

УДК 523.74

КЛИМАТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПЫ XVI–XX вв. И ВЕКОВЫЕ ВАРИАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

© 2000 г. А. Л. Морозова, М. И. Пудовкин

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

Поступила в редакцию 07.07.1999 г.

В работе представлен анализ вариаций метеорологических параметров (температура, количество осадков, атмосферное давление) в центральной части Европы (Швейцария) с 1700 по 1989 г. в зависимости от изменения общего уровня солнечной активности. Полученные результаты свидетельствуют не только о наличии корреляций между вековыми изменениями климата и солнечной активностью, но и об изменении как величины, так и знака коэффициентов корреляции в зависимости от фазы вековых циклов (ветви спада и роста активности Солнца) и при переходе от одного векового цикла к другому.

ВВЕДЕНИЕ

Почти четверть века прошло с тех пор, как Дж. Эдди (J. Eddy) [1] предположил существование связей между продолжительным похолоданием климата Европы XVII–н. XX вв. (LIA – Little Ice Age) и длительными минимумами солнечной активности (минимумом Маундера – 1645–1714 гг. и минимумом Шперера – 1416–1534 гг.). Однако интерес к проблеме воздействия солнечной активности на климат Земли не только не угасает, но продолжает неуклонно расти.

В этой связи представляется достаточно интересным вопрос о том, не связано ли потепление климата в XX в. с наблюдающимся с к. XIX–н. XX вв. ростом общего уровня солнечной активности? Необходимо также отметить, что наряду со значительными изменениями температуры в XVII–XX вв. наблюдаются и вариации других метеорологических параметров. Автор [2] отмечает не только значительное потепление Арктического региона в первой половине XX столетия, но и изменение системы ветров, связанное, по-видимому, со смещением путей арктических циклонов к северу. На значительное увеличение количества осадков в Средиземноморье во время LIA (XVII–XIX вв.) указывает автор [3].

Авторы работ [4–5] и некоторых других высказывают предположение о том, что наблюдающийся с к. XIX в. рост температуры воздуха связан не только с парниковым эффектом, но и с развитием текущего векового цикла солнечной активности, начавшегося на рубеже XIX–XX вв. К подобному выводу приводит и тот факт, что так называемое “глобальное” потепление климата Земли не является по-настоящему глобальным. Например, в первой половине XX в. температура воздуха в Средиземноморском регионе Европы (Андалузия) не выросла, а, наоборот, понизилась

[6]. Кроме того, имеющиеся данные [4] свидетельствуют о том, что рост температуры начался до того, как в атмосфере начались интенсивно накапливаться парниковые газы, и в регионах, достаточно удаленных от промышленных районов (Монголия).

Таким образом, представляется весьма интересным исследовать характер изменений температуры воздуха и количества осадков в Центральной Европе (Швейцария) с XVI по XX вв. в связи с изменением общего уровня солнечной активности.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Температура и количество осадков в Швейцарии представлены в виде градуированных индексов (Graduated Index, GI) [–3, ..., +3] как для температуры, так и для увлажненности с 1525 по 1989 г. Данные по индексам осадков в Швейцарии были составлены К. Пфистером (K. Pfister) и коллегами [7–9] и получены через World Data Center A-Paleoclimatology, NGDC, NOAA.

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

Индекс температур основывался на наблюдениях в Базеле с 1755 г. Для определения индексов в период с 1525 по 1754 г. использовались различные индикаторы вариаций климата. Зимние температуры 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 био-

Таблица 1. Коэффициенты корреляции (и их значимость) между сглаженными 20-летним скользящим средним вариациями градуированных индексов (GI) температуры и количества осадков и числами Вольфа (*W*). Курсивом выделены коэффициенты корреляции, значимость которых превышает 85%. Жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, значимость которых превышает 90% (определение значимости коэффициентов корреляции смотри в тексте).

