

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

Анализ временного ряда среднесуточных температур города Базеля

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 411 группы

направления 050305 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Негметова Алика Кайратовича

Научный руководитель

профессор, д.ф.-м.н., профессор

М.Б. Богданов

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

М.Б. Богданов

инициалы, фамилия

Саратов 2017

В введении показана актуальность проблемы изменение климата, как одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством. В качестве доказательства такого изменения используется рост температуры воздуха, изменение частоты и интенсивности выпадения осадков, таяние ледников и, как следствие, повышение уровня мирового океана. Возможными причинами таких изменений являются: увеличение количества атмосферного водяного пара, углекислого газа и других газов, поступающих в атмосферу в ходе хозяйственной деятельности человека, увеличение массы атмосферных аэрозолей и увеличение количества вырабатываемой в процессе хозяйственной деятельности тепловой энергии, поступающей в атмосферу. Считается, что наиболее значимым процессом является парниковый эффект приводящий к росту температуры воздуха. По данным пятого доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата 2013 года за период 1880–2012 гг. наблюдается повышение средней температуры воздуха на 0,85 °С (оцененный 90% доверительный интервал составляет [0,65–1,06] °С).

Отмечено, что помимо земных процессов, влияющих на изменение климата, существуют факторы, связанные с влиянием космических воздействий. Такие как влияние изменения светимости Солнца, влияние таких объектов Солнечной системы как Луна, в том числе и такой процесс как вращение планеты вокруг своей оси. При этом для поиска влияния космических факторов может применяться статистический анализ изменения характеристик погоды и климата. Наилучшие результаты можно получить при анализе долговременных рядов метеорологических характеристик, чаще всего температуры воздуха.

Сформулированы цели бакалаврской работы:

- обзор литературы по возможному влиянию космических факторов на изменение погоды и климата и методам статистического анализ а временных рядов;

- анализ ряда среднесуточных значений температуры воздуха за период 1901 – 2015 гг. в городе Базель, и поиск возможного влияния космических факторов на изменение температуры;

В первом разделе перечислены основные факторы, влияющие на изменение температуры воздуха и имеющие космическое происхождение.

Солнечная активность, обусловленная процессами циклической генерации магнитных полей на Солнце. Вследствие этого на поверхности – солнечной фотосфере возникают пятна. Формируется высокотемпературная солнечная корона, ее внешняя часть расширяется, превращаясь в солнечный ветер. Солнечный ветер, обдувая магнитосферу Земли, формирует ее границы, а магнитные поля Солнца, вытягиваемые вместе с ветром к границам солнечной системы и закручиваемые при вращении Солнца, ослабляют проникновение космических лучей во внутренние области гелиосферы.

Изменение инсоляции при вращении системы Земля - Луна вокруг общего центра масс. Движение (вращение) системы Земля - Луна вокруг общего центра масс (барицентра) приводит к наложению на эллиптическую орбиту Земли периодической составляющей с амплитудой, равной расстоянию от центра Земли до центра масс системы Земля - Луна (4670 км), и периодом, равным синодическому лунному месяцу (29,53 средних солнечных суток). Помимо эффектов, связанных с возникающими при этом силами инерции. Этот процесс приводит к периодическому изменению расстояния от Земли до Солнца на 9340 км, что в среднем составляет всего 0,00624%. Но даже столь незначительное изменение расстояния влияет на существенное изменение потока солнечной энергии, падающего на Землю, т.к. он зависит от квадрата расстояния. Т.е. с изменением расстояния от Солнца до Земли происходит вариацией активности солнца.

Помимо процессов, влияющих на изменение климата и связанных с деятельностью Солнца, существует процесс способный воздействовать на

циркуляцию атмосферы Земли и называемый лунно-солнечным приливом. Так как размеры Земли не бесконечно малы по сравнению с расстояниями до Луны и Солнца, то на разные точки Земли силы притяжения этих небесных тел называемые приливами и отливами. Действию таких сил подвергается каждая частица земной поверхности, водная поверхность и атмосфера. Равнодействующая ускорений таких сил действует неодинаково, т.е. на экваторе из-за меньшего расстояния между Луной и Солнцем это ускорение больше, чем на полюсах.

