

УДК 551.50

**Т.А. Шатилина¹, Г.Ш. Цициашвили², Т.В. Радченкова^{2*}**¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Институт прикладной математики ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
В ЮЖНОКУРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД
МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ФУРЬЕ**

Выявляются циклы и их обеспеченность во временных сериях приземной температуры воздуха и температуры воды в южнокурильском районе в июле и августе модифицированным на фоне тренда методом Фурье. Показано, что доминирующими циклами во временных сериях температуры воздуха на метеостанциях Вакканаи, Абасири и Немуро, температуры воды на станциях Курильск, Южно-Курильск и Малокурильское, в области течения Соя, к юго-востоку от о. Хоккайдо и в сезонных центрах действия атмосферы являются 2-летние и 6–7-летние циклы. На основании выделенных циклов составлен прогноз аномалий температуры воздуха и воды в июле и августе на 2020–2024 гг. в области течения Соя, южнокурильском районе и к юго-востоку от о. Хоккайдо.

Ключевые слова: южнокурильский район, модифицированный метод Фурье, доминирующие циклы, обеспеченность циклов, прогноз температуры воздуха и воды.
DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-458-469.

Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V. Experimental forecast of thermal conditions in the South Kuril region in summer by modified Fourier method // *Izv. TINRO.* — 2021. — Vol. 201, Iss. 2. — P. 458–469.

Time series of air temperature and sea surface temperature in South Kuril region in July and August are extrapolated to 2020–2024 using modified method of Fourier decomposition. Both cyclic harmonic components and linear trend are accounted. Two main cycles with period of 2 years and 6–7 years dominate in variability of air temperature anomaly (in Wakkanai, Abashiri, Nemuro) and sea surface temperature anomaly (at Kurilsk, Yuzhno-Kurilsk, Malokurilskoe, in the area of Soya Current, and in the area southeastward from Hokkaido), as well as in variability of AT 500 hPa height in the regional centers of atmospheric action, as Far-Eastern depression and Okhotsk anticyclone.

Key words: South Kuril region, Fourier analysis, SST forecasting, dominant cycle, weight of harmonic, air temperature forecasting, SST forecasting.

* Шатилина Татьяна Александровна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: tatyana.shatilina@tinro-center.ru; Цициашвили Гурам Шалвович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: guram@iam.dvo.ru; Радченкова Татьяна Вадимовна, младший научный сотрудник, e-mail: tarad@yandex.ru.

Shatilina Tatiana A., Ph.D., leading researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: tatyana.shatilina@tinro-center.ru; Tsitsiashvili Guram Sh., D.Math., professor, principal researcher, Institute of Applied Mathematics, 7, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russia, e-mail: guram@iam.dvo.ru; Radchenkova Tatyana V., junior researcher, Institute of Applied Mathematics, 7, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russia, e-mail: tarad@yandex.ru.

Введение

В последние десятилетия проявляется определенный интерес к исследованию цикличности в различных явлениях [Мещенина и др., 2007; Бышев и др., 2014; Пономарев и др., 2015; Шатилина и др., 2019] и, в частности, к использованию этого природного свойства для разработки прогностических методов [Карпова и др., 1991; Аверкиев и др., 1997; Антонов, 2007]. В будущем наряду с применением численных прогностических моделей будут развиваться и эмпирические методы долгосрочного прогноза, основанные по большей части на учете аномалий температуры океана, особенно его энергоактивных зон, взаимосвязи гидрометеорологических процессов над различными районами, аналогичности и цикличности циркуляционных процессов и др. [Васильев, Вильфанд, 2008]. Различные данные наблюдений указывают на наличие в системе океан–атмосфера короткопериодных климатических циклов с типичной периодичностью от 2 до 10 лет [Полонский, Кибальчич, 2015]. Такие вариации (или климатические сигналы) представляют собой один из основных объектов исследования, поскольку они определяют межгодовую изменчивость гидрометеорологических полей в глобальном и региональном масштабах [Полонский, Кибальчич, 2015].

В летний период региональными центрами действия атмосферы (ЦДА) у восточного побережья Азии становятся летняя дальневосточная депрессия (ЛДД), охотский антициклон (ОА), азиатская депрессия и гавайский антициклон. Сведения о режимах и статистические оценки ЦДА были опубликованы ранее [Ильинский, 1960; Шатилина, Анжина, 2008, 2010; Плотников и др., 2015; Шатилина и др., 2019]. Одним из результатов этих работ было выявление смены циркуляции на рубеже 1978–1979 гг., роста давления в области ЦДА, особенно ярко выраженного в средней тропосфере. Были обнаружены значимые различия температурных трендов в ЦДА в 1948–1979 и 1980–2012 гг. и основные циклы с периодом 2–10 лет [Цициашвили и др., 2016, 2017]. Показано, что выявление циклов предоставляет возможность прогноза климатических параметров (температура воды и воздуха). Особенность метеорологических данных состоит в том, что они отображают очень неустойчивые процессы и это повышает требования к точности оценок коэффициентов Фурье. Именно этим объясняется введение более точных оценок параметров.

Результаты этих исследований позволили подойти к методике прогноза температуры воды и воздуха в летний период в промысловых районах Тихого океана.

Существует много способов и различных критериев оценки прогнозов, выбор которых зависит от ее цели. С точки зрения потребителя прогноза даже самый научно обоснованный метод представляет интерес лишь в том случае, если он приносит определенную пользу [Васильев, Вильфанд, 2008].

Цель работы — выявление циклов во временных сериях приземной температуры воздуха и температуры воды и прогноз климатических аномалий по выделенным гармоникам.

