

**Колебания температуры воздуха западной части Северной Америки
и лунный деклинационный прилив**

В.А.Молодых

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова

194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, дом 7

E-mail: yam3@rambler.ru

Предсказание будущих изменений климата земного шара находится в центре внимания ученых, политиков, экономистов, жителей планеты. Особое внимание привлекает проблема антропогенного воздействия на климат. Подавляющее большинство специалистов сходится во мнении о том, что антропогенное воздействие изменяет температурный режим на планете, режим осадков, ледовитость морей, другие глобальные и региональные показатели состояния атмосферы и океана (Третий оценочный доклад..., 2022). Соответственно, к изучению проявлений антропогенного воздействия на климат приковано основное внимание исследователей. При этом вопросы естественной изменчивости климата как бы отходят на задний план.

Из огромного количества предыдущих исследований известно, что действие отдельных климатообразующих факторов вызывает количественный отклик в климатической системе, зачастую сопоставимый по величине с воздействием на атмосферу человеческой деятельности. К таким факторам, помимо антропогенных, могут относиться астрономические, связанные с изменением в космическом пространстве взаимного положения Солнца, Земли, Луны и планет Солнечной системы, вулканические извержения, вариации скорости вращения Земли и параметров межпланетного космического пространства в виде переменных потоков протонов от солнечных вспышек и галактических космических лучей, вариаций параметров солнечного ветра и т.д. (Витинский и др., 1976, Герман и др., 1981, Логинов, 2020, Шерстюков 2011, 2021).

Обнаружение, анализ и учет этих и других внешних факторов в изучении изменений климатических параметров будет способствовать улучшению понимания физических свойств атмосферы и прогнозирования ее поведения в будущем.

К числу внешних факторов воздействия на атмосферу в данной работе отнесена приливообразующая сила Луны, которая в своем движении вокруг Земли имеет периодическую составляющую с периодом 18,61 или, округленно, 18,6 года. Лунный прилив с таким периодом носит название деклинационный (англ.: declination = склонение), или нодальный (англ.: nodal = узловой).

Из астрономии известно, что эклиптика наклонена примерно на $23,44^\circ$ к небесному экватору, плоскость которого перпендикулярна оси вращения Земли. Орбита Луны наклонена примерно на $5,14^\circ$ к эклиптике; следовательно, Луна может находиться на $5,14^\circ$ севернее или южнее эклиптики.

В результате один раз в течение 18,6-летнего периода склонение Луны претерпевает циклическое изменение от $28,58^\circ$ до $18,30^\circ$ от небесного экватора.

Изменение склонения Луны в цикле вызывает переменные гравитационные взаимодействия между Луной и Землей, включая переменные приливы в океане и атмосфере Земли.

Следует отметить, что исследование проявлений 18,6-летнего цикла в физических средах Земли является сложной задачей, которая определяется близостью двух периодов - лунного 18,6-летнего и двойного 11-летнего солнечного цикла продолжительностью 21-22 года (Логинов, 2020, Молодых, 1986).

Тем не менее, имеется определенное количество работ, в которых исследовались различные проявления 18,6-летнего цикла в характеристиках атмосферы и океана.

В работах (Currie, 1993, Currie, 1995) методами спектрального анализа были обнаружены 18,6-летние лунно-солнечные сигналы в рядах температуры воздуха в США и китайских индексах сухости и влажности.

В статье (O'Brien, Currie, 1993) исследовались изменения атмосферного давления в различных регионах Земли и было установлено наличие колебаний с периодом 18,6 года.

Имеются исследования, в которых изучались изменения температуры воздуха и поверхности океана в зимний период, и было показано наличие у них 18,6-летнего периода в районе вдоль западного побережья Северной Америки (McKinnel et al., 2007).

В работе (Yasuda, 2018) установлена связь времени возникновения явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья с периодами внутри 18,6-летнего приливного цикла Луны.

В работах (Воробьев и др., 2006, Воробьев и др., 2010) проанализировано влияние многолетнего лунного прилива на характеристики циклонических центров действия атмосферы в Северном и Южном полушариях и различные индексы атмосферной циркуляции. Ими был сделан вывод о заметной роли многолетнего лунного прилива в формировании долгопериодной изменчивости циркуляции атмосферы. Также авторы отметили, что многолетний лунный прилив в Мировом океане является одним из факторов, формирующих колебания климата на планете.

В монографии (Логинов В.Ф., 2020) оценена роль приливообразующей силы квазидевятнадцатилетнего лунного деклинационного прилива в изменении климата.

В работе (Royer, 1993) прослеживается связь между температурами морской поверхности и воздуха в районе г. Ситка, Аляска, и в них выделяется 18,6-летний сигнал.

В исследовании (Guiot, 1987) обнаружено 18,6-летнее колебание в температуре воздуха в Центральной Канаде.

Выявленные в работе (Зотов и др., 2015) квазидвадцатилетние колебания глобальной температуры воздуха авторы связывают с 18,6-летним лунным приливом.

В статье (Yndestad, 2022) методами вейвлет-анализа выявлены 18,6-летние лунные колебания глобальной температуры воздуха над сушей и температуры морской поверхности.

Тем самым, представленные в литературе данные свидетельствуют об определенном влиянии лунного 18,6-летнего прилива на характеристики атмосферы и океана.

Однако таких накопленных данных пока недостаточно для установления физических механизмов и учета 18,6-летнего прилива в физико-математических моделях циркуляции атмосферы и океана.

В связи с этим возникает необходимость продолжения сбора и накопления эмпирических данных о местах, времени проявления и силе воздействия лунного прилива на характеристики атмосферы.

В данной работе было проанализировано представление о том, что при меридиональном переносе тепла морскими течениями, модулируемыми 18,6-летним лунным приливом, вдоль побережья континента, соответствующий сигнал может быть обнаружен в изменениях температуры воздуха над материком.

Поскольку континент Северная Америка неоднократно упоминается различными авторами в качестве территории, где в климатических параметрах проявляется 18,6-летний лунный цикл, в качестве региона исследования было выбрано западное побережье Северной Америки в зоне прохождения холодного Калифорнийского течения. Данное течение является поверхностным, проходит вдоль побережья Северной Америки в широтной зоне примерно 20° - 50° с.ш., воды течения движутся с севера на юго-восток и переносят тепловую энергию вдоль побережья Калифорнии, течение имеет значительную ширину - 550-650 км и скорость 1-2 км/ч.

Зона Калифорнийского течения потенциально перспективна для выявления лунного 18,6-летнего цикла в региональных изменениях климата.