Период	Температура					Количество осадков					Давление				
	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень	год
XVIII в.	-0.18	<i>0.6</i>	0.46	0.06	0.42	<i>0.56</i>	0.1	0.08	0.32	<i>0.54</i>	0.29	0.35	-0.44	0.92	0.5
	65%	85%	75%		75%	85%	55%	50%	70%	85%					
XIX в.	-0.16	-0.27	<i>0.67</i>	-0.16	0.1	-0.23	0.55	0.48	0.43	0.48	0.41	-0.31	-0.17	-0.52	-0.21
	60%	65%	85%	60%	50%	65%	80%	80%	75%	80%	75%	70%	60%	80%	65%
XX в.	0.08	0.79	0.77	0.83	0.91	0.35	-0.62	-0.41	-0.51	-0.44	-0.85	0.70	-0.55	0.06	-0.32
	50%	90%	85%	93%	95%	75%	80%	70%	75%	70%	90%	80%	75%		65%
XVIII–XX вв.	0.28	0.54	0.53	0.54	0.6	0.47	0.16	0.14	0.15	0.36	-0.35	<i>0.37</i>	-0.2	0.09	-0.06
	80%	97.5%	95%	97.5%	99%	95%	70%	60%	70%	90%	85%	85%	70%	55%	

логические индикаторы: дендроклиматические данные, фенологические наблюдения, даты сбора винограда, длительные количественные данные по урожаю вина, снегопады в Альпах.

Индекс количества осадков оценивался на основании ряда инструментальных наблюдений с 1760 г., а до этого – по числу дождливых дней, полученных из погодных дневников, по таблицам наводнений и низких уровней воды для больших рек и озер и пр.

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

±3 – для очень теплых или влажных (очень холодных или сухих) аномалий соответственно. Индекс осадков основывался на нескольких инструментальных сериях как для суммы осадков, так и для числа дней, когда количество осадков превышало 0.3 мм;

±2 – для теплых или влажных (холодных или сухих) месяцев соответственно;

±1 – для месяцев с температурой или количеством осадков, величина которых превышает (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.

Для исследования вариаций атмосферного давления (*p*) были использованы осредненные за месяц данные об изменении атмосферного давления на уровне станции из банка данных Global Historical Climatology Network, The Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) (NDP-041, R.S. Vose, R.L. Schmoyer, P.M. Steurer, T.C. Peterson, R. Heim, T.R. Karl, and J.K. Eischeid) для двух

метеостанций на территории Швейцарии: Базель (данные с 1755 по 1980 г.) и Женева (данные с 1768 по 1988 г.).

Таким образом, градуированные индексы (GI) и вариации атмосферного давления позволяют получить представление о характере вариаций климата Центральной Европы с н. XVI в. по настоящее время.

В качестве характеристики, описывающей изменение уровня солнечной активности, использовались числа Вольфа (*W*). Среднегодовые значения *W* с 1700 по 1989 г. были предоставлены WDC, National Geophysics Data Center, Boulder, USA [10]. В качестве возможной реконструкции общего уровня солнечной активности в XVI–XVII вв. использовались данные из работ [11–12].

Для того, чтобы исключить короткопериодные вариации используемых величин, было проведено осреднение исходных данных (GI, *W* и *p*) методом скользящего среднего с периодами осреднения $\Delta t = 20$ лет и $\Delta t = 50$ лет. Затем полученные кривые были отнормированы таким образом, чтобы их средние значения на всем промежутке (с 1525 по 1989 г. для GI и с 1768 по 1980 г. для давления) равнялись нулю. На рисунках представлены изменения осредненных (тонкие линии – данные, осредненные по 20 годам, жирные – по 50 годам) нормированных значений градуированных индексов температуры и количества осадков (рис. 1 и 2) и давления (рис. 3) для различных сезонов (лето – *a*, весна – *b*, зима – *v*, осень – *z*) и средних за год (*d*), а также изменение общего уровня солнечной активности (числа Вольфа: рис. 1e, рис. 2e и рис. 3e) – пунктиром показана возможная реконструкция уровня активности солнца до 1700 г. по [11–12].

В табл. 1 и 2 представлены коэффициенты корреляции (*r*) между вариациями осредненных по 20 годам метеорологических индексов GI и

Таблица 2. Коэффициенты корреляции (и их значимость) между сглаженными 20-летним скользящим средним вариациями градуированных индексов (GI) температуры и количества осадков и давления (p) и числами Вольфа (W), рассчитанные отдельно для фаз роста и спада вековых циклов солнечной активности (пояснения см. в тексте).