Материалы и методы

Для анализа температуры воды использовался архив Японского метеорологического агентства JMA [<http://ds.data.jma.go.jp>] за 1985–2019 гг. и данные измерений температуры воды на сети гидрометеорологических станций (ГМС) Росгидромета с 1977 по 2017 г. из архива ВНИГМИ-МЦД [<http://meteo.ru>]. Анализ и качество этих данных подробно описаны ранее [Ростов и др., 2017]. Для анализа температуры воды в прибрежных водах южнокурильского района (ЮКР) были использованы данные ГМС Южно-Курильск, Курильск и Малокурильское.

Также пользовались архивами реанализа (NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables) среднемесячных полей геопотенциала H_{500} и температуры воздуха T_a в узлах регулярной сетки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ с 1980 по 2019 г. Средние многолетние значения и аномалии для всех рассмотренных в работе параметров рассчитаны за базовый период 1981–2010 гг.

Анализ изменчивости температуры воды на поверхности проводился в юго-западной части Охотского моря в области течения Соя (45°30'–47°30' с.ш. 143°30'–146°30' в.д.), в ЮКР (42°30'–44°30' с.ш. 146°30'–149°30' в.д.) и к юго-востоку от о. Хоккайдо (ЮВХ).

Анализ циклов рассчитывали модифицированным на фоне тренда методом Фурье. При анализе региональных временных рядов климатических параметров обнаруживаются большие флюктуации для локальных территорий, что требует уточнения оценок тренда. Параметры флюктуаций во многих исследованиях не учитываются, а их учет необходим для процедур сравнения трендов в разных районах наблюдений. Особый интерес представляют задачи оценки коэффициентов линейной регрессии и показателя обеспеченности тренда. Этот показатель требует знания как коэффициентов регрессии, так и дисперсии флюктуации.

Пусть дан временной ряд $x(t) = at + b + \varepsilon_t$, $t = 1, \dots, n$, среднее и дисперсия случайной ошибки ε_t определяется равенствами $M\varepsilon_t = 0$, $D\varepsilon_t = \sigma^2$, где M — математическое ожидание, D — дисперсия. Методом линейного регрессионного анализа строятся оценки \hat{a}, \hat{b} коэффициентов линейного тренда a, b , а по ним оценивается дисперсия σ^2 случайной добавки ε_t . Наилучший способ оценки дисперсии ε_t приведен в монографии

А.А. Боровкова [1984], где построена остаточная дисперсия $\sigma^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{t=1}^n (x(t) - \hat{a}t - \hat{b})^2$.

Эта оценка является несмещенной $M\sigma^2 = \sigma^2$, и если случайные величины ε_t имеют нормальное распределение с нулевым средним и дисперсией σ^2 , то случайная величина $\frac{\sigma^2(n-2)}{\sigma^2}$ имеет распределение хи-квадрат с $n - 2$ степенями свободы. Тогда величина

$\frac{\hat{a}}{\sqrt{\sigma^2}}$ будет оценкой обеспеченности тренда $\frac{a}{\sigma}$ и будет характеризовать роль флюктуаций во временном ряду на фоне тренда.

Пусть флюктуации имеют нормальное распределение и выполняется соотношение $n \geq 30$. Тогда при выполнении неравенства $\left| \frac{\hat{a}}{\sqrt{\sigma^2}} \right| \leq 0,04$ принимается гипотеза об отсутствии тренда, а в противном случае — о наличии значимого тренда. Вероятность ошибочно отклонить гипотезу об отсутствии тренда приблизительно равна 0,05. В предположении о нормальности распределения флюктуаций при выполнении гипотезы об отсутствии тренда статистика $\frac{\hat{a}}{\sqrt{\sigma^2}}$ имеет распределение Стьюдента с $n - 2$ степенями свободы, что позволяет при $n \geq 30$ проверять данную гипотезу с вероятностью 0,05 ошибочно ее отклонить.

При наличии больших флюктуаций во временном ряду появляется необходимость представлять его в виде ряда Фурье, оценивать коэффициенты Фурье и строить прогноз временного ряда на ближайшие моменты времени. Эта процедура обычно производится оценкой коэффициентов Фурье разности $x(t) - (\hat{a}t + \hat{b})$, содержащей ошибки определения коэффициентов регрессии \hat{a}, \hat{b} . В результате качество таких оценок падает, а сами оценки вызывают недовольство пользователей. Чтобы избежать этого, предлагается заменить ряд $x(t)$, $t = 1, \dots, n + 1$ на ряд последовательных разностей $\Delta x(t) = x(t + 1) - x(t)$, $t = 1, \dots, n$.

Введем функцию

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

тогда

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

и, значит, выполняются равенства

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

Отсюда следуют равенства

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

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

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

Таким образом, вычисления производятся по формулам (1)–(4) по изначально заданной функции $x(t)$, $t = 1, \dots, n+1$.

Для ускоренного вычисления коэффициентов Фурье можно также воспользоваться методом быстрого преобразования Фурье [Cooley, Tukey, 1965]. Величина $f_k = |c_k| / \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i)^2}$ может пониматься как вес гармоники (обеспеченность) c_k для заданного ряда $x(t)$, $t = 1, \dots, n+1$. Нетрудно доказать равенства $|c_k| = |c_{T-k}|$, $k = 1, \dots, n$. С помощью несложных вычислений можно построить оценки коэффициентов a и b :

$$a = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \Delta x(t) = \frac{x(n+1) - x(1)}{n}, \quad b = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x(t) - \frac{a(n+1)}{2} \quad (5)$$

и построить прогноз $x(t) = at + b + \sum_{k=1}^n c_k \exp\left(\frac{2\pi ikt}{n}\right)$.

Результаты и их обсуждение

В результате расчетов были выявлены циклы во временных сериях приземной температуры воздуха, температуры воды и региональных ЦДА, что позволило рассчитать прогноз этих климатических параметров на 5 лет.

