

місцевості, але й зміни її соціокультурної функції, пов'язаної з природним підживленням демографічних процесів в межах регіону.

Джерела та література

1. Джаман В.О. До проблеми територіальних особливостей демографічних процесів в Україні // Український географічний журнал. – 1998. – № 3. – С.13–17
2. Демографічна ситуація Кіровоградської області у 2005 році. Кіровоград: Головне управління статистики у Кіровоградській області, 2006. – 25с.
3. Заставний Ф. Всеукраїнський перепис населення 2001 р. : аналіз і оцінка // Географія та основи економіки в школі. – 2003. – № 2. – С. 34–39.
4. Заставний Ф. Демографічна ситуація в Україні // Географія та основи економіки в школі. – 2004. – № 1. – С. 39–40.
5. Заставний Ф.Д. Населення України. – Львів: „Край”, „Провіта”, 1993.–224 с.
6. Курач Т. М. Методика картографування динаміки населення // Український географічний журнал. – 2001. – № 4.– С.29–33.
7. Основи демографії: Посібник для студентів гуманітарних і суспільних факультетів вищих навчальних закладів / І.М. Прибиткова. – К.: „АртЕк”,1995. – С. 28.
8. Рогожин Г., Рогожин О. Демографічний розвиток українського села: регіональний аналіз / Демографічні дослідження. Вип. 20. – К.: Наук. думка,1998. – С. 158–181.
9. Романцов В.О. Українці на одвічних землях (XVIII– поч. XXI ст.) – 2-ге вид. – К.: Видавництво імені Олени Теліги, 2005. –С.113–116.
10. Романюк М. Трудові міграції регіону та особливості їх регулювання за умов перехідної економіки (на прикладі Галиччини) / Демографічні дослідження. Вип. 20. – К.: Наук. думка,1998. – С. 194–209.
11. Рубліков А. Деякі тенденції демографічних процесів у сільській місцевості Карпатського регіону України / Демографічні дослідження. Вип. 20. – К.: Наук. думка,1998. – С. 182–193.
12. Статистичний щорічник за 2000 рік. Кіровоград: Кіровоградське обласне управління статистики, 2001. – С. 219–241.
13. Статистичний щорічник за 2001 рік. Кіровоград: Кіровоградське обласне управління статистики, 2002. – С. 285–295.
14. Статистичний щорічник за 2002 рік. Кіровоград: Кіровоградське обласне управління статистики, 2003.– С. 303–353.
15. Топчів О.Г., Куделіна С.Б., Яворська В.В. Геодемографічний процес: зміст і функції поняття// Український географічний журнал. – 2000. – № 2. – С.25–27.
16. Топчів О.Г. Основи суспільної географії: Навчальний посібник. – Одеса: Астропринт, 2001. – 560 с.
17. Фащевський М.І. Геодемографічна ситуація в Україні // Сучасні проблеми географії населення в Україні. – Луцьк, 1993. – С. 118–120.
18. Формування адміністративно-територіального устрою Кіровоградської області: Наукова довідка провідного наукового співробітника відділу охорони пам'яток історії та культури обласного краєзнавчого музею К. Шляхового. – Кіровоград, 1998. – 13 с.

Холопцев А.В.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ В ПЕРИОД С 1856 ПО 2005 ГОДЫ СРЕДНЕГОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ АНОМАЛИЙ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД СЕВЕРНЫМ ПОЛУШАРИЕМ ЗЕМЛИ И ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

Введение. Согласно современным представлениям о факторах динамики геосферы [1], к числу важнейших относится среднегодовое значение средней температуры воздуха в приземном слое атмосферы над Северным полушарием планеты. Закономерности временной изменчивости этого фактора определяются динамикой различных компонентов теплового баланса приземного слоя атмосферы [2–3]. Одним из таких компонентов является поток тепловой энергии от слоев атмосферы, в которых происходит поглощение солнечной и уходящей длинноволновой радиации [4–5].

В формировании этого потока принимает участие и процесс поглощения в озоновом слое коротковолновых составляющих спектра солнечной радиации, интенсивность которых существенно зависят от состояния солнечной активности [6–9]. Последнее позволяет предполагать, что изменения состояния солнечной активности способны в какой-то мере влиять на динамику рассматриваемого процесса. В пользу справедливости подобного предположения свидетельствуют многочисленные работы [10, 11], в которых рассматриваются статистические связи с изменениями солнечной активности характеристик некоторых процессов в живой и неживой природе нашей планеты (в том числе и изменений среднегодовых температур воздуха в некоторых регионах Северного полушария [12]), от начала XX века до наших дней [13–16]).

Вместе с тем, известны факты, позволяющие сомневаться в значимости влияния на динамику поля температуры в приземном слое атмосферы солнечной активности [17, 18] и даже отрицать ее [19, 20].

Основанием для подобных утверждений в отношении синоптических процессов, является то, каких либо устойчиво– повторяющихся связей их характеристик с солнечной активностью не выявлено. Справедливость их в отношении процессов, относящиеся к интервалу климатической изменчивости[21], не столь очевидна, поскольку закономерности связи их характеристик с изменениями солнечной активности изучены недостаточно.

Известно[6, 9, 10], что в указанном интервале спектр изменчивости характеристик солнечной активности содержит две гармоника, с периодами близкими к 11 и 22 годам.

Учитывая изложенное, целью данной работы является изучение закономерностей влияния временной изменчивости этих составляющих спектра солнечной активности на динамику энергетических спектров изменчивости среднегодовых значений средних температур воздуха в приземном слое атмосферы над Северным полушарием планеты в интервале климатической изменчивости.

Методика и фактический материал

Для достижения данной цели изучались и сопоставлялись энергетические спектры среднегодовых значений одной из характеристик солнечной активности, а также средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием планеты, рассчитанных в скользящих окнах одинаковой длины.

Количественными характеристиками состояния солнечной активности являются ее различные индексы, к числу которых относится и относительное число Вольфа [10,22]. Инструментальные измерения значений числа Вольфа ведутся непрерывно, начиная с 1749 года. В результате имеющийся временной ряд значений этого индекса имеет максимальную длину. Это и определило выбор его для последующего рассмотрения.

Наблюдения за изменениями значений относительного числа Вольфа ведутся на многих астрономических обсерваториях планеты, а их результаты представлены в Интернете. Их примером является база данных об изменениях среднемесячных значений этого числа за период с января 1749 г по сентябрь 2006 г, представленная на сайте Пулковской государственной астрономической обсерватории (Российская Федерация)– nag.@gao.spb.ru.

Закономерности временной изменчивости среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием изучают [22–24] за период с 1856 г, когда метеорологические обсерватории открылись на большинстве материков планеты и их число стало достаточно большим.

Установлено, что тренд временного ряда среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием за весь этот период являлся положительным (преобладала тенденция к потеплению).

Информация о временной изменчивости аномалий среднемесячных значений средних температур воздуха в приземном слое атмосферы над Северным полушарием планеты за период с января 1856 г по октябрь 2006 года представлена в Интернете (сайты kenjisan@udel.edu, dss.ucar.edu)

Основываясь на указанных временных рядах среднемесячных температур и среднемесячных значений числа Вольфа, были вычислены соответствующие временные ряды среднегодовых значений, представленные на рис. 1.