1. Исходные данные

Исходными данными в работе выступали аномалии средней месячной температуры приземного воздуха над сушей за каждый месяц года, осредненные по квадратам географической сетки 5° x 5° , полученные (Osborn et al., 2014). Данный массив исходных данных охватывает период с 1850 по 2019 год и

поверхность земного шара при условии, что внутри квадрата сетки имелись наблюдения за температурой хотя бы на одной станции.

Для анализа были выбраны 23 квадрата координатной сетки $5^0 \times 5^0$ на западном побережье Северной Америки в зоне возможного влияния Калифорнийского течения на температуру приземного воздуха. Схема расположения квадратов приведена на рис.1. Выбранная территория охватывает широтную зону от 20^0 до 55^0 с.ш. и распределена по долготе от 95^0 до 135^0 з.д. Во внимание принимались квадраты с длительностью рядов, как правило, более 100 лет, поскольку исследовалось наличие или отсутствие климатического сигнала с характерным периодом 18,6 года. Длительность проанализированных рядов составляла от 99 лет до 168 лет, в среднем 137 лет.



Рис.1. Расположение квадратов сетки, использованных при анализе.

2. Методика анализа данных

Ставилась задача поиска колебаний температуры воздуха в выбранном районе максимально наглядным способом, без привлечения сложного математического аппарата, который может затруднять последующую интерпретацию результатов. В качестве метода обработки данных использовались три последовательные процедуры:

1. из рядов сезонных и месячных аномалий температуры воздуха по квадратам сетки путем полиномиальной аппроксимации второй степени из рядов убиралась трендовая составляющая. Подразумевалось, что таким образом исключалась вековая и сверхвековая трендовые составляющие изменчивости температуры воздуха.

2. осуществлялась цифровая фильтрация рядов сезонных и месячных аномалий температуры воздуха по квадратам сетки фильтром с передаточной характеристикой, изображенной на рис.2. При этом исключались или подавлялись колебания с периодами менее 13 лет. Для фильтрации применялся нерекурсивный цифровой фильтр с окном Ханна (Хемминг, 1980). Число весовых коэффициентов фильтра было выбрано равным 21. Частота обрезания фильтра задавалась равной 0,075, что соответствует периоду 13,3 года.

3. Далее осуществлялся расчет и анализ автокорреляционных функций полученных рядов аномалий температуры воздуха. Максимальная величина запаздывания выбиралась равной 70 отсчетам ряда там, где длина анализируемого ряда это позволяла. Вид и свойства автокорреляционных функций для разных квадратов сетки позволял выявлять географические районы, где присутствуют или, наоборот, отсутствуют колебания с искомым периодом.

Подобная методика была использована в работе (Молодых В.А., 2021), где длина цифрового фильтра составляла 41. С целью максимального сохранения длительности анализируемых рядов, неизбежно укорачивающихся в связи с цифровой фильтрацией 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:

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

Для частоты 18,6-летнего лунного прилива значение коэффициента ослабления фильтра близко к значению 0,72, то есть при наличии реального колебания температуры воздуха с таким периодом амплитуда сигнала после

фильтрации будет уменьшена на 28 %. Соответственно, при выявлении в исследуемом ряду колебания с таким периодом, для оценки его истинной амплитуды полученное значение нужно увеличить примерно в $1.0/0.72=1,4$ раза.

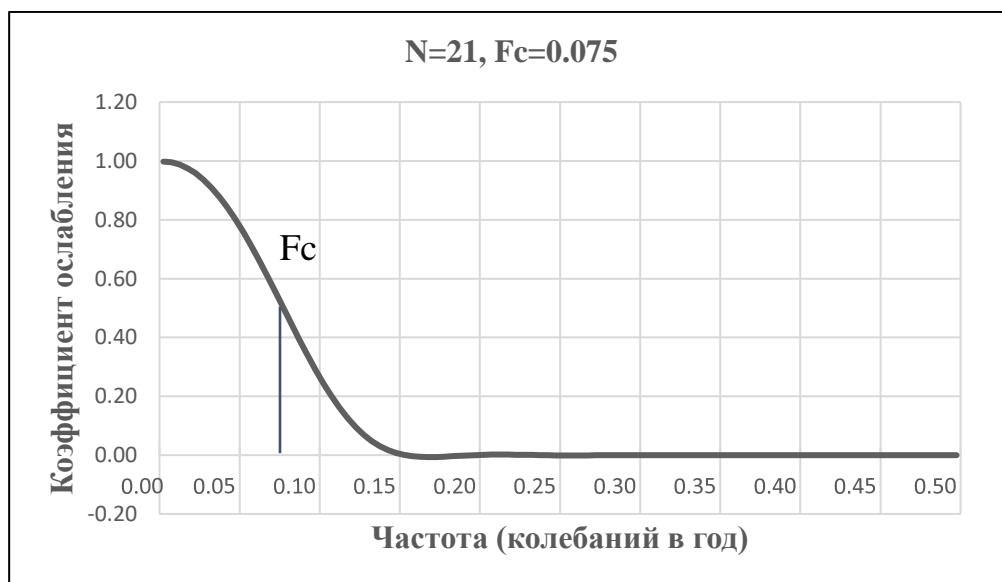


Рис.2. Передаточная функция цифрового фильтра

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, содержится значительная доля общей изменчивости климатических рядов. Их отфильтровывание позволяет выделять возможные многолетние колебания в климатических рядах.

3. Результаты

Типовая автокорреляционная функция исследованных рядов аномалий температуры может иметь один или несколько максимумов. На рис.3. для примера приведена автокорреляционная функция ряда аномалий температуры воздуха зимой для квадрата № 10. На ней отчетливо выделяются три максимума, обозначенные на рисунке цифрами 1, 2, 3, соответствующие запаздываниям 18-19 лет, 37-38 лет и 57 лет. Соответственно, значения этих максимумов и приведены в таблице для разных квадратов и месяцев.

Предварительный анализ показал, что 18,6-летние колебания аномалий температуры воздуха по квадратам присутствуют только в зимний период. Поэтому далее рассматривались ряды месячных аномалий температуры для декабря, января, февраля и средней температуры за зиму.

