

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 среднегодовых температур города Берна

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студенки 4 курса 411 группы

направления 050305 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Силантьевой Анны Николаевны

Научный руководитель

профессор, д.ф.-м.н

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

М.Б. Богданов

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

М.Б. Богданов

инициалы, фамилия

Саратов 2016

Введение. Представлена актуальность рассматриваемого вопроса и сформулированы основные цели бакалаврской работы. Проблема изучения долговременных изменений приземной температуры воздуха зависит от определения факторов оказывающих воздействие на изменение климата. Для проведения оценки изменения климата применяют методы математической статистики.

Основным фактором, влияющим на температуру данного географического пункта, является угол падения солнечных лучей. Однако нельзя исключать и влияние других факторов, таких как циркуляция воздушных масс, влияние подстилающей поверхности, орографии и возможное влияние солнечной активности.

Возможность влияния солнечной активности на погоду и климат привлекает внимание исследователей уже более сотни лет, но до настоящего времени достоверные механизмы такого влияния еще не предложены. Большое значение для решения этой проблемы имеет анализ долговременных рядов инструментальных измерений атмосферных характеристик.

Основные цели данной выпускной квалификационной работы:

- анализ литературы, посвященной факторам, влияющим на изменение приземной температуры;
- проведение статистической обработки временного ряда среднегодовых значений температуры города Берн, измеренных в период с 1864 по 2014 г., для поиска долговременных тенденций и особенностей динамики изменения этой характеристики на протяжении 150 лет;
- определение возможных периодических составляющих в изменении температуры, связанных с солнечной активностью, атмосферными процессами и климатическими колебаниями.

В первом разделе. Перечислены основные факторы, влияющие на изменение приземной температуры географических пунктов.

Влияние широты места определяется углом падения солнечных лучей и неравномерностью прогрева Земли. При положении Солнца в зените его лучи,

проходят минимальное расстояние в атмосфере, при этом отдают больше энергии единичной площади. При движении от экватора к полюсам, угол падения солнечных лучей уменьшается.

Влияние изменений солнечной постоянной зависит от количества приходящей на Землю радиации, которая в свою очередь определяется изменением расстояния между Землей и Солнцем, в результате движения Земли по эллиптической орбите и изменением солнечной активности.

При изучении факторов влияющих на изменение температуры часто рассматривают влияние солнечной активности. Их воздействие на состояние нижней тропосферы до конца не изучено. Ученые утверждают, что факторы солнечной активности модулируют поступление космических лучей солнечного и галактического происхождения, которые в свою очередь воздействуют на процессы в тропосфере. Интенсивность потока космических галактических лучей снижается при уменьшении солнечной активности.

Влияние общей циркуляции атмосферы охватывает ряд крупномасштабных движений: западный перенос масс воздуха, как в тропосфере, так и стратосфере; циркуляцию воздуха в системе внетропических циклонов и антициклонов, которая воздействует на межширотный воздухообмен; связанную с системой циклонов и антициклонов муссонную циркуляцию. Одной из характеристик общей циркуляции атмосферы является Североатлантическое колебание. Оно определяется как разность значений давления исландского минимума и азорского максимума и соответствует колебаниям интенсивности западного переноса воздушных масс.

Квазидвухлетние колебания атмосферы это стабильное несезонное колебание атмосферной циркуляции, то есть вблизи экватора в слое от 18 до 35 км направление зонального ветра изменяется с периодом около 26 месяцев. Анализ квазидвухлетней цикличности приповерхностной температуры выявил связь интенсивности квазидвухлетних колебаний и амплитуды годового хода температуры.

Также в работе рассмотрены влияния других климатических факторов на изменение температуры, таких как: характер подстилающей поверхности, влияние морских течений, влияние орографии, растительного покрова. Глобальный климатический индекс, рассчитанный на показаниях изменения подстилающей поверхности – индекс атлантического мультидекадного колебания. Индекс характеризует изменение температуры поверхности океана в Северной Атлантике. Цикл АМО заключается в изменении циркуляций между северной и южной Атлантикой, происходит перемещение водных масс и тепла.

Во втором разделе. Описаны статистические методы, применяемые в обработке метеорологической информации. Даны основные определения характеристик временного ряда. Приведены основные расчетные формулы. Описан метод оценки близости фактического распределения к теоретическому, с использованием критерия согласия Колмогорова. Проанализированы корреляционный, автокорреляционный и спектральный анализы временных рядов.

