84	1,01
1ВК	0,94	0,95	0,66	1,03	0,85	0,96
2ВК	0,88	0,89	0,76	0,92	0,76	0,94
3ВК	1,04	0,87	0,86	0,91	1,02	1,01
Соя	0,95	0,94	1,07	1,08	0,86	0,93

большой статистической значимости положительных трендов в последний период. Для ЮКР наибольшая значимость тренда наблюдалась в августе и сентябре, для первой ветви Куроисио и второй ветви — в сентябре. Для третьей ветви Куроисио высокая значимость отмечалась в сентябре. В области Соя экстремальное повышение проявилось в сентябре.

Видно, что в первый период наибольшие флюктуации отмечались в ЮКР в июле-августе, а в сентябре они значительно уменьшались. В период 1983–2014 гг. флюктуации температуры воды значительно увеличивались в сентябре. В районе 1ВК в первый период наибольшие флюктуации отмечались в июле, а во второй — в августе, кроме того, в 1983–2014 гг. они значительно увеличились в августе и сентябре. В районе 2ВК флюктуации значительно увеличились в 1983–2014 гг. В 3ВК в этот период флюктуации значительно уменьшились в июле, а увеличились в августе и сентябре.

Таким образом, на фоне резкого повышения поверхностной температуры воды в период 1983–2014 гг. наблюдается рост флюктуаций и их смещение на август и сентябрь.

Обнаруженные тенденции роста поверхностной температуры воды во временном ряду поверхностной температуры воды согласуются по времени с тенденцией роста атмосферного давления в центрах действия атмосферы, особенно значительно проявившегося в средней тропосфере (Шатилина, Анжина, 2013) (рис. 2).

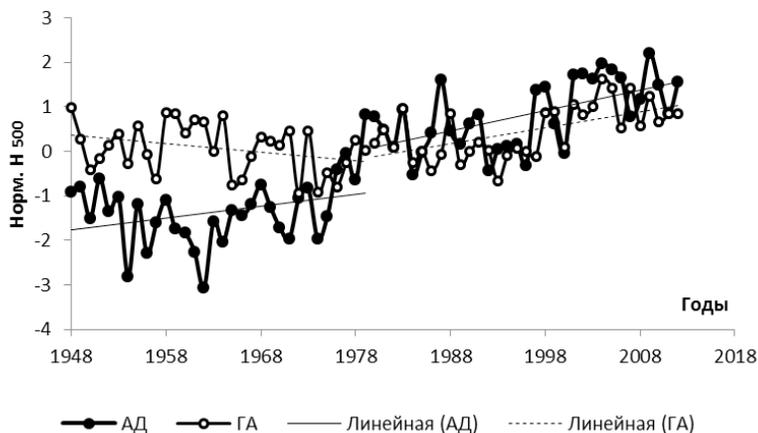


Рис. 2. Многолетняя изменчивость нормированных значений геопотенциала  $H_{500}$  в области азиатской депрессии (АД) и гавайского антициклона (ГА) в сентябре 1948–2012 гг. и линейные тренды  
 Fig. 2. Long-term variations of geopotential height  $H_{500}$  (normalized values) in the areas of Asian Low (АД) and Hawaiian High (ГА) in September 1948–2012. Linear trends are shown

В период 1948–1979 гг. отмечается противофазность между интенсивностью азиатской депрессии (13–35° с.ш. 60–100° в.д.) и гавайского антициклона (30–45° с.ш. 185–235° в.д.), а в период 1980–2012 гг. второй усиливается, а первая ослабевает. В табл. 2 представлены данные значимости тенденций роста геопотенциала  $H_{500}$  в азиатской депрессии и гавайском антициклоне в июле-сентябре 1980–2012 гг. Видно, что их значимость такого же порядка, что и значимость тенденций роста поверхностной температуры воды в районах СЗТО.

Таблица 2

Значимость тренда ( $a/s$ ) нормированных значений  $H_{500}$  над областью центров действия атмосферы (ЦДА) в 1980–2012 гг.

Table 2

Trend significance ( $a/s$ ) for geopotential height  $H_{500}$  in the atmosphere action centers in 1980–2012

ЦДА	Июль	Август	Сентябрь
Азиатская депрессия	0,07	0,11	0,08
Гавайский антициклон	0,05	0,08	0,08
Летняя дальневосточная депрессия			0,06
Юго-Восточная Азия		0,07	0,06
Японское море			0,06

Значимые положительные тренды в средней тропосфере над областью азиатской депрессии и гавайского антициклона отмечались во все месяцы. Наибольшая интенсивность субтропических антициклонов наблюдалась в августе и сентябре. Усиление интенсивности субтропических антициклонов могло явиться одной из причин формирования аномально теплых термических режимов в СЗТО. Механизм этого явления хорошо выявляется при анализе экстремальных лет. При усилении влияния субтропического антициклона происходит интенсивный заток теплого воздуха в СЗТО (усиливается вторая стадия летнего муссона).

В последние десятилетия определенный интерес проявляется к исследованию цикличности в различных явлениях и, в частности, к использованию этого природного свойства для разработки прогностических методов (Методические рекомендации, 1997\*; Антонов, 2007).

В этом исследовании проводится расчет модулей коэффициентов Фурье для выявления роли различных циклов и их влияния на экстремальные природные явления. Результаты расчетов модулей коэффициентов Фурье для временных рядов поверхностной температуры воды в области течения Соя, ЮКР, 1ВК, 2ВК и 3ВК представлены в табл. 3.