Циклы и их обеспеченность во временных сериях температуры воздуха и воды

В табл. 1 представлены значения коэффициентов Фурье и их обеспеченность для временного ряда температуры воздуха на некоторых ГМС Японии. На всех станциях в июле наиболее обеспечены 7- и 10-летние периоды, а также 2-летний период. В августе на всех станциях доминирующими были 6–7- и 5-летние циклы.

В табл. 2 приведены значения коэффициентов Фурье и их обеспеченность для временного ряда температуры воды в рассматриваемых районах ЮКР, Соя и ЮВХ. В области течения Соя значимыми периодами в июле будут 2–3 года и 6–7 лет, а в августе — 6 и 7 лет. В ЮКР доминирующими циклами являются 3 года, 5 и 7 лет, а в августе — только 6–7 лет. В ЮВХ доминирующими циклами будут в июле 2–3, 6 и 10 лет, в августе 5–7 лет.

В табл. 3 показаны значения коэффициентов Фурье и их обеспеченность для временного ряда температуры воды (1977–2017 гг.) на станциях ЮКР.

На станции Курильск в июле наибольшая обеспеченность отмечена для 3- и 7-летних циклов, а в августе — 2, 5 и 7-летних (последний — наиболее значимый период). На станции Южно-Курильск в июле доминирующими периодами были 2, 7 и 10 лет, а в августе — 5 и 7 лет. На станции Малокурильское в июле наибольшей обеспеченностью обладали 2 и 3 года, а также 6 и 7 лет, а вот в августе — только 7-летний цикл.

Таблица 1

Значения коэффициентов Фурье для температуры воздуха и их обеспеченность
в июле и августе 1980–2019 гг. на ГМС Японии

Table 1

Values of Fourier coefficients and weights of harmonics for time series of air temperature
at meteorological stations in Hokkaido in June and August of 1980–2019

Месяц	Циклы, число лет					
	2	3	5	6	7	10
Вакканай						
Июль	0,24	0,18	0,14	0,15	0,34	0,35
	0,19	0,14	0,11	0,12	0,26	0,27
Август	0,24	0,08	0,14	0,76	0,51	0,07
	0,13	0,04	0,07	0,40	0,27	0,04
Абасири						
Июль	0,25	0,12	0,10	0,20	0,35	0,42
	0,17	0,09	0,07	0,14	0,25	0,30
Август	0,17	0,03	0,33	0,83	0,55	0,06
	0,08	0,02	0,16	0,40	0,26	0,03
Немуро						
Июль	0,46	0,13	0,11	0,17	0,39	0,41
	0,29	0,08	0,07	0,11	0,25	0,26
Август	0,19	0,05	0,30	0,82	0,64	0,04
	0,10	0,03	0,15	0,42	0,33	0,02

Примечание. Здесь и далее верхняя строка — коэффициент Фурье, нижняя — обеспеченность коэффициента.

Таблица 2

Значения коэффициентов Фурье для температуры воды и их обеспеченность
в июле и августе в районах ЮКР, Соя и ЮВХ в 1985–2019 гг.

Table 2

Values of Fourier coefficients and weights of harmonics for time series of the sea surface
temperature in the South-Kuril region, in the area of Soya Current, and in the area southeastward
from Hokkaido in July and August of 1985–2019

Месяц	Циклы, число лет					
	2	3	5	6	7	10
Соя						
Июль	0,30	0,24	0,20	0,24	0,22	0,08
	0,27	0,21	0,17	0,21	0,20	0,07
Август	0,21	0,05	0,13	0,59	0,58	0,10
	0,15	0,04	0,09	0,41	0,41	0,07
ЮКР						
Июль	0,14	0,28	0,23	0,11	0,21	0,09
	0,10	0,19	0,16	0,07	0,14	0,06
Август	0,12	0,15	0,20	0,44	0,42	0,01
	0,09	0,11	0,15	0,33	0,32	0,01
ЮВХ						
Июль	0,28	0,20	0,17	0,22	0,09	0,23
	0,30	0,21	0,18	0,23	0,10	0,24
Август	0,25	0,09	0,35	0,38	0,47	0,06
	0,16	0,06	0,23	0,25	0,31	0,04

В работе Т.А. Шатилиной с соавторами [2019] показано, что над областью гавайского антициклона в средней тропосфере в летний период доминирующими являются также 6–7-летние циклы. Это свидетельствует о влиянии антициклона на термический режим вышеописанных районов.

Таблица 3

Значения коэффициентов Фурье для температуры воды и их обеспеченность в июле и августе на станциях Курильск, Южно-Курильск и Малокурильское в 1977–2017 гг.

Table 3

Values of Fourier coefficients and weights of harmonics for time series of water temperature at meteorological stations Kurilsk, Yuzhno-Kurilsk and Malokurilskoe in July and August of 1977–2017

Месяц	Циклы, число лет					
	2	3	5	6	7	10
Курильск						
Июль	0,28	0,42	0,20	0,12	0,38	0,04
	0,18	0,27	0,13	0,08	0,24	0,02
Август	0,34	0,12	0,32	0,21	0,66	0,26
	0,18	0,06	0,17	0,11	0,35	0,13
Южно-Курильск						
Июль	0,17	0,07	0,08	0,07	0,18	0,16
	0,16	0,07	0,08	0,07	0,18	0,16
Август	0,12	0,12	0,15	0,10	0,44	0,12
	0,09	0,09	0,11	0,07	0,33	0,09
Малокурильское						
Июль	0,34	0,37	0,20	0,30	0,34	0,02
	0,24	0,25	0,14	0,21	0,24	0,02
Август	0,21	0,21	0,11	0,15	0,64	0,09
	0,13	0,13	0,06	0,09	0,39	0,06

В табл. 4 представлены коэффициенты Фурье и обеспеченность циклов по временному ряду геопотенциала H_{500} .