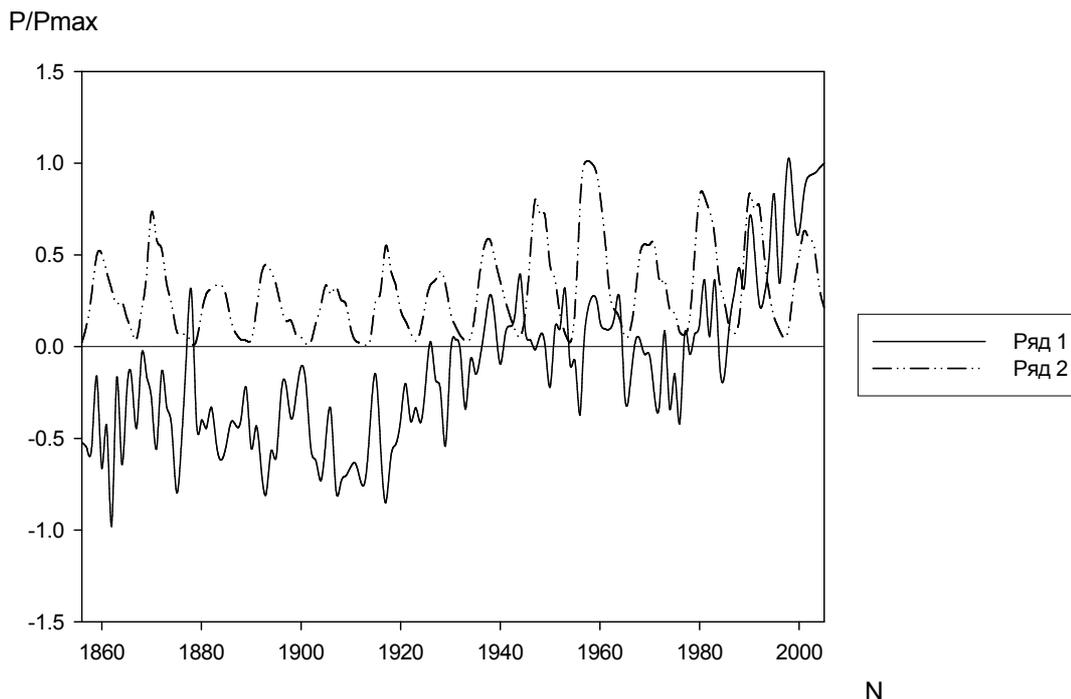


Рис.1. Нормированные к соответствующим максимальным значениям (P max) зависимости от времени (N[годы]) среднегодовых значений аномалий средней температуры приземного слоя атмосферы над Северным полушарием (ряд 1), а также чисел Вольфа (ряд 2), рассчитанные по данным kenjisan@udel.edu, dss.ucar.edu и nag.@gao.spb.ru.

Как видим из рис.1, обе зависимости представляют собой сложно осциллирующие функции времени. Во временном ряду, отображающем динамику аномалий средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием, отчетливо видны периоды первичного и вторичного потепления (приходящиеся соответственно на 1916–1946 годы, а также с 1976 г и до настоящего времени). Нетрудно видеть также, что в период ориентировочно до 1920 года представленные на этом рисунке кривые изменяются практически в противофазе. Позже эта закономерность не проявляется.

Члены временного ряда среднегодовых значений аномалий средней температуры отличается от соответствующих членов временного ряда среднегодовых значений средней температуры на постоянную величину (значение средней температуры приземного слоя атмосферы Северного полушария, зафиксированное в 1968 году). В итоге спектральный анализ соответствующих фрагментов обоих рядов дает тождественные результаты. Поэтому при исследованиях особенностей энергетических спектров различных фрагментов ряда среднегодовых значений средних температур использовался ряд вычисленных значений среднегодовых значений их аномалий.

Как известно, энергетический спектр любого из рассматриваемых временных рядов может быть рассчитан путем его цифровой фильтрации. При этом могут использоваться фильтры с конечной импульсной характеристикой (далее КИХ–фильтры) [26], в том числе и такие, импульсные характеристики которых описываются выражением:

$$h(\tau_k) = \sin(\omega\tau_k) \quad (1)$$

$$\text{где: } 0 < \tau_k \leq \frac{2M\pi}{\omega}$$

ω – частота гармоники спектра, соответствующая значению ее периода от 6 до 25 лет.

τ_k –дискретное время (последующие моменты различаются на один год).

M – целое положительное число.

Амплитуда соответствующей гармоники энергетического спектра определялась как

$$A(\omega, t_0) = \left(\sum_{k=0}^{\omega} h(\tau_k) P(t_0 + \tau_k) \right)^2 + \left(\sum_{k=0}^{\omega} h^*(\tau_k) P(t_0 + \tau_k) \right)^2 \quad (2)$$

где $h^*(\tau_k) = \cos(\omega\tau_k)$,

$$0 < \tau_k < \frac{2M\pi}{\omega}$$

t_0 – год начала фрагмента временного ряда процесса $P(t)$, для которого производится оценка.

Чем больше M , тем больше длина импульсной характеристики КИХ фильтра, а следовательно, и длина фрагмента изучаемого ряда, используемого для получения оценки амплитуды рассматриваемой гармоники (продолжительность интервала осреднения). Очевидно, что при спектральном анализе рядов ограниченной длины $M1$ значение M ограничено сверху значением $M1\omega/2\pi$.

Чем больше M , тем меньше погрешности оценок амплитуд гармоник стационарного процесса получаемых таким образом. Если процесс стационарным не является, увеличение M свыше некоторого предела не приводит к повышению точности спектрального анализа, а даже напротив снижает ее.

Как видно из рис.1, стационарность временного ряда среднегодовых значений аномалий средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием не очевидна. Учитывая это, значение M выбиралось наименьшим (из всех возможных), при условии, что значение амплитудно–частотной характеристики (АЧХ)[27](или передаточной функции [27, 28]), фильтра, соответствующего гармонике с периодом 11 лет, на частоте гармоники с периодом 22 года, равнялось 0 (что гарантирует отсутствие перекрестных искажений при одновременном присутствии в анализируемом ряду гармоник с периодами 11 и 22 года).

Анализ показал, что искомое значение M , удовлетворяющее этому условию равно 4.

Пример АЧХ фильтра с рассматриваемой импульсной характеристикой продолжительностью 44 года, соответствующего гармонике с периодом 11 лет, имеет вид представленный на рис. 2.

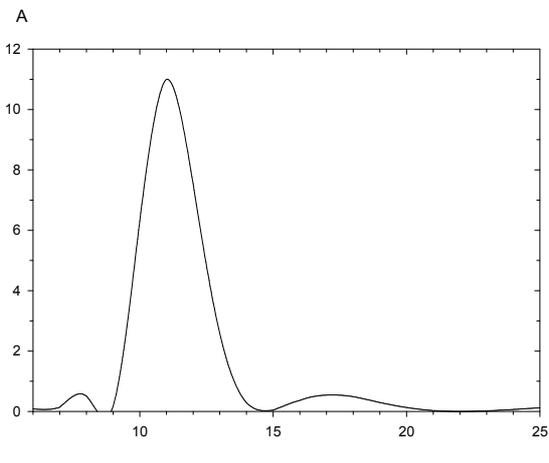


Рис. 2 . Амплитудно частотная характеристика цифрового КИХ фильтра, с импульсной характеристикой описываемой (1) и соответствующего гармонике с периодом 11 лет при $M=4$ (длине импульсной характеристики 44 года). N –период гармоник (число лет).

Как видно из рис. 2, при настройке подобного фильтра на гармонику с периодом 11 лет, значение его АЧХ, соответствующее гармонике 22 года строго равно нулю, что позволяет исключить взаимовлияние 11-летней и 22 – летней гармоник энергетических спектров рассматриваемых процессов.

Значения амплитуд гармоник энергетических спектров временных рядов среднегодовых значений чисел Вольфа и средних температур приповерхностного слоя атмосферы над Северным полушарием вычислялись для гармоник с периодами 6 – 25 лет в скользящих окнах продолжительностью равной длине импульсной характеристики соответствующего фильтра (4 периода соответствующей гармоники).

Для количественной оценки силы статистической связи между соответствующими фрагментами временных рядов среднегодовых значений чисел Вольфа и средних температур приземного слоя атмосферы, а также между фрагментами рядов отображающих динамику тех или иных гармоник их энергетических спектров, рассчитывались их автокорреляционные и взаимокорреляционные функции.

Основываясь на автокорреляционных функциях того или иного ряда, определялась величина его интервала корреляции, а также вычислялось значение отношение длины ряда к величине интервала корреляции, характеризующее соответствующее этому ряду число степеней свободы [29]. При расчете значений 99% и 95% порогов достоверной корреляции по критерию Стьюдента, используемых при анализе статистической связи между какими либо двумя рядами, значение числа степеней свободы принималось равным среднему арифметическому значений числа степеней свободы для каждого ряда. При этом было установлено, что число степеней свободы временных рядов среднегодовых значений рассматриваемых величин не менее 50. Учитывая это значение 95% порога достоверной корреляции равно 0.28, а 99% порога –0.36 .

По каждой взаимокорреляционной функции определялся временной сдвиг между рассматриваемыми временными рядами, при котором корреляция между ними являлась максимальной.

Результаты исследований и их анализ

В соответствии с изложенной методикой был произведен анализ временных рядов среднегодовых значений числа Вольфа и аномалий средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием Земли за период с 1856 по 2005 годы. При этом было установлено, что энергетические спектры среднегодовых значений обоих рассматриваемых процессов за период наблюдений претерпели существенные изменения.

