

Гидрометеорология и экология. 2024. № 77. С. 689—715.  
Hydrometeorology and Ecology. 2024;(77):689—715.

## ***МЕТЕОРОЛОГИЯ. В ПОРЯДКЕ ДИСКУССИИ***

Научная статья  
УДК 551.524(7)  
doi: 10.33933/2713-3001-2024-77-689-715

### **О 18,6-летних колебаниях температуры воздуха в западной части Северной Америки**

***Владимир Анатольевич Молодых***

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Санкт-Петербург,  
vam3@rambler.ru

*Аннотация.* Анализ многолетних изменений зимних аномалий температуры воздуха в западной части Северной Америки позволил выявить географический регион, в котором выделяются их 18,6-летние колебания. Границы региона простираются от западного побережья до 15° к востоку от него. Амплитуда колебаний температуры воздуха в 18,6-летнем цикле меняется от 0,3 до 2,0 °С в зависимости от широты и географического положения. Рассмотрены возможные причины отмеченных колебаний температуры воздуха, связанные с циркуляцией атмосферы над Тихим океаном и колебаниями температуры его поверхности, модулируемой лунным деклинационным приливом. Сделан вывод о многофакторности влияния лунного деклинационного прилива на температуру воздуха.

*Ключевые слова:* изменчивость температуры воздуха, атмосферная циркуляция, лунный деклинационный прилив, 18,6-летний цикл.

*Благодарности:* Шерстюков Б. Г., Логинов В. Ф., Сидоренков Н. С., Войнов Г. Н.

*Для цитирования:* Молодых В. А. О 18,6-летних колебаниях температуры воздуха в западной части Северной Америки // Гидрометеорология и экология. 2024. № 77. С. 689—715. doi: 10.33933/2713-3001-2024-77-689-715.

## ***METEOROLOGY. DISCUSSION***

Original article

### **On 18.6-year air temperature oscillations in the western part of North America**

***Vladimir A. Molodykh***

A. I. Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia

*Summary.* An analysis of long-term variations in winter air temperature anomalies in western North America has revealed a geographic region, where 18.6-year oscillations stand out. The region's boundaries

extend from the west coast to 15° east of it, in latitude from 30° to 60° N, with typical dimensions of 1,000 to 2,500 km. The amplitude of air temperature oscillations in the 18.6-year cycle varies from 0.3 to 2.0 °C, depending on latitude and geographic location. The 18.6-year oscillations occur only in winter. The proximity of the region to the Pacific Ocean suggests its influence on air temperature variations. A comparison of possible factors in the formation of 18.6-year air temperature oscillations has led to the conclusion that both atmospheric and oceanic characteristics, which are affected by the lunar declination tide, have a common influence. The question of the manifestation of 18.6-year fluctuations in air temperature anomalies in the studied area only in the winter season can be explained by the minimal influence of radiation factors in its annual course on the temperature regime. The allocation of an area with different statistical properties in the southeast of the studied region than for its main part once again emphasizes the limited zone of influence of the lunar declination tide on temperature. Scientific works are analyzed in which a similar theory is considered and confirmed by practical conclusions, but in which there is no detailed analysis of air temperature fluctuations made in this work. Further attention needs to be paid to patterns of quasi-twenty-year changes in ocean surface temperatures at significant distances from the North American coast.

*Keywords:* air temperature oscillations, atmospheric circulation, lunar declination tide, 18.6-year cycle.

*Acknowledgments:* Sherstyukov B. G., Loginov V. F., Sidorenkov N. S., Voynov G. N.

*For citation:* Molodykh V. A. On 18.6-year air temperature oscillations in the western part of North America. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2024;(77):689—715. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2024-77-689-715.

## Введение

На территории Северной Америки рядом авторов были выявлены колебания температуры воздуха  $T_a$  с периодом около 18,6 года. Так, Р. Карри методом спектрального анализа установил наличие двух пиков спектра, один из которых имел период 18,8 года [1]. Автор идентифицировал его как лунный 18,6-летний прилив, отметив, что амплитуда и фаза сильно нестационарны как во времени, так и в пространстве. В работе [2] Р. Карри привел доказательства 18,6-летнего лунного узлового периода в  $T_a$  на 30 станциях на востоке Северной Америки. Также им был обнаружен кластер из 9 станций в западной Канаде, демонстрирующий 18,6-летнюю периодичность, которую автор связывает с усилением засухи на западе Соединенных Штатов.

В работе Дж. Гио [3] проведен анализ реконструированных рядов  $T_a$  и представлены доказательства суперпозиции двух температурных волн, возникающих в результате 22-летних солнечных и 18,6-летних лунных узловых приливных циклов  $T_a$  в Центральной Канаде. Имеется исследование С. Маккиннелла и В. Крауфорда [4], в котором рассмотрены изменения  $T_a$  и температуры поверхности океана  $T_w$  в зимний период (январь), и было показано наличие в них 18,6-летнего периода на побережье провинции Британская Колумбия в Канаде (севернее 48° с.ш.). В работе Т. Ройера [5] прослеживается связь между  $T_w$  и  $T_a$  в районе г. Ситка, Аляска (около 57° с.ш.), и в них проявляется 18,6-летний сигнал.

Проявления 18,6-летнего приливного цикла Луны в различных характеристиках атмосферы и океана рассматривались довольно часто. Большое внимание к изучению характеристик лунного деklinационного прилива в океане уделил И. В. Максимов [6]. Помимо изучения характеристик прилива в различных точках океана, он показал, что астрономические течения сопровождаются колебаниями  $T_w$ , что может приводить к колебаниям давления и  $T_a$ . В работах Э. И. Саруханяна и Н. П. Смирнова с соавторами [7, 8] проанализировано влияние

многoletнего лунного прилива на характеристики циклонических центров действия атмосферы в Северном и Южном полушариях и различные индексы атмосферной циркуляции. Авторами сделан вывод о заметной роли многoletнего лунного прилива в формировании долгопериодной изменчивости циркуляции атмосферы. В монографии В. Ф. Логинова [9] оценена роль приливообразующей силы квазидевятнадцатилетнего лунного деклинационного прилива в изменении климата. Выявленные в работе Л. В. Зотова с соавторами [10] квазидвадцатилетние колебания глобальной  $T_a$ , авторы связывают с 18,6-летним лунным приливом, описывая его как возможный климатообразующий фактор. В работе И. Ясуда [11] установлена связь между временем возникновения явлений Эль-Ниньо / Южное колебание и 18,6-летним периодом лунного приливного цикла во временных рядах за декабрь — февраль в течение 1867—2015 гг. и ранее с использованием прокси-данных.

В статье Д. О'Брайана и Р. Карри [12] исследовались изменения атмосферного давления в различных регионах Земли и было установлено наличие колебаний с периодом 18,6 года и амплитудой до 0,9 мб. В статье Х. Индестада [13] методом вейвлет-анализа выявлены 18,6-летние лунные колебания глобальной  $T_a$  над сушей и  $T_w$ . В статье К. А. Рогачева и Н. В. Шлык [14] рассматриваются вариации солености промежуточных вод Ойясио и их связь с лунным нодальным циклом.

Дж. Лодер и С. Гаррет [15] полагают, что доказательства 18,6-летнего цикла  $T_w$  в некоторых районах, совпадение их фазы с фазой узлового цикла и твердые физические основания для ожидания уменьшения ТПО в периоды усиления приливных течений требуют серьезного внимания к этой проблеме. Р. Червени и Дж. Шаффер [16] отмечают, что региональный климат по всему миру отображает циклы, соответствующие периодичности максимального лунного склонения (МЛС) в 18,61 года. Авторы предполагают, что тихоокеанский антициклонический круговорот усиливается приливными силами при высоких значениях МЛС, вызывая адвекцию холодной воды в экваториальную область.

Приведенный краткий обзор публикаций показывает интерес не только к проявлениям лунного 18,6-летнего прилива в атмосфере и в океане, но и к возможным механизмам влияния на них. Наиболее часто в качестве региона исследований рассматривалась территория Северной Америки, однако опубликованные результаты пока носят фрагментарный характер.

Проведенный в данном исследовании предварительный анализ территории Северной Америки на предмет выявления колебаний  $T_a$  с периодом 18,6 года позволил установить регион вблизи западного побережья США и Канады в зимний период, где такие колебания проявляются отчетливо. Восточнее этого региона, в центре североамериканского континента и в средних широтах его восточного побережья, отмечались квазидвадцатилетние колебания, но их период был больше, 20—22 года.

Анализ и обзор изменений индексов атмосферной циркуляции в тихоокеанском регионе с квазидвадцатилетним периодом проведен, например, в работе [17], однако авторы ограничились общим выводом о наличии у них 19-летнего цикла, без детализации по месяцам. С учетом дискуссионного характера взглядов разных

исследователей на природу этого цикла, возникает необходимость его более тщательного изучения. Исходя из этого, цель настоящего исследования состоит в детальном анализе межгодовых колебаний температуры воздуха  $T_a$  в западной части Северной Америки в зимний период, определение их особенностей и выявление возможных причин возникновения.

### Исходные данные

Исходными данными в работе являлись аномалии средней месячной  $T_a$  над сушей за каждый месяц года, осредненные по 5-градусным условным «квадратам» географической сетки (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>) [18]. Данный массив исходных данных охватывает период с 1850 по 2019 гг. и поверхность земного шара при условии, что внутри квадрата сетки имелись наблюдения за  $T_a$  хотя бы на одной станции. Вследствие этого возникает определенная неоднородность временных рядов, так как в XX веке число станций в этих «квадратах» быстро росло. Ниже будет показано влияние возможной неоднородности временных рядов на результаты расчетов. Кроме того, в работе использовался архив данных о температуре поверхности океана ersst v.5 Национального центра информации об окружающей среде Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NCEP NOAA США, <https://www.ncei.noaa.gov/products/extended-reconstructed-sst>).

Для анализа были выбраны 30 квадратов координатной сетки на западном побережье Северной Америки. Схема расположения квадратов приведена на рис. 1, а их характеристики — в табл. 1. Выбранная территория охватывает широтную зону от 20° до 60° с.ш. и распределена по долготе от 95° до 135° з.д. Продолжительность выбранных для анализа рядов составляла от 99 лет до 168 лет, в среднем — 136 лет. В перечень квадратов был добавлен квадрат № 4 с длиной ряда 93 года, отмеченный в таблице буквами «м.д.» (мало данных), который позволил уточнить получаемые результаты на северо-восточной границе изучаемого региона.

