

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

**Исследование изменений годовых сумм осадков в городе Лондоне**

АВТОРЕФЕРАТ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

Студентки 6 курса 621 группы  
специальности 020602 – Метеорология  
географического факультета  
Кистановой Ангелины Андреевны

Научный руководитель,

д.ф.-м.н \_\_\_\_\_ М.Б. Богданов

Заведующий кафедрой,

д.ф.-м.н \_\_\_\_\_ М.Б. Богданов

Саратов 2016

**Введение.** В последнее время интерес к проблеме климатических изменений не ослабевает не только у ученых, но и у людей далеких от науки, что свидетельствует об актуальности исследований в этом направлении. Представляет интерес анализ этих изменений климата и их последствий для ключевых секторов экономики, а также связанных с ними опасных метеорологических явлений.

Для изучения изменений климата большой интерес представляет анализ временных рядов данных инструментальных измерений метеорологических величин, характеризующих режимы приповерхностной температуры воздуха и количество осадков.

Целями настоящей дипломной работы являются изучение специальной литературы по проблеме изменения климата, возможного влияния факторов солнечной активности на тропосферные процессы и методам прикладной статистики, изучение компьютерных программ расчета автокорреляционных функций и спектров мощности временных рядов. В процессе ее подготовки был проведен статистический анализ временного ряда годовых сумм осадков города Лондона и дана интерпретация полученных результатов.

В качестве исходных материалов для данного исследования использовались данные годовых сумм осадков на территории города Лондона (метеостанция Kew Gardens) в период с 1697 по 1987 год, рассмотрена климатическая характеристика данного города.

Работа состоит из трех глав. Первая – возможное влияние солнечной активности на тропосферные процессы. Вторая – статистический анализ временных рядов. Третья – результаты анализа изменений годовых сумм осадков в городе Лондоне.

**Основное содержание работы.** Главный источник энергии на Земле — солнечное излучение — представляется нам постоянным и неизменным. Однако уже тысячи лет назад люди невооруженным глазом наблюдали изменения на Солнце — появление темных пятен.

Возникновение солнечных пятен связано с действием магнитных сил. Такое усиление магнитного поля замедляет передачу тепловой энергии из центральных областей Солнца к фотосфере и возникают области пониженной температуры (примерно 4500—5000° по сравнению с 6000° к фотосфере). По контрасту с окружающей солнечной поверхностью такие области и выглядят темными пятнами.

Систематизация наблюдений за солнечными пятнами позволила ученым вывести основные статистические законы пятнообразования.

На практике применяются две официальные системы. Первая - боулдерское число солнечных пятен, рассчитывается Центром изучения космической среды NOAA, который использует формулу, предложенную Рудольфом Вольфом в 1848 году.

$$R = k (10g + s) ,$$

где: R – число пятен; g – количество групп пятен; s – сумма одиночных пятен в группах; k – коэффициент, зависящий от принятой методики наблюдений.

Боулдерское число обычно на 25% выше значений второго официального показателя - «Всемирного числа солнечных пятен», публикуемого ежедневно Центром измерения показателя солнечных пятен в Бельгии. Оба показателя рассчитываются по одной формуле, но используют данные разных обсерваторий.

Самое мощное проявление активности Солнца — это так называемые вспышки, происходящие в нижних слоях солнечной атмосферы, и возникающие благодаря быстрому сжатию магнитных полей и разогреванию солнечного вещества.

Сильные вспышки - весьма редкое явление, при котором энергия выделяется в верхней хромосфере или нижней короне, генерируя кратковременное электромагнитное излучение в широком диапазоне длин волн – от жесткого рентгеновского излучения до радиоволн. Поток корпускулярных частиц, испускаемых Солнцем, со средней скоростью около

500 км/сек врезается в магнитное поле Земли, вызывая в нем возмущения и влияя на происходящие на нашей планете процессы.

Замечено, что в годы максимума солнечной активности чрезвычайно усиливается общая циркуляция атмосферы, чаще происходят столкновения теплых и холодных воздушных масс.

Увеличение солнечной активности приводит к усилению солнечного ветра и, соответственно, усилению магнитного поля, что вызывает сокращение интенсивности космических лучей.