Для всего ряда в ЮКР наибольшие коэффициенты Фурье отмечаются для 2-летнего цикла (данные не приводятся). При сравнительной оценке двух периодов модули Фурье различаются. Так, наибольшие 2- и 3-летний циклы в первом периоде наблюдаются в июле и августе, также наряду с этими циклами большие модули имеет 7-летний цикл. Для последнего периода наибольшие модули Фурье отмечаются в сентябре для 7- и 3-летнего циклов.

Для разных периодов величина модуля Фурье в районе 1ВК существенно различается (табл. 3). Так, для периода 1983–2014 гг. в июле наибольшие модули Фурье отмечались для 2–3-летних циклов, а в первый период наблюдались 5–6-летние циклы. В августе для последнего периода отмечались 2- и 7-летние циклы с большими модулями Фурье, а в сентябре 7-летний цикл достиг экстремального значения (интересно, что в сентябре отмечались экстремальные тренды температуры воды). Возможно, это свидетельствует о том, что в период глобального потепления в формировании режима поверхностных вод в первой ветви Куроисио основную роль играли процессы, происходящие в субтропических районах Тихого океана, в частности процессы Эль-Ниньо, цикличность которых колеблется от 3 до 7 лет.

\* Методические рекомендации по использованию метода сверхдолгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов (МСПГЭ) и программного комплекса «Призма». Мурманск: ПИНРО, 1997. 40 с.

Таблица 3  
 Модули коэффициентов Фурье, рассчитанные по данным температуры воды в районах СЗТО  
 в 1950–1982 и 1983–2014 гг. для различных периодов

Table 3  
 Fourier coefficients modules for certain periodicities in SST time series for 1950–1982  
 and 1983–2014

Месяц	Период											
	2-летний		3-летний		5-летний		6-летний		7-летний		10-летний	
	1950– 1982	1983– 2014										
	<i>ЮКР</i>											
Июль	<b>0,34</b>	<b>0,31</b>	<b>0,34</b>	0,16	0,03	0,04	0,07	0,18	<b>0,39</b>	0,10	0,10	0,08
Август	<b>0,42</b>	0,05	<b>0,42</b>	0,09	0,10	0,18	<b>0,49</b>	<b>0,28</b>	<b>0,29</b>	0,13	0,14	0,09
Сентябрь	0,16	0,17	0,16	<b>0,28</b>	0,04	0,16	<b>0,32</b>	0,13	0,05	<b>0,34</b>	0,12	0,07
	<i>ЛВК</i>											
Июль	<b>0,30</b>	<b>0,35</b>	<b>0,23</b>	<b>0,24</b>	<b>0,21</b>	0,14	<b>0,24</b>	0,09	0,14	0,01	0,08	0,12
Август	0,13	<b>0,28</b>	0,11	0,11	0,06	0,09	0,06	0,10	0,08	<b>0,28</b>	0,19	0,05
Сентябрь	0,15	0,18	<b>0,27</b>	<b>0,25</b>	<b>0,22</b>	<b>0,21</b>	0,08	0,11	0,13	<b>0,51</b>	0,03	0,01
	<i>2ВК</i>											
Июль	<b>0,26</b>	<b>0,29</b>	0,16	<b>0,20</b>	0,07	<b>0,21</b>	0,19	<b>0,23</b>	0,09	0,07	0,10	0,16
Август	0,15	0,19	0,03	0,08	0,11	0,12	0,07	<b>0,24</b>	0,13	0,19	<b>0,22</b>	0,05
Сентябрь	0,14	0,09	0,13	<b>0,41</b>	0,21	0,21	0,11	0,09	0,04	<b>0,51</b>	0,08	0,01
	<i>3ВК</i>											
Июль	<b>0,33</b>	<b>0,26</b>	0,18	<b>0,31</b>	0,17	0,08	0,08	<b>0,32</b>	0,03	0,07	0,13	0,07
Август	0,17	0,15	0,14	0,17	0,18	0,03	0,03	<b>0,40</b>	0,11	0,19	0,08	0,19
Сентябрь	0,10	0,16	0,08	<b>0,36</b>	<b>0,22</b>	0,14	0,14	0,17	0,17	<b>0,57</b>	0,14	<b>0,57</b>
	<i>Соя</i>											
Июль	<b>0,22</b>	0,14	0,18	0,11	0,04	0,06	0,06	0,12	0,12	0,11	0,13	0,11
Август	<b>0,37</b>	0,08	0,10	0,09	0,06	<b>0,29</b>	<b>0,36</b>	0,14	0,17	0,13	0,02	0,05
Сентябрь	<b>0,25</b>	0,14	0,14	<b>0,24</b>	0,13	0,06	<b>0,22</b>	<b>0,24</b>	0,11	<b>0,26</b>	0,02	0,10

*Примечание.* Жирным шрифтом выделены коэффициенты Фурье > 0,20.

И во временном ряду поверхностной температуры воды в области второй ветви Куроисио в период 1983–2014 гг. по значимости выделяются 3-летние циклы, причем в сентябре наблюдалось экстремальное значение модуля Фурье для 3- и 7-летнего циклов, как и для временного ряда первой ветви Куроисио (табл. 3).

Последний период в районе 3ВК характеризуется большими значениями коэффициентов Фурье в сентябре для 3, 7 и 10-летнего циклов. Данные табл. 3 показывают, что существенное влияние на флюктуации температуры воды и в этом районе океана оказывают 7-летние циклы. В первом периоде в июле-сентябре выделяются 2- и 6-летний циклы. В период 1983–2014 гг. в июле наблюдаются низкие значения коэффициентов Фурье, в августе высокие значения имеет только 5-летний цикл, в сентябре высокие значения имеют 3, 6 и 7-летний циклы.