В третьем разделе. Мы применили, рассмотренные ранее методы, для анализа временного ряда среднегодовых значений температуры в городе Берн и получили следующие результаты.

Максимальное значение среднегодовой температуры наблюдалось в 2011 году, когда она составила 10,12 °С. Минимальное значение среднегодовой температуры, равное 5,72°С, зафиксировано в 1879 году. Амплитуда среднегодовых температур города Берна равна 4,4 °С.

На рисунке 1 видно, что в изменениях температуры присутствуют линейный тренд, связанный с глобальным потеплением климата.

С помощью метода наименьших квадратов нами были определены параметры линейного тренда среднегодовых значений температуры. Значение b - исходный уровень временного ряда в значении времени $t = 0$, a - угловой коэффициент прямой.

Найденные значения параметров оказались равными:

$$a = 0,01218 \pm 0,00120 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}, \quad b = 6,914 \pm 0,104 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

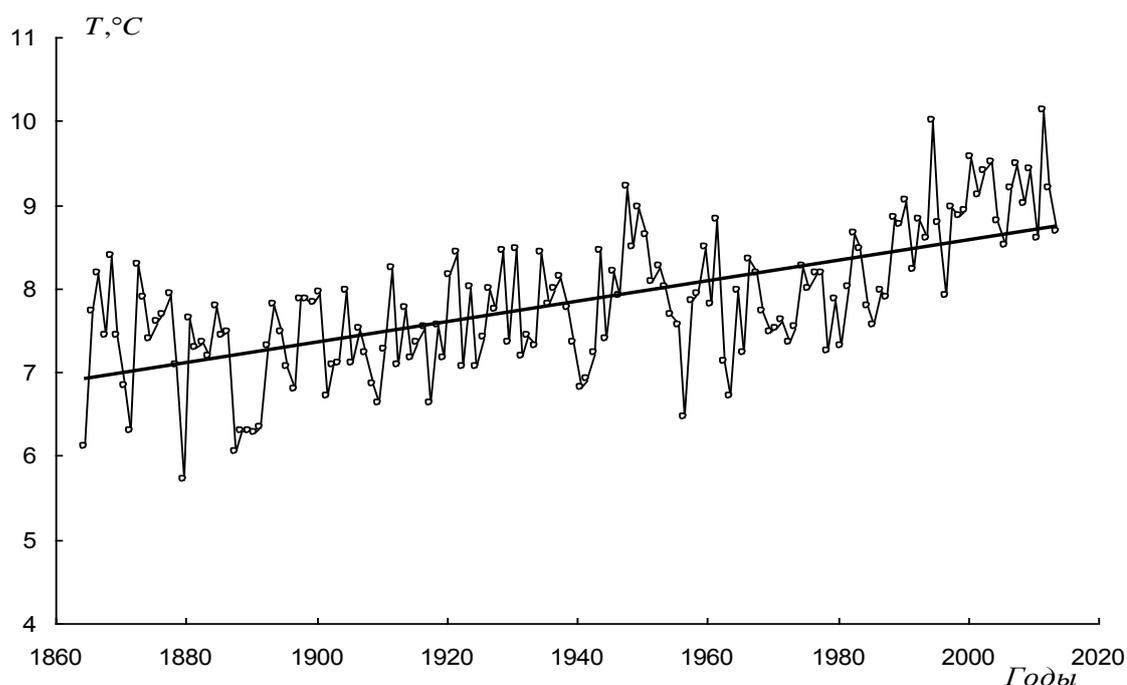


Рисунок 1 - Среднегодовое значение температуры города Берн. Прямой линией показан линейный тренд изменения температуры (составлено автором)

Сравнивая коэффициент a и его погрешность можно сделать вывод, что они различаются на 10σ . Это означает, что наличие линейного тренда статистически значимо. Следовательно, за 100 лет среднегодовая температура города Берн изменилась на $1,22\text{ }^{\circ}\text{C}$, что больше величины глобального потепления которое, по данным МГЭИК, составляет $0,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ за период 1880 – 2012 гг. (90% доверительный интервал $[0,65\text{--}1,06]\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Прежде чем искать параметры распределения ряд проверили на статистическую однородность. Мы разделили ряд на две равные части и с помощью критерия Фишера мы проанализировали каждую из выборок. Рассчитав для каждой выборки стандартное отклонение, мы получили следующие значения критерия Фишера равное 1,14.

Поскольку полученное значение критерия Фишера меньше критического, гипотезу о равенстве дисперсий нельзя отвергать и ряд можно считать статистически однородным.