Ультрафиолетовые лучи поглощаются почти полностью в высоких слоях атмосферы. Одно из важнейших их свойств — фотохимический эффект. Он и вызывает образование озона на высотах 20—40 км. Ультрафиолетовые лучи — непостоянная часть солнечного излучения (что, однако, практически не сказывается на солнечной постоянной). Резко увеличивается ультрафиолетовое излучение при хромосферных вспышках на Солнце. Это отражается и на воздушных течениях в более низких слоях атмосферы, следовательно, и на погоде.

Известно, что солнечная активность влияет на интенсивность галактических космических лучей (ГКЛ), запуская конденсационный механизм, включающий ионизацию верхнетропосферных воздушных масс (8 - 16 км) такими лучами. Это способствует образованию перистой облачности и усиленному развитию высококучевых облаков, изменяющему альбедо, и создающего условия для интенсификации динамических процессов.

При анализе влияний солнечной активности на климат имеет смысл исследовать спектр циклов колебаний температуры и количества осадков для установления того, насколько подобные циклы превалируют по частоте или амплитуде над общим фоном частот колебаний.

К таким циклам относятся: известный 11-летний (точнее, 11-летний в более ранние и около 10 лет в более поздние годы), 22-летний цикл (двойной 11-летний) магнитных явлений, которому соответствуют местами большие амплитуды колебаний температуры и осадков и, вековой 80—90-летний

цикл. Циклы, близкие к вековым, наблюдаются в полях температуры, осадков и характеристиках атмосферной циркуляции.

Квазидвухлетние колебания - одно из хорошо известных межгодовых атмосферных колебаний, механизмы формирования которых ещё окончательно не выяснены. Квазидвухлетние колебания - яркий пример циклических изменений атмосферы и климата Земли на межгодовых масштабах. Они модулируют планетарные волны и оказывают влияние на атмосферную ситуацию средних широт, воздействуют на процессы генерации и общую циркуляцию озона и других примесей в атмосфере.

Как указывалось выше, исходными данными для исследования являлись значения годовых сумм осадков города Лондона в период с 1697 по 1987 год в соответствии с рисунком 1.1.

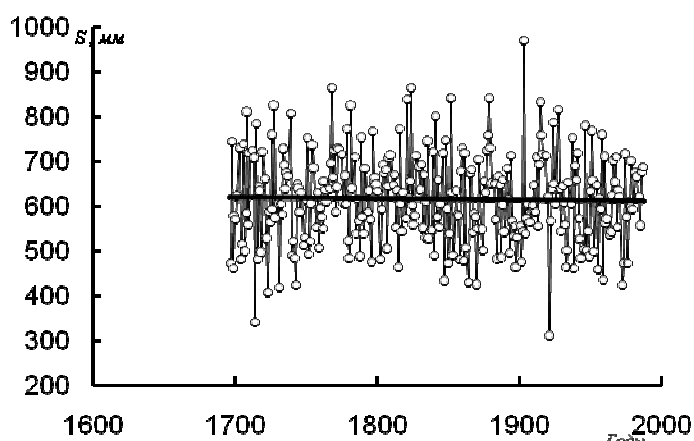


Рисунок 1.1 - Значения годовых сумм осадков города Лондона. По оси абсцисс отложены годы, по оси ординат значения годовых сумм осадков в мм. Сплошной линией показан линейный тренд (составлено автором)

Нами была проведена линейная аппроксимация временного ряда с 1697 по 1987 год прямой линией  $S = at + b$ . Полученные методом наименьших квадратов параметры линейного тренда равны:

$$a = 0,03550 \pm 0,0708 \text{ мм/год}$$

$$b = 620,2 \pm 11,9 \text{ мм}$$

При анализе полученного значения углового коэффициента  $a$  видно, что линейный тренд не является статистически значимым – коэффициент отличается от нуля менее чем на стандартное отклонение.

В данной работе, мы используем временной ряд метеорологических наблюдений, ведущихся с 1697 года. Возможно, что погрешность старых измерений превышает погрешность современных и есть вероятность, что наш ряд статистически не однороден.