Таблица 4

Значения коэффициентов Фурье для геопотенциала H_{500} и их обеспеченность над областью ЛДД и ОА в июле и августе в 1980–2019 гг.

Table 4

Values of Fourier coefficients and weights of harmonics for time series of AT 500 hPa height over the areas of Far-East depression and Okhotsk anticyclone in July and August of 1980–2019

Месяц	Цикл, число лет					
	2	3	5	6	7	10
ЛДД						
Июль	0,52	0,12	0,39	0,09	0,26	0,03
	0,27	0,06	0,20	0,05	0,13	0,02
Август	0,28	0,27	0,42	0,08	0,81	0,31
	0,12	0,12	0,18	0,03	0,35	0,14
ОА						
Июль	0,28	0,67	0,44	0,09	0,55	0,09
	0,09	0,21	0,14	0,03	0,17	0,03
Август	0,20	0,59	0,48	0,44	0,31	0,22
	0,07	0,22	0,18	0,16	0,12	0,08

Над областью ЛДД в июле наиболее обеспечен 2-летний цикл, а также значимы и 5–7-летние циклы, в августе наибольший вклад дают 5 и 7 лет. В региональном центре над Охотским морем доминируют 3, 5 и 7-летние циклы, а в августе — 3, 5 и 6-летние периоды.

В явлении Эль-Ниньо также отмечаются периоды 6–7 лет, на связь этого явления с климатическими аномалиями на Дальнем Востоке указано в литературе [Бышев и др., 2014].

Возможно, что на изменчивость термических характеристик в ЮКР накладываются отпечаток крупномасштабные процессы, протекающие над Тихим океаном. Такие климатические циклы (вероятно, явление Эль-Ниньо) определяют межгодовую из-

менчивость гидрометеорологических полей в глобальном и региональном масштабах [Полонский, Кибальчич, 2015].

Прогноз температуры воздуха на ГМС о. Хоккайдо

На основании выделенных циклов нами составлен прогноз значений температуры воздуха на летний период 2020–2024 гг. по данным температуры воздуха в 1980–2019 гг. (рис. 1).

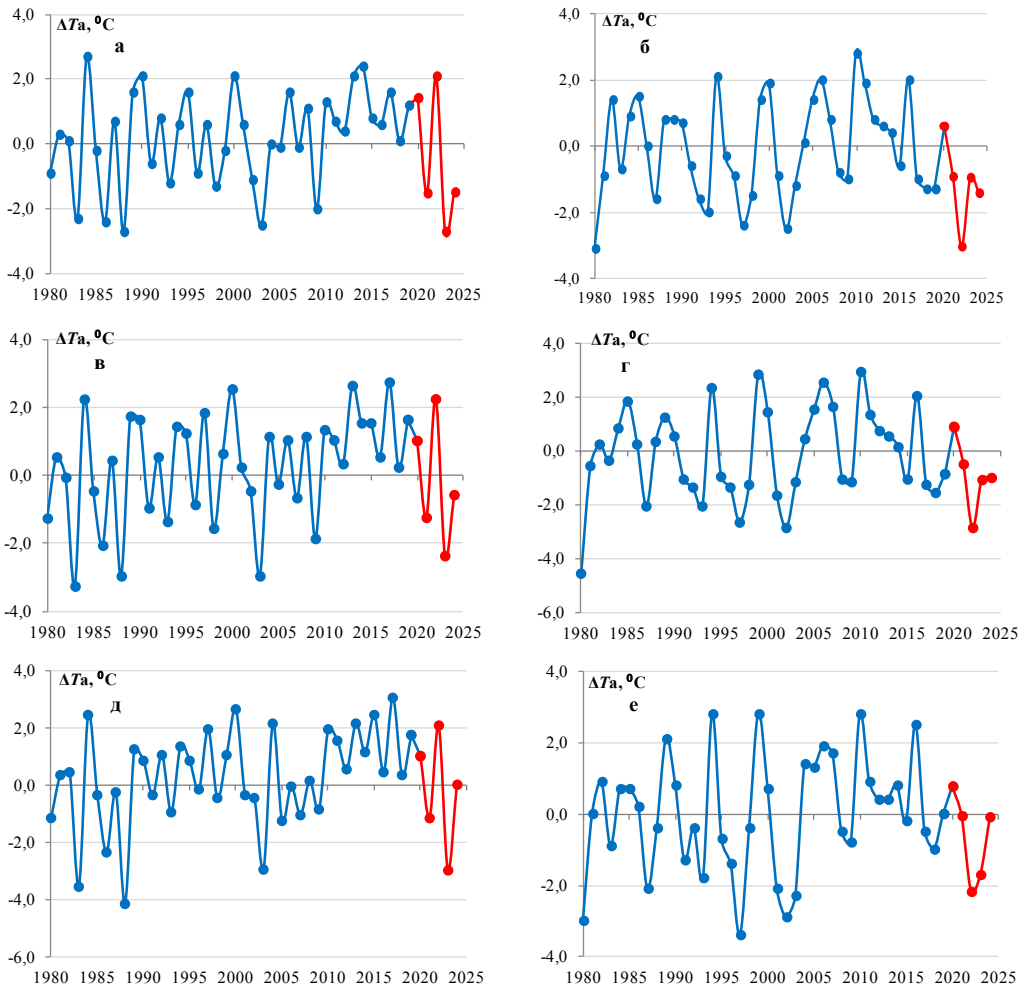


Рис. 1. Многолетняя изменчивость аномалий температуры воздуха в июле и августе в 1980–2019 гг. на ГМС о. Хоккайдо и прогноз на период 2020–2024 гг.: Вакканай в июле (а), августе (б); Абасири в июле (в), августе (г); Немуро в июле (д), в августе (е)

Fig. 1. Dynamics of air temperature anomaly in 1980–2019 and its forecast to 2020–2024: in Wakkanai in July (a) and August (b), in Abashiri in July (v) and August (g), in Nemuro in July (d) and August (e)

В летний период 2020 г. на всех станциях температура воздуха прогнозируется выше нормы. В 2021 г. ожидается похолодание, в 2022 г. — вновь потепление, а в последующие годы вновь похолодание.