Солнечная активность		Температура					Количество осадков					Давление				
		зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень	год
Рост	1700–1780	-0.23 60%	0.54 80%	0.47 70%	0.13	0.34 65%	0.55 75%	-0.24 60%	0.30 60%	0.21 60%	0.39 70%	–	–	–	–	–
Спад	1780–1815	0.54	0.92	0.90	0.65	0.85	0.64	0.93	0.93	0.37	0.88	0.75	0.85	0.28	0.92	0.89
Рост	1815–1850	-0.69	-0.75	0.67	-0.44	0.43	0.71	0.80	0.67	0.88	0.83	0.10	-0.68	0.39	-0.61	-0.46
Спад	1850–1905	-0.04	0.50 65%	0.80 75%	-0.22	-0.41 60%	-0.38 60%	-0.55 65%	-0.39 60%	-0.16	-0.56 65%	-0.36 60%	0.57 70%	0.69 70%	-0.68 70%	-0.07
Рост	1905–1970	-0.09	0.88 85%	0.77 80%	0.80 80%	0.90 85%	0.15	-0.80 80%	-0.56 70%	-0.57 70%	-0.70 80%	-0.84 80%	0.69 75%	-0.57 70%	0.13	-0.28 60%

давления и чисел солнечных пятен W для различных временных промежутков. Поскольку при вычислении коэффициентов корреляции использовались сглаженные кривые, то для определения значимости величин r полное число точек наблюдений для каждого интервала (см. табл. 1 и 2) делилось на период осреднения (20 лет). Это позволило использовать для определения значимости коэффициентов корреляции методы, применимые для небольшого объема выборки (критерий Фишера) [13]. Значимость полученных коэффициентов корреляции также приведена в табл. 1 и 2.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Изменение температуры

Как видно из рис. 1, температура воздуха в Центральной Европе (Швейцария) для осенних, зимних и весенних сезонов и, следовательно, в среднем за год в XVI–XIX вв. была ниже, чем в XX в. С конца XIX в. наблюдается постепенный рост температуры, особенно четко проявившийся в осенне-зимний период. Подобный эффект (рост зимних температур) был отмечен автором [2]. Это потепление совпадает по времени с началом нового векового цикла солнечной активности (рис. 1е). Из рис. 1 также видно, что максимумы предыдущих вековых циклов солнечной активности совпадали с относительно теплыми периодами (сер. XVI, н. XVII, XVIII вв.). Относительно малая амплитуда изменений температурного индекса в эти периоды, по-видимому, связана как с достаточно малой амплитудой вековых вариаций солнечной активности (по сравнению с текущим вековым циклом), так и с влиянием “парникового” эффекта.

Для того, чтобы оценить вклад вариаций солнечной активности в изменение температуры Европы на протяжении нескольких веков, были вычислены коэффициенты корреляции r между изменениями температурных индексов и вариациями чисел Вольфа с 1700 по 1989 г. (см. табл. 1). Обращает на себя внимание тот факт, что коэффициенты корреляции не постоянны на протяжении этого, почти 300-летнего, промежутка. В XX в. изменения температурных индексов практически для всех сезонов (за исключением зимнего) совпадают с вариациями уровня солнечной активности ($r = 0.77–0.91$ с достоверностью не менее 85%). Однако в XVIII–XIX вв. наблюдаются значительные изменения коэффициентов корреляции. Например, изменения GI для весенних температур в XVIII в. коррелируют с изменениями чисел Вольфа ($r = 0.6$ с достоверностью 85%), а в XIX в. коэффициент корреляции значительно уменьшается и меняет знак ($r = -0.27$). Вариации летних температур находятся в фазе с изменениями числа солнечных пятен на всем почти 300-летнем промежутке, однако если в XIX в. коэффициент корреляции достаточно высок ($r = 0.67$ с достоверностью 85%), то в XVIII в. он составляет всего $r = 0.46$. Коэффициенты корреляции между изменениями GI температуры в осенние и зимние периоды в XVIII–XIX вв. достаточно малы.

Для того, чтобы определить как изменяются коэффициенты корреляции в зависимости от фазы векового цикла солнечной активности, были рассчитаны коэффициенты корреляции между сглаженными вариациями метеорологических индексов и числами Вольфа отдельно для фаз роста (1700–1780, 1815–1850 и 1905–1970) и фаз спада векового солнечного цикла (1780–1815 и

