

Геоинформатика. 2024. № 2. С. 45–53.
Geoinformatika. 2024;(2):45–53.

Геоэкология

Научная статья
 УДК 551.465
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-2-45-53>

Оценка изменчивости климатических характеристик Карского моря для безопасного и эффективного использования Северного морского пути

© 2024 г. — Евгений Петрович Истомин^{a)}, Ярослав Андреевич Петров^{b)}, Ирма Андреевна Мартын^{c)}, Елена Сергеевна Новожилова^{d)}

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»; Россия, г. Санкт-Петербург

^{a)}biom@bk.ru, ^{b)}yaroslav.petrov025@gmail.com, ^{c)}irma_martyn@mail.ru, ^{d)}novozhilova.elena@icloud.com

Аннотация: В статье оценена изменчивость статистических характеристик климата Карского моря на примере температуры воздуха на семи станциях. Использовались методы анализа тренда, гармонических колебаний и анализ автокорреляционной функции, был проведен кластерный анализ. Результаты представлены в графическом и табличном виде. Как итог отмечается снижение суровости зимы на всех станциях Карского моря за период 1980–2021 гг.

Ключевые слова: *Карское море; климат; статистические методы; кластерный анализ.*

Для цитирования: Истомин Е.П., Петров Я.А., Мартын И.А., Новожилова Е.С. Оценка изменчивости климатических характеристик Карского моря для безопасного и эффективного использования Северного морского пути // Геоинформатика. — 2024. — № 2. — С. 45–53. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-2-45-53>.

Geoecology

Original article

Assessment of the variability of climatic characteristics of the Kara Sea for the safe and efficient use of the Northern Sea Route

© 2024 — Eugene P. Istomin^{a)}, Yaroslav A. Petrov^{b)}, Irma A. Martyn^{c)}, Elena S. Novozhilova^{d)}

Russian State Hydrometeorological University; St.-Petersburg, Russia

^{a)}biom@bk.ru, ^{b)}yaroslav.petrov025@gmail.com, ^{c)}irma_martyn@mail.ru, ^{d)}novozhilova.elena@icloud.com

Abstract: The article assessed the variability of the statistical characteristics of the climate of the Kara Sea using the example of air temperature at 7 stations. Methods of trend analysis, harmonic oscillations and autocorrelation function analysis were used, and cluster analysis was carried out. The results are presented in graphical and tabular form. As a result, there is a decrease in the severity of winter at all stations of the Kara Sea for the period 1980–2021.

Key words: *Kara Sea; climate; statistical methods; cluster analysis.*

For citation: Istomin E.P., Petrov Y.A., Martyn I.A., Novozhilova E.S. Assessment of the variability of climatic characteristics of the Kara Sea for the safe and efficient use of the Northern Sea Route. *Geoinformatika*. 2024;(2):45–53. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-2-45-53>. In Russ.

Введение

На сегодняшний день наращивание потенциала Северного морского пути (СМП) играет важную стратегическую и социально-экономическую роль для развития России. Суровые условия эксплуатации СМП требуют понимания изменчивости климатических условий в этом регионе для принятия управленческих решений на транспорте [1, 2].

Таким образом, оценка изменчивости климатических параметров [3, 4] необходима для безопасного и эффективного использования СМП.

Для оценки изменчивости климатических параметров была использована одна из самых важных акваторий на СМП — Карское море. В качестве исходных данных была выбрана температура воз-

духа на семи станциях в пределах акватории Карского моря за период 1980–2021 гг. с сайта meteo.ru.

Методы

Любой гидрометеорологический ряд состоит из следующих основных составляющих: детерминированной (тренд и цикл) и случайной. Проведем анализ каждой составляющей и оценим характер изменчивости температуры воздуха в районе Карского моря.

Анализ тренда заключается в расчете характеристик линейного тренда как линейной регрессии: коэффициенты регрессии, коэффициент детерминации, коэффициент корреляции. Необходимо расчитать параметры нелинейного тренда как мно-

жественной регрессии, коэффициенты регрессии и корреляционное отношение, его квадрат.

После этого можно оценить значимость каждого вида тренда путем оценки значимости коэффициента корреляции r или корреляционного отношения. Если тренд значим, это означает, что тренд неслучайным образом отличается от нуля и вносит определенный вклад в формирование изменчивости исходного ряда. Если коэффициент корреляции не значим — тренда нет.

Далее необходимо выявить, какой из трендов (линейный или нелинейный) предпочтительнее, и рассчитать величину тренда, если выбран линейный тренд. Из исходного ряда значимые тренды удаляются.