Основными статистическими характеристиками являются среднее значение, стандартное отклонение, асимметрия и эксцесс. Для ряда отклонений среднегодовых значений температуры от линейного тренда генеральной совокупности величина среднего значения будет равна: $\bar{x} = 0,0 \pm 0,052^\circ\text{C}$. Значение стандартного отклонения равно: $\sigma = 0,632 \pm 0,036^\circ\text{C}$.

Параметры, связанные с моментами более высокого порядка - асимметрия и эксцесс, характеризуют отличие распределения от нормального. Асимметрия распределения значений данного временного ряда мала и равна $-0,308 \pm 0,196$, это говорит о том, что вершина гистограммы частот будет незначительно смещена вправо относительно центра, что наглядно показано на рисунке 2, на котором приведена построенная гистограмма частот. Значение эксцесса $Ek = -0,473 \pm 0,381$. Если значение эксцесса отрицательно, то график плотности вероятности, более сглаженный по сравнению с нормальным распределением.

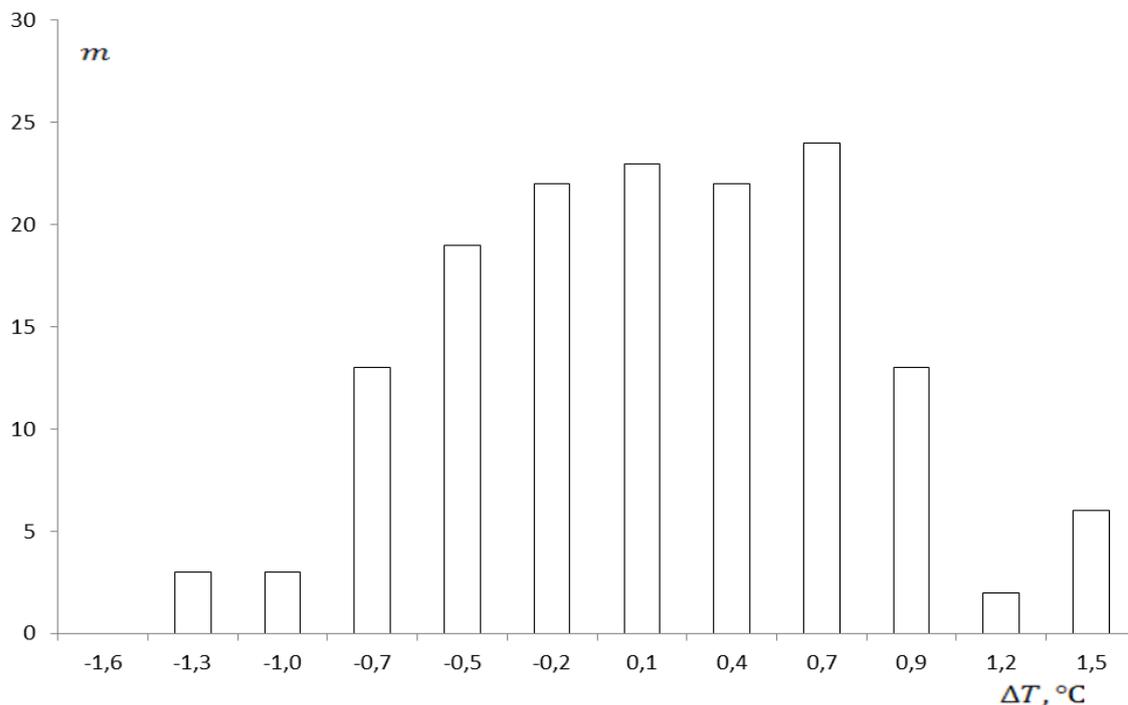


Рисунок 2 - Гистограмма частот ряда отклонений среднегодовых значений температур города Берн от линейного тренда (составлено автором)

Максимальное по модулю отклонение функции распределения от нормального оказалось равным $D = 0,052$, что по критерию Колмогорова дает для вероятности совпадения распределений достаточно большое значение $P = 0,811$. Таким образом, вероятность того, что данное распределение является нормальным, практически равна единице. Так как распределение близко к нормальному можно утверждать, что на изменения температуры в городе Берн влияют много факторов, ни один из которых не превалирует.

Для оценки возможной связи между изменением температуры и относительным числом солнечных пятен – числом Вольфа использовался выборочный коэффициент линейной корреляции. Его значение составило $0,055 \pm 0,081$ и статистически значимо не отличается от нуля. Это свидетельствует о том, что простая линейная связь между рядами отсутствует.