Таблица 1

Характеристики анализируемых квадратов координатной сетки  
Characteristics of the analyzed squares of the coordinate grid

Номер квадрата	Координаты центров квадратов с.ш., з.д.		Анализируемый период, годы		Длина ряда, лет
1	57,5	137,5	1900	2019	120
2	57,5	132,5	1899	2019	121
3	57,5	127,5	1911	2019	109
4	57,5	127,5	1927	2019	93 (м.д.)
5	52,5	132,5	1909	2019	111
6	52,5	127,5	1896	2019	124
7	52,5	122,5	1889	2019	131
8	52,5	117,5	1889	2019	131

Окончание табл. 1

Номер квадрата	Координаты центров квадратов		Анализируемый период,		Длина ряда, лет
	с.ш., з.д.	с.ш., з.д.	годы		
9	52,5	112,5	1881	2019	139
10	47,5	122,5	1873	2019	147
11	47,5	117,5	1872	2019	148
12	47,5	112,5	1888	2019	132
13	47,5	107,5	1878	2019	142
14	42,5	122,5	1878	2019	142
15	42,5	117,5	1865	2019	155
16	42,5	112,5	1871	2019	149
17	42,5	107,5	1890	2019	130
18	42,5	102,5	1869	2019	151
19	37,5	122,5	1872	2019	148
20	37,5	117,5	1888	2019	132
21	37,5	112,5	1889	2019	131
22	37,5	107,5	1853	2019	167
23	37,5	102,5	1867	2019	153
24	32,5	117,5	1852	2019	168
25	32,5	112,5	1892	2019	128
26	32,5	107,5	1872	2019	148
27	32,5	102,5	1870	2019	150
28	27,5	102,5	1905	2019	115
29	27,5	97,5	1886	2019	134
30	22,5	102,5	1921	2019	99

### Методика анализа данных

Для выделения квазидвадцатилетних колебаний во временных рядах  $T_a$  последовательно использовались три достаточно простые процедуры статистического анализа:

1) Удаление во временных рядах методом полиномиальной аппроксимации второй степени трендовой составляющей, которая дает значительный вклад в дисперсию исходных рядов и может достигать 2 °С и более за рассматриваемый промежуток времени.

2) Цифровая фильтрация рядов зимних и месячных аномалий  $T_a$  по квадратам сетки фильтром с передаточной функцией, изображенной на рис. 2. Для фильтрации применялся нерекурсивный цифровой фильтр с окном Ханна [19]. При этом подавлялись колебания с периодами менее 13 лет. Число весовых коэффициентов фильтра было выбрано равным 21, а частота обрезания фильтра задавалась равной 0,075, что соответствует периоду 13,3 года.

3) Расчет и анализ автокорреляционных функций (АФ), полученных после фильтрации рядов аномалий  $T_a$ . Максимальный сдвиг АФ выбирался равным 74 годам для рядов длиной более 120 лет. Вид и свойства АФ для разных квадратов

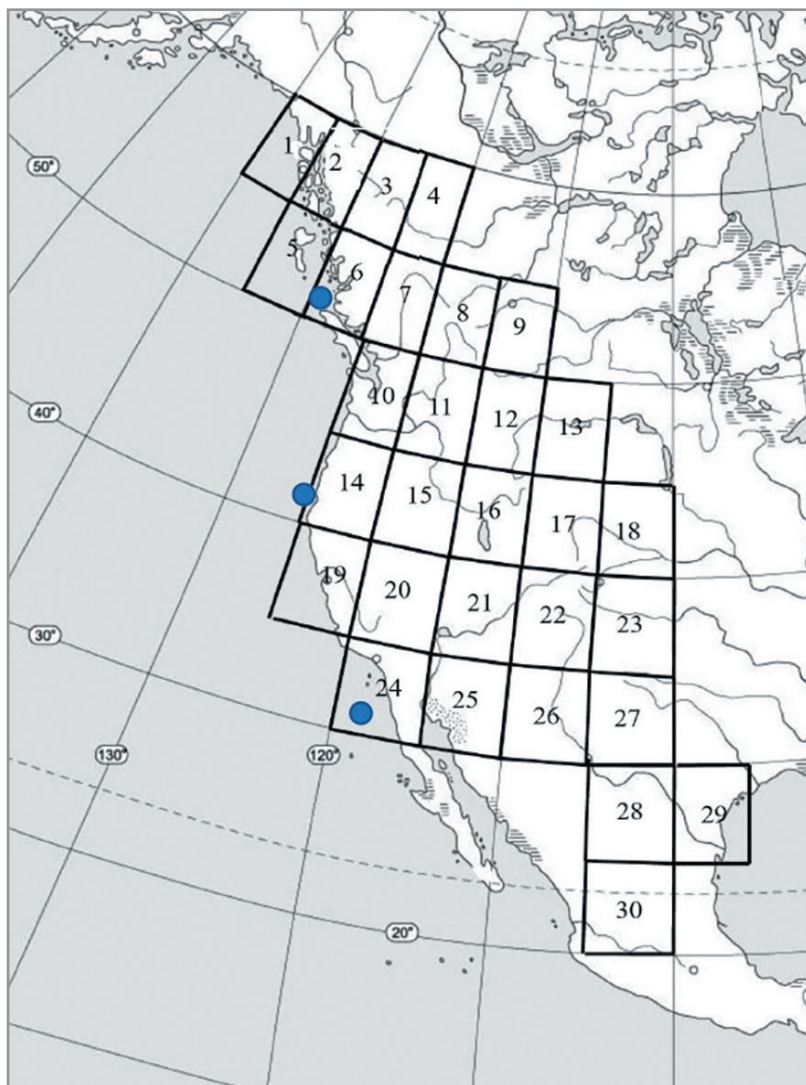


Рис. 1. Расположение пятиградусных «квадратов» сетки, использованных при анализе температуры воздуха. Синие кружки — центры морских двухградусных «квадратов».

Fig. 1. The arrangement of grid squares used in the analysis.

сетки позволял выявлять географические районы, где присутствуют или, наоборот, отсутствуют колебания с искомым периодом.

Подобная методика была использована в работе [20], где длина цифрового фильтра составляла 41. С целью максимального сохранения длительности анализируемых рядов, неизбежно укорачивающихся в связи с цифровой фильтрацией

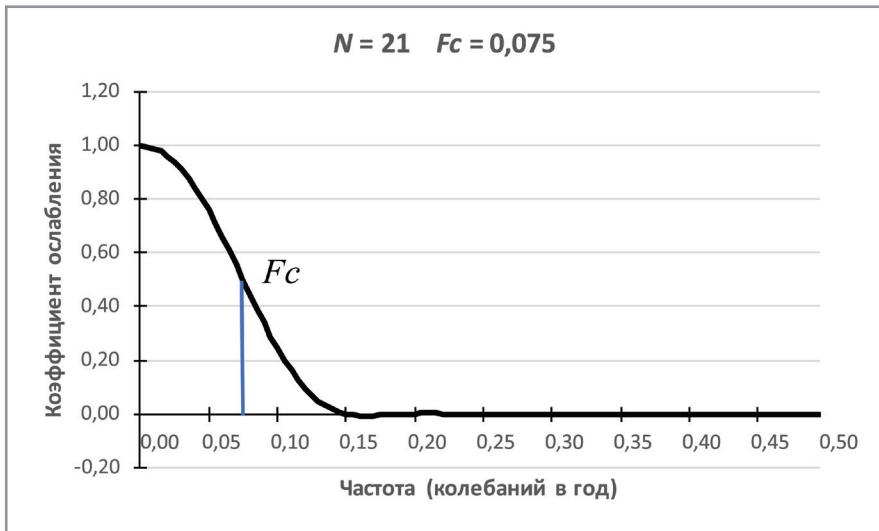


Рис. 2. Передаточная функция цифрового фильтра.

Fig. 2. Transfer function of the digital filter.

на величину  $(N-1)$ , где  $N$  — длина фильтра (число весовых коэффициентов), здесь использовался более короткий цифровой фильтр с  $N = 21$ .

Используемый цифровой фильтр обладал следующими свойствами:

— коэффициент ослабления фильтра равен 0,5 на частоте обрезания  $F_c = 0,075$ , что означает уменьшение амплитуды сигнала в два раза. Эта частота соответствует периоду сигнала 13,3 года.

— значение коэффициента ослабления фильтра для частоты 18,6-летнего лунного прилива близко к значению 0,72, то есть при наличии реального колебания  $T_s$  с таким периодом амплитуда сигнала после фильтрации будет уменьшена на 28%, поэтому для оценки истинной амплитуды цикла полученное значение нужно увеличить в  $1,0/0,72 \approx 1,4$  раза.

Из графика передаточной функции цифрового фильтра видно, что сигналы с периодом 10 лет ослабляются в 4 раза, а с периодами менее 7 лет ослабляются в 100 и более раз, то есть полностью сглаживаются. Именно на высоких частотах колебаний с периодами в несколько лет зачастую содержится значительная доля общей изменчивости климатических рядов, удаление которой позволяет выделять низкочастотные колебания.

Еще одной особенностью применявшегося цифрового фильтра является отсутствие отрицательных значений передаточной функции. Это означает, что процедура фильтрации не порождает ложных колебаний, а только трансформирует амплитуды имеющихся в исходном ряду. Также применявшийся фильтр в силу своих особенностей не создает фазовых сдвигов, т. е. не сдвигает экстремумы выделяемых колебаний. При анализе результатов рассматривались значения

кросскорреляций, которые являлись статистически значимыми с доверительной вероятностью 95 % при значениях, больших 0,4 по модулю.

### Результаты

Типовая автокорреляционная функция исследованных рядов аномалий  $T_a$  может иметь один или несколько максимумов. На рис. 3 в качестве примера приведена автокорреляционная функция ряда аномалий  $T_a$  зимой для квадрата № 16. На ней отчетливо выделяются три максимума, соответствующие запаздываниям 18—19, 37—38 и 57 лет.

Предварительный анализ показал, что 18,6-летние колебания аномалий  $T_a$  на исследуемой территории встречаются только в зимний период, поэтому далее рассматривались ряды месячных аномалий  $T_a$  для декабря, января, февраля и в среднем  $T_a$  за зимний период.

Для количественного анализа проявлений 18,6-летнего периода в зимних рядах  $T_a$  производился расчет коэффициентов корреляции сглаженных рядов  $T_a$  с модельной синусоидальной кривой с периодом 18,6 года, синхронизированной по времени с изменением склонения Луны в 18,6-летнем ( $R_{18,6}$ ) цикле.

Результаты расчета  $R_{18,6}$  приведены на рис. 4 для четырех массивов данных по  $T_a$ : *a*) зима, *b*) декабрь, *c*) январь, *d*) февраль. Расположение квадратов соответствует их расположению на рис. 1: западная граница региона является прибрежной, по широте квадраты расположены в зоне 20°—60° с.ш.

