

УДК 523.74

## ПРОЯВЛЕНИЕ 22-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ВАРИАЦИЯХ ИНДЕКСОВ ТЕМПЕРАТУРЫ И УВЛАЖНЕННОСТИ В ШВЕЙЦАРИИ С 1700 ПО 1989 г.

© 1999 г. М. И. Пудовкин, А. Л. Морозова

Научно-исследовательский институт физики, С.-Петербургского государственного университета,  
С.-Петербург

Поступила в редакцию 26.12.97 г.

После доработки 25.11.98 г.

Исследован характер вариаций в ходе 22-летнего цикла солнечной активности сезонных индексов температуры и увлажненности в Швейцарии в XVIII–XX вв. Показано, что существует связь между вариациями климатических индексов и уровнем солнечной активности. Отмечено, что на рубеже XVIII–XIX вв. и XIX–XX вв. происходит смена знака(степени) этой связи, что особенно ярко выражается в вариациях климатических параметров в осенне-зимние сезоны. Характер вариаций индексов температуры и количества осадков в летние периоды резко изменяется на рубеже XIX–XX вв.

### ВВЕДЕНИЕ

Климат Швейцарии (45–48°N, 6–11°E), как и большей части Европы, обусловлен влиянием двух барических особенностей Атлантического океана – Исландского барического минимума и Азорского антициклона. В результате, зимой имеет место интенсивный западный перенос, связанный с прохождением атлантических циклонов, а летом усиление Азорского антициклона приводит к снижению циклонической деятельности. Большую часть Швейцарии занимает Швейцарское нагорье. Здесь преобладает влажный, умеренный климат. Для зимнего периода характерны дожди и ветры с Северного моря, а летом – тепло, солнечно и сухо [1, 2].

В качестве связующего звена между проявлениями солнечной активности (например, вариациями интенсивности потока космических лучей) и погодо- и климатообразующими процессами вероятнее всего выступает циркуляция атмосферы. Дзердзеевский [3] установил, что уменьшение повторяемости циркуляции зональных типов над Центральной Европой совпадает с более холодными периодами (по крайней мере, в первой половине XX в.).

Большое количество работ было посвящено определению степени и характера изменения циркуляции атмосферы на протяжении нескольких веков и связи этих вариаций с уровнем солнечной активности. На основании своих исследований Гумилев [4, 5] делает вывод о том, что в XX в. пути атлантических циклонов сдвинуты к северу (Скандинавия, Белое и Карское моря), а в XVIII–XIX вв. циклоны проходили южнее, через Центральную Европу и Балтику и Среднерусскую равнину. Аналогичный вывод делает и Лэм

[6] на основании анализа распределения полей давления в северо-восточной Атлантике. Исследования, проведенные Дзердзеевским и его коллегами [7], свидетельствуют о том, что в XX в. усиление зональной (и, как следствие, ослабление меридиональной) циркуляции идет параллельно с ростом уровня солнечной активности как в вековом, так и в 11-летнем циклах. Выводы, сделанные в [8] на основании анализа многовековых изменений климата, состоят в том, что в эпохи более холодного климата имела место сильная зональная циркуляция, причем полярный фронт был смещен к югу т.о., что циклоны проходили через Европу своей северной (более холодной) половиной, что приводило к значительному похолоданию в северных районах Европы. Периоды потеплений характеризовались смещением полярного фронта к полюсу, траектории циклонов в зимнее время проходят через Шотландию и Балтийское море, а летом – через Исландию и Шпицберген.

Вариации циркуляции наблюдаются, как уже говорилось выше, и в ходе 11-летнего цикла солнечной активности. В частности, Дзердзеевский [7] отмечает преобладание в годы солнечных максимумов зональных форм циркуляции, а в годы минимумов – меридиональных.

Абросов [9] делает вывод о том, что в эпохи повышенной солнечной активности давление в области затропического максимума повышается, а в высоких широтах – падает, что приводит к смещению траекторий циклонов к полюсу. Кроме того, в периоды увеличения солнечной активности в теплые сезоны года над Атлантикой ось барической ложбины от Исландии к Евразии смещается на север, что может привести к проникно-

вению на северо-запад Европы языка Азорского антициклона и установлению там теплой и сухой погоды [10].