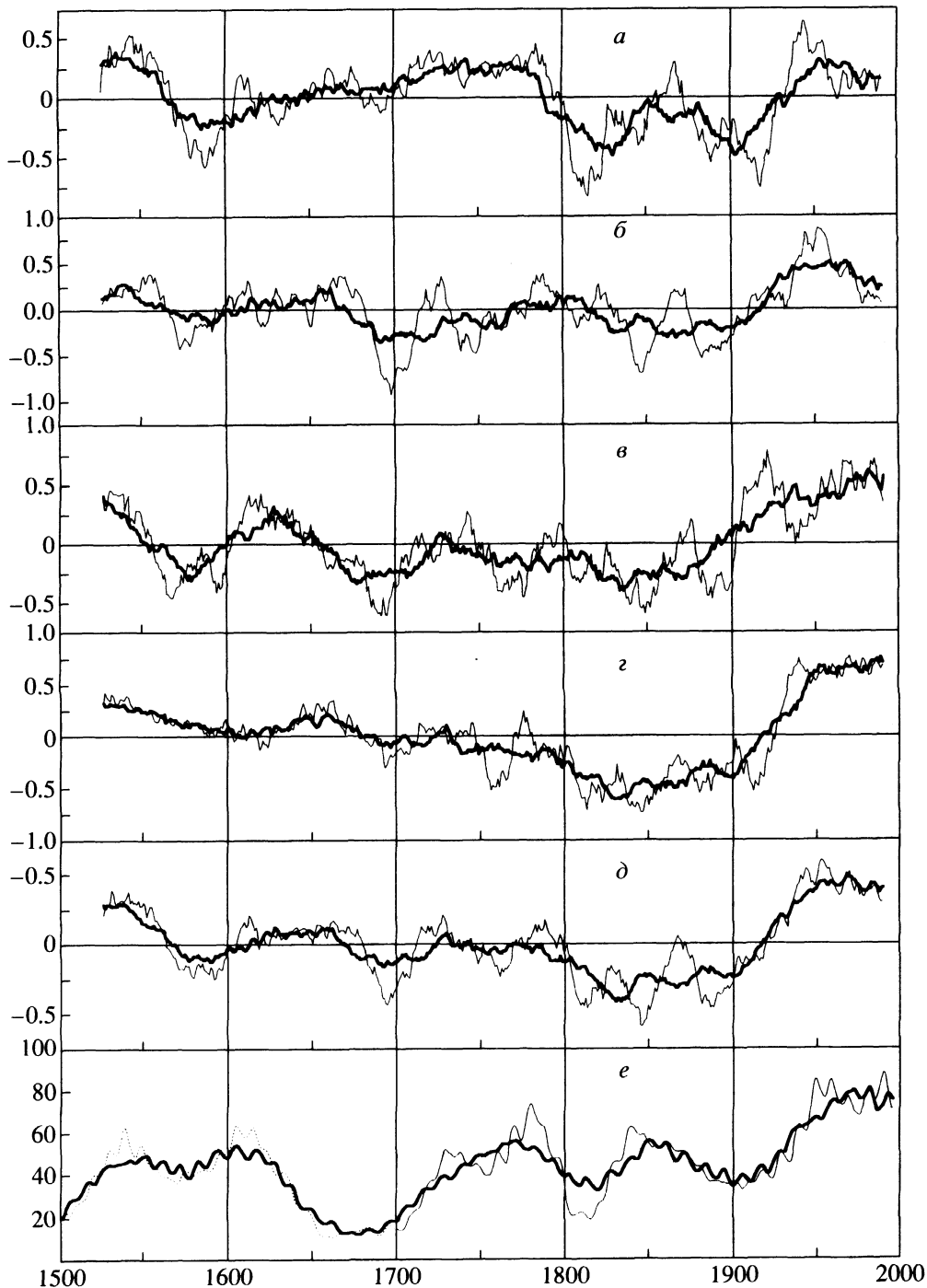


Рис. 1. Вариации индексов температуры в Швейцарии с 1525 по 1989 г., осредненных 20-летним (тонкие кривые) и 50-летним (жирные кривые) скользящим средним для различных сезонов года (лето – *а*, весна – *б*, зима – *в*, осень – *г*) и в среднем за год (*д*); вариации чисел Вольфа (*е*), сглаженных аналогичным образом.

1850–1905). Полученные коэффициенты корреляции для температурных индексов представлены в табл. 2. Вариации весенних и летних температур почти на всем промежутке с 1700 по 1970 г. (за исключением периода с 1815 по 1850 г. для весенних сезонов: $r = -0.75$) находятся в фазе с изменения-

ми общего уровня солнечной активности (коэффициенты корреляции: для весенних сезонов $r = 0.5–0.92$; для летних периодов $r = 0.47–0.9$). Коэффициенты корреляции между изменениями зимних и осенних температур испытывают значительные изменения со временем.