Учитывая, что колебания  $T_a$  под возможным влиянием лунного прилива необязательно должны быть с ним синхронны, кросскорреляционная функция

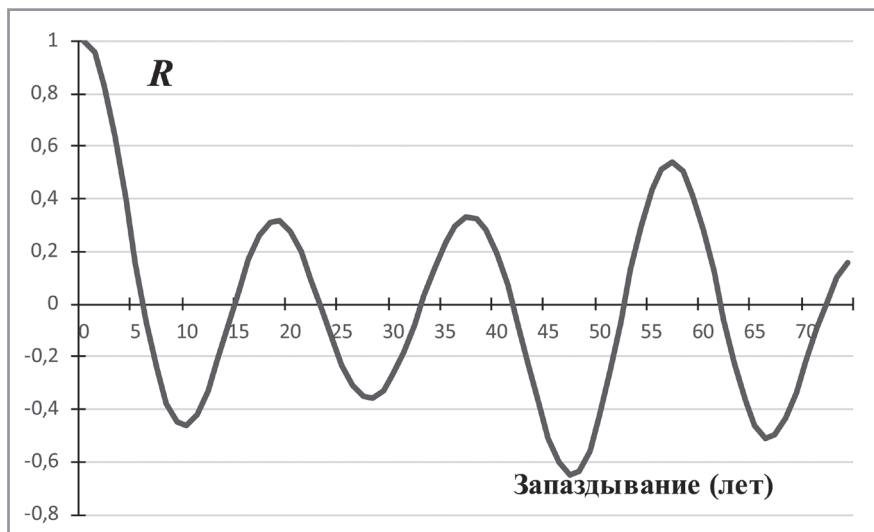


Рис. 3. Автокорреляционная функция  $R(L)$  ряда зимних аномалий  $T_a$  в квадрате № 16.

Fig. 3. Autocorrelation function  $R(L)$  of a series of  $T_a$  anomalies in winter in square No. 16.



рассчитывалась при разных запаздываниях. В каждом квадрате на рисунке содержится три числа: в верхнем левом углу — номер квадрата, в центре — значение коэффициента корреляции  $R_{18,6}$  между сглаженными значениями  $T_a$  и отсчетами синусоидальной кривой с периодом 18,6 года, в правом нижнем углу — величина запаздывания в годах минимума  $T_a$  от максимума склонения Луны.

Из рис. 4 видно, что подавляющее большинство коэффициентов корреляции имеют отрицательный знак, что означает уменьшение  $T_a$  при росте склонения Луны в 18,6-летнем периоде, поэтому далее при анализе значений коэффициентов корреляции могут приводиться по модулю.

Для удобства анализа каждый квадрат на рисунке может иметь четыре цветовых фона: белый — малоинформативные квадраты (отсутствие изучаемых колебаний), желтый —  $R_{18,6} = |0,4 \div 0,6|$ , зеленый —  $R_{18,6} \geq |0,6|$ , голубой — квадрат с иными свойствами, отличающимися от общей тенденции.

Проанализируем рис. 4 отдельно для зимы, декабря, января, февраля.

### *Зима*

Здесь можно отметить главную закономерность. Основная часть квадратов (19 из 30) демонстрирует статистически значимую связь сопоставляемых характеристик, что означает наличие общего физического фактора, воздействующего на атмосферу в данном регионе с периодом 18,6 года. Из этой тенденции выпадает квадрат № 11, в котором  $R_{18,6} = -0,3$ . Возможно, это связано со сложным рельефом местности, поскольку здесь расположена горная система Кордильеры с перепадами высот в несколько тысяч метров, с хребтами и межгорными долинами, или неточностями в исходных данных.

На рис. 4 выделяется общая область с  $R_{18,6} \geq |0,6|$  (зеленые квадраты) в широтной зоне  $30^\circ$ — $45^\circ$ , примыкающей к побережью Тихого океана. В эту область попадают семь квадратов, расположенных рядом друг с другом. В четырех из них, расположенных рядом, коэффициент корреляции  $R_{18,6}$  превышает по модулю 0,7, что говорит о сильной статистической связи изучаемых характеристик. Протяженность «зеленой» области по широте и долготе составляет  $15^\circ$ , что эквивалентно примерно 1500 км. Протяженность общей «желто-зеленой» области вдоль меридиана составляет  $30^\circ$ .

На севере рассматриваемого региона выделяется квадрат № 2 с коэффициентом корреляции  $R_{18,6} = -0,62$ . Рядом с «зелеными» квадратами расположены «желтые» квадраты со значениями  $R_{18,6}$  от  $-0,6$  до  $-0,4$ . На юго-востоке региона выделяются 3 квадрата с номерами 28—30 (голубая область), в которых отмечается слабая, статистически незначимая положительная корреляция, которая указывает на другие механизмы связи или ее отсутствие между  $T_a$  и лунным приливом. Это неудивительно, поскольку данная географическая зона находится рядом с Мексиканским заливом, являющимся частью другого, Атлантического, океана.

Еще одной характерной чертой поля корреляций для зимы является отсутствие статистической связи между исследуемыми характеристиками на северо-востоке и востоке региона. Коэффициенты корреляции здесь малы или близки

к нулю. Соответственно, здесь находится граница региона с проявлением лунного 18,6-летнего периода. Оценки запаздывания в годах минимума  $T_a$  от максимума склонения Луны (правый нижний угол квадрата) показывают, что в северных областях рассматриваемого региона задержка по времени может достигать трех лет для северных областей и до двух — для восточных. Задержка в юго-западных областях при этом составляет 0 или 1 год.

### *Декабрь*

Как видно на рис. 4, в декабре можно выделить общую зону из 11 квадратов на юго-западе региона, для которой значения  $R_{18,6}$  статистически значимы, при этом 7 квадратов имеют коэффициенты по модулю менее 0,6, и 4 квадрата — выше 0,6. Эта зона примыкает к побережью океана. На севере выделяется только один квадрат № 2 со значением  $R_{18,6} = -0,54$ . На юго-востоке, как и в случае зимы, отчетливо выделяется область из трех квадратов (отмечена голубым цветом), где корреляция положительная. Задержки изменений  $T_a$  относительно лунного склонения составляют  $-2 \div +2$  года в северных широтах, и равны нулю на широтах южнее  $50^\circ$  с.ш.

### *Январь*

Выделяются две области: пять смежных квадратов на северо-западе и шесть смежных — на юго-западе. Обе области примыкают к побережью. Значения коэффициентов корреляции нигде не превышают по модулю 0,6, что говорит об умеренной статистической связи сопоставляемых величин. При этом область положительных корреляций на юго-востоке увеличивается по площади до 7 квадратов. Однако корреляция является статистически незначимой. Задержки изменений  $T_a$  относительно лунного склонения составляют 2—3 года на северо-западе и 0—2 года на юго-западе, т. е. по мере движения с севера на юг задержки уменьшаются.

### *Февраль*

Выделяются 17 квадратов со значимой статистической связью, из них четыре с  $R_{18,6} > |0,6|$ . Эти четыре квадрата расположены на северо-западе региона. Общее расположение квадратов на схеме тяготеет к побережью океана, кроме юго-западных районов. На юго-востоке также присутствует область с положительными коэффициентами (голубая), занимающая по площади три квадрата. Задержка изменений  $T_a$  относительно лунного склонения на северо-западе составляет 2—4 года. При этом задержка для квадрата 9 составляет 6 лет, а для квадрата 12 — пять лет. Оба эти квадрата расположены вдали от побережья, на удалении порядка тысячи километров.

Подводя итог анализа коэффициентов корреляции  $T_a$  и лунного склонения, можно отметить следующее.

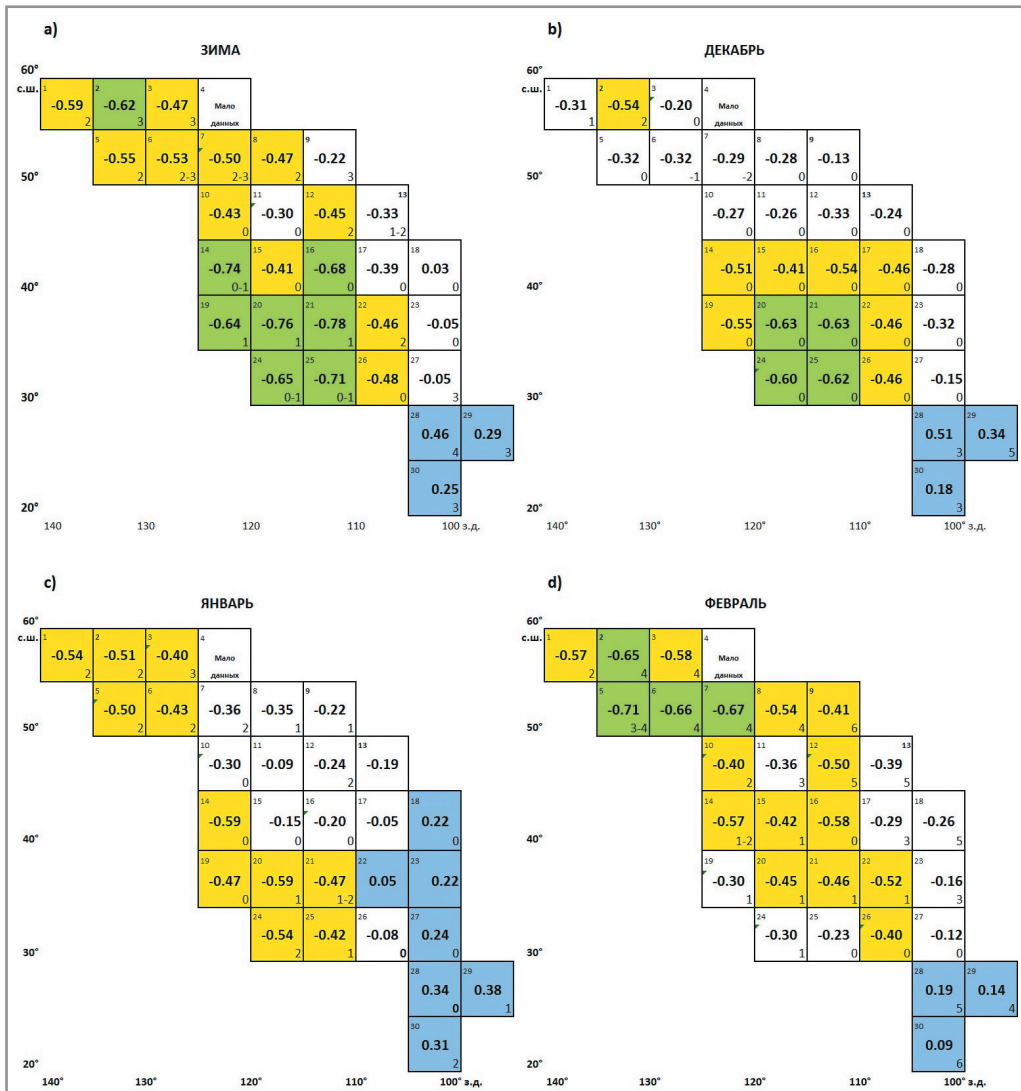


Рис. 4. Распределение коэффициентов корреляции зимних и месячных значений  $T_a$  с модельной синусоидальной кривой, синхронизированной со склонением Луны в 18,6-летнем цикле.

В центре квадрата — величина коэффициента корреляции, в левом верхнем углу – номер квадрата, в правом нижнем углу — оценка запаздывания в годах минимума  $T_a$  от максимума склонения Луны.

Fig. 4. Distribution of correlation coefficients of winter and monthly  $T_a$  values with a model sinusoidal curve synchronized with the lunar declination in an 18.6-year cycle.