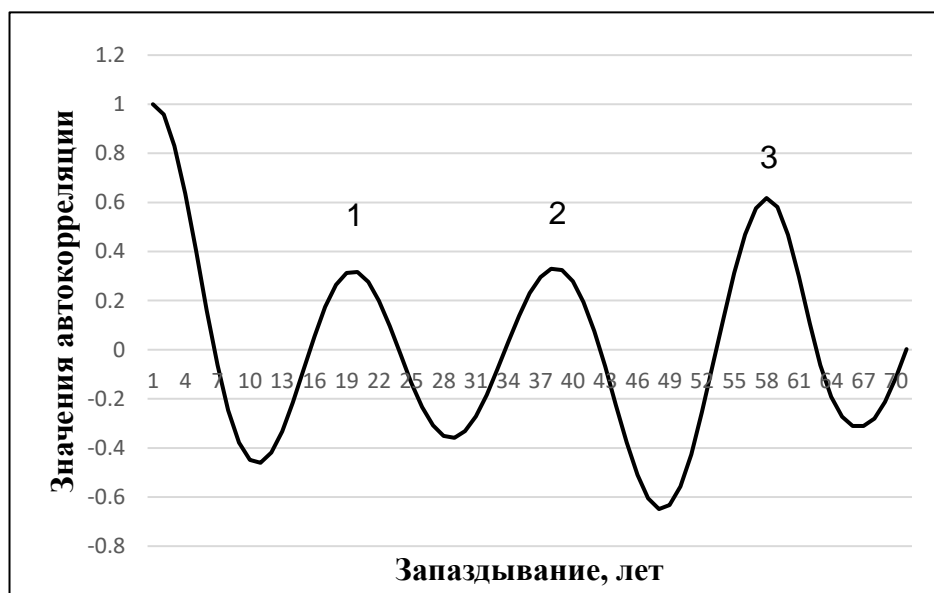


Рис.3. Автокорреляционная функция ряда аномалий температуры воздуха зимой для квадрата № 10.

Значения максимумов автокорреляционной функции температуры приземного воздуха, рассчитанные по описанной выше схеме для зимнего сезона в целом, и, отдельно, для декабря, января и февраля, приведены в таблице.

Если на графике автокорреляционной функции отсутствуют один, два или три максимума, то в соответствующих местах таблицы поставлен прочерк.

Среднее значение автокорреляций на выделенных запаздываниях, кратных длительности исследуемого лунного прилива, по всей таблице составляет 0,35. Для пространственного анализа закономерностей распределения значений автокорреляции было выбрано ее пороговое значение, равное 0,4.

Среднее значение коэффициента автокорреляции по выборке из коэффициентов, превышающих по значению выбранные 0,4 и выделенных в таблице жирным шрифтом, составляет 0,50 и далеко от значения 1,0, соответствующего идеальному синусоидальному колебанию с периодом 18,6 года.

Таблица. Значения максимумов автокорреляционной функции зимой и в различные зимние месяцы при величине запаздывания, равной одному, двум и трем 18,6-летним периодам

Квадрат	Длина ряда, лет	Период колебаний, лет	Сезон, месяц			
			Зима	Дек.	Янв.	Фев.
1	109	18,6 x 1	0,34	-	0,32	0,42
		18,6 x 2	-	-	-	0,49
		18,6 x 3	-	-	-	-
2	124	x 1	-	-	-	0,32
		x 2	-	-	-	0,57
		x 3	-	-	-	-
3	131	x 1	-	-	-	0,38
		x 2	-	-	-	0,44
		x 3	-	-	-	-
4	130	x 1	-	-	-	-
		x 2	-	-	-	-
		x 3	-	-	-	-
5	147	x 1	-	-	-	0,27
		x 2	0,59	-	-	0,17
		x 3	-	-	-	-
6	148	x 1	-	-	-	0,28
		x 2	0,33	-	-	-
		x 3	-	-	-	-
7	132	x 1	-	-	-	-
		x 2	-	-	-	0,29
		x 3	-	-	-	-
8	142	x 1	0,44	-	0,20	0,29
		x 2	0,69	-	0,29	0,13
		x 3	-	-	-	-
9	152	x 1	0,09	0,21	-	0,19
		x 2	0,17	-	-	-
		x 3	0,40	-	0,55	0,42
10	149	x 1	0,32	0,27	-	0,29
		x 2	0,33	-	0	0,16
		x 3	0,62	-	0,50	0,12
11	129	x 1	-	0,09	-	-
		x 2	-	-	-	-
		x 3	-	-	-	-
12	148	x 1	0,44	0,33	-	-
		x 2	0,40	-	0,19	-
		x 3	0,56	-	0,38	0,77
13	132	x 1	0,45	0,46	0,26	0,11
		x 2	0,56	0,46	0,18	-
		x 3	0,43	0,32	0,21	0,44
14	131	x 1	0,52	0,55	-	-
		x 2	0,41	-	-	-
		x 3	0,63	-	0,39	-

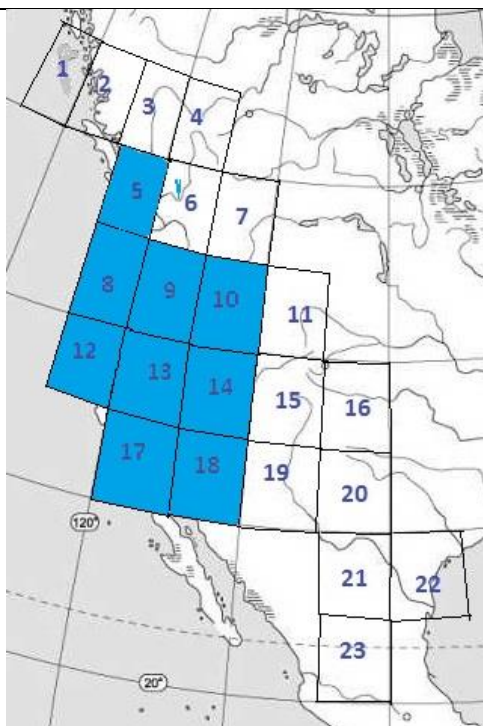
15	167	x 1	-	0,30	-	-
		x 2	-	-	-	-
		x 3	-	-	-	-
16	153	x 1	-	-	-	-
		x 2	-	-	-	-
		x 3	-	-	-	-
17	168	x 1	0,32	0,32	0,14	-
		x 2	0,54	0,35	0,41	-
		x 3	0,38	0,55	0,13	-
18	128	x 1	0,36	0,37	-	-
		x 2	0,29	-	-	-
		x 3	0,55	0,33	0,43	-
19	148	x 1	-	0,18	-	-
		x 2	-	-	-	-
		x 3	-	-	-	-
20	150	x 1	0,20	-	-	-
		x 2	-	-	-	-
		x 3	-	-	-	-
21	115	x 1	0,09	-	0,17	-
		x 2	-	-	-	-
		x 3	0,32	0,32	0,42	-
22	134	x 1	0,17	-	0,23	-
		x 2	-	-	-	-
		x 3	-	-	-	-
23	99	x 1	-	-	-	-
		x 2	-	-	-	-
		x 3	-	-	-	-

Это указывает на наличие в анализируемых рядах многолетних колебаний с более длительными периодами, чем анализируемый 18,6-летний.