Таким образом, представляется весьма интересным рассмотреть вариации климата в ходе циклов солнечной активности на протяжении почти трех веков в одном из регионов центральной Европы (Швейцарии). Анализ, проведенный нами для выявления вековых и 11-летних вариаций климатических параметров (температура и количество осадков) в связи с изменениями уровня солнечной активности [11], показал, что в XVIII–XIX вв. в годы минимума солнечной активности в 11-летнем цикле в Швейцарии, по-видимому, преобладали циклонические условия в течение всего года (теплые зимы, холодные и дождливые/снежные весенние периоды), что действительно может быть объяснено смещением к югу циклонов, проходивших в то время через Балтийское море [4, 5], а в годы 11-летних максимумов солнечной активности Швейцария оказывалась под действием южного (Азорского) антициклона (холодные зимы, теплые и сухие весны, жаркие летние сезоны). В XX в. соотношение резко изменилось. Общее смещение к северу атлантических циклонов (проходящих теперь через Скандинавию, Белое и Карское моря) может привести либо к более северному прохождению атлантических циклонов, либо к возможности вторжений в североатлантический регион потоков арктического воздуха в эпохи максимума солнечной активности. Подтверждением этой гипотезы может служить циклонический характер климата в Швейцарии в нашем веке в годы солнечных максимумов (теплые зимы и холодные весны с обильными осадками, холодные и сухие летние сезоны) и антициклонический в годы солнечных минимумов (холодные зимы и теплые весны и жаркие летние сезоны с обильными осадками). В настоящей работе проводится анализ вариаций климатических параметров в ходе 22-летнего цикла солнечной активности.

### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Температура и количество осадков в Швейцарии представлены в виде градуированных индексов (Graduated Index. GI)  $[-3, \dots, +3]$  как для температуры, так и для увлажненности с 1525 по 1989 гг. Данные по индексам осадков в Швейцарии были составлены К. Пфистером и коллегами, Бернский Университет, Швейцария [12–14] и получены через World Data, Center A-Paleoclimatology, NGDC, NOAA.

GI были получены составителями из квазипрерывных рядов данных, свидетельствующих об изменении климата, и откалиброваны по данным для периода инструментальных наблюдений. Период калибровки – 1901–1960 гг. Зимние темпера-

туры получены из гидрологических индикаторов, таких как отношение числа дней со снегопадами к числу дней с дождями, продолжительность залегания снегового покрова и замерзание приальпийских озер, вегетативная активность. Для весеннего и летнего сезонов использовались биологические индикаторы: дендроклиматические данные, фенологические наблюдения, даты сбора винограда, длительные количественные данные по урожаю вина, снегопады в Альпах. Осадки оценивались по числу дождливых дней, полученных из погодных дневников, по таблицам наводнений и низких уровней воды для больших рек и озер.

Месячные, сезонные и годовые значения индекса могут иметь следующие значения:

$\pm 3$  – для очень теплых или влажных (очень холодных или сухих) аномалий соответственно. Аномалии определялись как меньше чем  $1/12$  и больше, чем  $11/12$  от “нормального” значения температуры (1901–1960 гг.). Индекс осадков основывался на нескольких инструментальных сериях как для суммы осадков, так и для числа дней, когда количество осадков превышало 0.3 мм.

$\pm 2$  – для теплых и влажных (холодных или сухих) месяцев соответственно.

$\pm 1$  – для месяцев с температурой или количеством осадков, превышающими (или несколько ниже чем) среднее значение.

0 – для “средних” условий (1901–1960 гг.) или отсутствия данных.

Для сезонов GI определялись как среднее для соответствующих месяцев (с градацией 0.3 между  $+3$  и  $-3$ ). Аномалии соответствовали  $|GI| \geq 2.3$ . Среднегодовые значения GI определялись из осреднения среднемесячных.

Данные по вариациям чисел Вольфа – World Data Center A, NGDC, NOAA, Solar Database, J. McKinnon [15].