Также в данном разделе рассматривались факторы связанные с влиянием квазидвухлетним колебанием (КДК) - межгодовое атмосферное колебание, механизмы формирования таких колебаний окончательно не выяснены. Оно является примером квазирегулярных изменений атмосферы и климата Земли в целом. Это явление модулирует планетарные волны и оказывающие влияние на атмосферную циркуляцию средних широт, воздействуют на процессы распределения озона и других примесей в атмосфере, а также взаимодействуют с таким важным для системы океан – атмосфера. КДК влияет на режим ветра восточных и западных направлений в экваториальной стратосфере, охватывающий высоты примерно от 16 до 50 км, распространяющийся в стратосфере из верхних в более низкие слоя с периодом, составляющим около 28 месяцев.

Во втором разделе даны основные определения характеристик временного ряда. Приведены основные расчетные формулы, описаны статистические методы, применяемые в обработке метеорологической информации.

В третьем разделе найденные с помощью метода наименьших квадратов значения параметров линейного тренда температуры в городе Базель $T = a t + b$ оказались равными:

$$a = 3,434 \times 10^{-5} \pm 3,011 \times 10^{-6} \text{ K/сут.}$$

$$b = 9,17770 \pm 0,07239 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Полученный угловой коэффициент тренда свидетельствует о потеплении на $1,26 \pm 0,11$ °С за сто лет. По данным пятого доклада МГЭИК с 1880 года средняя глобальная температура повысилась на 0,85 °С (90% доверительный интервал [0,65 – 1,06] °С). Таким образом, потепление в Базеле проявляется сильнее, чем в среднем по земному шару.

Для дальнейшего анализа данного ряда температур были устранены сезонные изменения. Найденные значения амплитуды A и начальной фазы φ для синусоиды с периодом тропического года $P_0 = 365,2422$ суток и его первой гармоники с периодом 182,6211 суток. Построен график аномалий среднесуточных значений температуры воздуха с вычтенным линейным трендом связанный с глобальным потеплением, и сезонные гармоники. Отфильтрованный таким образом ряд данных не содержит сезонных изменений.

Проведена проверка статистической однородности ряда с помощью критерия Фишера F путем его сравнения с критическим значением $F_{\text{крит}}$ для чисел степеней 20818 свободы и уровня значимости $\alpha = 0,01$. Показано, что гипотезу о равенстве дисперсий первой и второй половин ряда нельзя отбросить и исследуемый ряд можно считать статистически однородным.

Оценка основных статистических характеристик ряда отклонений температуры от сезонного хода. Она характеризует отличие распределения от нормального. Для оценки характера распределения была построена гистограмма частот рисунок 1.