Таким образом, для всех районов СЗТО выявлено существенное влияние 7-летнего цикла на флюктуации температуры воды в августе-сентябре. Большие коэффициенты Фурье и для 2- и 7-летних циклов осложняют прогнозы температуры воды. Усиление флюктуаций температуры воды на фоне повышения температуры воды затрудняет применение для прогноза методов регрессионного анализа, которые не могут достаточно надежно прогнозировать резкие изменения температуры воды в промысловые сезоны. В отличие от линейного регрессионного анализа, методы интервального распознавания нацелены на распознавание экстремальных природных явлений. Мы полагаем, что экстремальные режимы во временных сериях температуры воды имеют свою историю, которая обуславливается как короткими, так и длинными циклами.

На основе анализа данных поверхностной температуры воды в выбранных районах была составлена таблица аномальных лет в летний период (табл. 4).

Годы с экстремальными термическими режимами по выделенным районам СЗТО  
(аномалии температуры воды  $\pm 2^\circ\text{C}$ )

Years of extreme thermal regimes (SST anomaly  $\pm 2^\circ\text{C}$ ) in selected areas of the North-West Pacific

Месяц	Экстремально теплые годы					Экстремально холодные годы				
	ЮКР	СОЯ	1ВК	2ВК	3ВК	ЮКР	СоЯ	1ВК	2ВК	3ВК
Июль	1950, 1959, 1978, 1978, 2000, 2010, 2013	1950, 1978, 1995, 2000, 2010, 2013	1950, 1955, 1978, 2001, 2010	1950, 1978, 2000	1950, 1978, 2000	1954, 1964, 1966, 1983, 1985	1964, 1983, 1997	1965, 1982, 1983, 1992, 1993	1965, 1982, 1983, 1986, 1992, 1993	1964, 1983, 1986, 2006
Август	1950, 1951, 1961, 1963, 1978, 1999, 2010, 2014	1950, 1951, 2000, 2006, 2011, 2013	1950, 1984, 1994, 1999, 2010	1950, 1994, 1999	1950, 1978, 1999	1964, 1985, 2002	1964, 1981, 1999, 2002	1993, 2003	1959, 1976, 1993	1965, 1976, 1987, 2001
Сентябрь	1950, 1999, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2014	2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012	1994, 1999, 2008, 2010, 2011, 2012	1950, 1999, 2007, 2008, 2010, 2012	1950, 1989, 1994, 2008, 2011, 2012	1964, 1971, 1981, 1992	1981, 1992	1971, 1981, 1982, 1992	1971, 1996	1959, 1983, 1985, 1987

Июль экстремально теплым во всех районах был в 1950 и 1978 гг. По данным августа экстремально теплыми годами для ЮКР и области течения СоЯ были 1950, 1951, во второе десятилетие 21-го века экстремально теплыми годами были 2010, 2011, 2013, 2014. Заметим также, что больше всего экстремальных термических условий наблюдалось в сентябре 2007, 2008 и 2010–2014 гг. Июль для всех районов экстремально холодным был в 1983 г., а для 1ВК, 2ВК и 3ВК — в 1992, 1993 гг.

На основе предыдущего анализа изменчивости поверхностной температуры воды в отдельных районах СЗТО рассмотрим механизмы формирования экстремально теплых термических режимов в августе и сентябре. По-видимому, этот механизм связан с ростом интенсивности субтропических антициклонов (значимость тренда в азиатской депрессии и гавайском антициклоне согласуется со значимостью тренда во временном ряду поверхностной температуры воды).

На рис. 3 представлена среднемесечная структура поля  $AT_{500}$  в августе и сентябре 2010 г. (экстремально теплые режимы отмечались практически для всех районов СЗТО), ход среднемноголетнего давления, давления в августе 2010 г. и температуры воздуха между  $115$  и  $165^\circ$  в.д. на  $40^\circ$  с.ш. в августе 2010 г.

Видно, что исследуемые районы СЗТО в 2010 г. находились под влиянием тропосферных антициклонов (они имели тенденцию к усилению). Насколько аномальными были эти процессы, показывают также данные хода приземного давления и температуры воздуха (рис. 3) в августе по сравнению со среднемноголетним ходом. Усиление влияния гребня субтропического антициклона (оно отмечается и у земли) обуславливает интенсивную адвекцию теплых воздушных масс и их локализацию над описываемыми районами СЗТО.

Механизм формирования экстремально холодных лет в области течения СоЯ и ЮКР был показан ранее (Цициашвили и др., 2012; Шатилина, Кравченко, 2013). Он обуславливается интенсивным развитием в июне холодной стадии дальневосточного муссона. Механизм формирования холодных термических режимов в водах Курошио в летний период представлен на рис. 4.