Если возникает задача выявить в исследуемом процессе только циклические составляющие, можно воспользоваться спектральным или гармоническим анализом.

В основе спектрального анализа заложена формула гармоники $G_k = A_k \cos(w_k t - \varphi)$, $w_k = 2\pi / T_k$.

Характеристики гармоники определяются на основании коэффициентов Фурье a_k и b_k :

$$a_k = \frac{2}{N} \sum [x_i \sin(w_k * t_i)]; b_k = \frac{2}{N} \sum [x_i \cos(w_k * t_i)]. \quad (1)$$

Характеристики гармоники определяются по формулам:

- амплитуда гармоники

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad (2)$$

- фаза гармоники

$$\varphi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k} \pm \pi, \quad (3)$$

- дисперсия гармоники

$$D_k = \frac{A_k^2}{2}, \quad (4)$$

- вклад гармоники в общую дисперсию ряда

$$V_k = \frac{D_k}{D_y}. \quad (5)$$

Сумма значимых гармоник из исходного ряда также удаляется.

После этого можно перейти к расчету и анализу автокорреляционной функции (АКФ): рассчитать АКФ и уровни значимости АКФ; построить совмещенный график АКФ и уровней значимости; по графику определить радиус корреляции АКФ, периодичность; сделать выводы о внутренней структуре процесса: оценить его инерционность, периодичность, тип процесса.

Для оценки типа суровости зимы использовался кластерный анализ методом k -средних, так как типы суровости зимы хорошо известны и описаны в литературе.

Результаты

Нанесем на карту точки исходных данных (рис. 1) для удобства анализа в дальнейшем.

Был проведен анализ среднегодовых данных как более информативных для выявления климатических изменчивостей.

Расчет тренда для каждой станции и оценка его значимости представлены в табл. 1.

Для данных по температуре воздуха на всех станциях были выделены гармонические колебания с соответствующими периодами и проверены на значимость по критерию Стьюдента при уровне значимости 5 %.

На станции о-ва Диксон значимы гармоника с периодом 40, 13,3 и 2,3 года, гармоника с периодом 6,6 и 5 лет не значимы. Сумма значимых гармоник описывает 31 % дисперсии исходного ряда (табл. 2).

На станции Сабетта значима гармоника с периодом 5 лет, которая описывает 9 % дисперсии исходного ряда (табл. 3).

На станции о-ва Визе гармоника с периодом 40,5 и 2 года оказались значимы. Их сумма описывает 47 % дисперсии исходного ряда (табл. 4).

На станции Малые Кармакулы значимы гармоника с периодом 5,7 и 4 года. Вместе они описывают 32 % дисперсии исходного ряда (табл. 5).

На станции им. Г.А. Ушакова значимы все гармоника, кроме гармоники с периодом 40 лет. Сумма значимых гармоник описывает 30 % дисперсии исходного ряда (табл. 6).

На станции им. М.В. Попова значимы все гармоника, кроме гармоник с периодом 3,3 и 2,3 года. Их сумма описывает 39 % дисперсии исходного ряда (табл. 7).

На станции Стерлегова значима гармоника с периодом 40 лет. Описывает 14 % дисперсии исходного ряда (табл. 8).

Результаты автокорреляционного анализа сведены в табл. 9 по всем семи станциям.

Кластерный анализ был проведен по методу Уорда с метрикой Евклида.