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Для того, чтобы определить имеется ли взаимосвязь между изменением температурного режима и увлажненности и солнечной активностью воспользуемся методом наложенных эпох. В качестве реперных точек будем использовать даты четных (по Цюрихской нумерации) минимумов солнечной активности. Для того, чтобы подчеркнуть смену полярности пар пятен в смежных циклах – закон Хейла, в период нечетного (по Цюрихской нумерации) цикла солнечной активности числам Вольфа приписывался знак плюс, а в период четного цикла – знак минус. Из исходных кривых вариаций индексов температуры и увлажненности был удален вековой тренд (скользящее среднее по 50 годам) и проведено скользящее осреднение по 5 годам. Кроме того, данные были нормированы таким образом, что в течение каж-

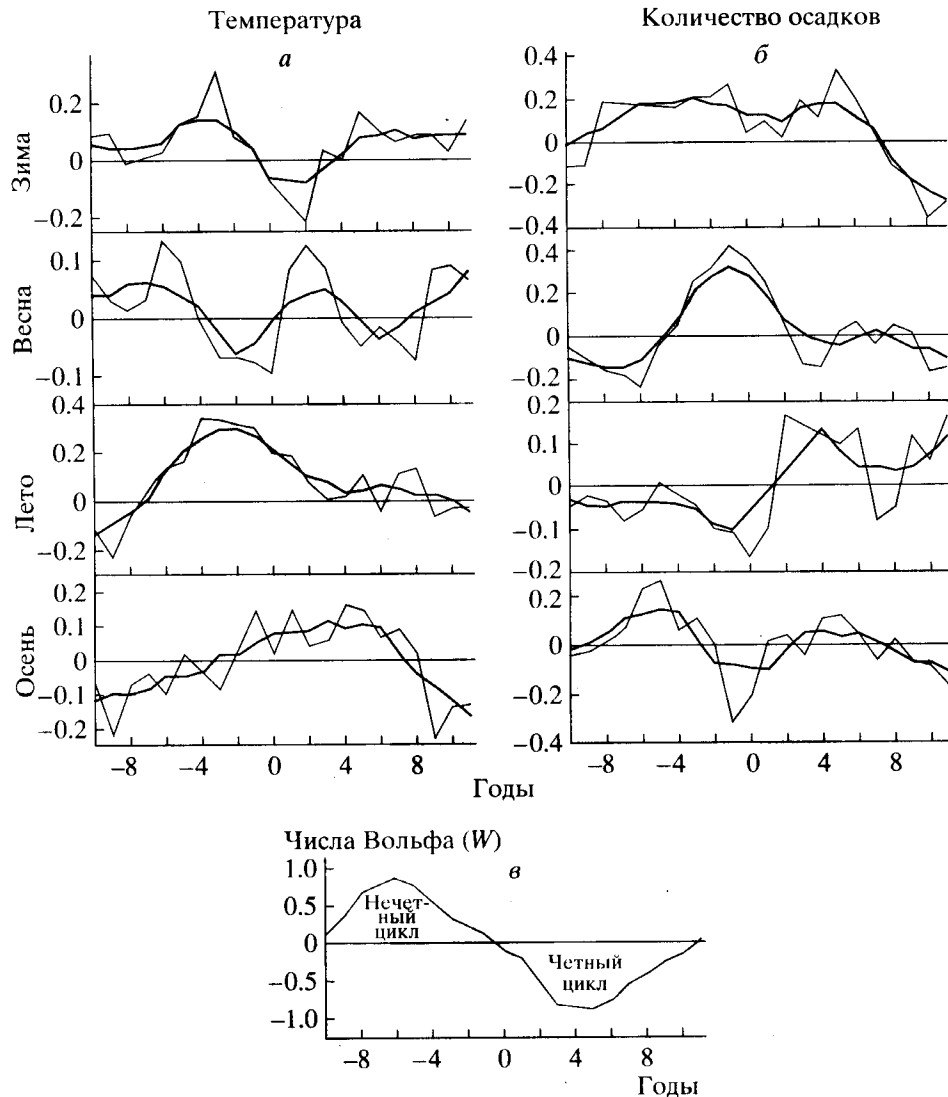


Рис. 1. Вариации индексов температуры (а) и осадков (б) для четырех сезонов года (сверху вниз: зима, весна, лето, осень) и чисел Вольфа (в) в ходе 22-летнего цикла солнечной активности для всего периода с 1700 по 1989 гг.

дого 22-летнего солнечного цикла максимальное (минимальное) значение исследуемой величины было +1 (-1).