Прогноз аномалий температуры воды в южнокурильском районе

На основании выделенных циклов по методу Фурье составлен прогноз аномалий температуры воды в июле и августе на 2020–2024 гг. в области течения Соя, ЮКР и ЮВХ по данным температуры воды в 1985–2019 гг. (рис. 2).

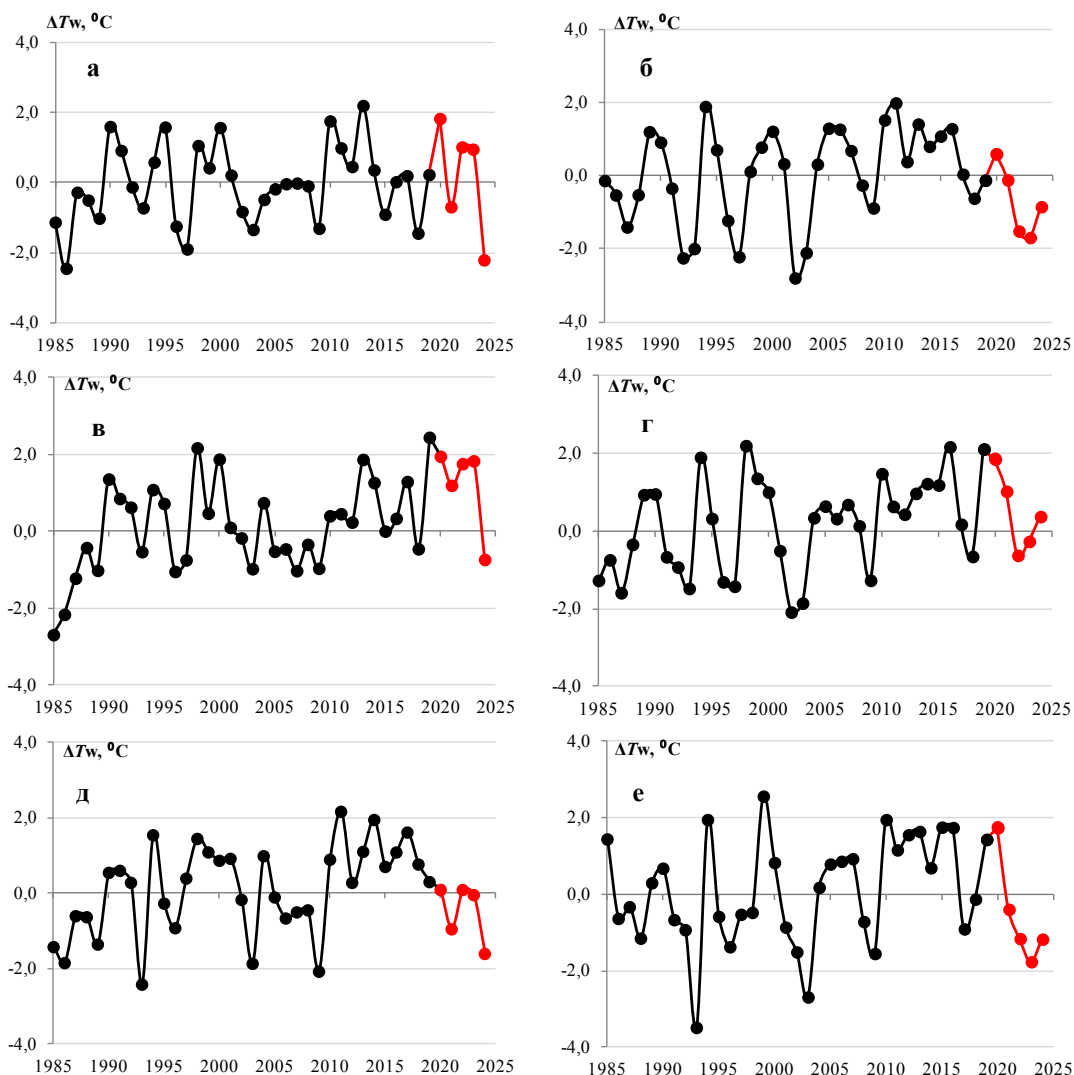


Рис. 2. Изменчивость аномалий температуры воды в июле и августе 1985–2019 гг. и прогноз аномалий на 2020–2024 гг.: Соя — в июле (а), августе (б); ЮКР — июле (в), августе (г), ЮВХ — в июле (д), августе (е)

Fig. 2. Dynamics of the sea surface anomaly in 1985–2019 and its forecast to 2020–2024: in the area of Soya Current in July (а) and August (б), at Yuzho-Kurilsk in July (в) and August (г), in the area southeastward from Hokkaido in July (д) and August (е)

В области течения Соя в 2020 г. температура воды в июле ожидается выше нормы, а в августе приблизится к норме и последующие годы будет понижаться. В ЮКР сохранятся теплые условия в июле, а в августе ожидается похолодание с 2021 г. В районе ЮВХ в 2020 г. в июле температура воды приблизится к норме, а в августе этого года она повысится до уровня 2019 г. В последующие годы прогнозируется понижение температуры воды. Таким образом, в предстоящее 5-летие намечается тенденция к понижению температуры воды в районах Соя, ЮКР и ЮВХ.