Рис. 1. Акватория Карского моря с указанием станций

Fig. 1. Kara Sea water area indicating stations

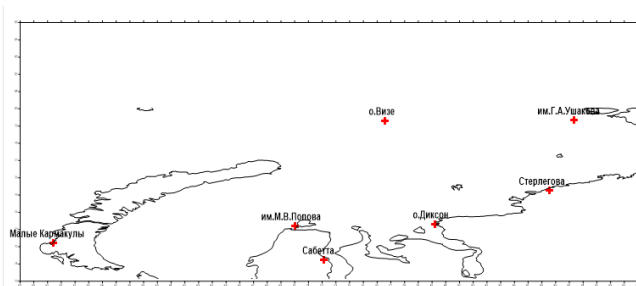
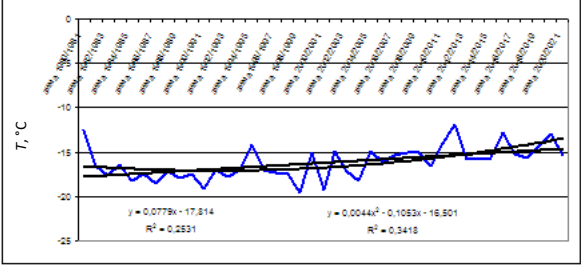
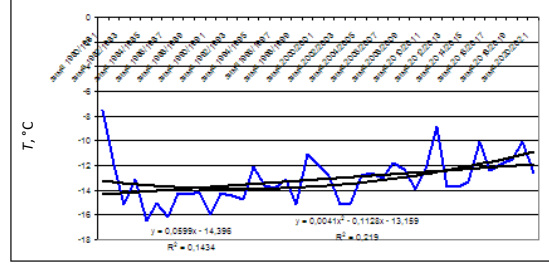
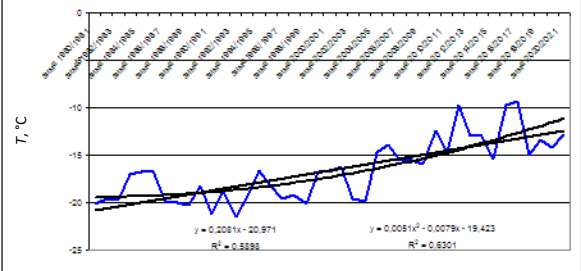
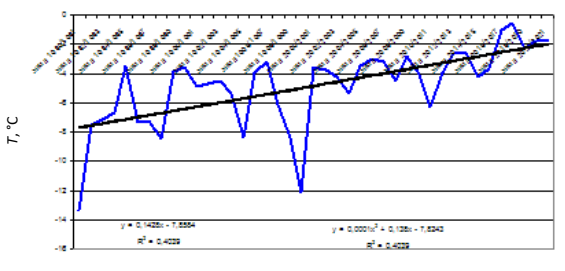
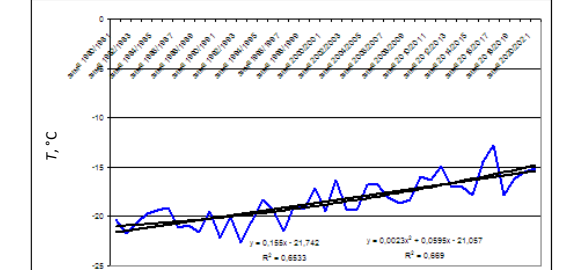
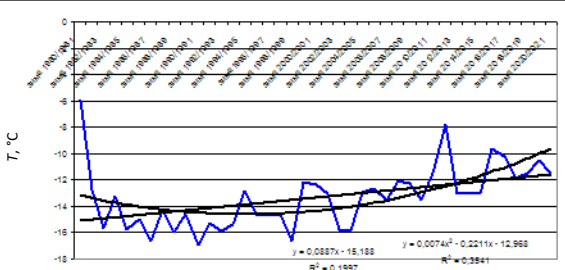
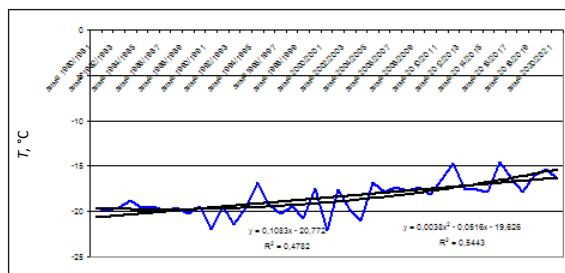


Табл. 1. Анализ тренда выбранных станций на акватории Карского моря

Tab. 1. Trend analysis of selected stations in the Kara Sea

о-в Диксон	Сабетта
 Линейный тренд: $y = 0,078x - 17,8$ $t^* = 4,3 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 25 % дисперсии исходного ряда Нелинейный тренд: $y = 0,004x^2 - 0,1x - 16,5$ $t^* = 5,7 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 34 % дисперсии исходного ряда Тренд положительный, значение тренда 0,7 °C/10 лет	 Линейный тренд: $y = 0,06x - 14,4$ $t^* = 2,8 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 14 % дисперсии исходного ряда Нелинейный тренд: $y = 0,004x^2 - 0,11x - 13,2$ $t^* = 3,8 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 22 % дисперсии исходного ряда Тренд положительный, значение тренда 0,6 °C/10 лет
о-в Визе	Малые Кармакулы
 Линейный тренд: $y = 0,21x - 20,9$ $t^* = 12,1 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 59 % дисперсии исходного ряда Нелинейный тренд: $y = 0,005x^2 - 0,008x - 19,4$ $t^* = 13,9 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 63 % дисперсии исходного ряда Тренд положительный, значение тренда 2 °C/10 лет	 Линейный тренд: $y = 0,14x - 7,8$ $t^* = 6,9 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 40 % дисперсии исходного ряда Нелинейный тренд: $y = 0,0001x^2 + 0,14x - 7,8$ $t^* = 6,9 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 40 % дисперсии исходного ряда Тренд положительный, значение тренда 1,4 °C/10 лет
им. Г.А. Ушакова	им. М.В. Попова
 Линейный тренд: $y = 0,15x - 21,7$ $t^* = 15,1 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 65 % дисперсии исходного ряда Нелинейный тренд: $y = 0,002x^2 + 0,06x - 21,06$ $t^* = 16,0 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 67 % дисперсии исходного ряда Тренд положительный, значение тренда 1,5 °C/10 лет	 Линейный тренд: $y = 0,09x - 15,2$ $t^* = 3,6 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 20 % дисперсии исходного ряда Нелинейный тренд: $y = 0,007x^2 - 0,2x - 12,9$ $t^* = 5,9 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим Описывает 35 % дисперсии исходного ряда Тренд положительный, значение тренда 0,8 °C/10 лет