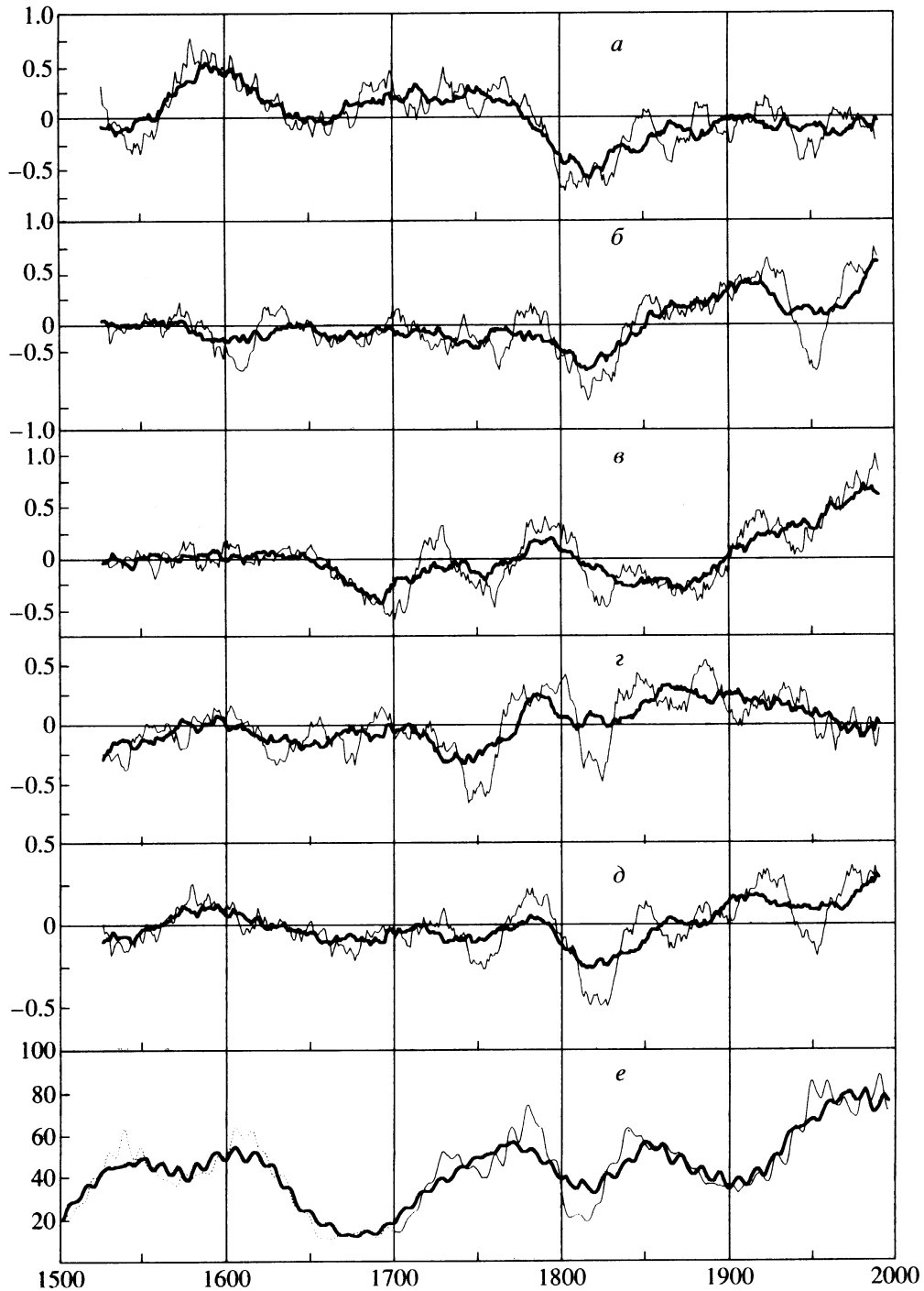


Рис. 2. Вариации индексов количества осадков в Швейцарии с 1525 по 1989 г., осредненных 20-летним (тонкие кривые) и 50-летним (жирные кривые) скользящим средним для различных сезонов года (лето – *a*, весна – *б*, зима – *в*, осень – *г*) и в среднем за год (*д*); вариации чисел Вольфа (*е*), сглаженных аналогичным образом.

2. Изменение количества осадков

Изменения индексов количества осадков (рис. 2) имеют более сложный характер, чем вариации индексов температуры. Летние сезоны (рис. 2*a*) XVI–XVIII вв. характеризовались, по сравнению с XIX–XX вв., достаточно большим количеством

осадков в Центральной Европе, в то время, как для остальных сезонов года максимум осадков приходится на XIX–XX вв.