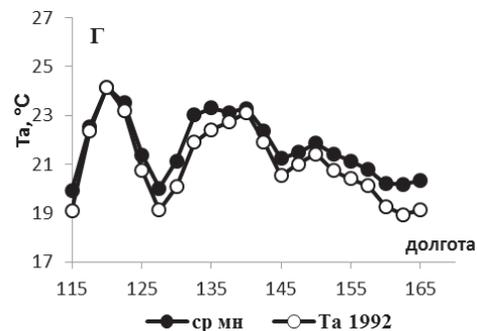
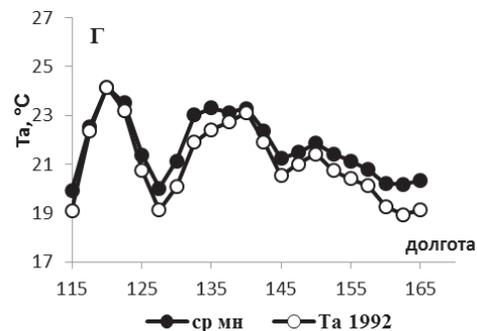
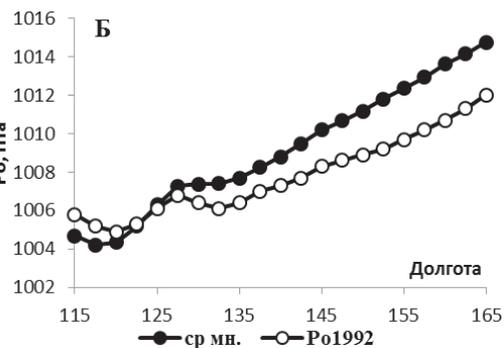
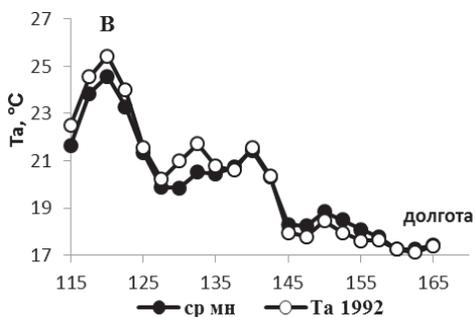
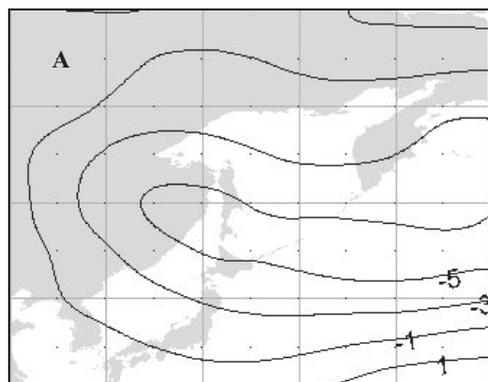
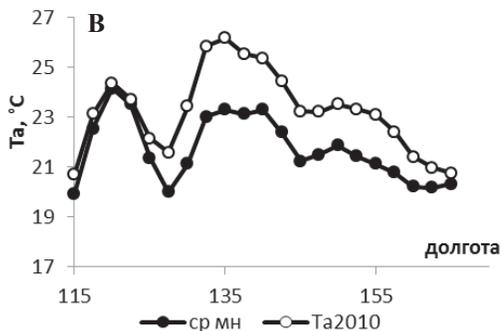
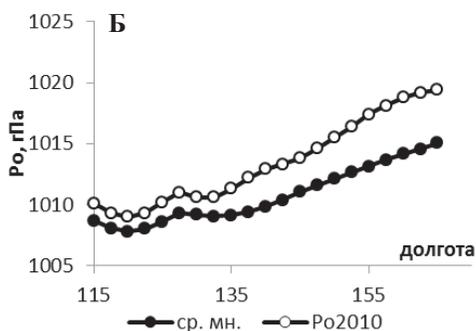
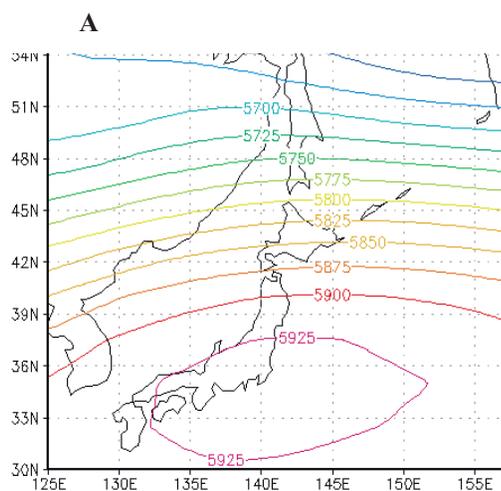


Рис. 4. Аномалии геопотенциала  $H_{500}$  в июле 1992 г. (А), изменчивость среднемноголетнего давления и давления в июле 1992 г. (Б), изменчивость среднемноголетней температуры воздуха и в июле 1992 г. (В) и августе 1992 г. (Г) на  $40^\circ$  с.ш. между  $115$  и  $165^\circ$  в.д.

Fig. 4. Anomaly of geopotential height  $H_{500}$  in July 1992 (А); variation of atmospheric pressure in July 1992 vs its climatic variation (Б) and climatic variation of air temperature at the sea surface in July 1992 (В) and August 1992 (Г) for  $40^\circ$  N between  $115$ – $165^\circ$  E

Рис. 3. Среднемесячное поле  $AT_{500}$  в августе 2010 г. (А), изменчивость среднемноголетнего давления и давления в августе 2010 г. (Б), изменчивость среднемноголетней температуры воздуха и температуры воздуха в августе 2010 г. (В) между  $115$  и  $165^\circ$  в.д. на  $40^\circ$  с.ш.

Fig. 3. Mean month  $AT_{500}$  field in August 2010 (А); variation of atmospheric pressure in August 2010 vs its climatic variation (Б) and variation of air temperature in August 2010 vs its climatic variation (В) at the sea surface for  $40^\circ$  N between  $115$ – $165^\circ$  E in August

Видно, что в июле 1992 г. над СЗТО тропосферный антициклон был ослаблен (отрицательные аномалии геопотенциала) (рис. 4, А). Ослабление антициклона отмечалось и в приземном поле давления (рис. 4, Б). Это обусловило снижение адвекции теплых воздушных масс над акваторией вод Курошио (рис. 4, В, Г) и быстрое охлаждение поверхностных вод, температура воды в 1ВК и 2ВК была аномально низкой (табл. 4).