In the center of the square is the value of the correlation coefficient, in the upper left corner is the square number, in the lower right corner is the estimated delay in years of the minimum  $T_a$  from the maximum lunar declination.

1. В изучаемом регионе наблюдаются статистически значимые изменения  $T_a$  с периодом 18,6 лет. Указанные изменения присутствуют за весь изучаемый период времени — 100 и более лет. Характер связи со склонением Луны — отрицательный, максимумам склонения соответствуют минимальные значения  $T_a$  в лунном цикле.

2. Протяженность области проявления статистической связи вдоль побережья: от  $30^\circ$  до  $60^\circ$  с.ш.

3. Наиболее тесная связь между  $T_a$  и лунным склонением проявляется вблизи восточного побережья Тихого океана, при движении вглубь материка связь ослабевает. На удалении от побережья на восток на расстояние 1000—1500 км связь становится незначимой.

4. В южных районах изучаемого региона связь с колебаниями лунного склонения почти синхронная. В северных районах рассматриваемого региона наблюдается задержка 2—5 лет во времени наступления минимумов  $T_a$  относительно максимумов лунного склонения.

5. В годовом ходе (от декабря к февралю) наблюдается смещение зоны максимальных по модулю коэффициентов корреляции от южной границы региона к северной. В декабре максимальные по модулю коэффициенты наблюдаются на юге региона, в феврале — на севере.

6. На юго-востоке рассматриваемого региона существует область (квадраты 28—30), в которой наблюдаются положительные коэффициенты корреляции, обусловленные, вероятно, иной причиной, нежели вариации склонения Луны.

Для оценки относительной величины колебаний  $T_a$  для каждого квадрата производился расчет спектральной мощности рядов на разных частотах на основе автокорреляционной функции. Из спектра выбиралось значение, соответствующее частоте лунного деклинационного прилива. Это значение представляет собой долю дисперсии на данной частоте относительно спектральной мощности на всех частотах, которая при таком подходе равна единице. Значения спектральной мощности на частоте, соответствующей периоду 18,6 года, представлены на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что наибольшие значения спектральной мощности наблюдаются в декабре (до 8,4 %) на северо-западе и юго-западе региона. В зимний период и в декабре выделяется наибольшее число квадратов, в которых спектральная мощность превышает значение 4 %. Наименьшие значения спектральной мощности наблюдаются в феврале. В значительном большинстве квадратов значения спектральной мощности равны 2—3 %. Это указывает на относительную слабость колебаний с лунным периодом. Обращает на себя внимание нахождение квадратов с наибольшей мощностью вблизи побережья океана. На восточной границе региона значения мощности малы. Повторяется тенденция с коэффициентами корреляции, которые наиболее велики вблизи побережья. Сравнение сегментов рисунка для декабря и февраля показывает относительно большую величину дисперсии для декабря. В декабре 18,6-летние колебания проявляются отчетливее, чем в другие месяцы.

Рассмотрим теперь графики колебаний  $T_a$  в 18,6-летнем цикле для двух областей. Выберем одну область на северо-западе и одну область на юго-западе

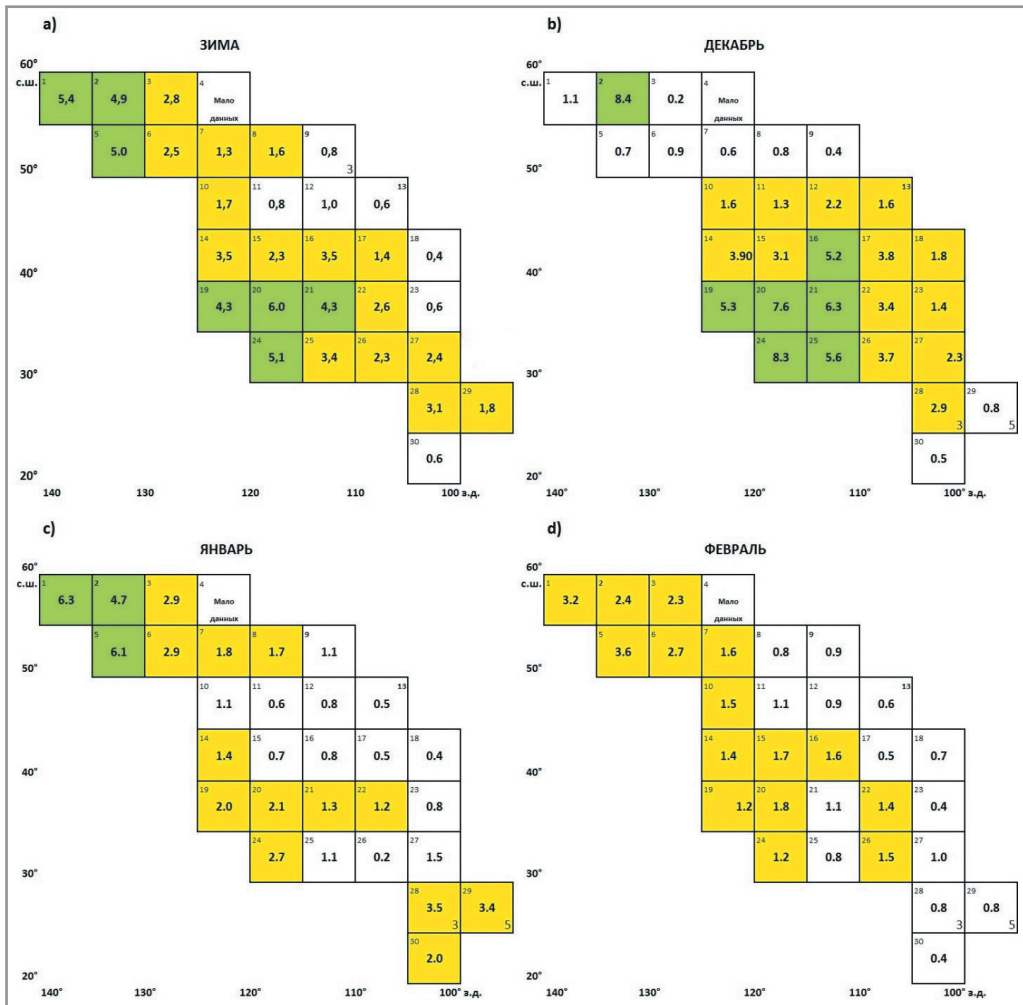


Рис. 5. Распределение доли дисперсии  $T_a$  на частоте лунного деклинационного прилива.

(Желтой заливкой обозначены квадраты, в которых вклад дисперсии 18,6-летнего цикла  $T_a$  в суммарную дисперсию  $T_a$  больше 1,2 %, зеленой — больше 4,0 %).

В левом верхнем углу показан номер квадрата.

Fig. 5. Distribution of the fraction of  $T_a$  dispersion at the frequency of the lunar declination tide.

(The squares in which the contribution of the 18.6-year cycle  $T_a$  dispersion to the total  $T_a$  dispersion is greater than 1.2% are marked with yellow fill, and those in which the contribution is greater than 4.0 % are marked with green fill). The square number is shown in the upper left corner.

региона исследований. На рис. 6 показан межгодовой ход сглаженных по принятой в данной работе методике средних зимних и месячных колебаний  $T_a$  за декабрь, январь и февраль для квадрата 2 (северо-запад региона) в сопоставлении

с изменением склонения Луны в 18,6-летнем цикле при запаздывании  $T_a$  на три года. На рис. 6 видно, что большинство минимумов  $T_a$  для приведенных временных рядов соответствует максимумам склонения Луны. В среднем амплитуда условно синусоидальных колебаний  $T_a$  для декабря составляет около  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для января —  $0,7\text{—}1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для февраля —  $0,5\text{—}1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для зимы —  $0,4\text{—}1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а с поправкой на свойства передаточной функции цифрового фильтра максимальные колебания имеют амплитуду до  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

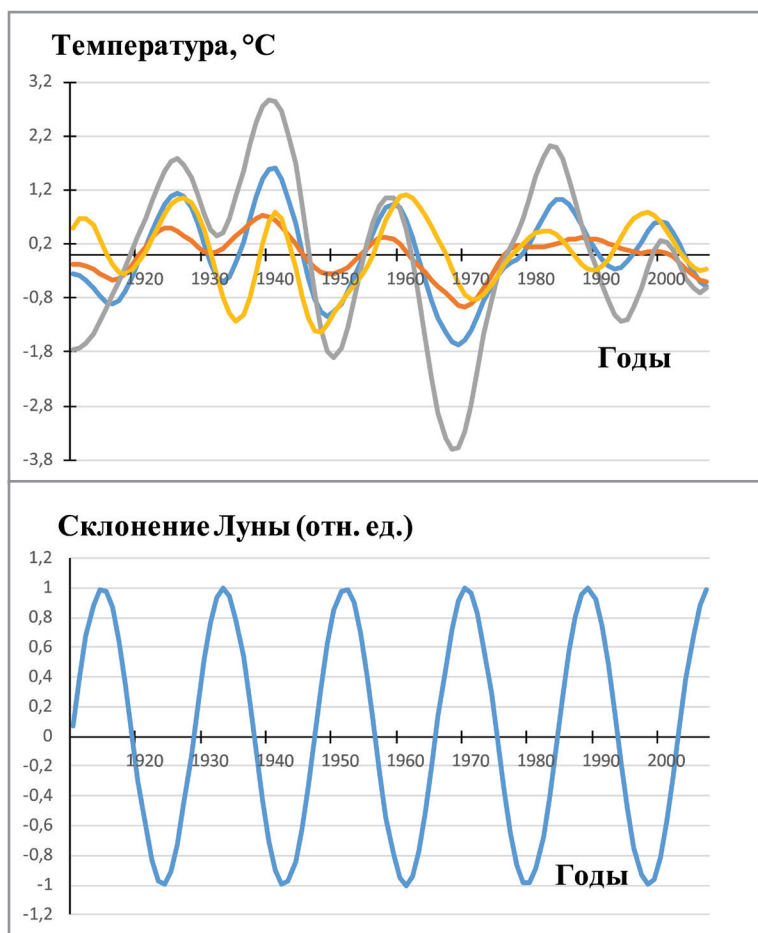


Рис. 6. Многолетний ход  $T_a$  в квадрате 2 ( $57,5^{\circ}$  с.ш.,  $132,5^{\circ}$  з.д.) для зимы (голубая кривая), декабря (оранжевая), января (серая), февраля (желтая) в сопоставлении со склонением Луны (относительные единицы) при запаздывании изменений  $T_a$  относительно склонения на 3 года.

Fig. 6. Long-term variation of  $T_a$  in square 2 ( $57.5^{\circ}$  N,  $132.5^{\circ}$  W) for winter (blue curve), December (orange), January (gray), February (yellow) in comparison with the declination of the Moon (relative units) and a lag of 3 years in the change of  $T_a$  relative to the declination.