На рис 3 приведены примеры энергетических спектров среднегодовых значений числа Вольфа для фрагментов, располагающихся в начале рассматриваемого их временного ряда.

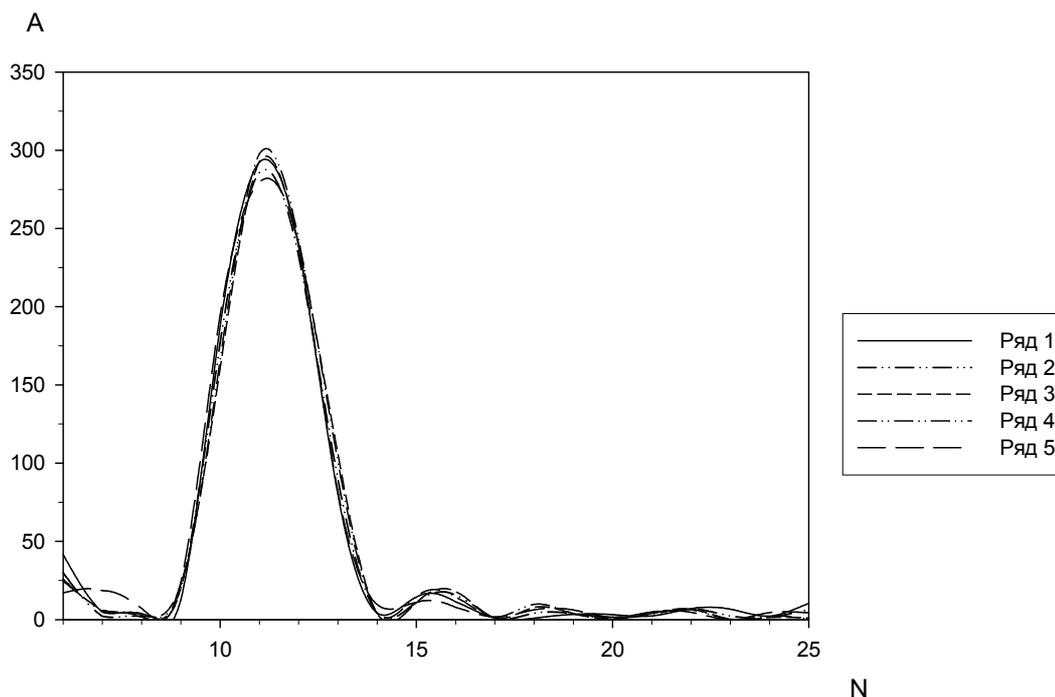


Рис 3. Энергетические спектры А фрагментов временного ряда среднегодовых значений числа Вольфа, начинающихся с 1856 г (ряд 1), с 1857 г. (ряд 2), с 1858 г. (ряд 3), с 1859 г. (ряд 4), с 1860 г. (ряд 5), полученные при использовании КИХ фильтра с импульсной характеристикой длиной 4 периода соответствующей гармоники. N–период гармоники [годы].

Из рис. 3 видно, что в рассматриваемый период эти спектры практически не зависели от года начала фрагмента временного ряда, по которым они вычислялись. Максимумы всех представленных энергетических спектров приходятся на гармонику с периодом 11 лет. Значения отношения амплитуд гармоник с периодом 22 года к амплитудам соответствующих гармоник с периодом 11 лет лежат в пределах 0.022–0.024.

На рис 4 приведены примеры энергетических спектров среднегодовых значений числа Вольфа для фрагментов, располагающихся в конце рассматриваемого временного ряда.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ В ПЕРИОД С 1856 ПО 2005 ГОДЫ СРЕДНЕГОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ АНОМАЛИЙ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД СЕВЕРНЫМ ПОЛУШАРИЕМ ЗЕМЛИ И ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

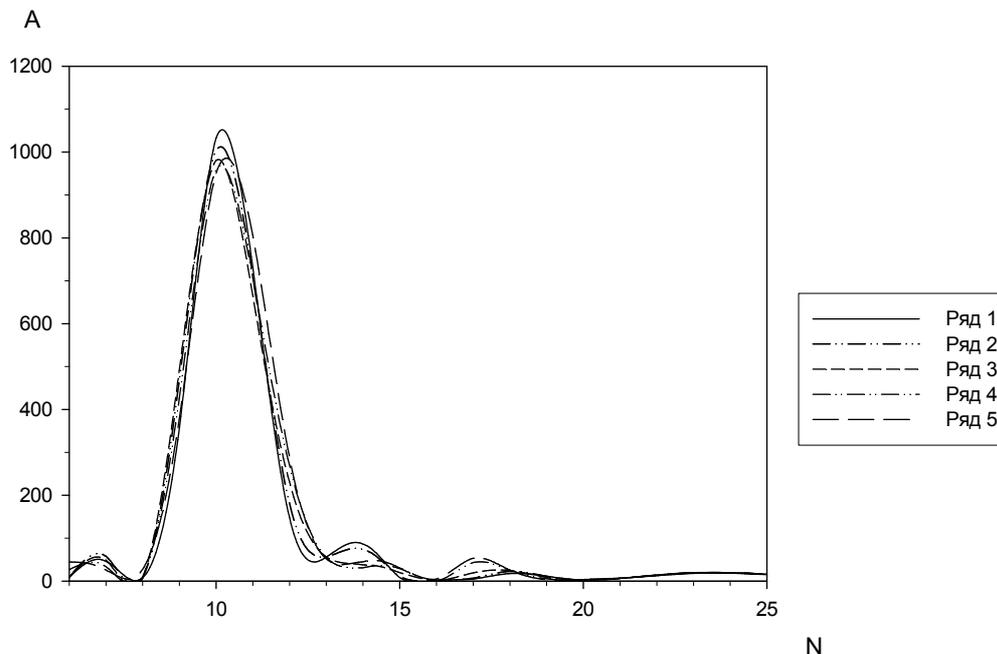


Рис 4. Энергетические спектры A фрагментов временного ряда среднегодовых значений числа Вольфа, полученные при использовании КИХ фильтра с импульсной характеристикой длиной 4 периода, заканчивающихся 2001 г (ряд 1), 2002 г. (ряд 2), 2003 г. (ряд 3), 2004 г. (ряд 4), 2005 г. (ряд 5).

N – период гармоника [годы].

Как видим из рис.4, что в рассматриваемый период эти спектры также практически не зависели от года начала фрагмента временного ряда, по которым они вычислялись. При этом максимальные значения рассматриваемых спектров приходятся на гармоники с периодом 10 лет (а не 11 лет, как было в примерах, приведенных на рис.3). Амплитуда гармоник с периодом 11 лет уступает амплитудам максимальных гармоник на 20–22% от их значений. Амплитуда гармоник с периодом 22 года составляет 0.013–0.015 от амплитуд наиболее мощных гармоник.

Зависимости амплитуд гармоник энергетических спектров среднегодовых значений числа Вольфа с периодами 9 лет, 10 лет, 11 лет и 12 лет (построенных при использовании КИХ фильтров с импульсными характеристиками продолжительностью 4 периода) от года начала соответствующего фрагмента приведены на рис.5.

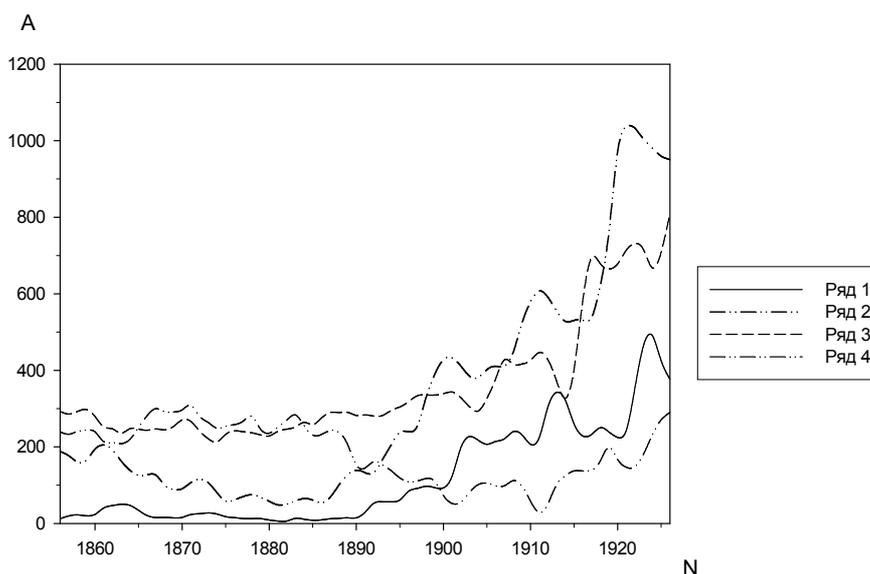


Рис.5. Зависимости амплитуд гармоник энергетических спектров среднегодовых значений относительного числа Вольфа (A) с периодами 9 лет (ряд 1), 10 лет (ряд 2), 11 лет (ряд 3) и 12 лет (ряд 4) от года начала соответствующего фрагмента (N).