Для проверки однородности ряда мы использовали стандартный прием. Ряд был разделен на две части, для каждой из которых находились значения среднеквадратических отклонений, составивших  $\sigma_1 = 101,0$  мм и  $\sigma_2 = 102,1$  мм. Выдвигаем гипотезу о равенстве дисперсий первой и второй части ряда. Применяя критерий Фишера, находим отношение дисперсий по формуле:

$$F_{n_1, n_2} = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} = 1,022$$

где числа степеней свободы  $n_1 = n_2 = 145$ . Для принятого уровня значимости  $\alpha = 0,05$  табличное критическое значение составляет  $F = 1,32$ . Полученное значение отношения дисперсий меньше критического. Таким образом, гипотеза о равенстве дисперсий не может быть отвергнута. Обе части временного ряда можно рассматривать как выборки из одной и той же генеральной совокупности и наш временной ряд может считаться статистически однородным.

Проведен полный статистический анализ временного ряда отклонений значений годовых сумм осадков от линейного тренда, показанного на рисунке 1.1. Все вычисления были проведены на компьютере.

Полученные оценки параметров временного ряда оказались следующими:

$$\text{среднее значение } \bar{X} = -0,001 \pm 5,941 \text{ мм};$$

среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 101,3 \pm 4,2$  мм;

асимметрия  $A = 0,162 \pm 0,142$ ;

эксцесс  $E = 0,098 \pm 0,280$ .

Распределение годовых сумм осадков по градациям графически представлено на рисунке 1.2 в виде гистограммы частот, которая является оценкой плотности вероятности.

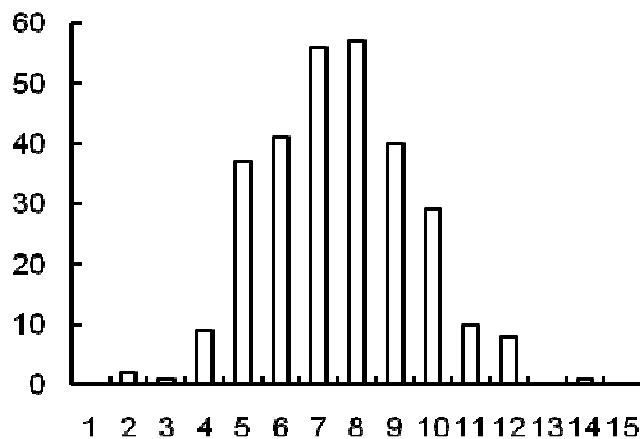


Рисунок 1.2 - Гистограмма частот ряда отклонений значений среднегодовых сумм осадков города Лондона от линейного тренда. По оси абсцисс отложены длины интервалов, а по оси ординат значения вероятностей (составлено автором)

Степень согласия фактического и нормального (гауссовского) распределений была оценена с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Вероятность того, что данное распределение является нормальным с параметрами  $\bar{X} = 0,00$ ,  $\sigma = 101$  мм составляет 0,968 и практически равна единице.

Для изучения возможной связи годовых сумм осадков с солнечной активностью был рассчитан коэффициент линейной корреляции нашего ряда с рядом среднегодовых значений чисел Вольфа. Связь

рассматриваемых временных рядов годовых сумм осадков солнечной активностью представлена на рисунке 1.3.