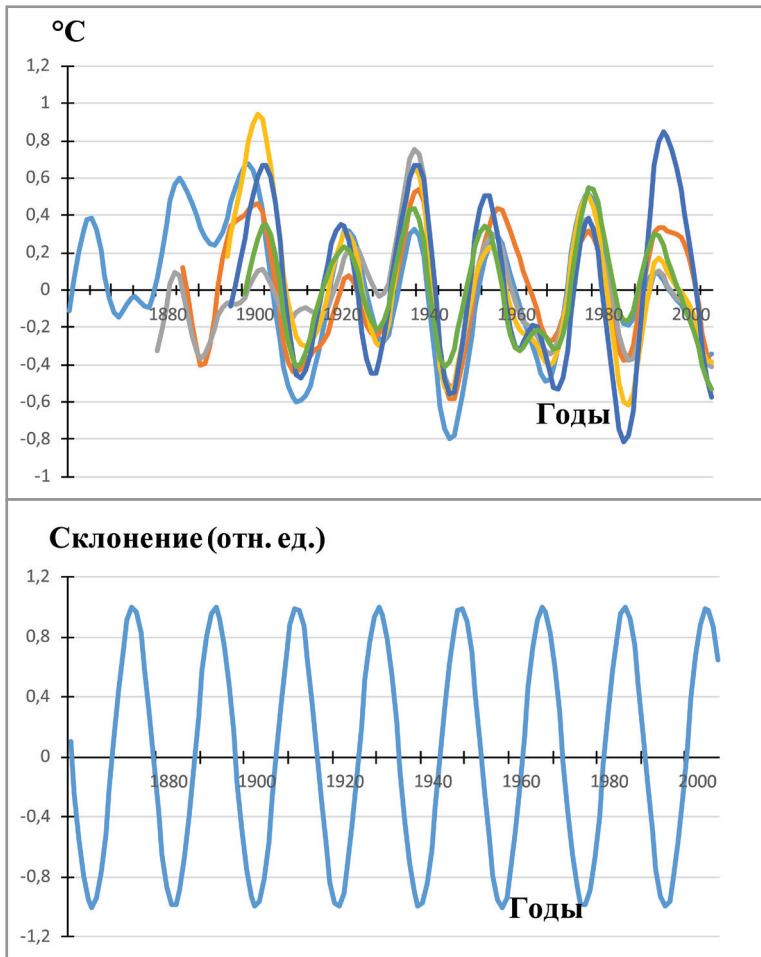


Рис. 7. Многолетний ход зимней  $T_a$  в квадратах: 14 (оранжевая кривая), 19 (серая), 20 (желтая), 21 (синяя), 24 (голубая), 25 (зеленая) в сопоставлении со склонением Луны (относительные единицы).

Fig. 7. Long-term course of winter  $T_a$  in squares: 14 (orange curve), 19 (gray), 20 (yellow), 21 (blue), 24 (light blue), 25 (green) in comparison with the declination of the Moon (relative units).

На рис. 7 показан многолетний ход сглаженных средних зимних колебаний  $T_a$  для ряда квадратов на юго-западе региона в сопоставлении с изменением склонения Луны в 18,6-летнем цикле.

Анализ рисунка показывает, что на протяжении 6—8 лунных 18,6-летних циклов наблюдается противофазное изменение зимних  $T_a$  и склонения Луны. Амплитуда колебаний  $T_a$  составляет около  $0,5^{\circ}\text{C}$ , размах колебаний — около  $1^{\circ}\text{C}$ . В отдельных случаях размах колебаний  $T_a$  увеличивается до  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Вводя поправку

на уменьшение амплитуды сигнала при цифровой фильтрации, можно говорить, что амплитуда лунного сигнала может достигать  $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Составляя результаты выполненных автокорреляционного, корреляционного и спектрального анализа, можно сделать вывод, что на западном побережье Северной Америки и вблизи него в зимних  $T_a$  выделяется периодический сигнал, совпадающий с длительностью лунного деклинационного периода 18,6 года, синхронизированный со склонением Луны, с амплитудой  $1,0\text{—}2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На севере региона амплитуда колебаний  $T_a$  больше, чем на юге, при этом величина амплитуды 18,6-летних колебаний  $T_a$ , колеблется около значений от  $0,3$  до  $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  на юге региона и до  $1,5\text{—}2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  на севере.

Для проверки влияния возможной неоднородности временных рядов  $T_a$ , связанной с малочисленностью данных в конце XIX и в начале XX веков на полученные результаты о присутствии в рядах 18,6-летнего цикла, было проведено дополнительное сопоставление автокорреляционных функций полных рядов зимних температур в трех квадратах (16, 19 и 24) с теми же рядами, укороченными до последних 100 лет, т.е. за период 1920—2019 гг. Сопоставление показало почти полное соответствие максимумов АФ вблизи периода 19 лет. При этом расхождения в оценках АФ находятся в пределах среднеквадратической ошибки. Это подтверждает правомерность использования данных за XIX век в анализе квазидвадцатилетних колебаний температуры воздуха.

### **О возможных причинах изменения температуры воздуха с 18,6-летним периодом**

В качестве попытки объяснения возникновения 18,6-летних колебаний  $T_a$  над западным побережьем Северной Америки, кроме описанных в литературе и связанных с диапикнальным перемешиванием воды в океане полусуточными и суточными лунными приливами [15], модулируемыми деклинационным приливом, рассматривались следующие возможные причины:

1. Колебания температуры поверхности океана  $T_w$ , которые оказывают влияние на прогрев (охлаждение) воздуха над водной поверхностью с последующим выносом воздушных масс с океана на материк.

2. Колебания циркуляции атмосферы с 18,6-летним периодом.

Рассмотрим их последовательно.

#### *Температура поверхности океана*

Для оценки возможной роли влияния изменений  $T_w$  на изменения  $T_a$  над западным побережьем Северной Америки проводилось сопоставление изменений  $T_w$  в прибрежных районах и  $T_a$  в смежных приморских районах.

Были выбраны три пары пятиградусных квадратов вблизи западного побережья с данными о  $T_a$ , и близких к ним морских двухградусных квадратов, содержащих данные  $T_w$  за период с 1854 г. по 2019 г. Центры квадратов сетки с данными о  $T_w$  обозначены на рис. 1 синими кружками. Данные  $T_w$  были подвергнуты процедурам удаления параболического тренда и цифровой фильтрации, описанным выше.



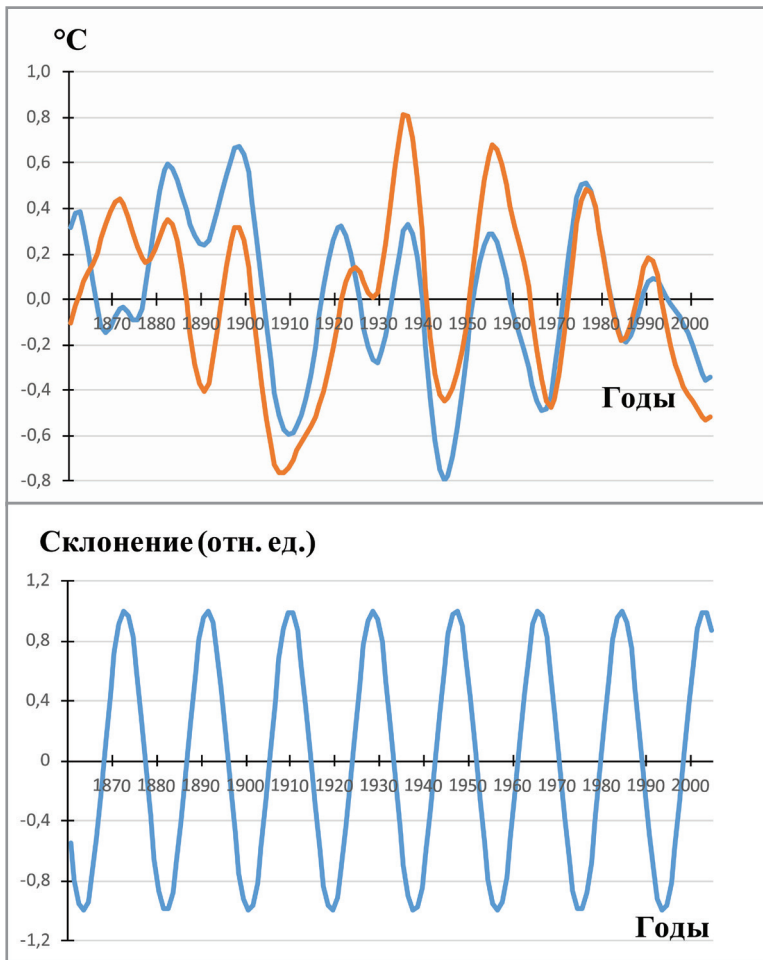


Рис. 8. Многолетний ход  $T_a$  (синяя кривая) и  $T_w$  (коричневая кривая) в сопоставлении со склонением Луны в 18,6-летнем цикле.

Fig. 8. Long-term variation of  $T_a$  (blue curve) and  $T_w$  (brown curve) in comparison with the declination of the Moon in the 18.6-year cycle.

На рис. 8 приведены сглаженные кривые  $T_a$  и  $T_w$  за зимний период (декабрь, январь, февраль) в двух соседних квадратах, причем один относится к суше, а второй к океану: квадрат  $24$  ( $32,5^\circ$  с.ш., и  $117,5$  з.д.) и квадрат  $2^\circ \times 2^\circ$  ( $32^\circ$  с.ш. и  $118^\circ$  з.д.). Эта пара квадратов находятся в районе г. Сан-Диего, штат Калифорния.

Обращает на себя внимание сходный вид обеих кривых на протяжении 148 лет, за исключением начального периода 1865—1880 гг. (что, возможно, связано с качеством исходных данных по  $T_w$  за указанные годы).

Коэффициент корреляции между этими рядами ( $R_{T_w, T_a}$ ) положителен и равен 0,61. Если рассчитать коэффициент корреляции между этими рядами за последние 100 лет, то он существенно выше  $R_{T_w, T_a} = 0,76$ . При этом  $T_w$ , как видно из рисунка, сама испытывает колебания с периодом, близким к 18,6 года. Рассчитанное стандартное отклонение для ряда  $T_w$  составляет 0,37 °С, для  $T_a$  — 0,35 °С, т.е. изменчивость  $T_w$  несколько выше изменчивости  $T_a$ .

Проведенное аналогичным образом сопоставление кривых  $T_a$  и  $T_w$  для двух смежных пар квадратов сетки, расположенных вдоль побережья на север от первой пары квадратов и удаленных друг от друга на 10° по широте, дало следующие значения коэффициентов корреляции:

1. (42,5° с.ш., 122,5° з.д.) ÷ (42° с.ш., 124° з.д.)  $R_{T_w, T_a} = 0,73$  (длина рядов 122 года),
2. (52,5° с.ш., 127,5° з.д.) ÷ (52° с.ш., 128° з.д.)  $R_{T_w, T_a} = 0,81$  (длина рядов 104 года).