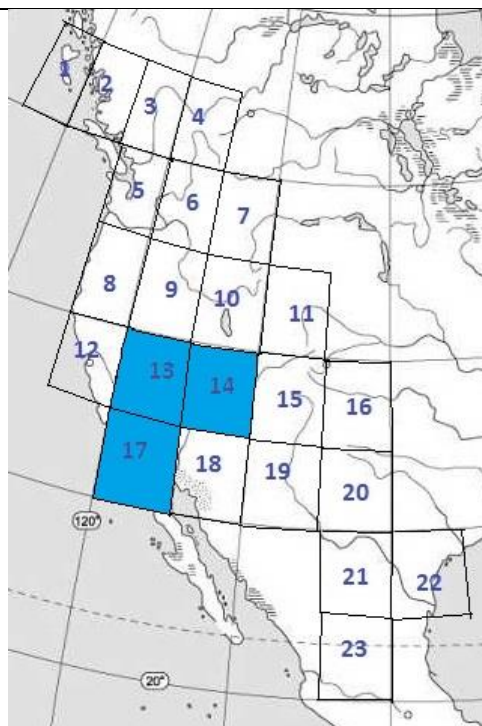
Географическое распределений квадратов сетки с соответствующим превышением пороговой величины автокорреляционной функции на частоте лунного прилива (18,6 года) за зимний сезон и по месяцам приведено на рис.4.

Рассмотрим географическое распределение выделяемых областей последовательно.

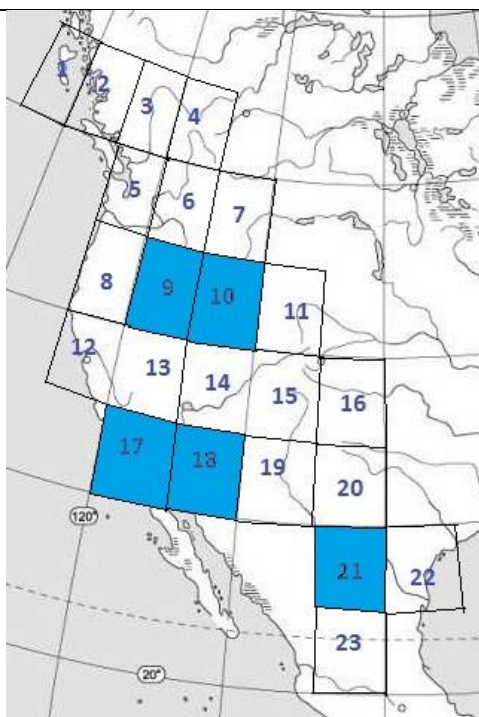
Зима. Выделяется 9 квадратов сетки с заданными свойствами. Распределение квадратов показывает, что они образуют общую область в широтной зоне от 30⁰ до 50⁰ с.ш. При этом западная граница области расположена вдоль побережья Тихого океана, как раз в том месте, где проходит Калифорнийское течение. Протяженность выявленной области составляет 20⁰ по широте и 15⁰ по долготе. Ее характерные геометрические размеры 1-2 тыс. км.



а) зима



б) декабрь



в) январь



г) февраль

Рис.4. Географическое распределение квадратов координатной сетки $5^0 \times 5^0$ в целом за зиму (а) и по отдельным месяцам - декабрь (б), январь (в), февраль (г) со значениями автокорреляции более 0,4 на частоте лунного 18,6-летнего прилива.

Декабрь. Выделяется общая область, состоящая всего из трех квадратов сетки. Ее географическое расположение - также в районе Калифорнийского течения.

Январь. Выделяется 5 квадратов сетки, содержащих три географические области, состоящие в свою очередь из двух пар смежных квадратов: 9-10 и 17-18, и квадрата 21. Любопытно выделение квадрата 21, который находится несколько южнее зоны Калифорнийского течения, но сравнительно недалеко. В целом, все 5 квадратов также располагаются в зоне течения.

Февраль. Выделяется 6 квадратов, распределенных в двух географических областях. Первая область из трех квадратов находится на широтах, соответствующих Калифорнийскому течению, вторая - севернее, в широтной зоне 50^0 - 55^0 с.ш., недалеко от восточного побережья Тихого океана.

Главной закономерностью распределения квадратов сетки во все рассмотренные месяцы и зиму является их локализация около западного побережья Северной Америки, примерно на 40 % площади изученной области.

С другой стороны, приведенные на рис.1 девять квадратов с номерами 4, 6, 7, 11, 15, 16, 19, 20, 22, в которых искомые колебания температуры выявлены не были, находятся на заметном удалении от западного побережья, а квадрат 23 - южнее широты области распространения Калифорнийского течения. Собственно, они и участвовали в анализе для того, чтобы показать ограниченность области, в которой выделяется периодичность, соответствующая лунному 18,6-летнему периоду.

Причина выделения 18,6-летнего периода в феврале в широтной зоне 50^0 - 55^0 с.ш. может крыться как в особенностях общей системы океанических течений на западе континента, так и в установленных критериях анализа данных. В любом случае требуется дополнительный углубленный анализ полученного результата. Пока же этот факт следует просто зафиксировать.

Для оценки амплитуды выявляемого колебания температуры следует рассмотреть приведенный ниже рис.5. На нем в виде нерегулярных кривых отражены сглаженные значения аномалий температуры в зимний сезон по шести квадратам исследуемой географической сетки с номерами 8, 12, 13, 14, 17, 18,

которые проявляют 18,6-летний цикл на всем имеющемся периоде наблюдений для каждого квадрата.

Не приведенные на графике кривые аномалий температуры для квадратов 5, 9 и 10 не имеют столь четкой 18,6-летней периодичности, а проявляют периодичность на удвоенном или утроенном 18,6-летнем периоде, о чем говорят значения их автокорреляционных функций.

Эти три квадрата расположены на севере выделенной зоны для зимних температур.