На рис. 1–3 представлены кривые, полученные методом наложенных эпох для индексов температуры и количества осадков для периода с 1700 по 1989 гг. Утолщенные кривые – скользящее среднее по 5 годам. Результаты, представленные на рис. 1, были получены при анализе данных за весь период с 1700 по 1989 гг. Видно, что на фоне сильных 11-летних вариаций в рядах индексов температуры и количества осадков отчетливо виден 22-летний цикл, особенно ярко проявляющийся в изменении индексов осенних температур (коэффициент корреляции  $r_{\text{осень-температура}} = -0.48$  (достоверность 99.8%)) и летних осадков ( $r_{\text{лето-осадки}} = -0.52$  (достоверность 99.96%)).

На следующих рисунках представлены вариации температуры (рис. 2) и увлажнения (рис. 3), полученные при анализе отдельно XVIII, XIX и XX вв. Экспериментальные данные [16, 17] свидетельствуют о том, что время от времени закон Хейла – смена полярности пар пятен от одного 11-летнего цикла к другому – может нарушаться. В частности, по-видимому, около 1700-го, 1800-го и 1880-го годов такое нарушение имело место. Поэтому при анализе климатических индексов часть солнечных циклов, приуроченных к указанным датам, была выпущена, и в качестве реперных точек в XVIII в. брались годы четных (по Цюрихской нумерации) минимумов: 1723, 1744, 1766, 1784 гг.; в XIX в. – 1810, 1833, 1856 гг.; а в XX в. – 1901, 1923, 1944 и 1964 гг.