Стерлегова



Линейный тренд: $y = 0,1x - 20,7$

$t^* = 8,5 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим

Описывает 48 % дисперсии исходного ряда

Нелинейный тренд: $y = 0,004x^2 - 0,05x - 19,6$

$t^* = 10,4 > t_{\text{крит}} = 2,02$ — значим

Описывает 54 % дисперсии исходного ряда

Тренд положительный, значение тренда $1^\circ\text{C}/10$ лет

Табл. 2. Характеристики гармоник станции о-ва Диксон

Tab. 2. Harmonic characteristics of the Dikson Island station

о-в Диксон					
Период	40 лет	13,3 года	6,6 лет	5 лет	2,3 года
a	-0,35	0,51	0,45	0,58	-0,54
b	0,69	0,45	0,10	0,07	-0,53
A	0,77	0,68	0,46	0,59	0,76
Фаза	-0,46	0,85	1,35	1,45	-0,80
D	0,30	0,23	0,11	0,17	0,29
V	0,116	0,089	0,041	0,067	0,112
t^*	2,4	2,09	1,3	1,7	2,4
$t_{\text{крит}}$	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	Значим	Значим	Не значим	Не значим	Значим

Табл. 3. Характеристики гармоник станции Сабетта

Tab. 3. Harmonic characteristics of the Sabetta station

Сабетта					
Период	20 лет	10 лет	5 лет	2,3 года	2 года
a	-0,15	0,19	0,76	-0,49	-0,02
b	0,64	0,62	0,03	-0,42	0,52
A	0,65	0,65	0,76	0,65	0,52
Фаза	-0,22	0,30	1,53	-0,87	-0,04
D	0,21	0,21	0,29	0,21	0,13
V	0,070	0,068	0,095	0,068	0,043
t^*	1,8	1,8	2,18	1,8	1,4
$t_{\text{крит}}$	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	Не значим	Не значим	Значим	Не значим	Не значим

Табл. 4. Характеристики гармоник станции о-ва Визе

Tab. 4. Harmonic characteristics of the Wiese station

о-в Визе					
Период	40 лет	13,3 года	5 лет	3,6 года	2 года
a	-0,47	0,53	1,05	0,56	-0,03
b	1,34	-0,51	0,46	0,50	0,89
A	1,42	0,74	1,14	0,75	0,89
Фаза	-0,34	0,81	1,16	0,84	-0,03
D	1,01	0,27	0,65	0,28	0,40
V	0,233	0,063	0,151	0,066	0,091
t^*	4,02	1,7	2,9	1,7	2,13
$t_{\text{крит}}$	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	Значим	Не значим	Значим	Не значим	Значим

Табл. 5. Характеристики гармоник станции Малые Кармакулы

Tab. 5. Harmonic characteristics of the Malye Karmakuly station

Малые Кармакулы					
Период	13,3 года	5,7 лет	4 года	2,6 лет	2,3 года
a	-0,55	-1,10	0,84	0,13	0,23
b	0,48	0,58	-0,69	0,25	0,77
A	0,73	1,25	1,09	0,28	0,80
Фаза	-0,85	-1,09	0,89	0,49	0,29
D	0,26	0,78	0,59	0,04	0,32
V	0,061	0,181	0,137	0,009	0,075
t^*	1,7	3,3	2,7	0,6	1,8
$t_{\text{крит}}$	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	Не значим	Значим	Значим	Не значим	Не значим