Как видим из рис.5, расположение максимума энергетического спектра фрагментов временного ряда среднегодовых значений числа Вольфа при изменении года их начала изменялось. Во фрагментах, начи-

нающихся с 1866 г по 1896 годы максимумы энергетических спектров соответствуют гармонике 12 лет, а во фрагментах, начинающихся с 1900 года и далее наибольшую амплитуду имеют гармоники с периодами 10 лет. Это соответствует современным представлениям о закономерностях изменения продолжительности циклов солнечной активности [8]

На протяжении всего периода наблюдений амплитуды гармоник с наибольшей амплитудой проявляли тенденцию к монотонному увеличению. При этом произведения соответствующих значений амплитуд максимальных гармоник на их период в начале интервала наблюдения составляло 3200, а в конце –9500. Темпы этого роста во фрагментах начинающихся с 1900 г и далее (по сравнению с предыдущими) существенно возросли.

На рис. 6 приведены зависимости амплитуд гармоник энергетических спектров среднегодовых значений числа Вольфа с периодами 20 лет, 21 год, 22 года и 23 года (построенных при использовании КИХ фильтров с импульсными характеристиками продолжительностью 4 периода) от года начала соответствующего фрагмента.

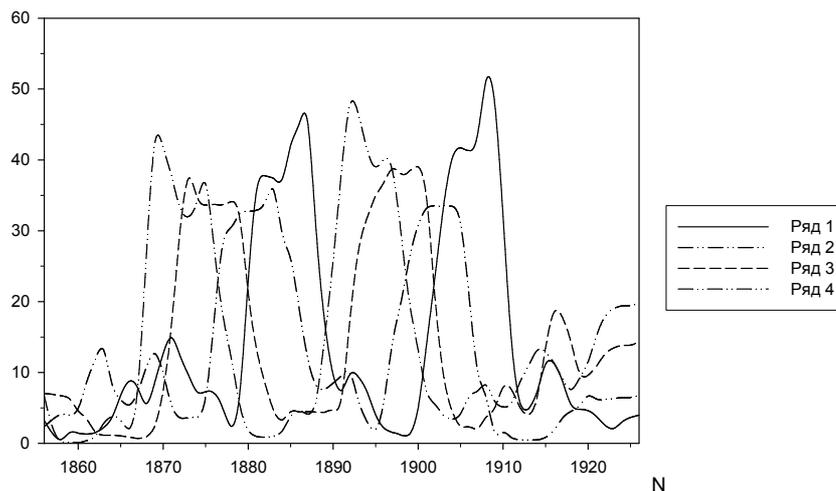


Рис.6. Зависимости амплитуд гармоник энергетических спектров среднегодовых значений числа Вольфа (A) с периодами 20 лет (ряд 1), 21 год (ряд 2), 22 года (ряд 3) и 23 года (ряд 4) от года начала соответствующего фрагмента (N).

Как видим из рис.6, все представленные на нем зависимости носят осциллирующий характер. Периоды осцилляций различных гармоник практически одинаковы и составляют в реальном времени приблизительно 104–105 лет. Амплитуды осцилляций всех гармоник с течением времени увеличиваются.

Временное положение максимумов в зависимостях, соответствующих разным гармоникам, определяется их периодом. Чем период меньше, тем максимум соответствующей гармонике наступает позже.

На рис 7 приведены примеры энергетических спектров среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над поверхностью Северного полушария (полученных с использованием КИХ фильтра с импульсной характеристикой длиной 4 периода) для фрагментов, располагающихся в начале рассматриваемого временного ряда

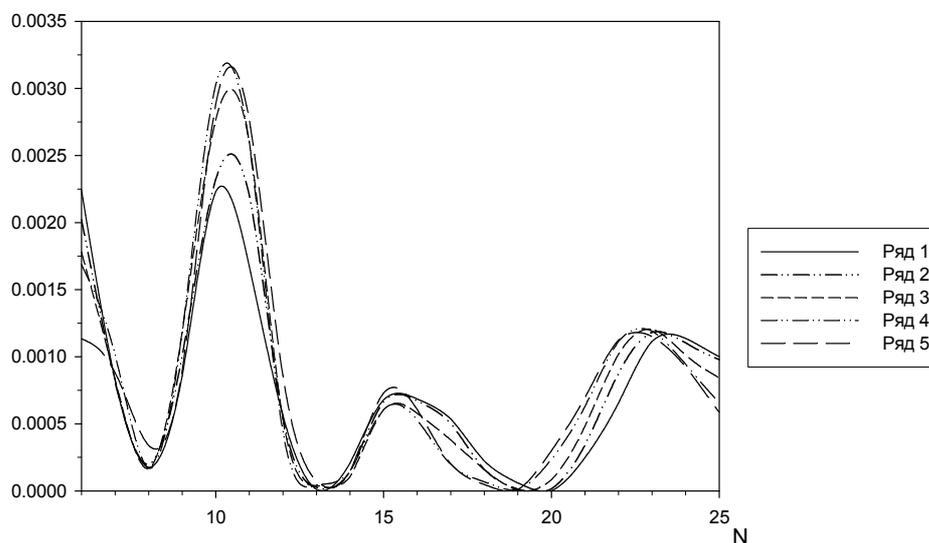


Рис 7. Энергетические спектры (A) фрагментов временного ряда среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над поверхностью Северного полушария, начинающихся с 1856 г

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ В ПЕРИОД С 1856 ПО 2005 ГОДЫ СРЕДНЕГОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ АНОМАЛИЙ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД СЕВЕРНЫМ ПОЛУШАРИЕМ ЗЕМЛИ И ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

(ряд 1), с 1857 г. (ряд 2), с 1858 г. (ряд 3), с 1859 г. (ряд 4), с 1860 г. (ряд 5), полученные при использовании КИХ фильтра с импульсной характеристикой длиной 4 периода. N –период гармоник [годы].

Как видим из рис.7, все представленные на нем энергетические спектры содержат в рассматриваемом интервале 4 максимума. Эти спектры подобны по своей форме. Их максимальные значения приходятся на гармоники с периодом 10–11 лет. Максимумы наблюдаются также на гармониках с периодами 6, 15–17 лет и 22–24 года.

Энергетические спектры фрагментов временного ряда среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над поверхностью северного полушария, полученные при использовании КИХ фильтра с импульсной характеристикой длиной 4 периода, расположенных в конце соответствующего временного ряда, представлены на рис 8.