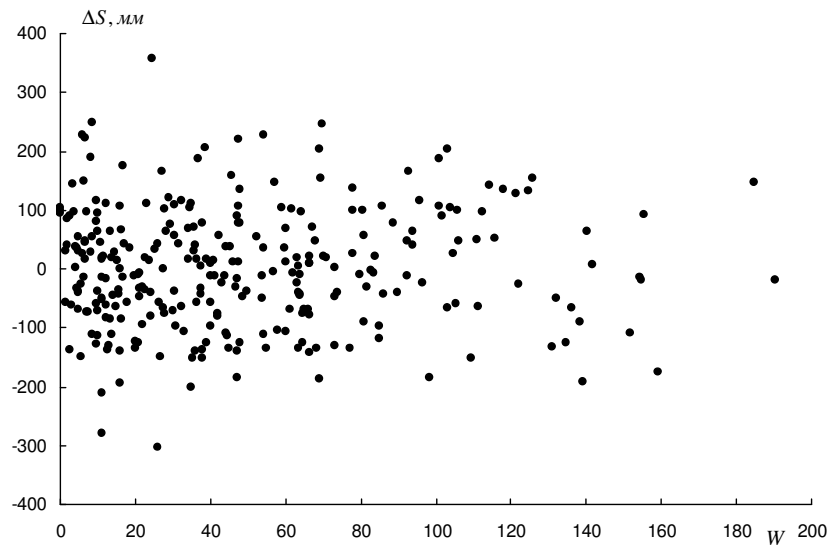


Рисунок 1.3 – Корреляционная диаграмма. По оси абсцисс отложены среднегодовые значения чисел Вольфа, по оси ординат – отклонения среднегодовых сумм осадков от линейного тренда (составлено автором)

Как видно из рисунка, линейной связи рассматриваемых временных рядов с солнечной активностью нет.

Автокорреляционная функция, определяемая выражением:

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t + \tau)dt$$

позволяет проводить поиск во временном ряде возможных периодических составляющих. Рассчитанная нами автокорреляционная функция приведена на рисунке 1.4. Как видно из рисунка, при увеличении сдвига  $\tau$  функция не стремится к нулю, что говорит о возможном присутствии в ряде периодических составляющих.



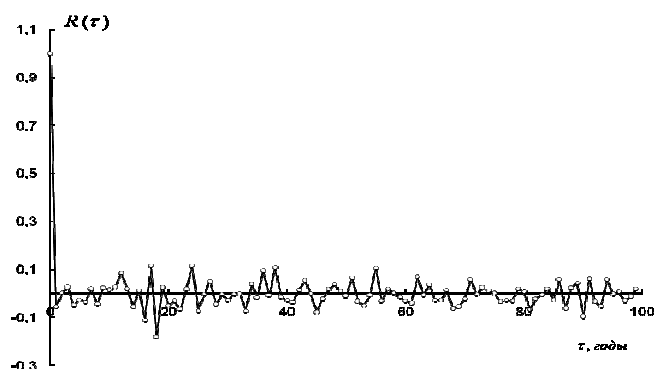


Рисунок 1.4 - Автокорреляционная функция ряда отклонений значений годовых сумм осадков города Лондона от линейного тренда. По оси абсцисс отложены годы, по оси ординат значения отклонений ряда от линейного тренда (составлено автором)

Пики на рисунке 1.5, выходящие за границы доверительного интервала, могут свидетельствовать о наличии в изменениях годовых сумм осадков города Лондона периодических составляющих. Проведен анализ некоторых из этих пиков.

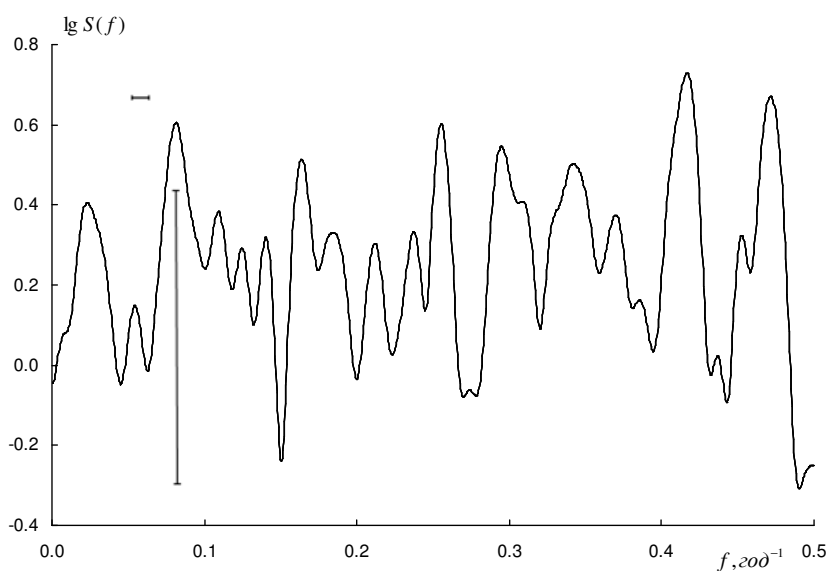


Рисунок 1.5 - График логарифма спектра мощности отклонений значений годовых сумм осадков города Лондона от линейного тренда. По оси абсцисс отложены значения частот, а по оси ординат значения отклонений годовых сумм осадков (составлено автором)

В таблице 1.1 представлены результаты анализа спектра годовых значений сумм осадков города Лондона. Для выявленных пиков оценены частоты и периоды колебаний. В соответствии с этими значениями в последнем столбце таблицы приведены возможные отождествления.