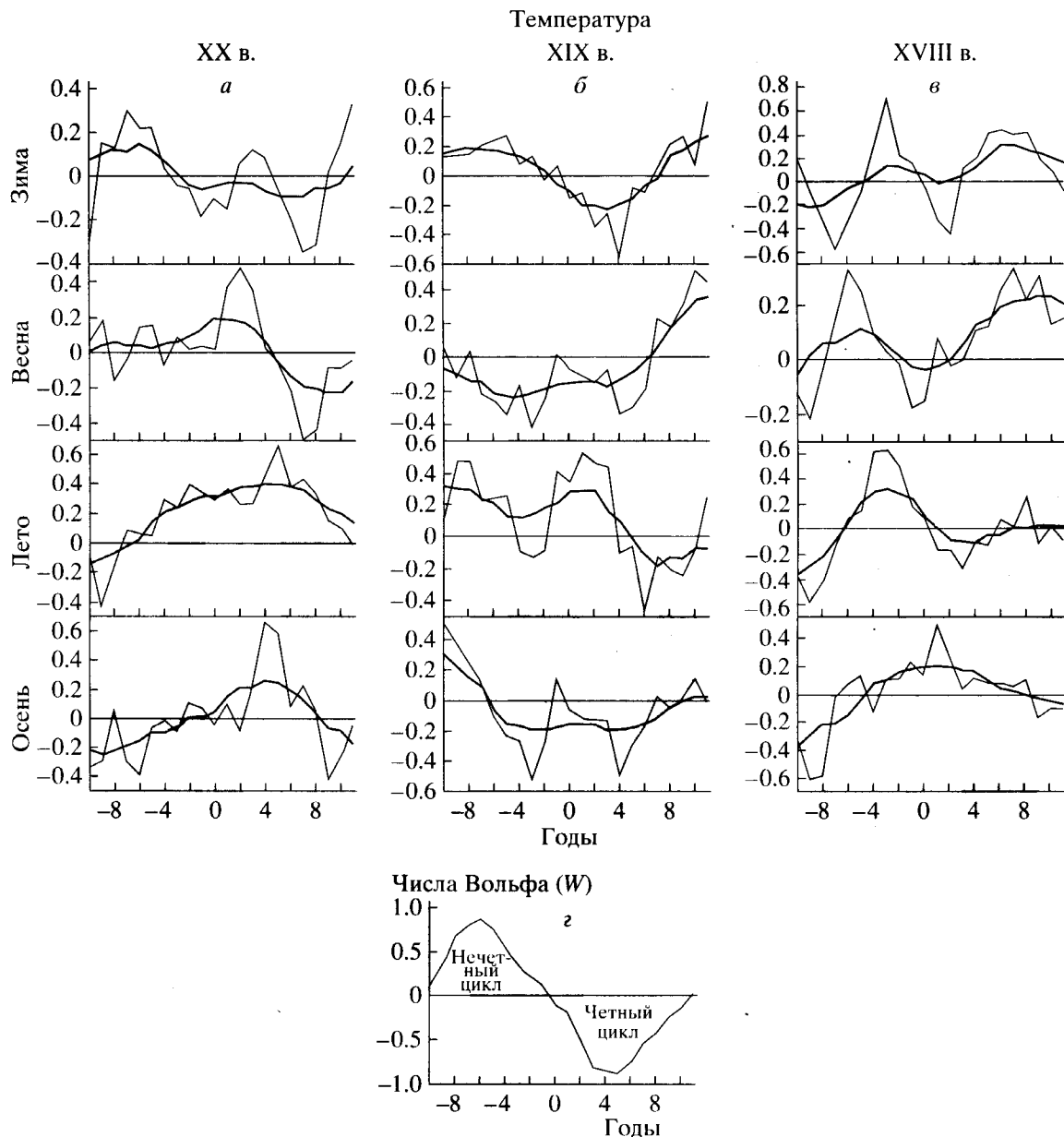


Рис. 2. Вариации индексов температуры для четырех сезонов года (сверху вниз: зима, весна, лето, осень) отдельно для XX в. (а), XIX в. (б) и XVIII в. (в) и чисел Вольфа (г) в ходе 22-летнего цикла солнечной активности.

Представленные на рис. 2 и рис. 3 данные позволяют сделать следующие выводы. Во-первых, 22-летний цикл солнечной активности проявляется в вариациях как индексов температуры, так и индексов увлажненности практически на протяжении трех веков, однако степень корреляции климатических индексов с вариациями чисел Вольфа (кривые на рис. 2 и рис. 3), так же как и ее знак может изменяться от эпохи к эпохе. Так, например, если в XVIII в. индексы количества осадков в осенне-зимний период коррелировали с числами Вольфа в ходе 22-летнего цикла ( $r_{\text{осень-осадки}} = 0.89$  (достоверность 99.99%),

$r_{\text{зима-осадки}} = 0.37$  (достоверность 83.6%), а индекс осенних температур – антикоррелировал ( $r_{\text{осень-темп.}} = -0.57$  (достоверность 97.9%)), то в XIX в. имела место противоположная картина:  $r_{\text{осень-осадки}} = -0.61$  (достоверность 98.8%),  $r_{\text{зима-осадки}} = -0.57$  (достоверность 99.0%),  $r_{\text{осень-темп.}} = 0.42$  (достоверность 89.7%). На рубеже XIX–XX в. опять происходит смена знака корреляции:  $r_{\text{осень-осадки}} = 0.72$  (достоверность 99.8%),  $r_{\text{зима-осадки}} = 0.75$  (достоверность 99.9%),  $r_{\text{осень-темп.}} = -0.96$  (достоверность 99.99%).

Обращает на себя внимание и тот факт, что на рубеже XIX–XX вв. происходит смена знака корреляции между климатическими индексами и чис-