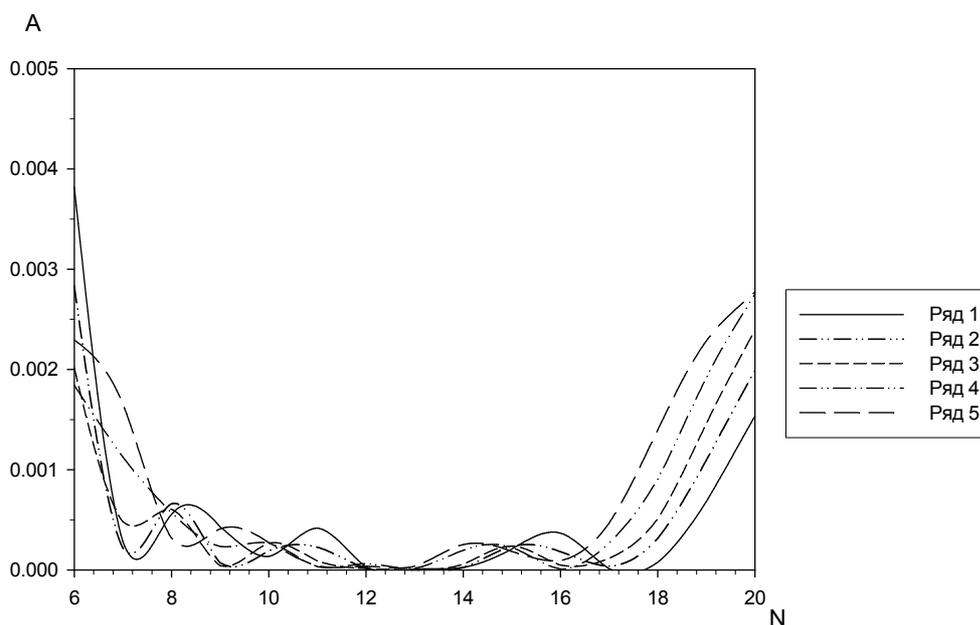


Рис.8. Энергетические спектры (А) фрагментов временного ряда среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над поверхностью Северного полушария, заканчивающихся 2001 г. (ряд 1), 2002 г. (ряд 2), 2003 г. (ряд 3), 2004 г. (ряд 4), 2005 г. (ряд 5), , полученные при использовании КИХ фильтра с импульсной характеристикой длиной 4 периода. N – период гармоника [годы].

Как видим из рис.8, представленные на нем спектры также подобны по форме, но существенно отличаются от представленных на рис.7. Максимальные значения рассматриваемых спектров приходятся на гармоники с периодом 6 лет. Амплитуды гармоник, начиная с гармоники с периодом 17 лет, по мере увеличения периода монотонно возрастают. В этом интервале спектра амплитуда гармоники тем больше, чем позже начинается (и заканчивается) соответствующий фрагмент временного ряда.

Стабильных максимумов рассматриваемых спектров, соответствующих периодам 10–16 лет не выявлено. Амплитуда гармоники спектра с периодом 11 лет тем меньше, чем позже начинается фрагмент ряда, по которому она вычислялась. Это подтверждают зависимости амплитуд гармоник энергетических спектров среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над поверхностью северного полушария с периодами 9 лет, 10 лет, 11 лет и 12 лет (построенных при использовании КИХ фильтров с импульсными характеристиками продолжительностью 4 периода) от года начала соответствующего фрагмента, приведенные на рис.9.

Как видим из рис.9, все представленные на нем зависимости подобны и проявляют тенденцию к монотонному убыванию. В последнем фрагменте (завершающемся 2005 годом) амплитуда гармоники с периодом 11 лет по сравнению с ее амплитудой в первом фрагменте (начинающемся с 1856 г.) уменьшилась в 425.7 раза.

На рис. 10 приведены зависимости амплитуд гармоник энергетических спектров среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над поверхностью северного полушария с периодами 20 лет, 21 год, 22 года и 23 года (построенных при использовании КИХ фильтров с импульсными характеристиками продолжительностью 4 периода) от года начала соответствующего фрагмента.

Как видим из рис.10, все представленные на нем зависимости носят осциллирующий характер. Периоды осцилляций составляют приблизительно 103–105 лет. Амплитуды осцилляций всех гармоник со временем увеличиваются. Наибольшее увеличение отмечается для гармоники с периодом 20 лет.

Временные положения максимумов каждой представленной на рис. 10 кривой определяются периодом соответствующей гармонике. Чем этот период больше, тем максимум наступает раньше. Как видим, имеет место полная аналогия с закономерностями, представленными на рис. 5.

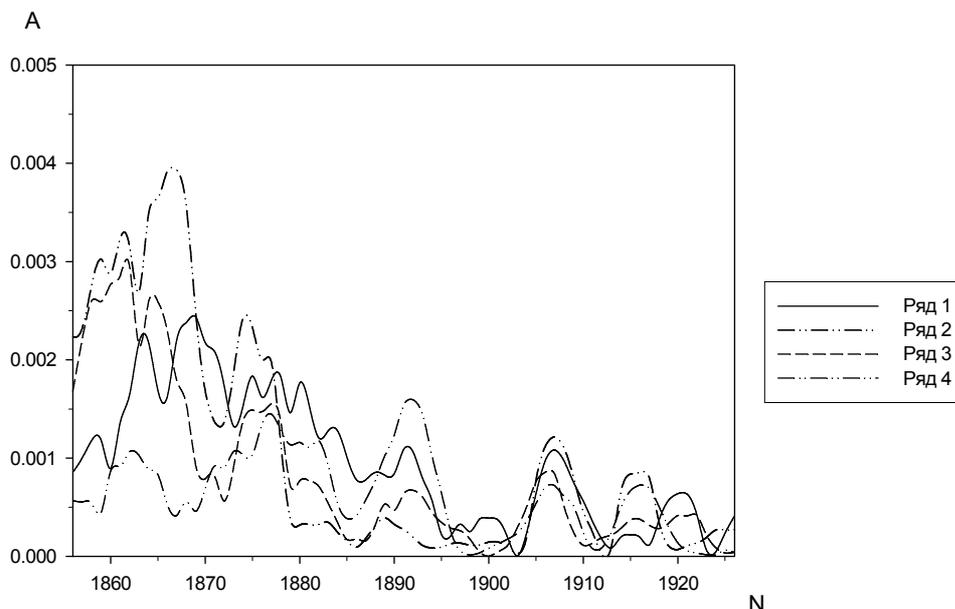


Рис.9. Зависимости амплитуд гармоник энергетических спектров среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над поверхностью северного полушария (A) с периодами 9 лет (ряд 1), 10 лет (ряд 2), 11 лет (ряд 3) и 12 лет (ряд 4) от года начала соответствующего фрагмента (N).

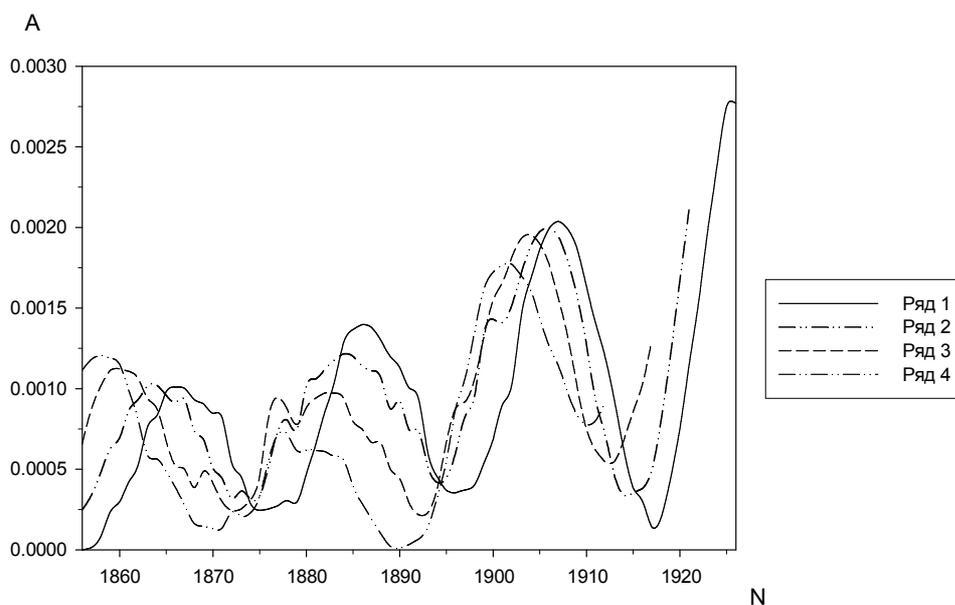


Рис.10. Зависимости амплитуд гармоник энергетических спектров среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над поверхностью Северного полушария (A) с периодами 20 лет (ряд 1), 21 год (ряд 2), 22 года (ряд 3) и 23 года (ряд 4) от года начала соответствующего фрагмента (N).

На рис.11 представлены зависимости от года начала сопоставляемых фрагментов продолжительностью 88 лет временных рядов нормированных к соответствующим максимальным значениям амплитуд гармоник с периодом 22 года среднегодовых значений числа Вольфа, а также средних температур поверхностного слоя атмосферы над Северным полушарием.

Как видим из рис.11, сопоставляемые на нем зависимости весьма близки по форме. Обе зависимости носят осциллирующий характер и имеют практически одинаковые периоды 104–105 лет (в реальном времени). Максимумы зависимости от времени амплитуды 22-х летней гармонике спектра среднегодовых значений средних температур запаздывают по времени по отношению к максимумам зависимости от времени такой же гармонике спектра числа Вольфа.