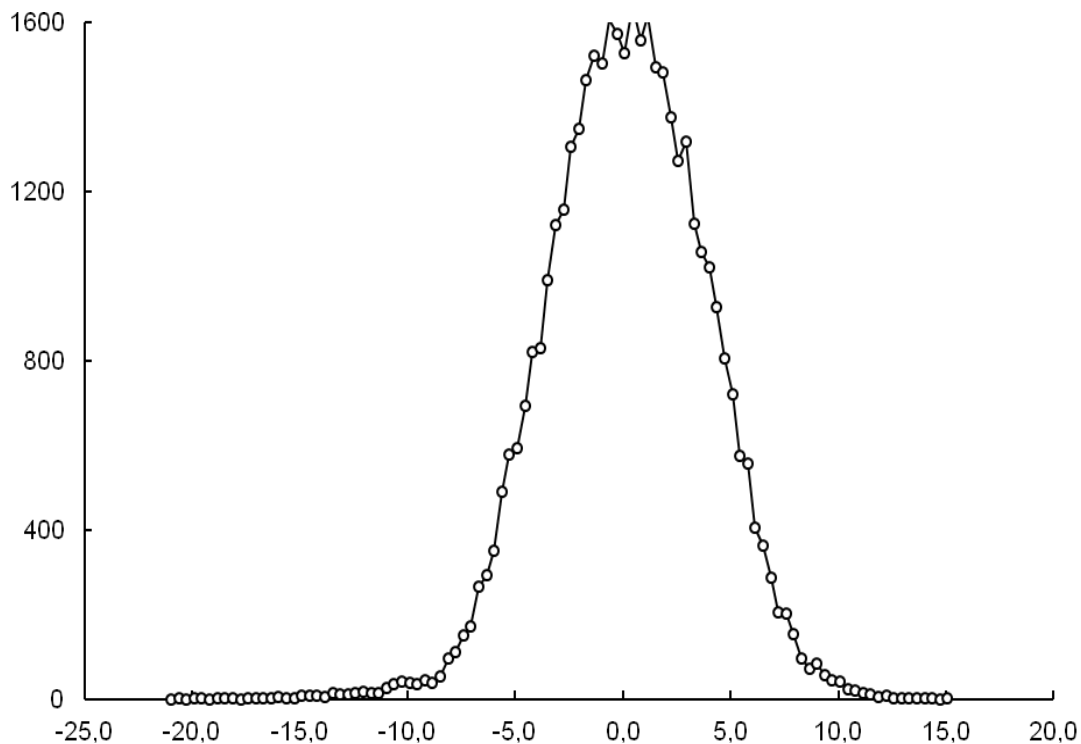


Рисунок 1 - Гистограмма частот аномалий среднесуточных значений температуры воздуха города Базеля с вычтенным линейным тендом и сезонными гармониками (составлено автором)

Анализируя гистограмму можно увидеть, что значений отрицательных температур больше. Это говорит о том, что за рассматриваемый период в городе Базель в изменении среднесуточных значений температуры преобладали похолодания. В ходе анализа ряда были найдены следующие значения основных статистических характеристик:

Среднее значение температуры: $0,000 \pm 0,018 \text{ } ^\circ\text{C}$

Стандартное отклонение: $\sigma(x) = 3,647 \pm 0,013 \text{ } ^\circ\text{C}$

Ассиметрия: $A_s = -0,1582 \pm 0,0120$

Значение асимметрии мало это говорит о том, что медиана гистограммы частот смещена влево относительно моды, что наглядно показано на рисунке 1.

Эксцесс: $E_k = 0,423 \pm 0,0240$

Значение эксцесса говорит об островершинности гистограммы, превышающем значение для нормального распределения.

Проверка совпадения распределения с нормальным критерием Колмогорова. Максимальное по модулю отклонение функции распределения от нормального оказалось равным $D = 0,005885$, что дает для вероятности совпадения распределений достаточно малое значение $P = 0,11$.

В третьем разделе Для определения связи между изменением температуры в городе Базель и различными факторами, была построена автокорреляционная функция:

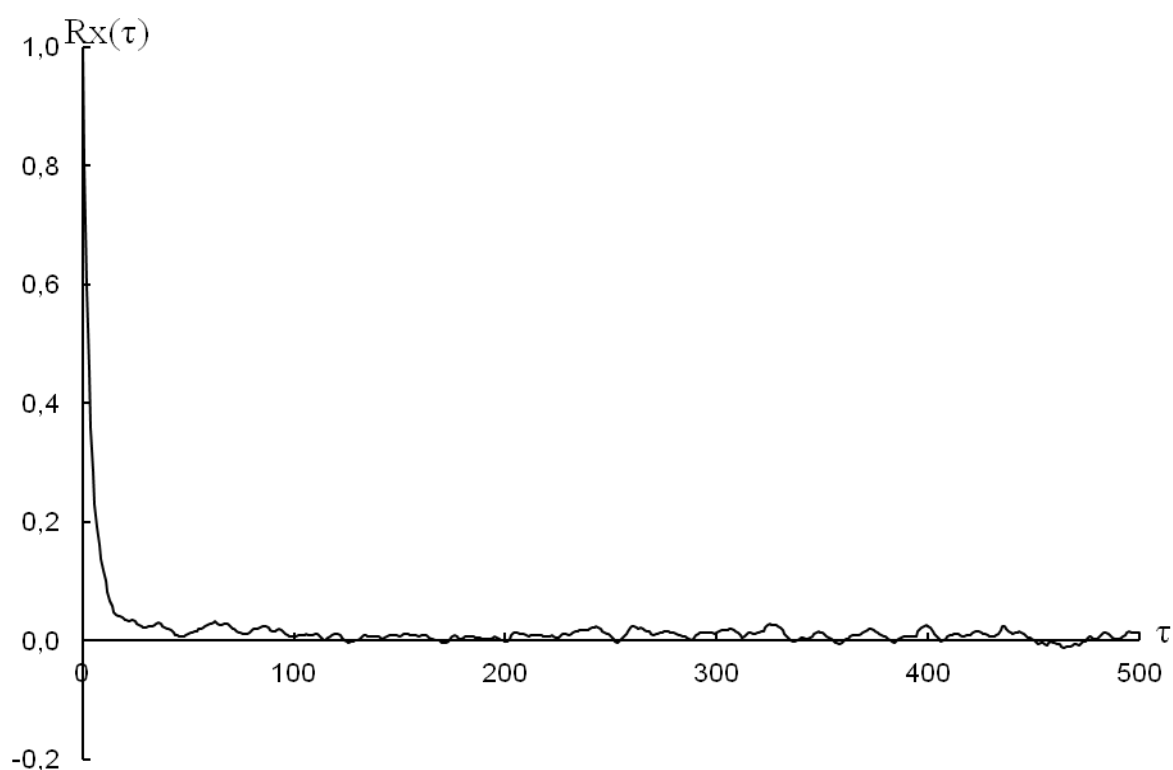


Рисунок 2 – Автокорреляционная функция временного ряда среднесуточных значений аномалий температур с вычтенными сезонными изменениями
(составлено автором)

Анализируя график автокорреляционной функции, можно выявить, что исследуемый временной не оказывают заметного влияния на последующие значения температуры. При больших значениях запаздывания

автокорреляционная функция не стремится к нулю, что может свидетельствовать о наличии в анализируемом ряде периодических составляющих.

Следующим этапом является проведение спектрального анализа - расчета спектров мощности с применением классического варианта спектрального анализа с использованием фурье - преобразования автокорреляционной функции. Определение частот f и периодов T гармоник проводилось по положению вершин соответствующих пиков.

Погрешность оценки периода ΔT определяется по формуле:

$$\Delta T = T^2 \Delta f,$$

где Δf - ширина полосы частот спектрального окна. В нашем случае $\Delta f = 2,667 \times 10^{-4} \text{ сут}^{-1}$. Число степеней свободы спектральной оценки равно $n = 22$. При этом для 90% логарифмического доверительного интервала получается значение $\Delta = 0,44$.

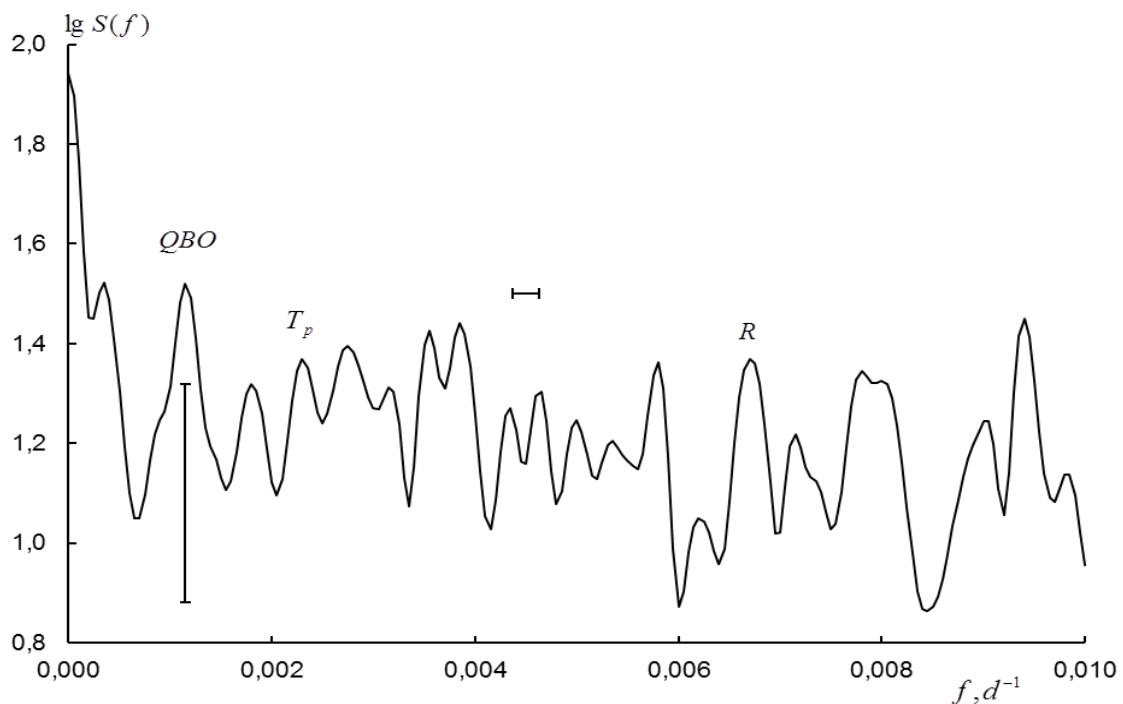


Рисунок 3 – Десятичный логарифм спектра мощности аномалий приземной температуры воздуха в области гармоник с периодами, превышающими 100 суток по данным метеостанций Базель (составлено автором)

На данном графике видны пики скорее всего соответствующие по частотным характеристикам квазидвухлетнему циклу QBO и полюсному приливу T_p . Также пик, связанные с солнечной активностью, периоды которых также имеют довольно незначительные отклонения от точных значений, это гармоника Rc ригеровского цикла. Которые в незначительной степени влияют на распределение температуры, давления и облачности.