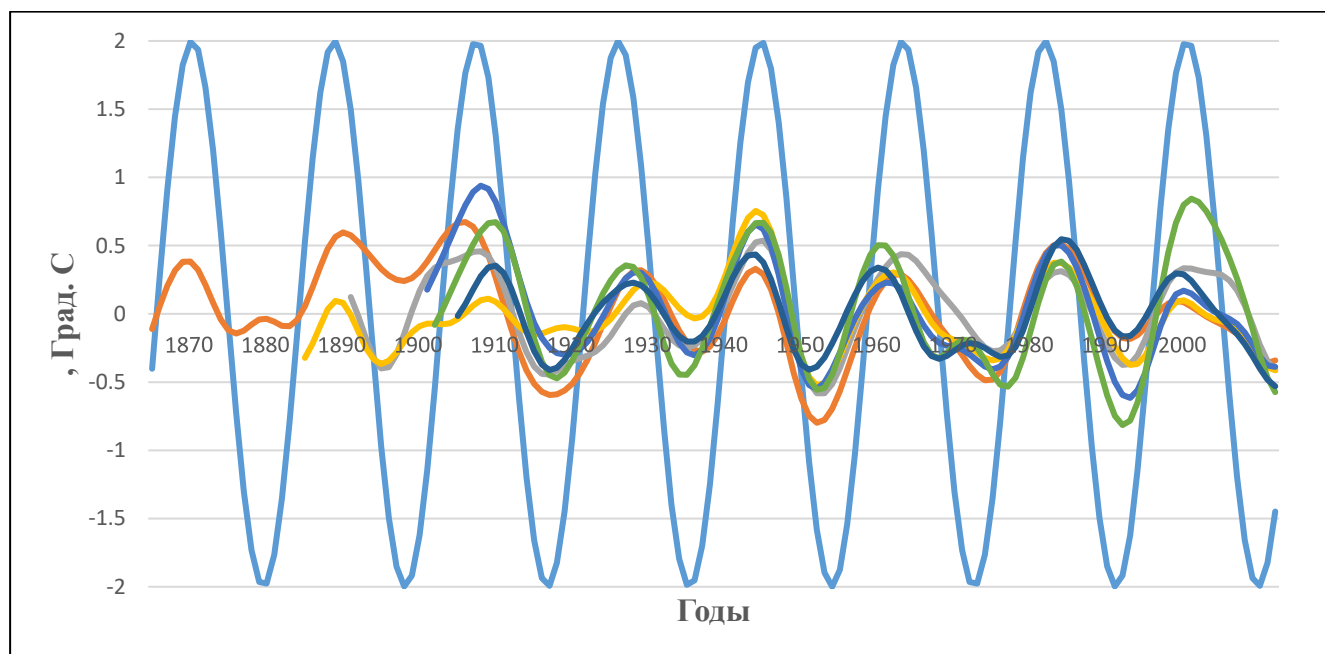


Рис.5. Аномалии температуры зимой в квадратах с номерами 8, 12, 13, 14, 17, 18 в сопоставлении с модельной 18,6-летней синусоидой

Для лучшего понимания закономерностей расположения максимумов и минимумов на сглаженных кривых на этом же графике приведена кривая модельной синусоиды с периодом 18,6 года. Видно, что в 18,6-летних циклах максимумы кривых аномалий температуры расположены не всегда в максимумах модельной кривой, а отстают или опережают их на 1-2 года.

Амплитуды колебаний зимних аномалий температуры воздуха с 18,6-летним периодом на рисунке изменяются с течением времени и составляют для разных квадратов и разных периодов времени от 0,2 до 0,8 °C. С учетом свойств передаточной функции примененного фильтра истинные значения амплитуды

колебаний следует увеличить в 1,4 раза, тогда они составят 0,3-1,1 °C, в среднем 0,7°C.

Рассмотрение изменений месячных аномалий температуры воздуха с лунным периодом внутри зимнего сезона показало наличие колебаний во все месяцы зимнего сезона только для одного квадрата: 13. Графики этих месячных аномалий приведены на рис.6 (голубая кривая - декабрь, оранжевая - январь, серая -февраль).

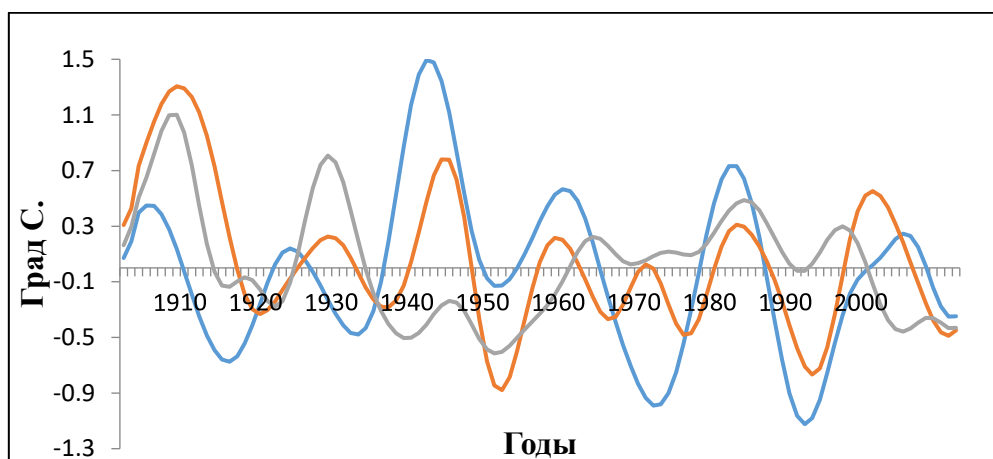


Рис.6. Сглаженные аномалии температуры за разные месяцы

Из рисунка видно, что экстремумы кривых в 18,6-летнем цикле в разные месяцы по времени могут не совпадать на 1-3 и даже 5 лет. Таким образом, изучаемый цикл в каждом отдельном месяце выступает, скорее, как тенденция, нежели как закономерность. И только при осреднении за весь зимний сезон выявляются общие закономерности 18,6-летних колебаний, что указывает на небольшую мощность сигнала на фоне других климатообразующих факторов с другими закономерностями. Для определения фазы выявляемых колебаний зимних температур воздуха относительно экстремумов приливообразующей силы Луны служит график изменения аномалий зимней температуры воздуха в квадрате 17. Данный квадрат был выбран по двум причинам: 1. он имеет самый длинный ряд наблюдений по сравнению с другими квадратами, 2. расположен недалеко от западного побережья североамериканского континента, и соответственно, в зоне возможного влияния Калифорнийского течения на температуру воздуха.

Длина ряда зимних температур для квадрата № 17 составляет 168 лет. За счет фильтрации описанным выше цифровым фильтром длина ряда уменьшилась на 20

лет. Оставшаяся основная часть ряда получила длительность 148 лет. При длительности изучаемого лунного прилива, равной 18,6 года, на длину ряда должно приходиться $148/18,6 = 7,96 \approx 8$ полных колебаний аномалий зимней температуры воздуха.