Табл. 6. Характеристики гармоник станции им. Г.А. Ушакова

Tab. 6. Characteristics of harmonics of the station named after G.A. Ushakov

им. Г.А. Ушакова					
Период	40 лет	5 лет	3,6 года	2,3 года	2 года
a	-0,25	0,67	0,63	-0,08	-0,02
b	0,40	0,42	0,33	0,00	0,57
A	0,47	0,79	0,71	0,08	0,57
Фаза	-0,56	1,01	1,08	-1,53	-0,03
D	0,11	0,31	0,25	0,00	0,16
V	0,061	0,170	0,138	0,002	0,089
t^*	1,7	3,1	2,7	0,3	2,1
$t_{\text{крит}}$	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	Не значим	Значим	Значим	Значим	Значим

Табл. 7. Характеристики гармоник станции им. М.В.Попова

Tab. 7. Harmonic characteristics of the M.V. Popov station

им. М.В.Попова					
Период	40 лет	13,3 года	5 лет	3,6 года	2 года
a	-0,47	0,53	1,05	0,56	-0,03
b	1,34	-0,51	0,46	0,50	0,89
A	1,42	0,74	1,14	0,75	0,89
Фаза	-0,34	0,81	1,16	0,84	-0,03
D	1,01	0,27	0,65	0,28	0,40
V	0,233	0,063	0,151	0,066	0,091
t^*	4,02	1,7	2,9	1,7	2,13
$t_{\text{крит}}$	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	Значим	Не значим	Значим	Не значим	Значим

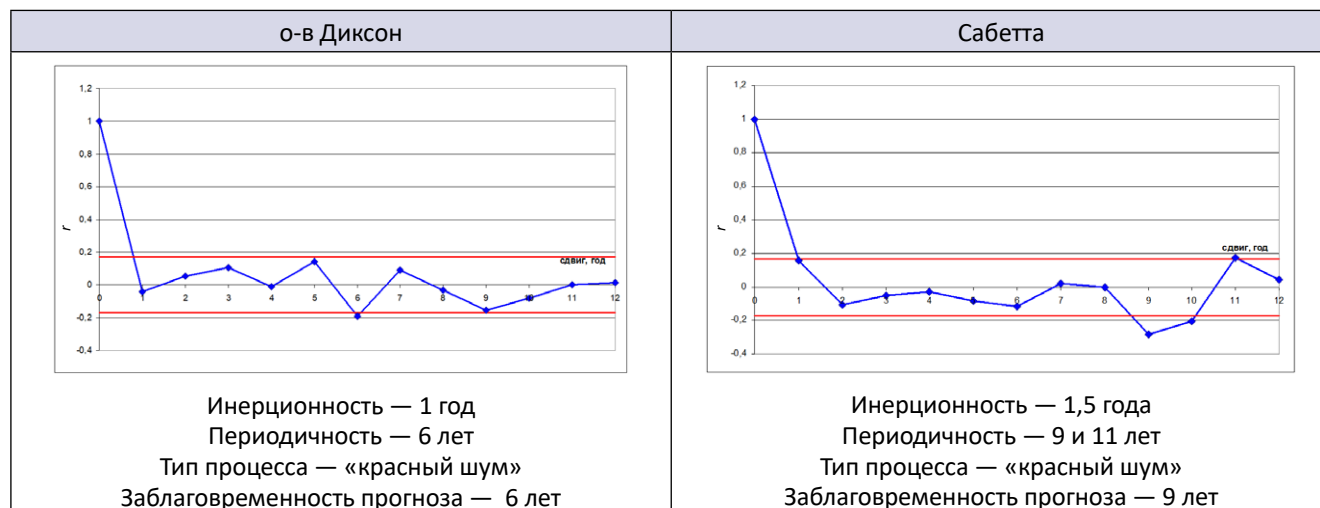
Табл. 8. Характеристики гармоник станции Стерлегова

Tab. 8. Harmonic characteristics of the Sterlegov station

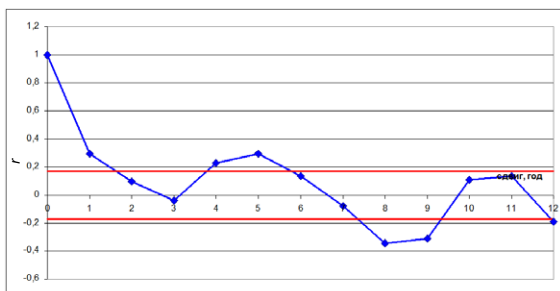
Стерлегова					
Период	40 лет	13,3 года	5,7 лет	2,6 года	2,3 года
a	-0,15	0,52	-0,22	-0,43	-0,46
b	0,70	0,04	-0,51	-0,19	-0,21
A	0,72	0,52	0,55	0,47	0,50
Фаза	-0,21	1,50	-0,41	-1,15	-1,14
D	0,26	0,14	0,15	0,11	0,13
V	0,14	0,07	0,08	0,06	0,07
t^*	2,7	1,9	2,01	1,7	1,8
$t_{\text{крит}}$	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	Значим	Не значим	Не значим	Не значим	Не значим