Таблица 1.1 - Данные анализа спектра мощности годовых сумм осадков города Лондона (составлено автором)

Номер пика	Частота $f$ , год <sup>-1</sup>	Период $T$ , годы	Возможное отождествление
1	0.0260	$38.5 \pm 19.76$	
2	0.0830	$12.05 \pm 1.93$	Одиннадцатилетний цикл
3	0.165	$6.06 \pm 0.49$	
4	0.345	$2.89 \pm 0.11$	
5	0.418	$2.39 \pm 0.076$	Квазидвухлетний цикл
6	0.474	$2.11 \pm 0.006$	

В результате проведенного анализа в спектре мощности временного ряда обнаружены проявления 11-летнего цикла солнечной активности и квазидвухлетнего цикла земной атмосферы. Таким образом можно сделать вывод, что связь годовых сумм осадков города Лондона с солнечной активностью существует, но она является не линейной, а другой, более сложной.

**Заключение.** В ходе выполнения данной дипломной работы была изучена специальная литература по проблеме влияния факторов солнечной активности на тропосферные процессы и методам прикладной статистики, проведено изучение компьютерных программ расчета автокорреляционных функций и спектров мощности временных рядов. Для изучения долговременных изменений климата нами был проанализирован ряд годовых

сумм осадков города Лондона с 1697 по 1987 год. Рассмотрены также и характеристики современного климата этого города. Анализ возможности присутствия во временном ряде линейного тренда показал, что его угловой коэффициент статистически значимо не отличается от нуля. Поэтому можно сделать вывод, что не было значимых изменений количества осадков города Лондона на протяжении почти 300 лет.

В дальнейшем был проведен анализ ряда отклонений значений годовых сумм осадков города Лондона от линейного тренда. С помощью критерия Фишера была проверена статистическая однородность анализируемого ряда и показано, что он является статистически однородным.

Обработка ряда отклонений от линейного тренда позволила получить следующие значения статистических характеристик: среднее значение  $\bar{x} = -0,001$  5.941 мм, стандартное отклонение  $\sigma = 101.0$  мм, асимметрия  $A = 0.162$  0,142 и эксцесс  $E = 0.098$  0.028.

Построенные гистограмма и полигон частот ряда отклонений от линейного тренда дают оценку плотности вероятности распределения. Проверка совпадения распределения ряда с нормальным, проведенная с помощью критерия Колмагорова – Смирнова, показала, что вероятность нормальности распределения велика и равна 0.968. Это говорит о том, что распределение практически является нормальным, а следовательно можно сделать заключение, что осадки в городе Лондоне зависят от большого числа разных факторов, ни один из которых не превалирует.

Коэффициент линейной корреляции ряда годовых сумм осадков с рядом чисел Вольфа равен  $0,022 \pm 0,059$  и является статистически незначимым, что свидетельствует об отсутствии какой-либо простой линейной связи рассматриваемых временных рядов. Отсутствие линейной корреляции говорит о том, что факторы солнечной активности, по-видимому, не оказывают заметного влияния на циклонические процессы, определяющие влажность климата данного географического пункта.

Рассчитанная автокорреляционная функция ряда отклонений от линейного тренда при увеличении  $\tau$  не стремится к нулю, что говорит о возможном присутствии в ряде периодических составляющих.

В спектре мощности ряда годовых сумм осадков города Лондона были обнаружены пики, свидетельствующие о возможном присутствии периодических составляющих. В частности, наблюдается пик в пределах погрешности совпадающий с 11-летним циклом солнечной активности и пик с периодом  $2,39 \pm 0,076$  года, соответствующий квазидвухлетнему циклу. Наличие проявления 11-летнего цикла при отсутствии простой линейной связи говорит нам о том, что связь годовых сумм осадков города Лондона с солнечной активностью существует, но она является не линейной, а другой, более сложной.