Таким образом, механизмы формирования аномально теплых и холодных режимов различаются. Мы полагаем, что экстремальные режимы во временных сериях температуры воды имеют сходную атмосферную предысторию. Это дает нам основание применить для их выявления метод интервального распознавания.

Исходя из вышеописанного признаками для распознавания могут быть данные приземного давления и температуры воздуха для района 115–165° в.д. 30–60° с.ш.

Результаты интервального распознавания экстремальных термических режимов в СЗТО по полю приземного давления и температуры воздуха в предшествующие месяцы представлены в табл. 5–7.

Таблица 5

Значимые коэффициенты распознавания по данным приземной температуры ( $T_a$ ) и приземного давления ( $P_o$ ) в южных, умеренных и северных районах центрального района Северного полушария (120–160° в.д. 30–60° с.ш.) в экстремальные годы в 1ВК и 2ВК для августа

Table 5

Significant coefficients of recognition for time series of air temperature ( $T_a$ ) and atmospheric pressure ( $P_o$ ) at the sea surface in southern, middle, and northern parts of the area 30–60° N 120–160° E in the years with extreme SST regimes in the areas of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> branches of Kuroshio Current in August

Месяц	1ВК теплый			2ВК теплый			1ВК холодный			2ВК холодный		
	Южн.	Умер.	Сев.	Южн.	Умер.	Сев.	Южн.	Умер.	Сев.	Южн.	Умер.	Сев.
<b><math>T_a</math></b>												
Январь				1	0,75	0,75	1	1	1	1	1	1
Февраль		1	0,83	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Март		1		1	1	0,75	1	1	1	1	1	1
Апрель		0,71	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Май	0,71	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Июнь	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,8
Июль	1	0,83		1	1	1	1	1	1	1	1	0,8
<b><math>P_o</math></b>												
Январь				1	1	1	1	0,7	1	1	0,1	1
Февраль						1	1	1	1	0,8	0,8	0,4
Март				0,75	0,75	0,75	1	1	1	1	1	1
Апрель				1	1		1	1	1			
Май				1	1	1	1	1	1	1	1	1
Июнь	0,83		0,83	1	0,75	1	1	1	1	1	1	1
Июль				1			1	1	1	0,8	0,4	0,3

*Примечание.* Значимые коэффициенты распознавания > 0,70.

По данным табл. 5–7 видно, что экстремально теплые термические режимы в области 1ВК в августе лучше всего определяются в зимний период в умеренных районах Тихого океана (40–55° с.ш. 120–160° в.д.) по приземной температуре воздуха. Эти режимы не распознаются по данным давления, кроме июня. Экстремально теплые режимы в области 2ВК фиксируются по приземной температуре воздуха по всем климатическим районам практически во все сезоны. Так же хорошо они распознаются и по давлению.

Холодные термические режимы определяются довольно успешно по данным как приземной температуры, так и приземного давления.

По данным табл. 6, 7 диагностирование экстремально теплых режимов в сентябре получается хуже, чем в августе, но все же по приземной температуре воздуха

Таблица 6

Значимые коэффициенты распознавания по данным приземной температуры ( $T_a$ ) и приземного давления ( $P_0$ ) в южных, умеренных и северных районах центрального района Северного полушария (120–160° в.д. 30–60° с.ш.) в экстремально теплые годы для сентября в области течения Соя, ЮКР, 1БК, 2БК

Table 6

Significant coefficients of recognition for time series of air temperature ( $T_a$ ) and atmospheric pressure ( $P_0$ ) at the sea surface in southern, middle, and northern parts of the area 30–60° N 120–160° E, 30–60° N in the years with extreme warm regime in the Soya Current area, the South Kuril area, and the areas of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> branches of the Kuroshio Current in September

Месяц	Соя			ЮКР			1БК			2БК		
	Южн.	Умер.	Сев.									
<b><math>T_a</math></b>												
Январь			0,86						1		0,86	0,86
Февраль		0,75	0,86						0,75			
Март												
Апрель	1			0,73			0,86	0,75		0,86	0,75	
Май	1	1	1	0,89	0,8		1	0,86		1	0,86	
Июнь	1	1	0,86	0,89		1	1		0,75	1		0,86
Июль	1	0,86		0,73	1			1		0,86	1	
Август	1	0,86	0,86	1	0,73		1	1		1	1	
<b><math>P_0</math></b>												
Январь												
Февраль										0,86	0,86	
Март												
Апрель												
Май							1					
Июнь											0,75	0,86
Июль		1					1	0,75				
Август		0,86	1				0,75	1	0,86			

оно намного эффективнее, чем по приземному давлению (значимых коэффициентов распознавания меньше, чем по температуре воздуха). Распознавание холодных режимов намного эффективнее, чем теплых, это может быть связано с меньшим числом холодных лет (см. табл. 4).

Детализация результатов, полученных методом интервального распознавания, представлена на рис. 5 на примере 2008, 2007 и 2010 гг., которые были экстремально теплыми практически для всех районов СЗТО. Представлена изменчивость данных температуры воздуха (как наиболее информативного параметра для распознавания) в апреле и июне по сравнению со среднемноголетним ходом.

Виден рост температуры воздуха в месяцы, предшествующие формированию экстремально теплых режимов. Этот рост обуславливается зональной структурой поля  $AT_{500}$  в июне.

В экстремально холодные годы наблюдается противоположная ситуация. Так, на рис. 6 представлена изменчивость температуры воздуха в экстремально холодные термические режимы в области течения Соя, ЮКР и 1БК в июне 1981 и 1983 гг., когда экстремально холодные сезоны отмечались в августе и сентябре (табл. 4). Заметим, что похолодание было обусловлено интенсивным развитием охотского антициклона. Барические поля для этих лет были представлены ранее (Шатилина, Анжина, 2011).