Табл. 9. Автокорреляционные функции и их характеристики для выбранных станций на акватории Карского моря

Tab. 9. Autocorrelation functions and their characteristics for selected stations in the Kara Sea

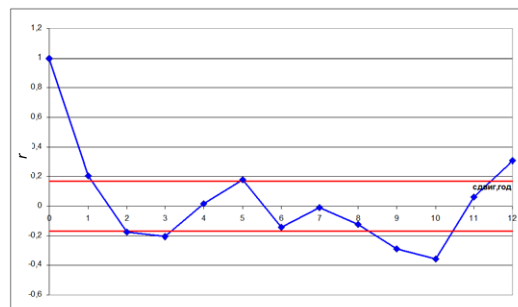


о-в Визе



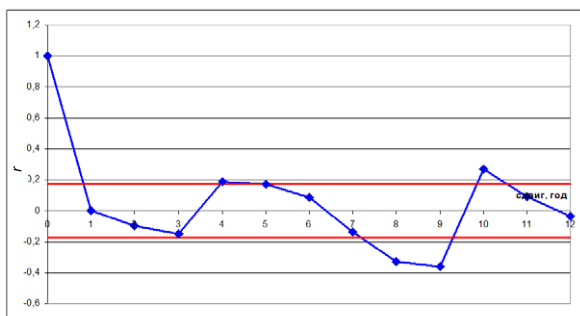
Инерционность — 3 года
 Периодичность — 5 и 8 лет
 Тип процесса — «красный шум»
 Заблаговременность прогноза — 8 лет

Малые Кармакулы



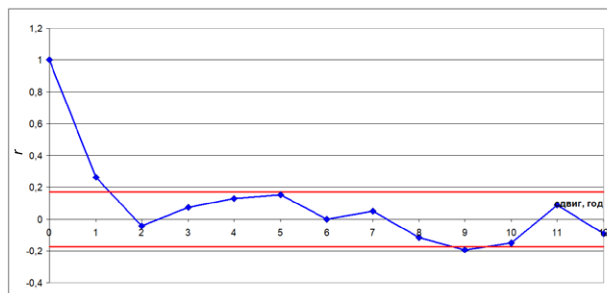
Инерционность — 1,5 года
 Периодичность — 3, 5, 10 и 12 лет
 Тип процесса — «красный шум»
 Заблаговременность прогноза — 10 лет

им. Г.А. Ушакова



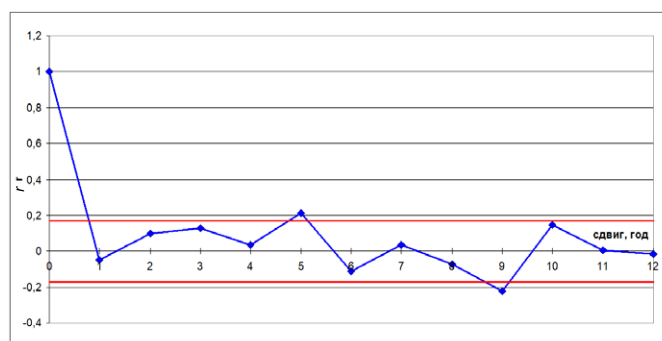
Инерционность — 1 год
 Периодичность — 4, 9 и 10 лет
 Тип процесса — «красный шум»
 Заблаговременность прогноза — 9 лет

им. М.В. Попова



Инерционность — 2 года
 Периодичность — 9 лет
 Тип процесса — «красный шум»
 Заблаговременность прогноза — 9 лет

Стерлегова



Инерционность — 1 год
 Периодичность — 5 и 9 лет
 Тип процесса — «красный шум»
 Заблаговременность прогноза — 9 лет

По дендрограмме было проведено деление на три класса (мягкая, умеренная и суровая зима), результаты по всем станциям за все годы сведены в табл. 10. Отмечается, что суровая зима на всех станциях наблюдалась зимой 1986–1987, 1993–1994 гг., мягкая зима наблюдалась на всех станциях

в 2011–2012 гг., умеренные зимы на всех станциях наблюдались в 2006–2007 гг. Наибольшее число суровых зим отмечается на станции Стерлегова и о-ва Диксон, мягких зим больше всего отмечается на станции Малые Кармакулы (табл. 10).