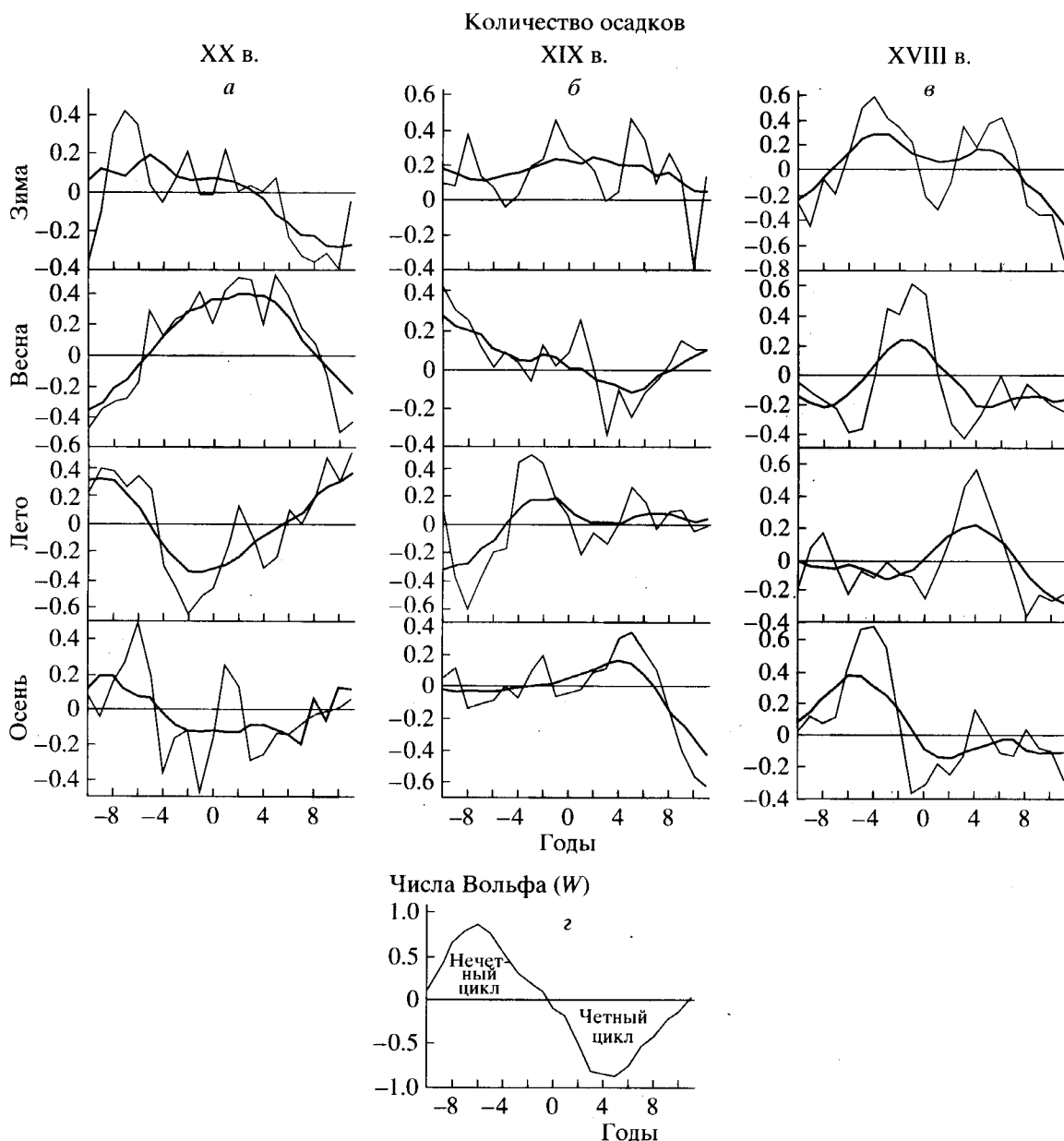


Рис. 3. Вариации индексов количества осадков для четырех сезонов года (сверху вниз: зима, весна, лето, осень) отдельно для XX в. (а), XIX в. (б) и XVIII в. (в) и чисел Вольфа (z) в ходе 22-летнего цикла солнечной активности.

лами Вольфа в 22-летнем цикле, за исключением вариаций индексов зимних температур (XVIII в. —  $r_{\text{зима-тем.}} = -0.64$  (достоверность 99.3%); XIX в. —  $r_{\text{зима-тем.}} = 0.81$  (достоверность 99.99%); XX в. —  $r_{\text{зима-тем.}} = 0.89$  (достоверность 99.99%)). Видно, что в XVIII–XIX вв. индексы увлажненности в летний (весенний) сезон антикоррелируют (коррелируют) с числами Вольфа, а в XX в. — наоборот. В свою очередь индексы температуры в соответствующие сезоны ведут себя противоположным образом. Ранее [11] уже отмечалось резкое изменение климатических условий в этом регионе, связанное с началом в конце XIX в. ново-

го векового цикла солнечной активности. По-видимому, это сказалось и на характере вариаций климатических индексов в ходе 22-летнего цикла.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о существовании вариаций как индексов температуры, так и количества осадков в центральной Европе (Швейцария) с периодом в 22 года, хотя выраженных довольно слабо. Необходимо отметить, что ранее подобные результаты были получены и для северо-западного региона Европы (Ленинград) [18]. Кроме того, одним из важнейших результатов этой работы может служить тот факт, что изменения климатических ин-

дексов для летних сезонов в 22-летнем цикле солнечной активности в XVIII, XIX и XX вв. имеют различный характер.

### ВЫВОДЫ

1. Существует корреляция между вариациями метеопараметров (температура, количество осадков) и изменением уровня солнечной активности в ходе 22-летнего хейловского цикла магнитного поля солнечных пятен.

2. В основном эта периодичность проявляется в XX в. за исключением разве что летних сезонов, когда она достаточно хорошо выражена как в вариациях летних температур, так и в изменении летней увлажненности.