Выборочный коэффициент линейной корреляции между рядом среднегодовых значений температуры с вычтенным линейным трендом и рядом среднегодовых значений индекса равен $0,272 \pm 0,076$ и отличается от нуля на величину, превышающую 3σ . Это отличие от нуля статистически значимо и свидетельствует о наличии линейной связи между двумя рядами. Следовательно, между изменением температуры в городе Берн и индексом Североатлантического колебания наблюдается положительная корреляционная связь.

Рассчитанный коэффициент линейной корреляции между рядом среднегодовых значений температуры с вычтенным линейным трендом и рядом значений индекса мультидекадного атлантического колебания составил $0,168 \pm 0,079$ и отличается от нуля на величину, превышающую 2σ . Это свидетельствует о наличии положительной линейной связи между двумя рядами. Следовательно, наблюдается корреляционная связь между изменением температуры в городе Берн и индексом атлантического мультидекадного колебания.

Анализ автокорреляционной функции ряда аномалий среднегодовых значений температур показал, что при максимальном сдвиге в 25 лет, функция

не стремится к нулю, следовательно в ряде могут присутствовать периодические составляющие.

Так же был проведен спектрального анализа с расчетом спектра мощности $S(f)$ путем фурье – преобразования автокорреляционной функции. При числе отсчетов ряда 150 и выбранном максимальном сдвиге автокорреляции, равным 25, ширина спектрального окна сглаженной оценки спектра $\Delta f = 0,0267 \text{ год}^{-1}$. Число степеней свободы равно 16, а длина 90% -го логарифмического доверительного интервала составляет 0,519. График логарифма спектра мощности в диапазоне частот f от нуля до максимальной частоты Найквиста 0,5 , построенный по 1001 расчетной точке, приведен на рисунке 2. Вертикальным отрезком на этом рисунке показан логарифмический доверительный интервал, равный 0,519. Горизонтальным отрезком показана ширина спектрального окна, равная 0,053, характеризующая разрешающую способность по частоте.