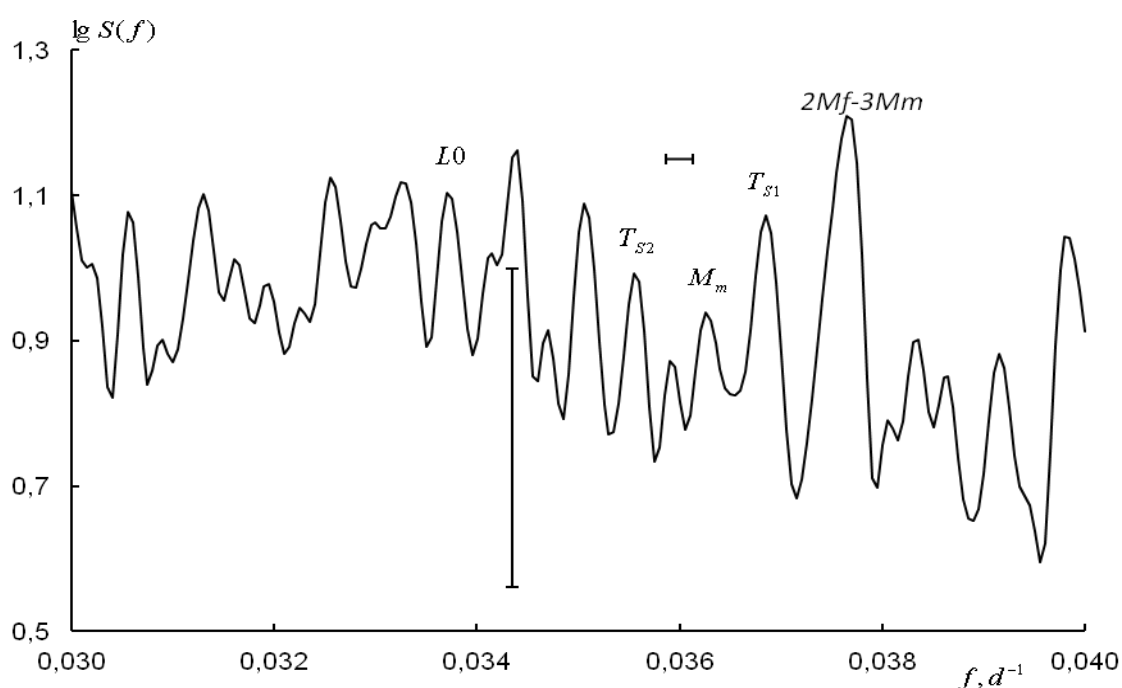


Рисунок 4 – Десятичный логарифм спектра мощности аномалий приземной температуры воздуха в области гармоник с периодами около месяца, по данным метеостанций Базель(составлено автором)

На данном графике видна гармоника $Ts1$, совпадающая с синодическим периодом вращения Солнца, обусловленная наличием активных областей и корональных дыр, существующих в течение нескольких солнечных оборотов. Гармоника с обозначением $Ts2$ обнаружена при исследовании изменений солнечных фотосферных магнитных полей и межпланетного магнитного поля.

Гармоника с периодом синодического месяца Луны L_0 также присутствует в спектрах аномалий температуры. Ее причиной является изменение инсоляции при вращении системы Земля - Луна вокруг общего центра масс. Обнаружены также гармоники, связанные с солнечно-лунными приливами: с месячным периодом M_m и гармоника комбинационной частоты $2M_f - 3M_m$.