Отсюда видно, что между временными рядами  $T_a$  и  $T_w$  для трех разных пар квадратов отмечаются достаточно синхронные колебания на частоте деклинационного прилива с примерно одинаковой амплитудой. В связи с этим естественно предположить, что причиной изменений  $T_a$  в 18,6-летнем цикле является  $T_w$ . В его пользу говорит и то обстоятельство, что в обычных условиях  $T_a$  над сушей изменяется в большем диапазоне, чем  $T_w$  из-за разной теплоемкости этих сред. На возможное влияние изменений  $T_w$  на  $T_a$  указывает также отсутствие колебаний  $T_a$  с 18,6-летним периодом на восток от западного побережья Северной Америки, поскольку с расстоянием влияние океана на условия на суше ослабевает.

### ***Колебания циркуляции атмосферы и океана***

Поскольку в литературе имеются сведения об изменении индексов атмосферной циркуляции с лунным деклинационным периодом [17], было решено рассмотреть этот вопрос более внимательно. Для этого привлекались данные по индексам *PNA* и *NPI*, описывающим укрупненные характеристики атмосферы Северной части Тихого океана. Также были рассмотрены колебания индекса *PDO*, характеризующего  $T_w$  в акватории Тихого океана севернее 20° с.ш.

#### ***а) Индекс PNA.***

Тихоокеанский / североамериканский индекс *PNA* (*Pacific/North American Pattern*) представляет собой разность давления между алеутским минимумом и областью высокого давления над Скалистыми горами. Во время положительной фазы *PNA* алеутский минимум в заливе Аляска углубляется, а гребень высокого давления над Скалистыми горами усиливается, т. е. пространственный градиент давления увеличивается. Положительная фаза *PNA* приводит к повышению температуры воздуха в западной части Северной Америки и к похолоданию на юге США [21]. Значения индекса имеются для периода, начиная с 1950 г. и приводятся на сайте ([https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/20thC\\_Rean/timeseries/monthly/PNA/](https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/20thC_Rean/timeseries/monthly/PNA/)).

Значения месячных индексов *PNA* в зимний период подвергались принятой в этой работе процедуре удаления параболического тренда и низкочастотной фильтрации. Далее рассчитывались автокорреляционные функции индекса.

Анализ автокорреляционных функций показал, что для ноября характерен период колебаний индекса 22 года, для декабря — 15 лет, для января — 23—24 года, для февраля — 19 лет, для марта — 13 лет, для апреля автокорреляционная функция вообще не имела максимумов. В среднем для трех зимних месяцев (декабрь, январь, февраль) автокорреляционная функция имела максимум при запаздывании 21 год. Это означает, что влияние лунного деклинационного прилива на характеристики циркуляции атмосферы в зоне, описываемой индексом *PNA*, либо отсутствует, либо проявляется на ограниченных периодах времени, соответствующих одному месяцу в году — февралю. Периоды 23—24 года в январе и 21—22 года (ноябрь, зима) по длительности более свойственны двойному солнечному циклу.

Для февраля, где автокорреляционная функция имела максимум для периода 19 лет, наблюдалась отрицательная статистическая связь сглаженного индекса *PNA* с кривой лунного склонения в 18,6-летнем цикле, причем, при запаздывании индекса относительно склонения Луны на 3 года. При этом коэффициент корреляции составлял  $-0,96$ . Минимальные значения индекса *PNA* наблюдались спустя 3 года после максимумов склонения Луны. В энергетическом спектре на период 20 лет, близком к длительности лунного деклинационного прилива, приходилось только 3,6 % мощности спектральной плотности. Основная мощность колебаний в спектре наблюдалась для высокочастотных колебаний с периодами менее 10 лет.

Таким образом, индекс *PNA* в месячном разрезе проявляет сходство своих колебаний с деклинационным приливом только в одном месяце из пяти рассмотренных.

Резюмируя краткий анализ индекса *PNA*, можно отметить, что длительность периода наблюдений за индексом *PNA*, рассчитываемым с 1950 г., вероятно, пока недостаточна для его применения в анализе квазидвадцатилетних колебаний параметров атмосферы над Тихим океаном и Северной Америкой. Кроме того, индекс *PNA* имеет в своей основе слишком большой территориальный охват с абсолютно различными физико-географическими условиями и климатообразующими факторами, поэтому он далее не рассматривался.

#### б) Индекс *NPI*.

Северотихоокеанский индекс *NPI* (*North Pacific Index*, <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/north-pacific-np-index-trenberth-and-hurrell-monthly-and-winter>) представляет собой взвешенное по площади давление на уровне моря в регионе  $30^{\circ}$ — $65^{\circ}$  с.ш.,  $160^{\circ}$  в.д.— $140^{\circ}$  з.д. (протяженность  $60^{\circ}$  по долготе и  $35^{\circ}$  по широте, что составляет 4—6 тыс. км) [22].

Анализировались ежемесячные данные за период с 1899 г. (начало расчета индекса) по 2022 г., всего 124 года. Рассчитывались автокорреляционные функции и энергетические спектры рядов индекса *NPI* за отдельные месяцы: декабрь, январь и февраль. К рядам применялась общая методика предварительной обработки данных, описанная ранее.

На рис. 9 приведен график автокорреляционной функции сглаженного индекса *NPI*. Автокорреляционная функция сглаженного январского индекса *NPI* имеет небольшой максимум при запаздывании 19 лет ( $R = 0,15$ ) и максимум при

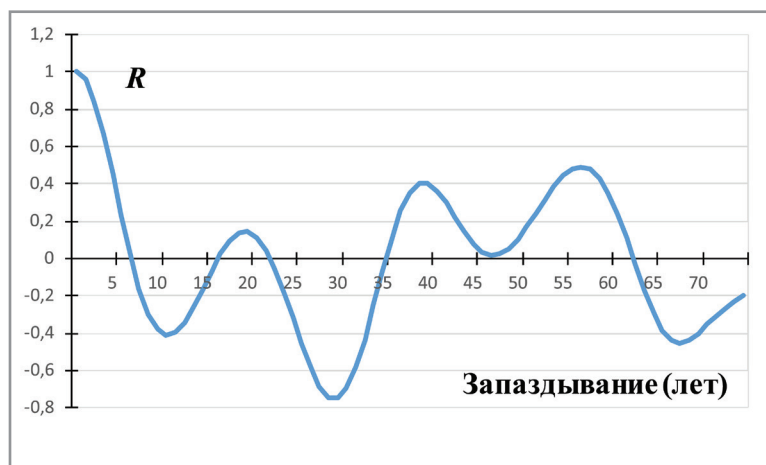


Рис. 9. Автокорреляционная функция сглаженного январского индекса *NPI*.

Fig. 9. Autocorrelation function of the smoothed January *NPI* index.

запаздывании 38—39 лет ( $R = 0,40$ ), которое близко по значению к двойному 18,6-летнему периоду лунного склонения.

Расчет энергетического спектра исходного, несглаженного, январского ряда индекса выявил наличие локального пика в спектре на частоте, соответствующей периоду 18,6 года, с дисперсией около 5 %. Расчет такого же спектра для сглаженного январского ряда индекса показал, что на 18,6-летний период приходится дисперсия, равная 23 %. Основная часть дисперсии при этом приходится на более длинные периоды изменений индекса.

Полученные результаты указывают на наличие 18,6-летних колебаний в январских значениях индекса *NPI*, хотя они не являются доминирующими по сравнению с колебаниями с более длинными периодами. В февральских значениях индекса *NPI* также содержится колебание с периодом 18,6 года, но слабее выраженное. В декабрьском ряду 18,6-летних колебаний индекса *NPI* в энергетических спектрах не выявляется.

Также был произведен расчет коэффициентов корреляции сглаженных значений январского индекса *NPI* со значениями склонения Луны в 18,6-летнем цикле. Расчет показал значимую корреляцию между этими двумя рядами, равную 0,53 для синхронного сравнения рядов, и 0,64 для сдвига рядов друг относительно друга на 2 года при опережении склонения Луны в 18,6-летнем цикле.

Таким образом, выявляется статистическая связь между величиной склонения Луны и изменением индекса *NPI*, и, соответственно, изменением атмосферного давления над северной частью Тихого океана, причем рост склонения Луны вызывает рост атмосферного давления на величину от 0,5 до 2 гПа. При этом размах колебаний давления от одной фазы лунного цикла до другой и в разные годы может составлять 4 и более гПа. Корреляция сглаженных февральских значений индекса *NPI* со значениями склонения Луны в 18,6-летнем цикле при сдвиге

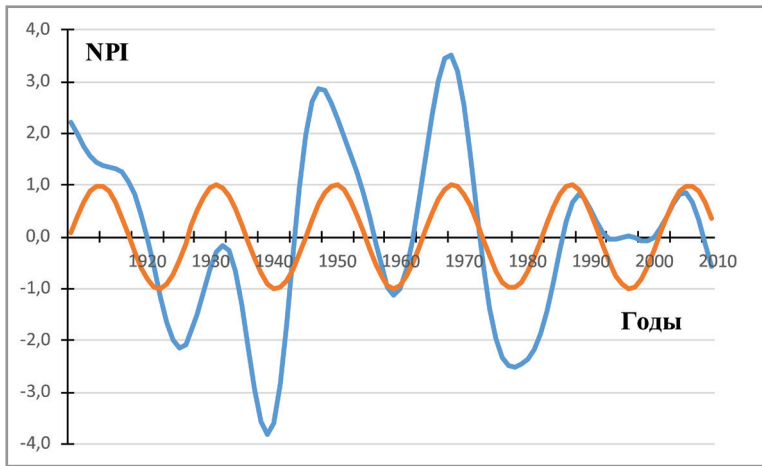


Рис. 10. Сглаженные значения январского индекса  $NPI$  (синяя кривая) и склонение Луны в 18,6-летнем цикле (оранжевая кривая) со сдвигом 2 года (индекс  $NPI$  запаздывает).

Fig. 10. Smoothed values of the January  $NPI$  index (blue curve) and the declination of the Moon in the 18.6-year cycle (orange curve) with a shift of 2 years (the  $NPI$  index lags).

2 года дает значение коэффициента корреляции 0,52, что также является статистически значимой величиной. Декабрьские значения индекса  $NPI$  в сопоставлении с приливным циклом Луны показывают статистическую связь с коэффициентом корреляции около 0,3.

Произведенный расчет коэффициента корреляции между сглаженными значениями индексов  $NPI$  за январь и за три зимних месяца дал результат с доверительной вероятностью 0,89, что указывает на схожесть поведения сглаженных индексов в каждый из трех зимних месяцев, а также на преобладающий вклад изменений значений индекса в январе на изменения индекса за зиму.

Полученные результаты в целом подтверждают и конкретизируют имеющиеся в литературе данные о наличии 18,6-летнего цикла в колебаниях атмосферного давления над северной частью Тихого океана в зимний период. Расчет коэффициентов корреляции между сглаженными значениями индекса  $NPI$  в зимний период и сглаженными зимними значениями температуры в прибрежных районах (квадраты № 2, 10, 14, 19, 24) показал отрицательную связь между ними с  $R = -0,50 \div -0,77$ , однако эта связь при движении на восток вглубь материка снижалась быстрее, чем связь с лунным склонением.