Для определения величины сдвига между этими гармониками, при которой корреляция между их временными рядами наиболее сильна, были рассчитаны взаимнокорреляционные и автокорреляционные функ-

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ В ПЕРИОД С 1856 ПО 2005 ГОДЫ СРЕДНЕГОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ АНОМАЛИЙ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД СЕВЕРНЫМ ПОЛУШАРИЕМ ЗЕМЛИ И ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

ции этих рядов (при длине фрагментов 50 лет). По автокорреляционным функциям каждого ряда было определено число степеней их свободы. Среднее арифметическое значение числа степеней свободы оказалось равно 13, что позволило определить значения 99% и 95 % порогов достоверной корреляции по критерию Стьюдента, равных соответственно 0.67 и 0.65.

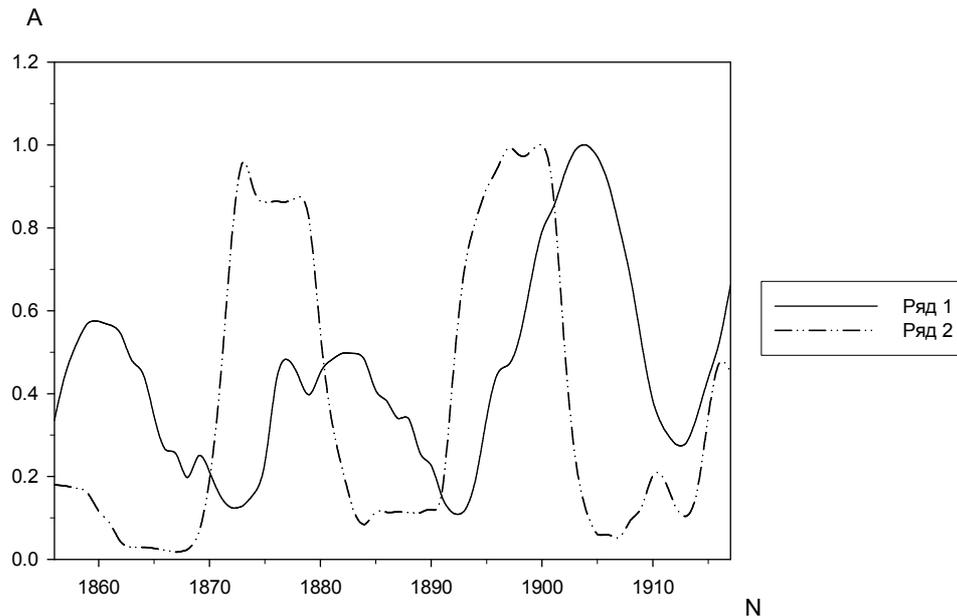


Рис.11. Зависимости от года начала сопоставляемых фрагментов временных рядов (N), нормированных к соответствующим максимальным значениям амплитуд гармоник с периодом 22 года энергетических спектров временных рядов среднегодовых значений средних температур приповерхностного слоя атмосферы над Северным полушарием (A)(ряд 1), а также числа Вольфа (ряд 2). Продолжительность фрагментов, по которым вычислялись амплитуды гармоник– 88 лет.

Зависимости средних значений коэффициента корреляции между временными рядами 22-х летних гармоник энергетических спектров среднегодовых значений чисел Вольфа и средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием, рассчитанных по их фрагментам продолжительностью 50 лет, от величины сдвига по времени между соответствующими фрагментами, а также значения 99% и 95% порогов достоверной корреляции приведены на рис. 12.

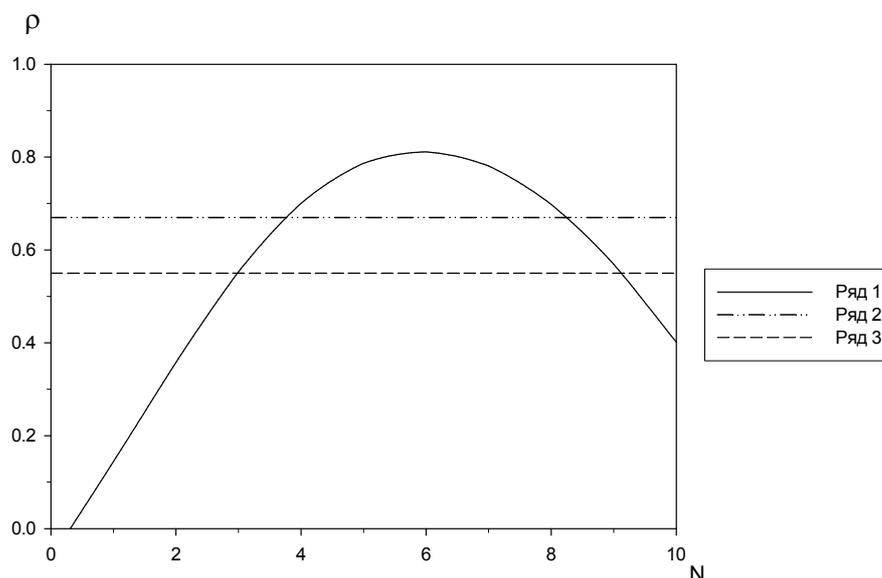


Рис.12. Зависимость средних значений коэффициента корреляции между временными рядами 22-х летних гармоник энергетических спектров среднегодовых значений чисел Вольфа и средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием (ρ), рассчитанных по их фрагментам продолжительностью 50 лет, от величины сдвига по времени между соответствующими фрагментами (N) (ряд 1), а также значения 99% и 95% порогов достоверной корреляции (соответственно ряд 2 и ряд 3).

Как видим из рис.12, наиболее сильная корреляция между рассматриваемыми временными рядами отмечается при условии, что фрагмент ряда значений амплитуды 22-х летней гармоники энергетического спектра среднегодовых значений чисел Вольфа опережает соответствующий фрагмент ряда значений амплитуды 22-х летней гармоники энергетического спектра среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием на 6 лет. Последнее, а также сопоставление рис.1,3–11 позволило предположить, что между временными рядами среднегодовых значений числа Вольфа и аномалий средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием существует статистически значимая связь: корреляция между их фрагментами продолжительностью 50 лет должна быть наиболее сильной при сдвиге между рядами, близком к половине средней продолжительности цикла солнечной активности – 6 годам.

Для подтверждения этого предположения были рассчитаны автокорреляционные и взаимокорреляционные функции рассматриваемых рядов среднегодовых значений. По автокорреляционным функциям каждого ряда были определены значения их интервалов корреляции и соответствующие значения числа степеней свободы. Последнее позволило рассчитать по методике, рассмотренной [29] значения 99% и 95% порогов достоверной корреляции по критерию Стьюдента.

На рис. 13 приведены зависимости коэффициентов корреляции сдвинутых на то или иное количество лет фрагментов продолжительностью 50 лет временных рядов среднегодовых значений числа Вольфа и средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием планеты, от года начала фрагмента ряда числа Вольфа. Также на нем показаны 99% и 95% пороги достоверной корреляции.