*Прогноз интенсивности летней дальневосточной депрессии
и охотского антициклона*

На рис. 3 представлен прогноз аномалий геопотенциала H_{500} и приземного давления P_0 над областью ЛДД и ОА на 2020–2024 гг. по данным аномалий геопотенциала и приземного давления в 1980–2019 гг.

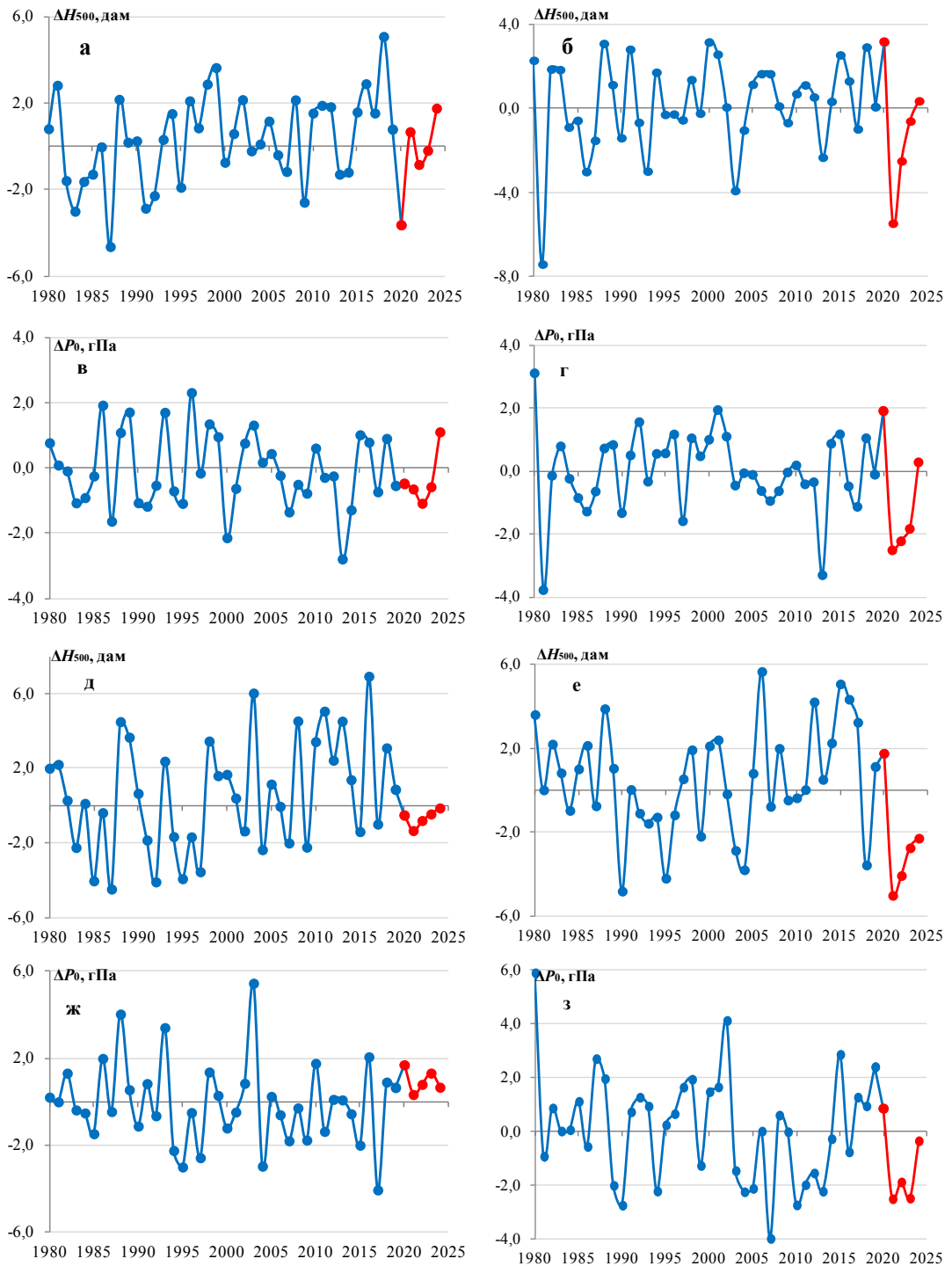


Рис. 3. Изменчивость аномалий приземного давления P_0 и геопотенциала H_{500} над ЛДД и ОА в июле и августе 1980–2019 гг. и прогноз на 2020–2024 гг. (красным цветом): а — для аномалий H_{500} в июле над ЛДД; б — для H_{500} в августе над ЛДД; в — для P_0 в июле над ЛДД; г — для P_0 в августе над ЛДД; д — для H_{500} в июле над ОА; е — для H_{500} в августе над ОА; ж — для P_0 в июле над ОА; з — для P_0 в августе над ОА

Fig. 3. Dynamics of atmospheric pressure anomaly at the sea surface (P_0) and AT 500 hPa height (H_{500}) in 1980–2019 and their forecast to 2020–2024 (red color): H_{500} in the area of Far-East depression in July (а) and August (б), P_0 in the same area in July (в) and August (г); H_{500} in the area of Okhotsk anticyclone in July (д) and August (е), P_0 in the same area in July (ж) and August (з)

В июле 2020 г. прогнозируется увеличение интенсивности ЛДД, а в последующие годы она будет находиться в нормальном состоянии. Над Охотским морем в июле начавшееся усиление антициклона будет продолжаться в последующие 5 лет, в поле H_{500} геопотенциал будет пониженным, что свидетельствует о наличии над Охотским морем холодных депрессий в средней тропосфере. Над Охотским морем в августе 2020 г. значение H_{500} прогнозируется на уровне 2019 г., а с 2021 г. ожидается его значительное падение, что свидетельствует о преобладании над ним в поле H_{500} холодных тропосферных депрессий.