в) *Индекс PDO.*

Тихоокеанское десятилетнее колебание  $PDO$  (*Pacific Decadal Oscillation*) характеризует долгопериодную изменчивость ТПО в северной (выше  $20^\circ$  с.ш.) части Тихого океана. Положительные значения индекса  $PDO$  соответствуют отрицательным аномалиям  $T_w$  в центральной и западной частях северного бассейна Тихого океана (простирающимся на восток от Японии) и положительным аномалиям  $T_w$  в восточной части северного бассейна Тихого океана (вдоль западного

побережья Северной Америки). Положительная фаза  $PDO$  также связана с положительными аномалиями  $T_w$  в центральной и восточной частях тропической части Тихого океана. Ежемесячные и годовые данные  $PDO$  доступны с 1854 г. и приводятся на сайте [https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Timeseries/PDO/](https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/PDO/).

Статистический анализ индекса  $PDO$ , выполненный по принятому в данной работе алгоритму, показал, что из трех зимних месяцев наилучшее проявление 18,6-летнего цикла в индексе наблюдается в январе и феврале, доля общей дисперсии на этой частоте составляет 5,7—6,8 %. Для средних значений индекса за три зимних месяца доля дисперсии на частоте лунного цикла составляет 5,6 %. При этом сходный по величине размер дисперсии приходится и на период 21,1 года.

Сопоставление сглаженных месячных значений индекса  $PDO$  со склонением Луны в 18,6-летнем цикле показало статистическую связь между ними: коэффициенты корреляции для января и февраля оказались отрицательными и составили значения  $-0,40$  для января и февраля и  $-0,31$  для декабря. При длине анализируемых рядов, равных после сглаживания 148 отсчетам, такая статистическая связь для января и февраля является статистически значимой и должна приниматься во внимание. Дополнительно рассчитывалась корреляция между несглаженными индексами  $PDO$  и  $NPI$ . Для декабря коэффициент корреляции составил  $-0,37$ , для января и февраля  $-0,46$ . Это означает, что изменения давления находятся в противофазе с изменением  $T_w$ . Расчет коэффициентов корреляции сглаженных месячных значений обоих индексов показал наличие отрицательной связи со значениями коэффициентов корреляции: декабрь:  $-0,76$ , январь:  $-0,81$ , февраль  $-0,75$ . Отсюда видно, что колебания давления и  $T_{no}$  с периодами более 13 лет (частота обрезания использовавшегося фильтра) находятся в сильной отрицательной статистической связи.

Противофазность колебаний индексов  $NPI$  и  $PDO$  в зимний период, вероятно, имеет под собой физическую природу. Увеличение атмосферного давления (рост значения индекса  $NPI$ ) соответствует антициклоническому характеру циркуляции атмосферы, уменьшению количества облачности, ясному небу, при котором в зимний период на фоне слабого притока прямой солнечной радиации происходит выхолаживание, уменьшение  $T_w$  в восточной части Северного бассейна Тихого океана. Соответственно, уменьшение атмосферного давления соответствует циклоническому характеру циркуляции и увеличению облачности, которая препятствует выхолаживанию поверхности океана.

### Проверка процедуры фильтрации

С целью проверки надежности полученных выводов о колебаниях  $T_a$  на основе примененной процедуры фильтрации временных рядов фильтром с частотой обрезания  $F_c = 0,075$  был проведен анализ результатов фильтрации с применением еще одного фильтра с частотой обрезания  $F_c = 0,15$  и длиной весовой функции, равной 21 коэффициенту. С этой целью использовались зимние значения  $T_a$  для квадрата 20.

На рис. 11 изображены автокорреляционные функции ( $a$ ) и сглаженные аномалии  $T_a$  ( $b$ ) для фильтров с частотой обрезания  $F_c = 0,075$  и  $F_c = 0,150$ . Более

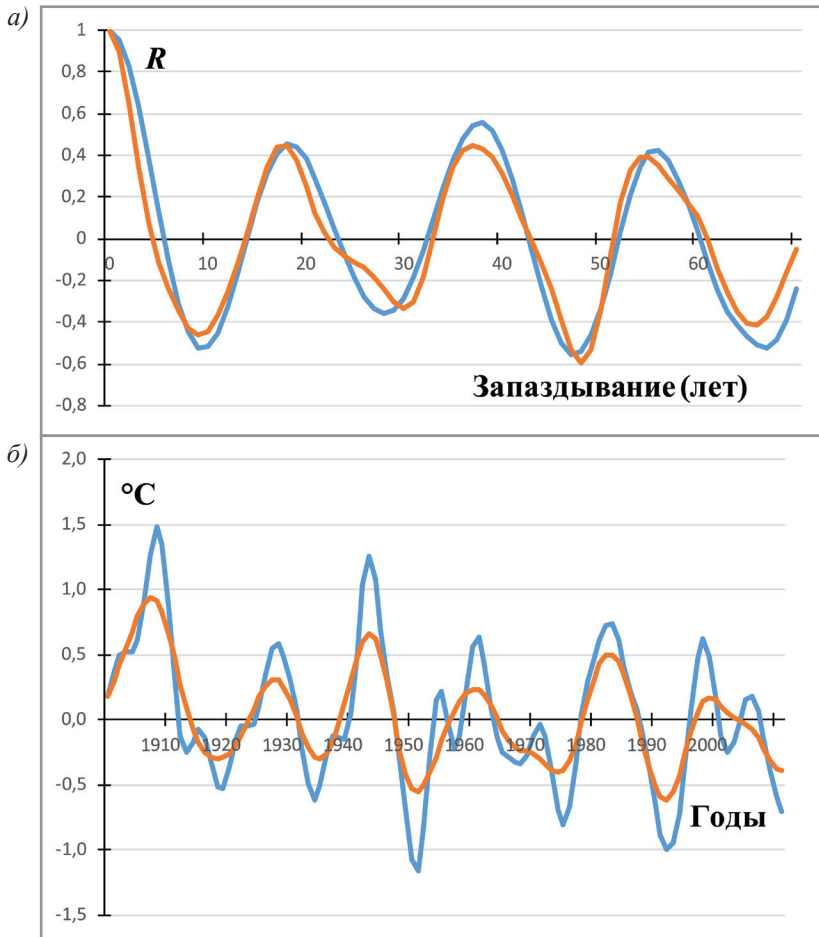


Рис. 11. Автокорреляционные функции (а) и сглаженные зимние аномалии  $T_a$  в квадрате 20 (б) для фильтров с частотой обрезания  $F_c = 0,075$  и  $F_c = 0,150$ .

Fig. 11. Autocorrelation functions (a) and smoothed winter anomalies  $T_a$  squared by 20 (b) for filters with cutoff frequencies  $F_c = 0.075$  and  $F_c = 0.150$ .

гладкие кривые относятся к первому фильтру, менее гладкие — ко второму. Применение фильтра с меньшей частотой обрезания (0,075) позволяет выделить главные закономерности процесса без учета высокочастотной изменчивости.

Из обоих графиков на рис. 11 видно, что моменты достижения максимумов и минимумов как автокорреляционных функций, так и аномалий  $T_a$  практически не зависят от частот обрезания фильтра, хотя частоты и отличаются в два раза. Кривые на рис. 11 подтверждают обоснованность методики обработки данных, содержащих лунный приливной сигнал, и не случайность выявленных 18,6-летних колебаний  $T_a$ .

### Обсуждение

Основной вопрос, который возникает при анализе полученных результатов, заключается в возможном механизме генерации отмеченных колебаний  $T_a$  с периодом 18,6 года. Изменение индекса атмосферной циркуляции  $PNA$  с изучаемым периодом наблюдается только для февраля, причем, при запаздывании индекса относительно склонения Луны на 3 года. Такое запаздывание, или с близким значением, в проанализированных данных наблюдалось только в северных областях рассматриваемого региона в феврале. Изменение индекса  $PNA$  в декабре и январе не имеет колебаний с лунным периодом, поэтому изменения индекса  $PNA$  могут лишь частично объяснять колебания  $T_a$ . При этом индекс  $PNA$  содержит в себе большой охват территории, включая Центральную Канаду и центральную часть США, где 18,6-летние колебания в зимний период в данной работе не обнаружены. Выявленная зона колебаний  $T_a$  ограничивается только приморскими и близкими к ним территориями, поэтому влияние изменений индекса  $PNA$  на изменения  $T_a$  представляется неоднозначным. Требуется продолжение наблюдений за индексом  $PNA$  в течение значительного времени.

Рассматривая индекс  $NPI$ , можно отметить, что в зимний период он испытывает колебания с периодом около 18,6 года. Рост склонения Луны вызывает рост атмосферного давления на величину до 1—3 гПа. При этом задержка максимумов  $NPI$  относительно максимумов лунного склонения составляет 2 года. Такая задержка уже более близка к найденным средним задержкам колебаний  $T_a$ , что свидетельствует о том, что атмосфера над океаном откликается на изменение приливообразующей силы Луны. При росте склонения Луны над Северным полушарием, вероятно, происходит переток воздушных масс от экватора в сторону полюса, поэтому в высоких широтах повышается давление воздуха.

Выполненный анализ индекса  $PDO$  показал наличие сигнала с периодом 18,6 года. Индекс  $PDO$  противофазен и синхронен со склонением Луны и совпадает по фазе с кривыми изменения  $T_w$  в трех исследованных квадратах вблизи западного побережья Северной Америки при том, что эти квадраты разнесены в пространстве на  $10^\circ$  и  $20^\circ$  по широте. Отсюда можно сделать вывод о вероятном влиянии на  $T_a$  на западном побережье Северной Америки изменений циркуляции атмосферы над Тихим океаном и  $T_w$  в его восточной части в 18,6-летнем цикле лунного деклинационного прилива.

Вопрос о проявлении на изученной территории 18,6-летних колебаний аномалий  $T_a$  только в зимний сезон может быть объяснен минимальным влиянием радиационных факторов в его годовом ходе на температурный режим. Выделение на юго-востоке изученного региона области с иными статистическими свойствами также подчеркивает ограниченность зоны влияния лунного деклинационного прилива на температуру.

### Заключение

Анализ многолетних изменений месячных аномалий  $T_a$  в западной части Северной Америки позволил выявить регион, в котором выделяются 18,6-летние



колебания. Данный регион примыкает к западному побережью Северной Америки и простирается по широте от  $30^\circ$  до  $60^\circ$  с.ш. и до  $15^\circ$  к востоку от западного побережья. Его характерные геометрические размеры 1—3 тыс. км. Колебания с периодом 18,6 года проявляются только в зимний сезон, когда влияние радиационных факторов минимально.