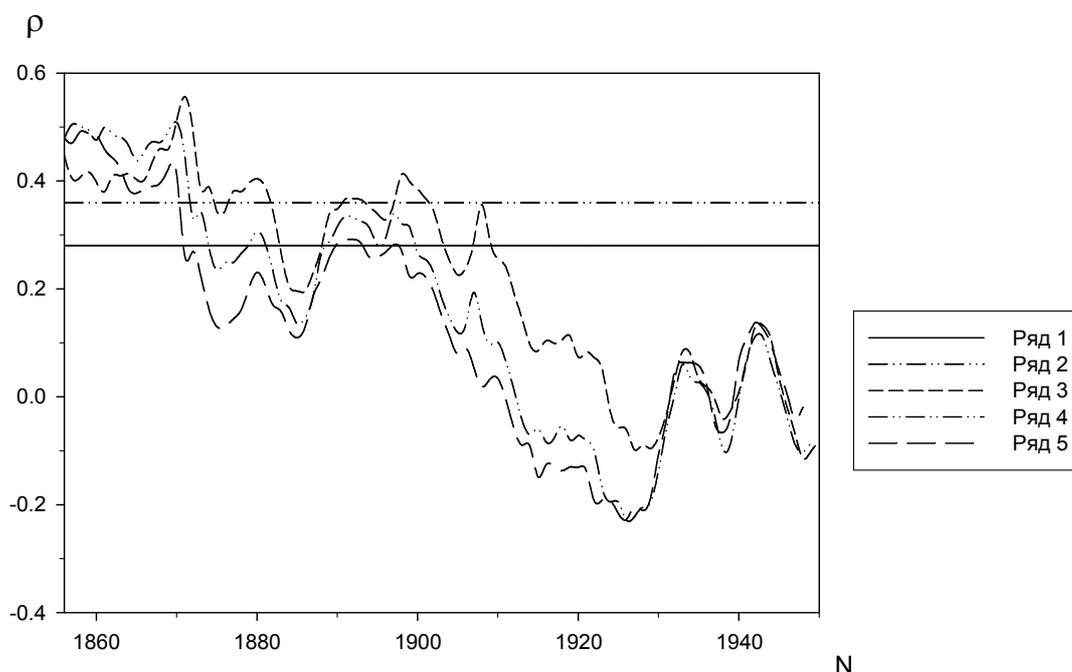


Рис 13. Зависимости коэффициентов корреляции (ρ) сдвинутых на то или иное количество лет фрагментов продолжительностью 50 лет временных рядов среднегодовых значений числа Вольфа и средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием планеты от года начала фрагмента ряда числа Вольфа (N). Ряд 1 – 95% порог достоверной корреляции, ряд 2 – 99% порог достоверной корреляции, ряд 3 – сдвиг 6 лет, ряд 4 – сдвиг 7 лет, ряд 5 – сдвиг 8 лет.

Из рис.13 видно, что корреляция между фрагментами рассматриваемого временного ряда, близких к его началу, (в которых, как видно из рис. 7, присутствует мощная 11-летняя гармоника, которая является наиболее мощной и в соответствующих фрагментах ряда чисел Вольфа) существенно превосходит как 95%, так и 99% пороги достоверной корреляции. При этом корреляция между фрагментами тех же рядов близких к их концу, в которых, как видно из рис.8 и 4, расположения максимумов их энергетических спектров существенно различаются, значимой не является.

Из примеров, приведенных на рис.13, видно также, что постепенное ослабление статистической связи между фрагментами рассматриваемых временных рядов по мере их смещения от начала периода наблюдения к его концу является общей тенденцией, проявляющейся при различных сдвигах между ними. Та же закономерность имеет место и при использовании в ходе спектрального анализа фрагментов временных рядов другой длины (в ходе проводившихся исследований их длина изменялась в пределах от 6 до 100 лет).

Анализ расчетов показал, что корреляция между фрагментами протяженностью 50 лет рассматриваемых временных рядов, начинающимися после 1906 года, значимой не является при любых сдвигах между ними. При этом дольше всего корреляция сохраняется значимой, если фрагмент ряда средних температур запаздывает по отношению к фрагменту ряда числа Вольфа на 6 лет (что видно из примеров рассмотренных на рис.13).

Причина этого явления становится понятной, если допустить, что значимым фактором изменчивости среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием является взаимодействие солнечной радиации с озоновым слоем Земли.

Известно, что озоновый слой является эффективным поглотителем солнечной радиации [30]. Поглощение им солнечной радиации приводит к существенному ослаблению в первую очередь ее коротковолновых составляющих (с длинами волн менее 300 нм), поток которых зависит от солнечной активности.

На эти составляющие приходится в среднем около 3% суммарного потока солнечной радиации, входящего в земную атмосферу. Несколько менее 40% этого потока приходится на видимый свет – электромагнитные волны с длинами волн от 400 до 700 нм, основные потери энергии которого при прохождении атмосферы обусловлены рассеянием. Тем не менее, часть этих потерь обусловлена частичным поглощением в стратосфере видимого света с длинами волн близкими к 600 нм, в котором участвует и озон [3].

При увеличении солнечной активности увеличивается поток коротковолновых составляющих, что приводит к увеличению интенсивности фотохимических реакций цикла Чепмена, приводящих к образованию стратосферного озона [31].

Увеличение общего содержания стратосферного озона делает озоновый слой менее прозрачным для солнечной радиации (не только ультрафиолетового диапазона, но и видимого света), что вызывает снижение среднегодового потока суммарной солнечной радиации, поступающего к земной поверхности. При этом поток энергии поглощенной земной поверхностью и частично преобразуемый в уходящую длинноволновую радиацию уменьшается. В результате среднегодовое значение средней температуры приземного слоя атмосферы снижается.

При уменьшении солнечной активности описанный механизм должен приводить к увеличению средней температуры приземного слоя атмосферы.

Несмотря на простоту и очевидность описанного механизма изменения средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием, вопрос о его значимости до сих пор оставался открытым.

Выявленные факты, а именно:

1. наличие наивысшей достоверной корреляции между любыми фрагментами временных рядов среднегодовых значений аномалий средних температур Северного полушария и чисел Вольфа, приходящимися на период с 1856 по 1956 годы, при условии, что начало фрагмента ряда чисел Вольфа опережает фрагмент ряда средних температур на 6 лет;

2. наличие наивысшей достоверной корреляции между любыми фрагментами временных рядов значений амплитуд гармоник с периодом 22 года этих рядов, на протяжении всего периода инструментальных наблюдений, при том же условии;

являются существенными аргументами в пользу его значимости.

Вероятность того, что указанные факты есть результат простого совпадения, может быть оценена следующим образом.

Допустим, что члены ряда среднегодовых температур являются случайными величинами, независимыми как от состояния солнечной активности, так и от членов ряда температур в предыдущие моменты времени. Предположим, что как увеличение, так и уменьшение значения последующего члена ряда температур по отношению к предыдущему равновероятны. В таком случае вероятность случайного изменения члена ряда температуры в сторону, противоположную происходящему в тоже время изменению ряда чисел Вольфа 0.5. Так как мы предположили, что все члены ряда температур независимы, то вероятность подобных случайных совпадений одновременно в 70 последующих точках, с 1856 по 1926 г, см. рис 1, и отсутствия этих совпадений в последующих 90 точках есть произведение вероятностей этих событий в каждой точке, т.е.

$$P = (0.5)^{159}$$

Столь ничтожная вероятность случайного совпадения позволяет утверждать, что выявленная связь между временными рядами среднегодовых значений числа Вольфа и аномалий средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием (см. рис.11 и рис.13) была не только статистической, но и причинно– следственной.

Обсуждение

Полученные результаты в целом соответствуют современным представлениям об особенностях воздействия на земную атмосферу потока солнечной радиации, формирующегося в различных фазах цикла солнечной активности. Они подтверждают выводы [32], согласно которым поглощение зависящих от состояния солнечной активности коротковолновых составляющих спектра солнечной радиации озоновым слоем относится к числу значимых факторов динамики среднегодовых температур воздуха в приземном слое атмосферы.

Существенной новизной обладают выявленные закономерности временной изменчивости в период с 1856 по 2005 годы амплитуд различных гармоник энергетических спектров временных рядов среднегодовых значений средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием, а также соответствующие закономерности изменчивости энергетических спектров фрагментов ряда чисел Вольфа.

Такая закономерность, как монотонное уменьшение с течением времени амплитуды гармоник энергетического спектра температур, соответствующей максимальной гармонике энергетического спектра чисел Вольфа, в то время как амплитуда последней с течением времени увеличивается, является непосредствен-

ной причиной выявленного ослабления корреляции между фрагментами этих рядов по мере их продвижения от их начала к концу.

Причины данного явления нуждаются в дополнительном изучении. Рассмотренные выше его качественные закономерности позволяют предполагать, что одной из основных его причин является усиление парникового эффекта.

Увеличение общих содержаний в атмосфере диоксида углерода, метана, закиси азота, фреонов на протяжении XX века монотонно возрастало, что приводило к уменьшению ее теплопроводности. Это вызывало увеличение вкладов в тепловой баланс приземного слоя атмосферы, таких его составляющих как потоки уходящей длинноволновой радиации и обратного теплового излучения атмосферы. В тоже время вклад потока тепла, формирующийся в атмосфере при поглощении в ней солнечной радиации изменялся в соответствии с состоянием солнечной активности и также увеличивался, но медленнее. В результате соотношение между этими вкладами изменилось в пользу первых двух потоков настолько, что в наши дни статистическая связь между изменениями солнечной активности и средних температур приземного слоя атмосферы значимой не является.