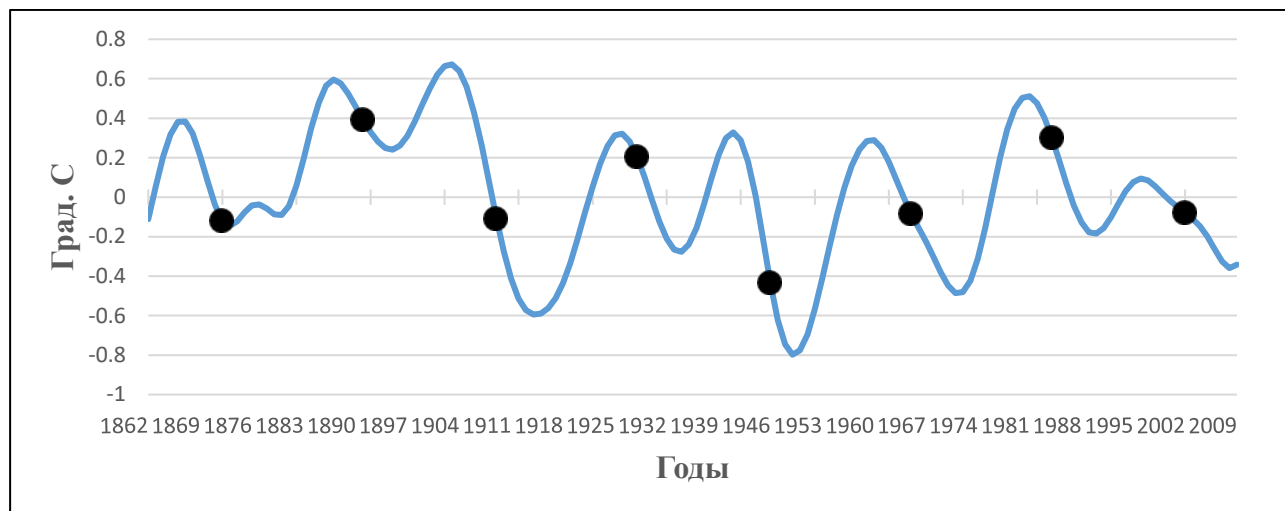


Рис.7. Изменения аномалий зимней температуры воздуха в квадрате 17

На рис.7 точками отражены моменты времени максимума 18,6-летнего прилива в Северном полушарии. Эти моменты времени были взяты из работы (Войнов, 2002), где автор писал, что 18-6 летний лунный прилив имел максимальные значения амплитуды в июне 1947, феврале 1966 и сентябре 1984, а минимальные значения - в октябре 1956, мае 1975 и январе 1994 гг. Максимальные значения амплитуды означают, что в 18,6-летнем цикле в моменты максимумов вблизи Северного полюса образовывалась пучность (подъем уровня) океана. В моменты минимумов уровень океана снижался в 18,6-летнем цикле до минимума.

Другие моменты максимумов на рисунке были рассчитаны по приведенным выше датам.

Г.Н.Войнов указывал, что в силу стоячего характера колебаний этого прилива непосредственно в Северном ледовитом океане (область пучности волны) астрономические течения не должны развиваться, но в промежуток между указанными моментами экстремумов приливные течения 18,6-летнего прилива должны достигать максимальных значений в узловой области волны на широтах около 35^0 с.ш. и ю.ш.

Рассмотрение положения точек (моментов максимумов приливной волны) на рис.7 приводит к выводу о том, что максимумы приливной волны находятся на нисходящих ветвях колебаний аномалий температуры в 18,6-летнем цикле. Эта закономерность справедлива для всех восьми 18,6-летних колебаний аномалий температуры. Можно, конечно, сослаться на то, что точки не ложатся на вполне конкретный отрезок нисходящей ветви колебаний температуры. Данное обстоятельство следует принимать во внимание, но при этом помнить, что амплитуда 18,6-летних колебаний температуры невелика на фоне действия других климатообразующих факторов. Из рис.7 видно, что она составляет 0,15-0,6 °С, а с поправкой на коэффициент ослабления фильтра - 0,2-0,8 °С (в среднем 0,5 °С) за зимний сезон. Размах колебаний в отдельных 18,6-летних циклах составляет до 1,6 °С, что составляет уже заметную величину.

Если принять, что в среднем за восемь рассмотренных на рисунке 18,6-летних колебаний температуры точки максимумов приливной волны попадают на середину нисходящей ветви колебаний температуры, то можно высказать предположение о возможной схеме возникновения 18,6-летних колебаний температуры применительно к рассматриваемому региону западного побережья Северной Америки через изменение уровня прилива.

Для этого рассмотрим рис.8, на котором изображены в виде синусоид графики изменения уровня океана в Северном полушарии в 18,6-летнем цикле (кривая А) и ожидаемые вариации температуры в 18,6-летнем цикле (кривая Б).

На рисунке можно выделить четыре характерных точки:

точка 1 - максимум прилива (пучность) на севере, меридионального приливного течения нет, переноса полярного холода приливным течением нет, равновесная температура морской поверхности вблизи западного побережья и воздуха в широтной зоне 30- 50°,

точка 2 - максимальная скорость меридионального течения с севера на юг, интенсивное поступление холодной воды из северных широт, понижение температуры воздуха вследствие его охлаждения от водной поверхности,

точка 3 - максимум прилива (пучность) на юге, меридионального течения нет, переноса тропического тепла приливным течением нет, наблюдается равновесная температура морской поверхности и воздуха,

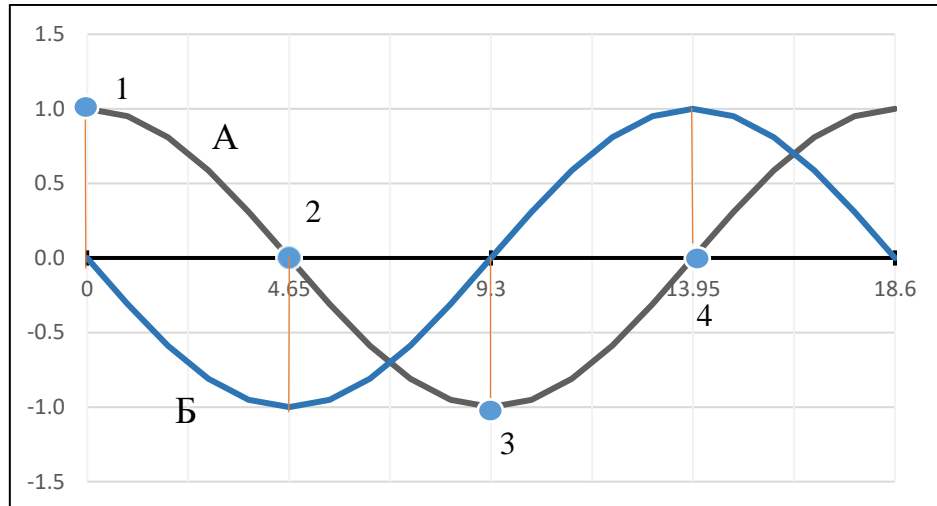


Рис.8. Изменения уровня океана в Северном полушарии в 18,6-летнем цикле (А) и ожидаемые вариации температуры в 18,6-летнем цикле (Б).