Особо опишем условия формирования термического режима в 2015 г. В этом году наблюдались экстремальные процессы в ледовом режиме Японского и Охотского морей. Весной этого года наблюдалась интенсивная адвекция теплых воздушных масс в районы СЗТО. Об этом свидетельствуют данные приземной температуры воздуха в апреле 2015 г. (рис. 7, А), который был типичен для экс-

Таблица 7

Значимые коэффициенты распознавания по данным приземной температуры ( $T_a$ ) и приземного давления ( $P_0$ ) в южных, умеренных и северных районах центрального района Северного полушария (120–160° в.д. 30–60° с.ш.) в экстремально холодные годы для сентября

Table 7

Significant coefficients of recognition for time series of air temperature ( $T_a$ ) and atmospheric pressure ( $P_0$ ) at the sea surface in southern, middle, and northern parts of the area 30–60° N 120–160° E in the years with extreme cold regimes in the Soya Current area, the South Kuril area, and the areas of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> branches of the Kuroshio Current in September

Месяц	Соя			ЮКР			1БК			2БК		
	Южн.	Умер.	Сев.									
<b><math>T_a</math></b>												
Январь	1	1	1		1	1		1	1	1		1
Февраль	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
Март	1	1	1	1	0,8	1	1	0,7	1	1		1
Апрель	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
Май	1	1	1	1	1	0,8	1	1	0,8	1	1	1
Июнь	1	1	1	1	0,8	0,8	1	0,7	1	1		1
Июль	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Август	1	1	1	1	0,8	0,8	1	0,6	1	1	0,7	1
<b><math>P_0</math></b>												
Январь	1	1	1	0,7			0,8	0,8		1	1	1
Февраль	1	1					1	1		1	1	
Март	1	1	1	0,7	0,7	0,7	1	1	1	1	1	1
Апрель	1	1	1			1			1	1	1	1
Май	1	1	1	0,8	1	1	1	1	1	1	1	1
Июнь	1	1	1			1			1	1	1	1
Июль	1	1	1	1	0,8	1		1	1	1	1	1
Август		1	1	0,7				0,7	1	1	1	1

тремальных лет в августе. В зимний и весенний сезоны над Азиатско-Тихоокеанским регионом наблюдались аномальные атмосферные процессы. Структура барического поля в апреле была типичной для теплых лет в августе (хорошо выраженный зональный поток воздушных масс) (рис. 7, В). Аномалии в атмосфере подтверждаются графиком на рис. 7 (Б), на котором хорошо заметно отличие хода приземного давления на широте 40° в апреле 2015 г. от среднемноголетнего хода на этой широте. Эти процессы были предвестниками теплых термических условий в СЗТО в августе (рис. 7, Г).

Таким образом, аномальные термические условия в августе-сентябре в поверхностных водах северо-западной части Тихого океана могут распознаваться по предшествующим атмосферным процессам, протекающим над Азиатско-Тихоокеанским регионом.

### Заключение

На фоне резкого повышения температуры воды в районах СЗТО в период 1983–2014 гг. наблюдается рост ее флюктуаций и их смещение на август и сентябрь.

Обнаруженная значимость положительных трендов во временном ряду поверхностной температуры воды в 1983–2014 гг. согласуется по времени с тенденцией роста и таким же порядком значимости атмосферного давления в центрах действия атмосферы, особенно значительно проявившегося в средней тропосфере.

Основными механизмами, формирующими экстремально теплые термические режимы, являются субтропические антициклоны, которые имеют ярко выраженную тенденцию к усилению. А экстремально холодные термические режимы в августе и сентябре формируются, когда в мае-июне активизируется первая холодная стадия дальневосточного муссона.