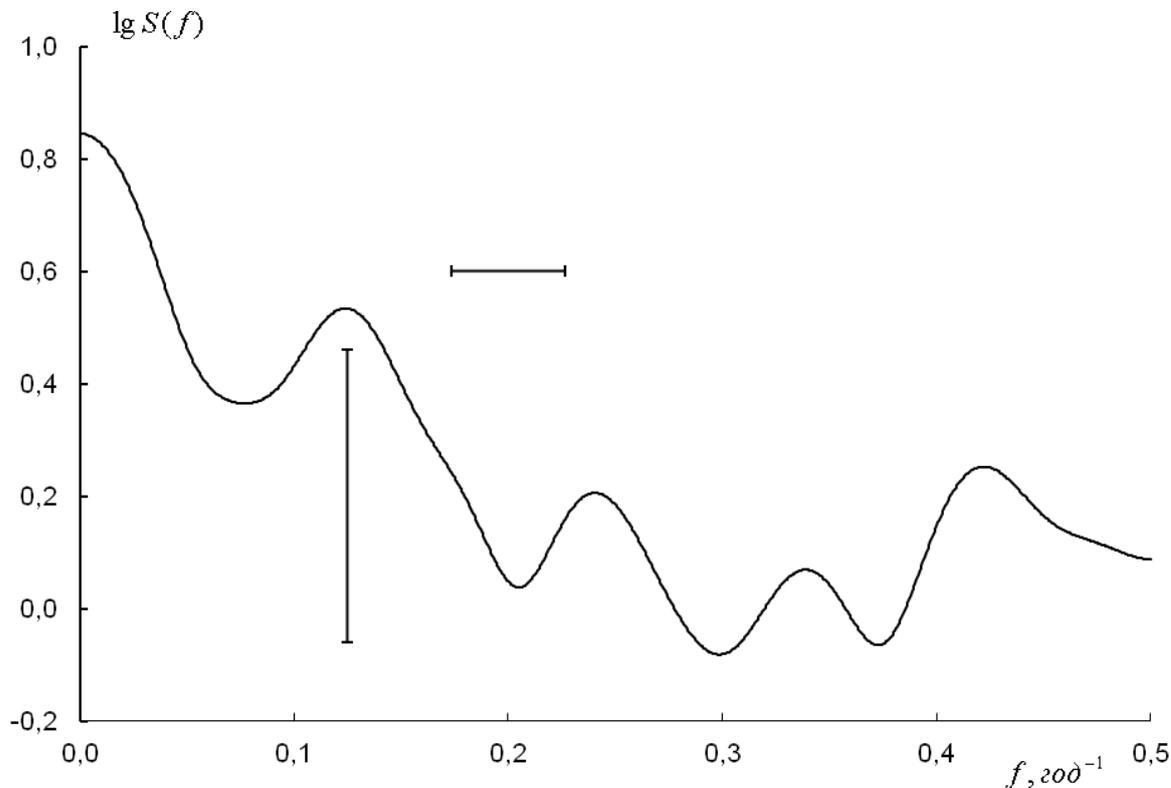


Рисунок 2 – График спектра мощности (составлено автором).

Как известно, площадь какого-либо пика в спектре мощности равна вкладу колебания на данной частоте в общую дисперсию временного ряда. Пик номер четыре с частотой $0,421 \text{ год}^{-1}$ и периодом $2,38 \pm 0,15$ года скорее всего соответствует квазидвухлетнему циклу. Как уже говорилось выше, с этим циклом изменяются направление и скорости ветра в экваториальной стратосфере Земли, что влияет на распределение озона, температуры, давления и облачности.

Заключение. Перечислены основные результаты выпускной квалификационной работы. Показано, что главными причинами изменения температуры воздуха считаются: изменение угла падения солнечных лучей, влияние общей циркуляции атмосферы, орографии и особенностей подстилающей поверхности. Нельзя исключить также возможное влияние на изменения приземной температуры солнечной активности.

В результате статистического анализа среднегодовых значений температуры воздуха города Берн выявлена долговременная тенденция роста температур и особенности динамики изменения этой характеристики на протяжении 150 лет. В анализируемом ряде обнаружен статистически значимый линейный тренд. За 100 лет температура города Берна повысилась на $1,22 \text{ }^\circ\text{C}$, это больше величины глобального потепления которое, по данным МГЭИК, равно $0,85 \text{ }^\circ\text{C}$ за период 1880–2012 гг. (90% доверительный интервал составляет $[0,65–1,06] \text{ }^\circ\text{C}$).

Проверка статистической однородности ряда отклонений среднегодовых значений температуры от линейного тренда по критерию Фишера показала, что ряд можно считать статистически однородным. Значение стандартного отклонения данного ряда равно: $\sigma = 0,632 \pm 0,036 \text{ }^\circ\text{C}$, что свидетельствует о сравнительно малом разбросе температуры относительно среднего значения.

Построенная гистограмма частот демонстрирует близость распределения к нормальному. Это подтверждают и значения асимметрии и эксцесса - они статистически значимо не отличаются от нуля. Проверка согласия по критерию

Колмогорова показала, что вероятность совпадения распределения с нормальным близка к единице и равна 0,811. Из этого можно сделать вывод, что на изменение температуры города Берн влияет множество факторов, не один из которых не является превалирующим.

Для выявления возможного влияния солнечной активности на изменение температуры, нами была проведена оценка корреляционной связи аномалий значений температур с рядом среднегодовых значений чисел Вольфа. Рассчитанный коэффициент линейной корреляции $0,055 \pm 0,081$ статистически значимо не отличается от нуля и простой линейной связи между рядами не наблюдается.

При проведении оценки корреляционной связи между рядом аномалий температуры и индексом Североатлантического колебания значение коэффициента линейной корреляции составило $0,272 \pm 0,076$. Связь считается статистически значимой, так как коэффициент линейной корреляции отличается от нуля на величину, превышающую 3σ , что свидетельствует о наличии линейной связи между двумя рядами.

Анализ корреляционной связи между среднегодовыми значениями температуры с вычтенным линейным трендом и рядом значений индекса атлантического мультидекадного колебания показал наличие линейной связи. Так как значение коэффициента корреляции равно $0,168 \pm 0,079$, статистически значимо отличается от нуля на величину 2σ .

Анализ автокорреляционной функции показал, что при больших значениях запаздывания эта функция не стремится к нулю, что подтверждает наличия в анализируемом ряде периодических составляющих.

Проведенный анализ спектра мощности временного ряда аномалий среднегодовых значений температур позволил обнаружить присутствие в нем возможных периодических составляющих. В частности, в спектре ряда были найден пик с периодом $2,37 \pm 0,15$ года, который в пределах погрешности совпадает с квазидвухлетним циклом земной атмосферы.