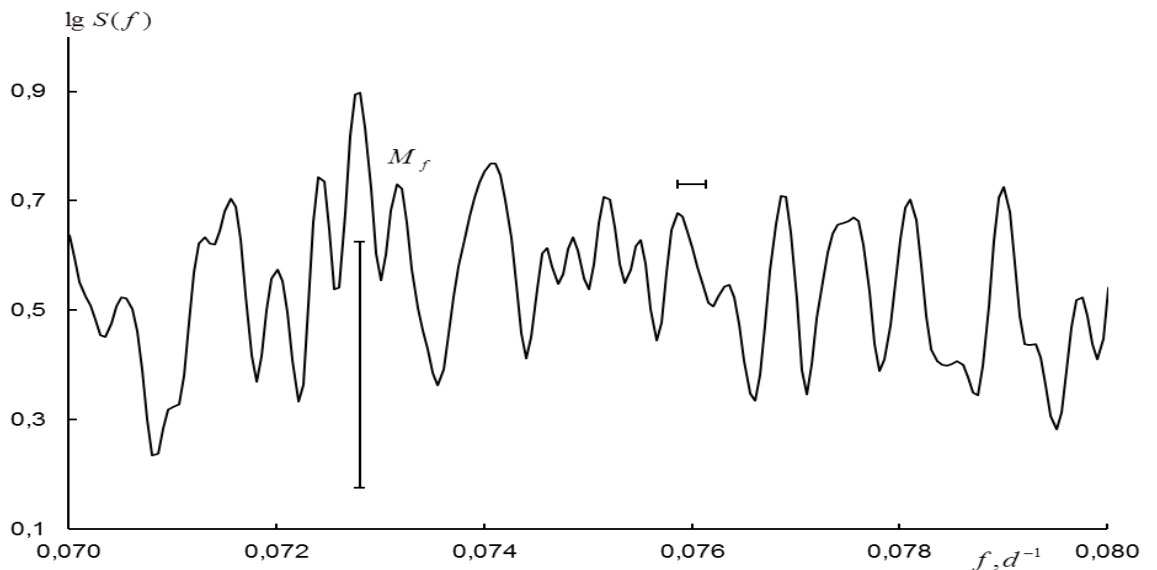


Рисунок 5 – Десятичный логарифм спектра мощности аномалий приземной температуры воздуха в области гармоник с периодами около двух недель, по данным метеостанций Базель(составлено автором)

На данном графике присутствует влияние полумесячная приливная M_f .

Значения данных периодов различных гармоник и сравнение полученных значений с точными значениями периодов изменения космических факторов приведены в таблице

Таблица 1 – Периоды гармоник, обнаруженных в спектре мощности временного ряда аномалий приземной температуры воздуха на метеостанции Базель, и их идентификация (составлено автором)

Номер гармоники	Период гармоники, сут.	Точное значение периода, сут	Идентификация
1	$869,56 \pm 202$	870	<i>QBO</i>
2	$434,78 \pm 50$	433	<i>T_p</i>
3	$150,36 \pm 6,03$	154	<i>R</i>
4	$29,67 \pm 0,24$	29,53	<i>L0</i>
5	$28,08 \pm 0,20$	28,30	<i>T_{s2}</i>
6	$27,54 \pm 0,20$	27,55	<i>M_m</i>
7	$27,09 \pm 0,19$	27,03	<i>T_{s1}</i>
8	$26,52 \pm 0,18$	26,65	$2M_f - 3M_m$
9	$13,66 \pm 0,05$	13,66	<i>M_f</i>

В заключении кратко изложены основные полученные результаты. В ходе статистического анализа долговременного ряда среднесуточных температур воздуха в городе Базель с 1 января 1901 г. по 31 августа 2015 г. обнаружено потепление с темпом $1,26 \pm 0,11$ °С за сто лет.

Проведенный анализ спектра мощности показывает наличие влияния на изменение температуры атмосферы в городе Базеле двух геофизических факторов: квазидвухлетнего цикла *QBO* и полюсного прилива *T_p*. Также найдены гармоники, связанные с солнечной активностью. Гармоника *R* с периодом ригеровского цикла продолжительностью 154 сут. Гармоника *T_{s1}*, совпадающая с синодическим периодом вращения Солнца. Гармоника *T_{s2}* обнаруженная при исследовании изменений солнечных фотосферных магнитных полей и межпланетного магнитного поля.

Гармоника с периодом синодического месяца Луны *L0* также присутствует в спектрах аномалий температуры. Ее причиной является

изменение инсоляции при вращении системы Земля - Луна вокруг общего центра масс.

Обнаружены гармоники, связанные с солнечно-лунными приливами, в том числе полумесячная M_f и месячная M_m гармоники и гармоника комбинационной частоты $2M_f - 3M_m$.

Проведенный анализ показывает, что космические факторы воздействуют на процессы, происходящие в тропосфере и приводящие к изменению погоды и климата на нашей планете.