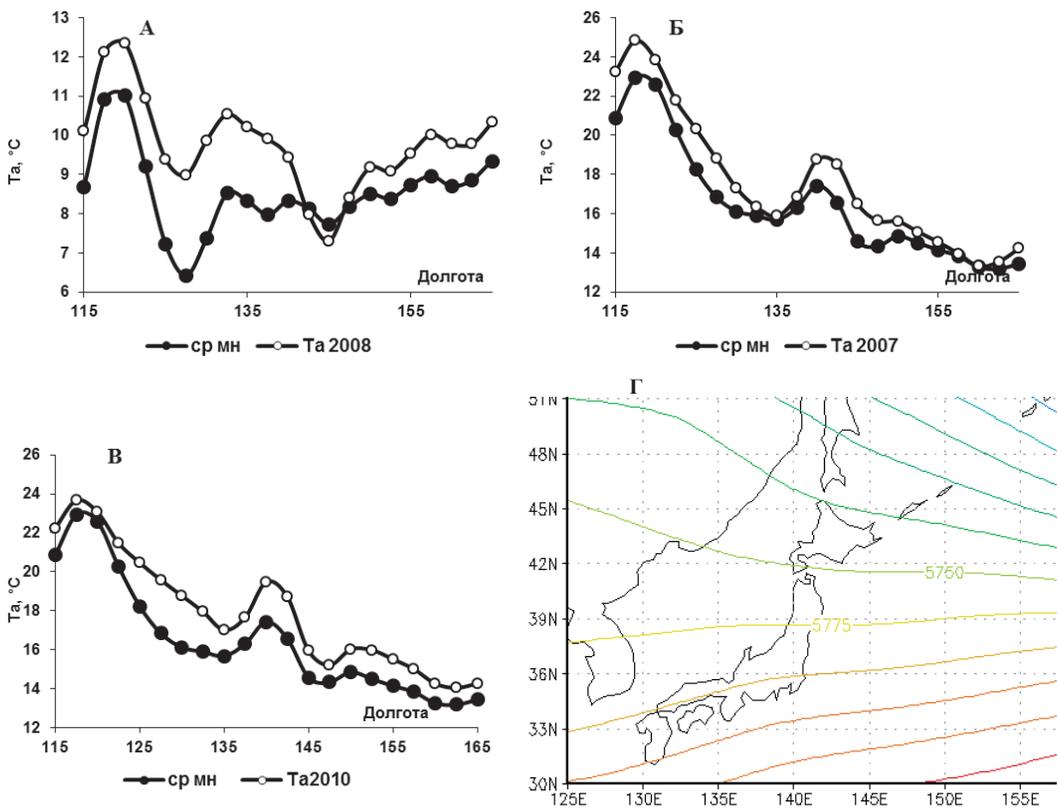


Рис. 5. Изменчивость температуры воздуха по сравнению со среднемноголетней изменчивостью на 40° с.ш. между 115 и 165° в.д. в апреле 2008 г. (А), в июне 2007 г. (Б) и 2010 г. (В), среднемесячное поле  $AT_{500}$  в июне 2010 г. (Г)

Fig. 5. Variation of air temperature at the sea surface for 40° N between 115–165° E in April 2008 (А), June 2007 (Б) and 2010 (В) vs its climate variation in these months; mean month  $AT_{500}$  field in June 2010 (Г)

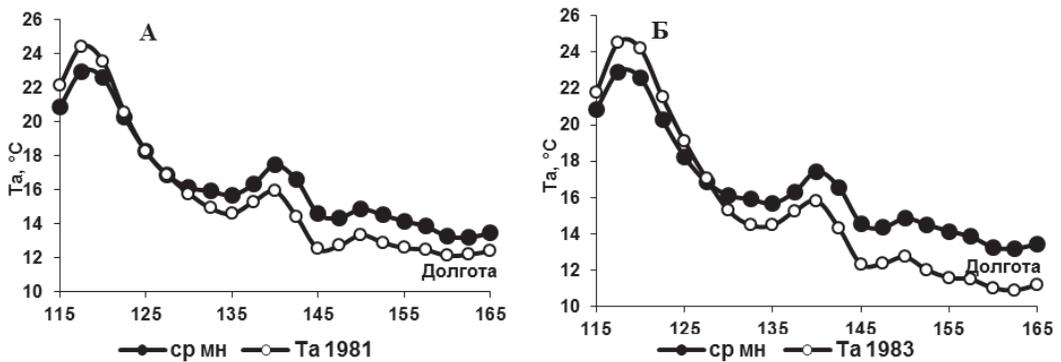


Рис. 6. Изменчивость температуры воздуха по сравнению со среднемноголетней изменчивостью на 40° с.ш. между 115 и 165° в.д. в июне 1981 (А) и 1983 (Б) гг.

Fig. 6. Variation of air temperature at the sea surface for 40° N between 115–165° E in June 1981 (А) and 1983 (Б) vs its climate variation in these months

В августе-сентябре для всех районов СЗТО в последний 30-летний период выявлено доминирующее влияние 7-летнего цикла.

Усиление флюктуаций температуры воды на фоне роста тенденций затрудняет применение для прогноза методов регрессионного анализа, которые не могут достаточно надежно прогнозировать резкие изменения температуры воды в промысловые сезоны. В отличие от линейного регрессионного анализа, методы интервального