В наши дни тенденция к усилению влияния парникового эффекта сохраняется, поскольку рост объемов выброса в атмосферу парниковых газов и их общих содержаний в ней продолжается. Поэтому влияние парникового эффекта на динамику среднегодовых значений средних температур поверхности Северного полушария планеты в последующем будет усиливаться, а влияние изменений солнечной активности уменьшаться. Последнее вовсе не означает, что аналогично будет уменьшаться влияние изменений солнечной активности и на геосферу.

Причины того, что изменения амплитуд 22-х летних гармоник энергетических спектров скользящих по времени фрагментов временных рядов среднегодовых значений числа Вольфа и средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием планеты происходят согласованно и взаимосвязано, по колебательному закону с периодом 103–105 лет (см. рис.11) требуют дополнительного изучения.

Представляет существенный интерес также изучение влияния указанной закономерности на динамику озонового слоя, формирование ландшафтов и другие процессы в физико-географической оболочке планеты.

Выводы. Таким образом, установлено, что во второй половине XIX и первой половине XX века максимумы энергетических спектров, рассчитанных по любым фрагментам, продолжительностью 4 периода соответствующих гармоник, временных рядов среднегодовых значений числа Вольфа и средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием Земли практически совпадали. Следствием этого являлась достоверная корреляция соответствующих фрагментов, которая являлась максимальной при условии, что начало фрагмента ряда средних температур отставало от начала фрагмента ряда чисел Вольфа на 6 лет. Последнее является веским аргументом в пользу того, что связь между динамикой солнечной активности и изменчивостью средних температур приземного слоя атмосферы над полушарием являлась не только статистической, но и причинно-следственной. Эта связь, вероятно, осуществляется путем воздействия солнечной радиации на озоновый слой, что приводит к изменению его прозрачности в ультрафиолетовом и видимом диапазонах.

Во второй половине XX века расположения максимумов энергетических спектров рассматриваемых временных рядов, рассчитываемых по таким же их фрагментам, существенно изменились и перестали совпадать. Это привело к существенному ослаблению статистической связи между соответствующими фрагментами при любых сдвигах между ними. В наши дни корреляция между рядами среднегодовых значений чисел Вольфа и значений средних температур Северного полушария значимой не является. Это свидетельствует о возрастании на протяжении рассматриваемого периода значимости влияния на изменения средних температур приземного слоя атмосферы иных составляющих ее теплового баланса. Выявленные закономерности позволяют предполагать, что важнейший фактор обуславливающим это явление – это усиление парникового эффекта.

Изменения амплитуд 17–25-х летних гармоник энергетических спектров скользящих по времени фрагментов временных рядов среднегодовых значений числа Вольфа и средних температур приземного слоя атмосферы над Северным полушарием планеты происходят согласованно и взаимосвязано, по колебательному закону с периодом 103–105 лет с одинаковым сдвигом 6 лет, что также подтверждает причинно-следственный характер этого явления.

Источники и литература

1. Физическая география материков и океанов. Учебник для географических специальностей университетов/ Ю.Г.Ермаков, Г.М. Игнатъев, Л.И.Куракова и др.. Под общей редакцией А. М. Рябчикова. –М. «Высшая школа», 1988. –592 с.
2. Берлянт А. М. Физическая география. – М. : «Просвещение», 1994. – 384с.
3. Иванов А. Введение в океанографию. Пер. с французского Е.А.Плахина, Е.М.Шифриной. Под ред. Ю.Е.Очаковцева, К.С.Шифрина. – Москва, «Мир», 1978. – 574с.
4. Мирошниченко Л.И. Солнечная активность и Земля. – М.: «Наука», 1981. – 276 с.
5. Иванов–Холодный Г.С., Цусинов А.А. Коротковолновое излучение Солнца и его воздействие на верхнюю атмосферу и ионосферу. В сб. «Исследование космического пространства». т.26 (Итоги науки и техники. ВИНТИ). – М. , 1987. – С. 80–154.
6. Иванов Е. В. Физика солнечной активности. – М. «Наука», 1983. – 160 с.
7. Поток энергии Солнца и его измерения, под ред. О. Уайта. – М. «Мир», 1980. – 558 с.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ В ПЕРИОД С 1856 ПО 2005 ГОДЫ СРЕДНЕГОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ АНОМАЛИЙ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД СЕВЕРНЫМ ПОЛУШАРИЕМ ЗЕМЛИ И ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

8. Physics of the Sun. Ed. P.A. Sturrock, T.E. Holzer, D.M. Michalas, R.K. Ulrich. Vol. II. The solar atmosphere. D. Reidel Publishing Company Dordrecht/ Boston/Lancaster/Tokyo, 1986, 386 p.
9. Leibacher J. W., Stein R. F. Oscillations and pulsations in the Sun as a star. Ed. S. Jordan. Wash.. 1981, p.263–288.
10. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. – М. : «Наука», 1974. – 342 с.
11. Марков К. К. О связи между изменениями солнечной активности и климата Земли // Вопросы географии. – 1949. – №12.
12. Федоров Е. Е. Влияние солнечных пятен на температуру и давление воздуха // Изв. Главной физической обсерватории» X» 3. – Л., 1921.
13. Сухов А.А., Чехлан А.Е. Аномалии осадков в Украине в связи с 11 – летним циклом солнечной активности// Морской гидрофизический журнал. –2004. – №1. – С. 41.
14. Егоров А.П. Солнечная активность, барическая волна в приземной атмосфере Арктики и многолетние изменения арктического колебания // Метеорология и гидрология. – 2004. – №2. – С.27.
15. Сизов А.А. Изменчивость гидрометеорологических полей в районе Черного моря в разные фазы 11 – летнего цикла солнечной активности // Метеорология и гидрология. – 2000. – №10. – С. 85–92.
16. Максимов И.В., Слепцов–Шевлевич Б.А. О связи солнечной активности и барического поля Северного полушария // Доклады АН СССР. – 1971. – №2. – С. 339–341.
17. Воейков А. И. К вопросу о колебании климата // Метеоролог. Вестн. – СПб., 1902. – №1.
18. Брукс Ч. Климаты прошлого. – М. 1952.
19. Монин А.С., Шишков Ю.А. Дилеммы потепления в XX веке /Человек и стихия. – СПб: Гидрометеиздат, 1991. – С. 47–49.
20. The Global Climate System Review. Climate System Monitoring. June 1991–November 1993//WMO. –1995. – № 819. –150 p.
21. Монин А.С., Шишков Ю.А. Циркуляционные механизмы колебаний климата атмосферы // Физика атмосферы и океана. – 2000. – №1. – Т 36. – С. 27.
22. Solar–Geophysical Data, comprehensive reports, January 2000. – N 665. – Pt2.– P.65.
23. Jones P.D., New M., Parker D,E, Surface air temperature and its variations over the last 150 years. Reviews of Geophysics. 1999. 37, 173–199 pp.
24. Folland C.K., Rayner N.A. and others . Global temperature change and its uncertainties since 1861. Geophysical Research Letters, 2001, 28, 2620–2624pp.
25. Legates D.R., Willmott C.J. Mean Seasonal and Spatial Variability Global Surface Air Temperature. Theoretical and Applied Climatology. 1990. 41, 11–21pp
26. Адаптивные фильтры/ Под ред. К. Ф. Н. Коуэна и П. М. Гранта. М. «Мир». 1988 г., 384с.
27. И.С.Гоноровский. Радиотехнические цепи и сигналы. Часть1. – М. «Советское радио», 1987. – 326с.
28. Дж. Бокс , Г. Дженкинс. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Выпуск 2. Пер с англ. Л.Л.Левшина, Под ред. В. Ф. Писаренко. – М. «Мир».1974. – 197 с.
29. Кендал М.Дж., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. /Пер. с английского Э.Л. Пресмана, В.И. Ротаря, под редакцией А.Н. Колмогорова, Ю.В. Прохорова. М.: «Наука» Главная редакция физик-математической литературы. 1976 . – 736 с.
30. В.Л.Сывороткин Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. – 249 с.
31. Перов С.П., Хргиан А.Х. Современные проблемы атмосферного озона. – Л. : «Гидрометеиздат», 1980. –287 с.
32. Пономарь В.В. «О механизме изменения климата и усиления аномально-катастрофических проявлений погоды из-за истощения озонового слоя» Вестник Приднестровского Университета. №1(15). – Тирасполь, 2002. – С. 141–150.