Полученные результаты подтверждают влияние 18,6-летнего лунного прилива на  $T_a$  прибрежных районов материка, однако это влияние имеет региональный и сезонный характер. Найденное значение амплитуды 18,6-летнего температурного сигнала от  $0,3$  до  $1,0$   $^\circ\text{C}$  на юге региона и до  $1,5$ — $2,0$   $^\circ\text{C}$  на севере не представляется значительным, но сам факт устойчивости колебаний на протяжении по крайней мере восьми лунных 18,6-летних циклов говорит о наличии физического механизма, вызывающего указанные колебания  $T_a$ .

Сходное поведение температуры поверхности океана  $T_w$  и воздуха в зоне выраженности течения ( $30^\circ$ — $50^\circ$  с.ш.) позволяет говорить о колебаниях  $T_w$  с частотой лунного деклинационного прилива, как возможном региональном климатообразующем факторе.

В качестве возможной причины 18,6-летних колебаний  $T_a$  в настоящее время можно говорить о вариациях комплекса гидрометеорологических (атмосферных и океанических) характеристик в бассейне Тихого океана вследствие их взаимокоррелированности друг с другом в лунном 18,6-летнем цикле. Поскольку идентичность колебаний  $T_a$  и  $T_w$  отмечена в прибрежных и приморских районах, то в дальнейшем необходимо более детальное выявление закономерностей квазидвадцатилетних изменений  $T_w$  на значительном удалении от побережья Северной Америки.

Однако, принимая во внимание влияние возможной неоднородности временных рядов  $T_a$ , связанной с малочисленностью данных в конце XIX и в начале XX веков, на полученные результаты, то их можно рассматривать как предварительные, которые в дальнейшем могут быть уточнены путем привлечения к расчетам конкретных длиннорядных станций.

### Список литературы

1. Currie R. G. Luni-solar 18.6- and solar cycle 10-11-year signals in USA air temperature records // International Journal of climatology. 1993. Vol. 13. Iss. 1. P. 31—50.
2. Currie R. G. Evidence for 18.6 year Mn signal in temperature and drought conditions in North America since AD 1800 // JGR Oceans. 1981. Vol. 86, C11, P. 11055—11064. <https://doi.org/10.1029/JC086iC11p11055>.
3. Guiot J. Reconstruction of seasonal temperatures in central Canada since a.d.1700 and detection of the 18,6- and 22-year signals // Climatic Change. 1987. Vol. 10. P. 249—268.
4. McKinnell S. M., Crawford W. R. The 18.6-year lunar nodal cycle and surface temperature variability in the northeast Pacific // Journal of geophysical research. 2007. Vol. 112, C02002. P. 1—15. doi: 10.1029/2006JC003671.
5. Royer T. C. High-latitude oceanic variability associated with the 18.6-year nodal tide // Journal of geophysical research. 1993. Vol. 98. № C3. P. 4639—4644.
6. Максимов И. В. Геофизические силы и воды океана. Л: Гидрометеоиздат, 1970. 448 с.
7. Воробьев В. Н., Саруханян Э. И., Смирнов Н. П. Лунный нодальный (деклинационный) прилив и его возможное влияние на циркуляцию атмосферы // Ученые записки РГГМУ. 2006. № 2. С. 7—19.

8. Воробьев В. Н., Косенко А. В., Саруханян Э. И., Смирнов Н. П. Многолетний лунный деklinационный прилив и динамика центров действия атмосферы Южного полушария // Ученые записки РГГМУ. 2010. № 16. С. 28—40.
9. Логинов В. Ф. Космические факторы климатических изменений. Минск: Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, 2020. 168 с.
10. Зотов Л. В., Сидоренков Н. С., Бизуар К. О движениях Луны как возможном климатообразующем факторе // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. 2015. № 222. С. 41—48.
11. Yasuda I. Impact of the astronomical lunar 18.6-yr tidal cycle on El-Niño and Southern Oscillation // Scientific reports. 2018. Vol.8, No.15206. P.1—7. doi: 10.1038/s41598-018-33526-4.
12. O'Brien D. P., Currie R. G. Observations of the 18,6-year cycle of air pressure and a theoretical model to explain certain aspects of this signal // Climate dynamics. 1993. Vol. 8. P. 287—298.
13. Yndestad H. Jovian planets and lunar nodal cycles in the earth's climate variability // Frontiers in astronomy and space sciences. 2022. Vol. 9. P. 1—19.
14. Рогачев К. А., Шлык Н. В. Вариации солёности промежуточных вод Ойясио и их связь с лунным нодальным циклом // Океанология. 2018. Т. 58. № 1. С. 5—10.
15. Loder J. W. and Garrett C. The 18.6 year Cycle of Sea Surface Temperature in Shallow Seas Due to Variations in Tidal Mixing // J. Geophys. Res. 1978. Vol. 83. NO. C4. P. 1967—1970.
16. Cerveny R., Shaffer J. The Moon and El Niño // Geophys. Res. Lett. 2001. Vol. 28. Issue 1, P. 25—28. <https://doi.org/10.1029/2000GL012117>.
17. Хен Г. В., Устинова Е. И., Сорокин Ю. Д. Изменчивость и взаимосвязь основных климатических индексов для северной части Тихого океана: тренды, климатические сдвиги, спектры, корреляции // Известия ТИИРО. 2019. Т. 199. С. 163—178.
18. Osborn T. J., Jones P. D. The CRUTEM4 land-surface air temperature data set: construction, previous versions and dissemination via Google Earth. // Earth System Science Data. 2014. Vol. 6. P. 61—68. doi.org/10.5194/essd-6-61-2014.
19. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. М.: Мир, 1982. 428 с.
20. Молодых В. А. О 21-летних колебаниях температуры воздуха // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2023. Вып. 191. С. 146—158.
21. Trenberth K., Hurrell J. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific // Climate Dynamics. 1994. Vol 9. P. 303—319. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00204745>.
22. Barnston A. G., Livezey R. E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. 1987. V. 115. P. 1083—1126. doi:10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2.

### References

1. Currie R. G. Luni-solar 18.6- and solar cycle 10-11-year signals in USA air temperature records. *International Journal of climatology*. 1993; 13(1): 31—50.
2. Currie R. G. Evidence for 18.6 year Mn signal in temperature and drought conditions in North America since AD 1800. *JGR Oceans*. 1981; 86(11): 11055—11064. <https://doi.org/10.1029/JC086iC11p11055>.
3. Guiot J. Reconstruction of seasonal temperatures in central Canada since a.d.1700 and detection of the 18.6- and 22-year signals. *Climatic Change*. 1987; (10): 249—268.
4. McKinnell S. M., Crawford W. R. The 18.6-year lunar nodal cycle and surface temperature variability in the northeast Pacific. *Journal of geophysical research*. 2007; (112): 1—15. doi: 10.1029/2006JC003671.
5. Royer T. C. High-latitude oceanic variability associated with the 18.6-year nodal tide. *Journal of geophysical research*. 1993; 98(3): 4639—4644.
6. Maksimov I. V. *Geofizicheskiye sily i vody okeana = Geophysical forces and waters of the ocean*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970; 448 p. (In Russ.).
7. Vorobiev V. N., Sarukhanyan E. I., Smirnov N. P. Lunar nodal (declination) tide and its possible influence on atmospheric circulation. *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2006; (2): (7—19). (In Russ.).
8. Vorobiev V. N., Kosenko A. V., Sarukhanyan E. I., Smirnov N. P. Multi-year lunar declination tide and the dynamics of the centers of action of the atmosphere of the Southern Hemisphere. *Uchenyye zapiski*

- Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2010; (16): (28—40). (In Russ.).
9. Loginov V. F. *Kosmicheskiye faktory izmeneniya klimata = Space factors of climate change*. Minsk: Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, 2020; 168 p. (In Russ.).
  10. Zotov L. V., Sidorenkov N. S., Bizuar K. On the movements of the Moon as a possible climate-forming factor. *Byulleten' Glavnoy astronomicheskoy observatorii v Pulkovo = Bulletin of the Main Astronomical Observatory in Pulkovo*. 2015; (222): (41—48). (In Russ.).
  11. Yasuda I. Impact of the astronomical lunar 18.6-yr tidal cycle on El-Niño and Southern Oscillation. *Scientific reports*. 2018; 8(15206): 1—7. doi: 10.1038/s41598-018-33526-4.
  12. O'Brien D. P., Currie R. G. Observations of the 18.6-year cycle of air pressure and a theoretical model to explain certain aspects of this signal. *Climate dynamics*. 1993; (8): 287—298.
  13. Yndestad H. Jovian planets and lunar nodal cycles in the earth's climate variability. *Frontiers in astronomy and space sciences*. 2022; (9): 1—19.
  14. Rogachev K. A., Shlyk N. V. Variations in the salinity of Oyashio intermediate waters and their relationship with the lunar nodal cycle. *Okeanologiya = Oceanology*. 2018; 58(1): (5—10). (In Russ.).
  15. Loder J. W. and Garrett C. The 18.6 year Cycle of Sea Surface Temperature in Shallow Seas Due to Variations in Tidal Mixing. *J. Geophys. Res.* 1978; 83(4): 1967—1970.
  16. Cerveny R., Shaffer J. The Moon and El Niño. *Geophys. Res. Lett.* 2001; 28(1): 25—28. <https://doi.org/10.1029/2000GL012117>.
  17. Hen G.V., Ustinova E.I., Sorokin Yu.D. Variability and interrelationship of the main climate indices for the northern part of the Pacific Ocean: trends, climate shifts, spectra, correlations. *Izvestiya TINRO = Izvestia TINRO*. 2019; (199): (163—178). (In Russ.).
  18. Osborn T. J., Jones P. D. The CRUTEM4 land-surface air temperature data set: construction, previous versions and dissemination via Google Earth. *Earth System Science Data*. 2014; (6): 61—68. doi: [10.5194/essd-6-61-2014](https://doi.org/10.5194/essd-6-61-2014).
  19. Otnes R., Enokson L. *Prikladnoy analiz vremennykh ryadov. Osnovnyye metody = Applied Time Series Analysis. Basic Methods*. Moscow: Mir, 1982; 428 p. (In Russ.).
  20. Molodykh V. A. On 21-year fluctuations in air temperature. *Trudy VNIIGMI-MKD = Proceedings of VNIIGMI-MCD*. 2023; (191): (146—158). (In Russ.).
  21. Trenberth K., Hurrell J. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climate Dynamics*. 1994; (9): 303—319. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00204745>.
  22. Barnston A. G., Livezey R. E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.* 1987; (115): 1083—1126. doi: [10.1175/1520-0493\(1987\)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2).

### **Информация об авторах**

*Молодых Владимир Анатольевич*, кандидат географических наук, заместитель директора Федерального государственного бюджетного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова», г. Санкт-Петербург, [vam3@rambler.ru](mailto:vam3@rambler.ru).

### **Information about authors**

*Molodykh Vladimir Anatolyevich*, PhD in Geographical Sciences, Deputy Director of the Federal State Budgetary Institution “A. I. Voeikov Main Geophysical Observatory”, St. Petersburg.

*Статья поступила 22.08.2024*

*Принята после доработки в печать 11.11.2024*

*The article was received on 22.08.2024*

*The article was accepted after revision on 11.11.2024*