точка 4 - максимальная скорость течения с юга на север, интенсивное поступление теплой воды из южных широт, рост температуры воздуха вследствие его нагрева от водной поверхности.

Тем самым, изменение уровня прилива вызывает изменение скорости меридионального течения, обеспечивающего поступление к рассматриваемому региону теплых либо холодных поверхностных вод и соответствующее изменение температуры воздуха над ними с последующим переносом воздуха на материк.

4. Проверка процедуры фильтрации

С целью проверки надежности полученных выводов на основе примененной процедуры фильтрации временных рядов аномалий температуры фильтра с частотой обрезания 0,075 был проведен анализ результатов фильтрации с применением еще одного фильтра с частотой обрезания $F_c=0.15$ и длиной весовой функции, также равной 21 коэффициенту. Временным рядом выступали зимние температуры воздуха для квадрата 13.

На рис.9 изображены автокорреляционные функции (а) и сглаженные аномалии температуры (б) для фильтров с частотой обрезания $F_c=0.075$ и $F_c=0.150$. Более 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.

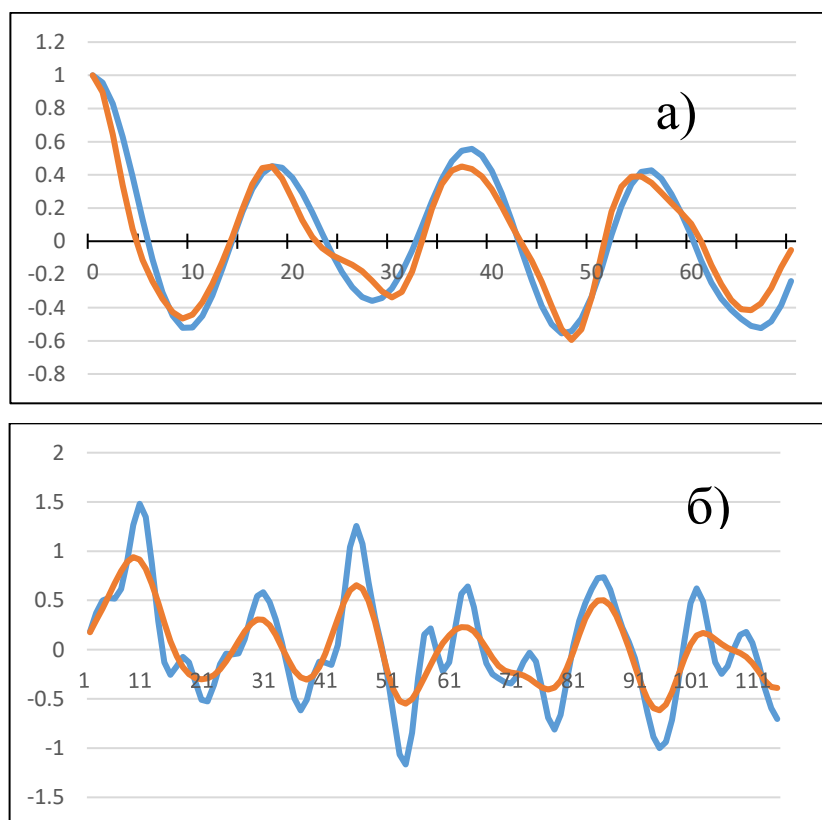


Рис.9. Автокорреляционные функции (а) и сглаженные аномалии температуры (б) для фильтров с частотой обрезания $F_c=0.075$ и $F_c=0.150$

Из обоих графиков на рис.9 видно, что моменты достижения максимумов и минимумов как автокорреляционных функций, так и аномалий температуры практически не зависят от частот обрезания фильтра, хотя частоты и отличаются в два раза.

Кривые на рис.9 подтверждают обоснованность использованной методики обработки данных, содержащих лунный приливной сигнал, и не случайность выявленных 18,6-летних колебаний температуры воздуха.

5. Обсуждение

Полученные в работе результаты подтверждают и конкретизируют выводы, сделанные в работах упомянутых выше авторов. Вблизи западного побережья Северной Америки, в зоне холодного Калифорнийского течения, выделяются колебания температуры воздуха с периодом 18,6 года. Данная закономерность справедлива только для зимнего сезона.

Вопрос о проявлении на изученной территории 18,6-летних колебаний аномалий температуры воздуха только в зимний сезон может быть объяснен минимальным влиянием радиационных факторов в его годовом ходе на температурный режим. При минимальном в годовом ходе уровне солнечной радиации минимизируется влияние на температуру облачности, как проявления циркуляционных процессов в самой атмосфере, и на передний план выходят другие климатообразующие факторы.

На проявление разных климатообразующих факторов в разные сезоны года обращалось внимание в работе (Шерстюков, 2011).

Тот факт, что 18,6-летний цикл хуже проявляется в отдельные месяцы зимы, чем в среднем за три зимних месяца, может быть объяснен относительно небольшим влиянием изучаемого прилива на температуру воздуха в сравнении с действием других климатообразующих факторов.

Так, расчет спектра мощности исходных колебаний температуры воздуха (до исключения тренда и фильтрации) в квадрате 17 в зимний сезон показал, что на колебания с периодом 18,5 года (практически равным 18,6 года) приходится 13 % дисперсии для не осредненного спектра и 7 % для осредненного, то есть порядка 10%.

Однако, расчет спектра для этого же ряда, подвергнутого процедуре исключения тренда и отфильтровывания колебаний с короткими периодами, как это описано в разделе 2, показал, что на колебания с 18,5-летним периодом приходится уже от 20% до 38% дисперсии.