Заключение

Использование уточненного метода Фурье позволяет более точно выделить циклы во временных сериях региональных климатических параметров (температуры воды и воздуха), оценить их обеспеченность и составить прогноз.

Модифицированным на фоне тренда методом Фурье выделены доминирующие циклы во временных сериях температуры воды и воздуха, ими оказались 6–7-летние периоды.

Данные прогноза температуры воздуха по станциям имеют одинаковые тенденции с аномалиями температуры воды. Так, на станции Абасири и в области течения Соя в июле 2020 г. температура воздуха и воды ожидается выше нормы, в 2021 г. — ниже нормы, выше нормы ожидается температура воздуха и воды в июле 2022 г. В августе выявляются тенденции понижения температуры воды и воздуха.

На всех ГМС наибольшую обеспеченность по температуре воздуха в июле имеют циклы 7–10 лет, а в августе — 5, 6 и 7-летние циклы.

Доминирующими циклами по температуре воды в области течения Соя в июле являются 2, 5–7-летние, а в августе — 6–7-летние.

Обнаружение доминирующих циклов в региональных ЦДА, совпадающих с циклами в крупномасштабной циркуляции атмосферы, свидетельствует о том, что крупномасштабные климатические сигналы взаимодействия атмосферы и океана отражаются в региональных структурах.

Закономерности развития атмосферных макропроцессов над Северным полушарием и специфика их проявлений в Дальневосточном регионе могут использоваться в региональных промысловых прогнозах.

Благодарности

Благодарим рецензентов за конструктивные замечания, которые способствовали улучшению содержательной части статьи.

Финансирование работы

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Соблюдение этических стандартов

Настоящая статья не содержит каких либо исследований с использованием животных в качестве объектов.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

Идея работы принадлежит Т.А. Шатилиной и Г.Ш. Цициашвили. Содержательная часть статьи написана Т.А. Шатилиной. Математические методы определены Г.Ш. Цициашвили. Программы по опубликованным алгоритмам были разработаны Т.В. Радченковой.

Список литературы

- Аверкиев А.С., Булаева В.М., Густоев Д.В., Карпова И.П.** Методические рекомендации по использованию метода сверхдолгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов (МСПГЭ) и программного комплекса «Призма». — Мурманск : ПИНРО, 1997. — 40 с.
- Антонов А.Е.** Природная циклоэнергетика. Гидрометеорологическое и рыбопромышленное прогнозирование : моногр. — СПб. : Гидрометеиздат, 2007. — 216 с.
- Боровков А.А.** Математическая статистика. Дополнительные главы : учеб. пособие для вузов. — М. : Наука, 1984. — 144 с.
- Бышев В.И., Нейман В.Г., Пономарев В.И. и др.** Роль глобальной атмосферной осцилляции в формировании климатических аномалий Дальневосточного региона России // ДАН. — 2014. — Т. 458, № 1. — С. 92–96. DOI: 10.7868/S0869565214250148.
- Васильев А.А., Вильфанд Р.М.** Прогноз погоды : моногр. — М., 2008. — 60 с.
- Ильинский О.К.** Летняя дальневосточная депрессия // Тр. ДВНИГМИ. — 1960. — Вып. 11. — С. 3–53.
- Карпова И.П., Суставов Ю.В., Николаев Д.Л.** Использование приемов экстраполяции временных рядов в методах сверхдолгосрочного прогнозирования // Методы расчета и прогноза гидрометеорологических процессов в промышленных районах. — СПб. : ЛГМИ, 1991. — Вып. 112. — С. 38–50.
- Мещенина Л.А., Новороцкий П.В., Пономарев В.И.** Климатические изменения и колебания стока Амура // Вестн. ДВО РАН. — 2007. — № 4. — С. 44–54.
- Плотников В.В., Мезенцева Л.И., Дубина В.А.** Циркуляция атмосферы над Дальним Востоком и ее отражение в ледовых процессах : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2015. — 172 с.
- Полонский А.Б., Кибальчич И.А.** Циркуляционные индексы и температурный режим Восточной Европы в зимний период // Метеорол. и гидрол. — 2015. — № 1. — С. 5–17.
- Пономарев В.И., Дмитриева Е.В., Шкорба С.П.** Особенности климатических режимов в северной части Азиатско-Тихоокеанского региона // Системы контроля окружающей среды. — 2015. — Вып. 1(21). — С. 67–72.
- Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А.** Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных районов Охотского моря за последние десятилетия // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 176–195. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-176-195.
- Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченкова Т.В.** Цикличность региональной атмосферной циркуляции и температуры воздуха над Дальним Востоком в период 1980–2015 гг. и возможности прогноза // Тр. ВНИРО. — 2017. — Т. 169. — С. 17–29.
- Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченкова Т.В.** Циклы в региональных центрах действия атмосферы над Дальним Востоком // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. — Владивосток : Дальнаука, 2016. — С. 95–100.
- Шатилина Т.А., Анжина Г.И.** Особенности атмосферной циркуляции и климата на Дальнем Востоке в начале 21-го века // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 152. — С. 225–239.
- Шатилина Т.А., Анжина Г.И.** Режимные особенности дальневосточной депрессии во второй половине 20-го и начале 21 века // Современные геофизические и географические исследования на Дальнем Востоке : мат-лы 10-й науч. конф. — Владивосток : Ин-т окружающей среды ДВФУ, 2010. — С. 51–57.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В.** Особенности изменчивости летних центров действия атмосферы над Дальним Востоком и климатические экстремумы в период 1980–2017 гг. // Уч. зап. РГГМУ. — 2019. — № 56. — С. 61–80. DOI: 10.33933/2074-2762-2019-56-61-80.
- Cooley J.W., Tukey J.W.** An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series // Mathematics of Computation. — 1965. — Vol. 19, № 90. — P. 297–301. DOI: 10.1090/S0025-5718-1965-0178586-1.