Табл. 10. Суровость зимы на выбранных станциях на акватории Карского моря за каждый год

Tab.10. Winter severity at selected stations in the Kara Sea for each year

Годы	о-в Визе	им. Г.А. Ушакова	Стерлегова	им. М.В. Попова	о-в Диксон	Малые Кармакулы	Сабетта
1980–1981	С	С	С	М	М	С	М
1981–1982	С	С	С	У	С	С	У
1982–1983	С	С	С	С	С	У	С
1983–1984	У	С	С	У	С	М	У
1984–1985	У	С	С	С	С	С	С
1985–1986	У	У	С	С	С	С	С
1986–1987	С	С	С	С	С	С	С
1987–1988	С	С	С	С	С	М	С
1988–1989	С	С	С	С	С	М	С
1989–1990	С	У	С	С	С	У	С
1990–1991	С	С	С	С	С	У	С
1991–1992	С	С	С	С	С	У	С
1992–1993	С	С	С	С	С	У	С
1993–1994	С	С	С	С	С	С	С
1994–1995	У	У	У	У	М	М	У
1995–1996	С	У	С	С	С	М	У
1996–1997	С	С	С	С	С	У	У
1997–1998	С	У	С	С	С	С	У
1998–1999	С	У	С	С	С	С	С
1999–2000	У	М	У	У	У	М	М
2000–2001	У	У	С	У	С	М	У
2001–2002	У	М	У	У	У	У	У
2002–2003	С	У	С	С	С	У	С
2003–2004	С	У	С	С	С	М	С
2004–2005	У	М	У	У	У	М	У
2005–2006	У	М	У	У	У	М	У
2006–2007	У	У	У	У	У	У	У
2007–2008	У	У	У	У	У	М	У
2008–2009	У	У	У	У	У	М	У
2009–2010	М	М	У	У	С	У	С
2010–2011	У	М	У	У	М	М	У
2011–2012	М	М	М	М	М	М	М
2012–2013	М	М	У	У	У	М	У
2013–2014	М	М	У	У	У	У	У
2014–2015	У	У	У	У	У	М	У
2015–2016	М	М	М	У	М	М	М
2016–2017	М	М	У	У	У	М	У
2017–2018	У	У	У	У	У	М	У
2018–2019	М	М	М	У	М	М	У
2019–2020	У	М	М	У	М	М	М
2020–2021	М	М	У	У	У	У	У

Обсуждение

Для среднегодовых значений температуры воздуха на всех станциях выявлены значимые положительные тренды, значения которых варьируются от 1 до 2 °C/10 лет. Наибольший вклад в описании дисперсии исходного ряда тренда отмечается на станции им. Г.А. Ушакова — около 57 %, минимальный вклад на станции Сабетта — около 14 %. На о-ве Диксон выявлены значимые гармоники с периодом 40, 13,3 и 2,3 года, которые с трендом описывают 56 % дисперсии исходного ряда. На станции Сабетта выявлены значимые гармоники с периодом 5 лет, которые с трендом описывают 23 % дисперсии исходного ряда. На станции о-ва Визе выявлены значимые гармоники с периодом 40,5 и 2 года, которые с трендом описывают почти 100 % дисперсии исходного ряда. На станции Малые Кармакулы выявлены значимые гармоники с периодом 5,7 и 4 года, которые с трендом описывают 72 % дисперсии исходного ряда. На станции им. Ушакова выявлены значимые гармоники с периодом 40 лет, которые с трендом описывают 95 % дисперсии исходного ряда. На станции им. М.В. Попова выявлены значимые гармоники с периодом 3,3 и 2,3 года, которые с трендом описывают

59 % дисперсии исходного ряда. На станции Стерлегова выявлены значимые гармоники с периодом 40 лет, которые с трендом описывают 37 % дисперсии исходного ряда. Автокорреляционный анализ показал, что процесс малоинерционный, периодичность на всех станциях выявлена разная, однако на многих станциях прослеживается периодичность 9 лет, тип процесса — «красный шум», а значит, можно сделать автопрогноз с заблаговременностью 9 лет для станций Сабетта, им. Ушакова, им. Попова и им. Стерлегова с заблаговременностью 8 лет для станции о-ва Визе, 6 лет для о-ва Диксон и заблаговременностью 10 лет для станции Малые Кармакулы.

Используя кластерный анализ по методу Уорда с метрикой Евклида, было выбрано разбиение на три класса по типу мягкой, умеренной и суровой зимы. По составленной таблице можно выявить тенденцию для всех станций к снижению суровости зимы.