Примечательно, что на колебания температуры воздуха с периодами 18,6 лет и более, включая трендовую составляющую, приходится более 50% дисперсии, что

указывает на наличие долгопериодных изменений температуры воздуха рассматриваемого региона. Колебания же с периодами менее 18,6 года, имеют меньшую мощность, чем 18,6-летние.

Ограниченность выявленной области выделения 18,6-летнего цикла по широте величиной 15° снова подчеркивает региональный характер рассмотренного явления и многообразие действующих на температуру воздуха климатообразующих факторов.

Средняя амплитуда приливного сигнала в атмосфере в зимний период переменна от цикла к циклу и составляет от $0,3^{\circ}\text{C}$ до $1,1^{\circ}\text{C}$, в среднем $0,7^{\circ}\text{C}$. При этом аппроксимированный линейным трендом рост зимних температур воздуха за 168 рассмотренных лет составил $2,7^{\circ}\text{C}$, что демонстрирует серьезное преобладание трендовой составляющей над рассмотренными 18,6-летними колебаниями температуры.

6. Заключение

Анализ многолетних изменений месячных аномалий температуры воздуха в западной части Северной Америки (район Калифорнийского течения) позволил выявить географическую зону, в которой выделяются их 18,6-летние колебания. Данная зона примыкает к западному побережью Северной Америки и простирается по широте от 30° до 50° с.ш. и до 15° к востоку от западного побережья. Ее характерные геометрические размеры 1-2 тыс. км. Колебания с периодом 18,6 года проявляются только в зимний сезон, когда влияние радиационных факторов минимально.

Полученные результаты подтверждают определенное влияние 18,6-летнего лунного прилива на температуру воздуха прибрежных районов материка, однако это влияние имеет региональный и сезонный характер. Найденное значение амплитуды 18,6 летнего температурного сигнала ($0,3$ - $1,1^{\circ}\text{C}$, в среднем $0,7^{\circ}\text{C}$) не представляется значительным, но сам факт устойчивости колебаний на протяжении по крайней мере восьми лунных 18,6-летних циклов говорит о наличии физического механизма, лежащего в основе указанных колебаний температуры.

В качестве возможной причины возникновения рассмотренного явления выступает переменная адвекция тепла от Калифорнийского океанического течения, омывающего побережье вблизи рассмотренной территории и модулируемого лунным приливом, на материк.

Учитывая глобальный эффект лунных приливных явлений в Мировом океане, требуются дополнительные усилия по нахождению на поверхности Земли других регионов, где бы можно было бы обнаружить сходные эффекты и подтвердить результаты, полученные в данной работе. В первую очередь это должны быть регионы, где морские течения глобального океанского конвейера ориентированы вдоль меридианов.

7. Список литературы

Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 351 с.

Войнов Г.Н. Приливные явления и методология их исследований в шельфовой зоне арктических морей (На примере Карского и северо-восточной части Баренцева морей): Дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.28 : Санкт-Петербург, 2002, -350 с. РГБ ОД, 71:05-11/7. <http://www.dslib.net/oceanologia/prilivnye-javlenija-i-metodologija-ih-issledovanij-v-shelfovoj-zone-arkticheskikh.html>

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.

Воробьев В.Н, Косенко А.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Многолетний лунный деклинационный прилив и динамика центров действия атмосферы Южного полушария. Ученые записки РГГМУ. 2010, № 16, с. 28-40.

Герман Дж.Р., Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 319 с.

Зотов Л.В., Сидоренков Н.С., Бизуар К., 2015. Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове, № 222, стр. 41-48.

Логинов, В.Ф. Космические факторы климатических изменений. Минск: Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси. 2020. – 168 с.

Молодых В.А. Об изменениях среднемесячных температур воздуха в Северной Америке с периодом около 20 лет. 1986, Труды ГГО, вып.503, с.142-148.

Молодых В.А. О 21-летних колебаниях температуры воздуха. PREPRINTS.RU. <https://doi.org/10.24108/preprints-3112312>. 11.11.2021.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Росгидромет. - Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2022. - 124 с.

Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. М., Советское радио, 1980. - 224 с.

Шерстюков Б. Г. Изменения, изменчивость и колебания климата. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. - 293 с.

Шерстюков Б.Г. Колебательная система климата, резонансы, дальние связи, прогнозы. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. - 222 с.

Currie R.G. Luni-solar 18.6- and solar cycle 10-11-year signals in USA air temperature records. International Journal of climatology, 1993, v.13, iss.1, pp.31-50.

Currie R.G. Luni-solar 18.6- and solar cycle 10-11-year signals in Chinese dryness-wetness indices. International Journal of climatology, 1995, v.15, iss.5, pp.497-515.

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, v.10, pp.249-268.

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, doi: 10.1029/2006JC003671.

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.

Osborn T. J., Jones, P.D., 2014. The CRUTEM4 land-surface air temperature data set: construction, previous versions and dissemination via Google Earth, Earth Syst. Sci. Data, 6, 61–68, doi.org/10.5194/essd-6-61-2014.

Royer T.C. High-latitude oceanic variability associated with the 18.6-year nodal tide. Journal of geophysical research, 1993, vol. 98, № C3, pp. 4639-4644.

Yasuda I. Impact of the astronomical lunar 18.6-yr tidal cycle on El-Niño and Southern Oscillation. Scientific reports, 2018, 8:15206. doi: 10.1038/s41598-018-33526-4.

Yndestad H. Jovian planets and lunar nodal cycles in the earth's climate variability. *Frontiers in astronomy and space sciences*. 2022, v.9, pp.1-19.

Аннотация

Анализ многолетних изменений месячных аномалий температуры воздуха в западной части Северной Америки методами цифровой фильтрации и автокорреляционного анализа позволил наглядно выявить географическую зону, в которой выделяются их 18,6-летние колебания. Данная территория примыкает к западному побережью Северной Америки и простирается по широте от 30⁰ до 50⁰ с.ш. и до 15⁰ к востоку от западного побережья с характерными геометрическими размерами 1-2 тыс. км. Близость выделенной территории к зоне Калифорнийского океанического течения позволяет говорить о явном океаническом влиянии на температуру воздуха.

Амплитуда колебаний аномалий температуры в 18,6-летнем цикле достигает 0,7 °С. Размах колебаний в отдельных 18,6-летних циклах составляет до 1,6 °С.

Колебания с периодом 18,6 года проявляются только в зимний сезон, когда влияние радиационных факторов минимально.

Предложена схема, объясняющая влияние переменной в 18,6-летнем цикле скорости Калифорнийского течения на зимние аномалии температуры воздуха над материком.