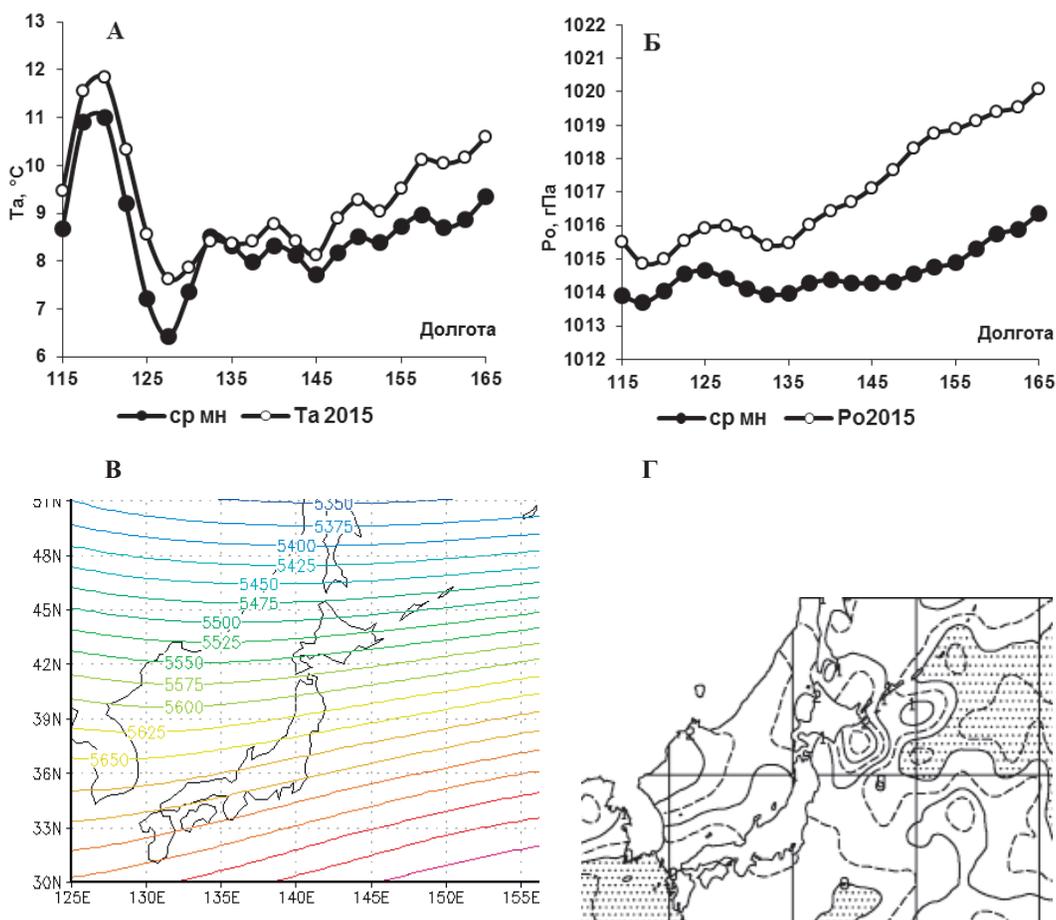


Рис. 7. Изменчивость температуры воздуха (А) и давления (Б) по сравнению со средне-многoletней изменчивостью на 40° с.ш. между 115 и 165° в.д. в апреле 2015 г., среднемесячная структура поля  $AT_{500}$  в апреле 2015 г. (В) и распределение температуры воды в августе 2015 г. (Г, данные JMA: белый фон — положительные аномалии, пунктир — отрицательные аномалии)

Fig. 7. Change of air temperature (А) and atmospheric pressure (Б) at the sea surface for 40° N between 115–165° E in June 2015 vs their climatic variations in this month; mean month  $AT_{500}$  field in April 2015 (В), and mean month SST distribution in August 2015 (Г, JMA data)

распознавания нацелены на распознавание экстремальных природных явлений. Мы полагаем, что экстремальные режимы во временных сериях температуры воды имеют свою предысторию, которая обуславливается как короткими, так и длинными циклами.

Контрастное различие в структуре барических полей над Азиатско-Тихоокеанским регионом в экстремальные по типу термического режима годы дает нам основание применить метод интервального распознавания для выявления особенностей атмосферных полей в январе-июне, определяющих в июле-сентябре экстремальные термические режимы. Наиболее эффективными для распознавания признаками оказались данные температуры воздуха в южных и умеренных районах Тихого океана в весенний период.

Одним из важных результатов применения метода интервального распознавания было выявление типов предшествующих структур барических полей, формирующих в августе экстремальные термические режимы.

Комплексная оценка изменчивости температуры воды в СЗТО позволяет понять механизмы изменчивости в условиях высоких флюктуаций и повысить достоверность качества распознавания экстремальных явлений.

## Список литературы

**Антонов А.Е.** Природная циклоэнергетика. Гидрометеорологическое и рыбопромысловое прогнозирование : моногр. — СПб. : Гидрометеиздат, 2007.— 216 с.

**Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Кулик В.В. и др.** Модификация метода интервальной математики применительно к прогнозу экстремальной ледовитости в Охотском море // Вестн. ДВО РАН. — 2002. — № 4. — С. 111–118.

**Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченкова Т.В.** Особенности изменчивости поверхностной температуры воды в районах, расположенных в области основных течений Японского моря и СЗТО в 2000–2012 гг. и влияние на промысел сайры // Вопр. промысл. океанологии. — 2012. — Вып. 9, № 2. — С. 96–116.

**Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченкова Т.В.** Сравнительная оценка климатических изменений над Восточным побережьем Азии в период 1950–1979 и 1980–2009 гг. // Вопр. промысл. океанологии. — 2011. — Вып. 8, № 2. — С. 93–108.

**Шатилина Т.А.** Анализ ошибок прогнозирования температуры воды в Южно-Курильском районе // Тез. докл. 6-й Всерос. конф. по проблемам промысл. прогноза. — Мурманск, 1995. — С. 166.

**Шатилина Т.А., Анжина Г.И.** Изменчивость интенсивности дальневосточного муссона в 1948–2010 гг. // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 167. — С. 146–159.

**Шатилина Т.А., Анжина Г.И.** Особенности циркуляции центров действия атмосферы и интенсивности муссона над Азиатско-Тихоокеанским регионом в первом десятилетии 21 века // Вопр. промысл. океанологии. — 2013. — Вып. 10, № 1. — С. 45–55.

**Шатилина Т.А., Егорова Т.С., Красиков В.А., Сафин В.И.** Линейные прогностические модели температуры воды по метеорологическим предикторам в Южно-Курильском промысловом районе // Технология и средства моделирования сложных систем. — Владивосток, 1992. — С. 130–141.

**Шатилина Т.А., Кравченко Р.Б.** Результаты классификации временного ряда температуры воды в Южно-Курильском районе и связь с региональными атмосферными индексами // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 172. — С. 208–223.

**Шатилина Т.А., Никитин А.А., Муктепавел Л.С.** Особенности атмосферной циркуляции при аномальных океанологических условиях в Японском, Охотском морях и прилегающей части Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 79–94.

**Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Горяинов А.А. и др.** Проблемы диагноза и прогноза экстремальных природных явлений на Дальнем Востоке // Тез. докл. 13-й междунар. конф. по промысл. океанологии. — Калининград, 2005. — С. 305–306.

**Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В.** Опыт использования метода интервального распознавания для прогноза экстремальной ледовитости Татарского пролива (Японское море) // Метеорол. и гидрол. — 2006. — № 10. — С. 65–72.

**Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В.** Особенности изменения приземной температуры воздуха над районами Дальнего Востока в 1976–2005 гг. // Метеорол. и гидрол. — 2010. — № 11. — С. 31–35.

*Поступила в редакцию 1.10.15 г.*