Таким образом, получив оценки климатической изменчивости гидрометеорологических характеристик на акватории Северного морского пути, можно осуществлять более эффективное управление и планирование навигации.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSZU-2020-0009.

Список источников

1. Истомин Е.П., Петров Я.А., Мартын И.А., Аганов С.С., Колбина О.Н. Реализация мониторинга гидрометеорологической обстановки и структуры базы данных для обеспечения безопасности деятельности морских объектов с применением ГИС-технологий // Информация и космос. — 2023. — № 2. — С. 95–99.
2. Мартын И.А., Федоров Д.Д., Малютин А.С. Долгопериодные климатические колебания ледовой обстановки Арктики // Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 7 апреля 2023 г.) / Под ред. И.В. Зайцевой. — СПб: РГГМУ, 2023. — С. 310–318.
3. Истомин Е.П., Михеев В.Л., Петров Я.А., Мартын И.А. Геомоделирование предельного усиления цуга волн при выходе на шельф // Информация и космос. — 2021. — № 3. — С. 78–85.
4. Истомин Е.П., Михеев В.Л., Петров Я.А., Мартын И.А. Моделирование волновых процессов на замкнутых акваториях мелководных районов // Геоинформатика. — 2021. — № 3. — С. 30–35. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-30-35.

References

1. Istomin E.P., Petrov Ya.A., Martyn I.A., Aganov S.S., Kolbina O.N. Implementation of monitoring of the hydrometeorological situation and the structure of the database to ensure the safety of offshore facilities using GIS technologies. *Information and Space*. 2023;(2):95–99.
2. Martyn I.A., Fedorov D.D., Malyutin A.S. Long-term climate oscillations in the ice situation in the Arctic. In: *Innovatsionnye metody matematiki i fiziki v ehkologicheskikh i gidrometeorologicheskikh issledovaniyakh: sbornik trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (St. Petersburg, 7 April 2023). Zaitseva I.V., ed. St. Petersburg: RGGMU; 2023. pp. 310–318.
3. Istomin E.P., Mikheev V.L., Petrov Ya.A., Martyn I.A. Geomodeling of the limiting amplification of the wave train at the exit to the shelf. *Information and Space*. 2021;(3):78–85.
4. Istomin E.P., Mikheev V.L., Petrov Ya.A., Martyn I.A. Modeling of wave processes in closed water areas of shallow water areas. *Geoinformatika*. 2021;(3):30–35. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-30-35.

Статья поступила в редакцию 25.03.2024 г., одобрена после рецензирования 15.04.2024 г., принята к публикации 20.05.2024 г.
The article was submitted 25.03.2024; approved after reviewing 15.04.2024; accepted for publication 20.05.2024.

Информация об авторах

Истомин Евгений Петрович

Доктор технических наук, профессор, директор института
Информационных систем и геотехнологий
ФГБОУ ВО «РГГМУ»
192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д.79
e-mail: biom@bk.ru
ORCID: 0000-0001-6247-4373

Петров Ярослав Андреевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры Прикладной
информатики
ФГБОУ ВО «РГГМУ»
192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д.79
e-mail: yaroslav.petrov025@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9185-441X

Мартын Ирма Андреевна

Доцент кафедры Прикладной информатики
ФГБОУ ВО «РГГМУ»
192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д.79
e-mail: irma_martyn@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4332-7308

Новожилова Елена Сергеевна

Старший преподаватель кафедры Прикладной информатики
ФГБОУ ВО «РГГМУ»
192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д.79
e-mail: novozhilova.elena@icloud.com

Information about authors

Eugene P. Istomin

Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute
of Information Systems and Geotechnologies
Russian State Hydrometeorological University
79, Voronezhskaya str., St.-Petersburg, 192007, Russia
e-mail: biom@bk.ru
ORCID: 0000-0001-6247-4373

Yaroslav A. Petrov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department of Applied Informatics
Russian State Hydrometeorological University
79, Voronezhskaya str., St.-Petersburg, 192007, Russia
e-mail: yaroslav.petrov025@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9185-441X

Irma A. Martyn

Associate Professor, Department of Applied Informatics
Russian State Hydrometeorological University
79, Voronezhskaya str., St.-Petersburg, 192007, Russia
e-mail: irma_martyn@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4332-7308

Elena S. Novozhilova

Senior Lecturer, Department of Applied Informatics
Russian State Hydrometeorological University
79, Voronezhskaya str., St.-Petersburg, 192007, Russia
e-mail: novozhilova.elena@icloud.com