3. На рубеже XVIII–XIX вв. и XIX–XX вв. происходит смена характера вариаций как индексов температуры, так и количества осадков в осенне-зимние периоды. Предполагается, что этот эффект – следствие нарушений в ходе 22-летнего цикла солнечной активности.

4. Кроме того, в начале нашего века происходит смена характера вариаций климатических индексов в теплые периоды года: в минимумах цикла солнечной активности в XVIII–XIX вв. летние сезоны были достаточно холодными с обильными осадками, а в XX в. – более теплыми и сухими.

Работа выполнена при поддержке фонда Сороса, грант № 537 р. и фонда фундаментальных исследований, грант № 98-05-65538.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драгунов Г.П. Швейцария. М.: Мысль. 1968. 85 с.
2. Климатический справочник Западной Европы / Под ред. Л.Н. Лебедева. М.: Гидрометеиздат. 1979. 72 с.
3. Дзердзеевский Б.Л. К методике изучения флуктуаций климата разных масштабов времени // Дзердзеевский. Избранные труды. Общая циркуляция атмосферы и климат. М.: Наука. 1975. 320 с.
4. Гумилев Л.Н. Гетерохронность увлажнения Евразии в древности (Ландшафт и этнос. IV) // Вестник ЛГУ, сер. Геология и география. 1966. № 6. С. 62.
5. Гумилев Л.Н. Гетерохронность увлажнения Евразии в древности (Ландшафт и этнос. V) // Вестник ЛГУ, сер. Геология и география. 1966. № 18. С. 81.
6. Лэм Х.Х. Изменения климата в исторический период, изучаемые с помощью диаграмм и карт циркуляции // Солнечная активность и изменения климата, под ред. Р.У. Фейрбриджа. Пер. под ред. А.Х. Хргиана. Л.: Гидрометеиздат. 1966. 44 с.
7. Дзердзеевский Б.Л. Общая циркуляция атмосферы как необходимое звено в цепи Солнце – колебания климата / Дзердзеевский. Избранные труды. Общая циркуляция атмосферы и климат. М.: Наука. 1975. 320 с.
8. Ле Руа Ладюри Э. История климата с 1000 г. Л.: Гидрометеиздат. 1971. 30 с.
9. Абросов В.Н. Гетерохронность периодов повышенного увлажнения гумидной и аридной зон // Известия ВГО. 1962. № 4. С. 325.
10. Blackford J.J., Chambers F.M. Proxy climate record for the last 1000 years from Irish blanket peat and a possible link to solar variability // Earth and Planetary Science Letters. 1995. V. 133. P. 145.
11. Пудовкин М.И., Морозова А.Л. Проявление циклов солнечной активности в вариациях индексов температуры и увлажненности в Швейцарии с 1525 по 1989 гг. Труды конференции, посвященной памяти М.Н. Гневышева и А.И. Оля, май 1997, ГАО, Пулково, С.-Петербург. 1997. С. 205.
12. Pfister C. Das Klima der Schweiz von 1525–1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevoelkerung und Landwirtschaft. Bern, 1984. 120 с.
13. Pfister C. Monthly temperature and precipitation patterns in Central Europe from 1525 to the present. A meteorology for quantifying man made evidence on weather and climate / Climate since 1500. A.D. R.S. Bradly, P.D. Jones (eds.). London. 1992. P. 118.
14. Pfister C., Kington J., Kleinlogel G., Schuele H., Siffert R. The creation of high resolution spatio-temporal reconstructions of past climate from direct meteorological observations and proxy data. Methodological considerations and results / Climate in Europe 1675–1715. B. Frenzel, C. Pfister, B. Glaeser (eds.). 1994. 32 с.
15. McKinnon J. Sunspot numbers: 1610–1985 / Report UAG-95,WDC-A for Solar-Terrestrial Physics, 1987. 112 p.
16. Jose P.D. Sun's motion and sunspots // The Astronomical Journal. 1965. V. 70. № 3. P. 193.
17. Пудовкин М.И., Козелов В.П., Лазутин Л.Л. и др. Физические основы прогнозирования магнитосферных возмущений. Наука: Ленинград. 1977. 312 с.
18. Пудовкин М.И., Любчик А.А. Проявление циклов солнечной и магнитной активности в вариациях температуры воздуха в Ленинграде // Геомагнетизм и аэрномия. 1989. Т. 29. № 3. С. 359.