References

Averkiev, A.S., Bulaeva, V.M., Gustoev, D.V., and Karpova, I.P., *Metodicheskiye rekomendatsii po ispol'zovaniyu metoda sverkhdolgosrochnogo prognozirovaniya gidrometeorologicheskikh elementov (MSPGE) i programmnogo kompleksa «Prizma»* (Methodical recommendations for the use of the method of ultra-long-term forecasting of hydrometeorological elements (MSPHE) and the software complex “Prism”), Murmansk: PINRO, 1997.

Antonov, A.E., *Prirodnaya tsikloenergetika. Gidrometeorologicheskoye i rybopromyslovoye prognozirovaniye* (Natural cycloenergetics. Hydrometeorological and fishing forecasting), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2007.

Borovkov, A.A., *Matematicheskaya statistika. Dopolnitel'nyye glavy* (Mathematical statistics. Additional chapters), Moscow: Nauka, 1984.

Byshev, V.I., Neiman, V.G., Romanov, Y.A., Serykh, I.V., Ponomarev, V.I., and Tsurikova, T.V., The influence of global atmospheric oscillation on formation of climate anomalies in the Russian Far East, *Dokl. Earth Sci.*, 2014, vol. 458, no. 1, pp. 1116–1120. doi 10.1134/S1028334X14090025

Vasiliev, A.A. and Vil'fand, R.M., *Prognoz pogody* (Weather forecast), Moscow, 2008.

Il'inskiy, O.K., The summer Far Eastern low-pressure area, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1960, vol. 11, pp. 3–53.

Karpova, I.P., Sustavov, Yu.V., and Nikolaev, D.L., Using the techniques of extrapolation of time series in the methods of ultra-long-term forecasting, *Metody rascheta i prognoza gidrometeorologicheskikh protsessov v promyslovykh rayonakh*, St. Petersburg: LGMI, 1991, Iss. 112, pp. 38–50.

Meshchenina, L.A., Novorotsky, P.V., and Ponomarev, V.I., Climatic changes and fluctuations of the Amur runoff, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2007, no. 4, pp. 44–54.

Plotnikov, V.V., Mezentseva, L.I., and Dubina, V.A., *Tsirkulyatsiya atmosfery nad Dal'nim Vostokom i yeye otrazheniye v ledovykh protsessakh* (Atmospheric circulation over the Far East and its reflection in ice processes), Vladivostok: Dalnauka, 2015.

Polonskii, A.B. and Kibal'chich, I.A., Circulation indices and thermal regime of Eastern Europe in winter, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2015, vol. 40, no. 1, pp. 1–9. doi 10.3103/S106837391501001X

Ponomarev, V.I., Dmitrieva, E.V., and Shkorba, S.P., Features of climate regimes in the North Asian Pacific, *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy*, 2015, Iss. 1(21), pp. 67–72.

Rostov, I.D., Dmitrieva, E.V., and Vorontsov, A.A., Tendencies of climatic changes for thermal conditions in the coastal areas of the Okhotsk Sea in last decades, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 176–195. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-176-195

Tsitsiashvili, G.Sh., Shatilina, T.A., and Radchenkova, T.V., Cyclicity of regional atmospheric circulation and air temperature over the Far East in the period 1980–2015 and forecasting capabilities, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 169, pp. 17–29.

Tsitsiashvili, G.Sh., Shatilina, T.A., and Radchenkova, T.V., Cycles in regional centers of atmospheric action over the Far East, *Transgranichnoye ozero Khanka: prichiny povysheniya urovnya vody i ekologicheskiye ugrozy* (Transboundary Lake Khanka: causes of rising water levels and environmental threats), Vladivostok: Dalnauka, 2016, pp. 95–100.

Shatilina, T.A. and Anzhina, G.I., Features of atmospheric circulation and climate in the Far East in the beginning of 21 century, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 152, pp. 225–239.

Shatilina, T.A. and Anzhina, G.I., Regime features of the Far Eastern depression in the second half of the 20th and early 21st centuries, in *Mater. 10-y nauch. konf. "Sovremennyye geofizicheskiye i geograficheskiye issledovaniya na Dal'nem Vostoke"* (Proc. 10th Sci. Conf. "Modern geophysical and geographical research in the Far East"), Vladivostok: In-t okruzhayushchey sredy DVFU, 2010, pp. 51–57.

Shatilina, T.A., Tsitsiashvili, G.Sh., and Radchenkova, T.V., Features of the summer atmospheric force centers variability over the Far East and climatic extremes in the period 1980–2017, *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*, 2019, no. 56, pp. 61–80. doi 10.33933/2074-2762-2019-56-61-80

Cooley, J.W. and Tukey, J.W., An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series, *Mathematics of Computation*, 1965, vol. 19, no. 90, pp. 297–301. doi 10.1090/S0025-5718-1965-0178586-1

JMA: Japan Meteorological Agency. <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rtrdb/jma-pro.html>. Cited September 20, 2019.

Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrometeorologicheskoy informatsii — Mirovoy tsentr dannykh (All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information — World Data Center). <http://meteo.ru>. Cited September 20, 2019.

Поступила в редакцию 2.07.2020 г.

После доработки 15.03.2021 г.

Принята к публикации 21.05.2021 г.