Коэффициенты корреляции между изменениями индексов количества осадков и числами Вольфа представлены в табл. 1. Полученные дан-

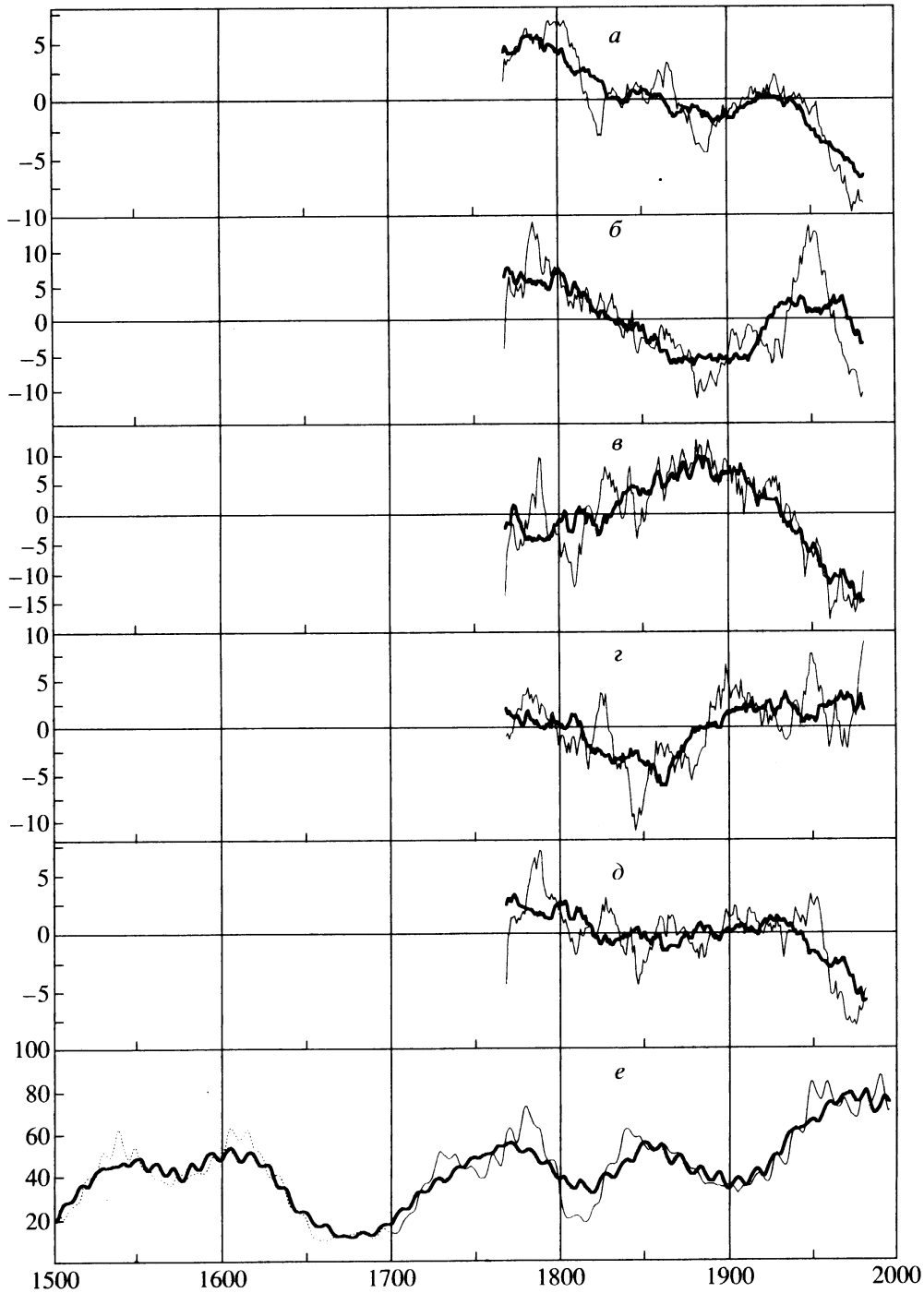


Рис. 3. Вариации атмосферного давления в Швейцарии с 1768 по 1980 г., осредненных 20-летним (тонкие кривые) и 50-летним (жирные кривые) скользящим средним для различных сезонов года (лето – *а*, весна – *б*, зима – *в*, осень – *г*) и в среднем за год (*д*); вариации чисел Вольфа (*е*), сглаженных аналогичным образом.

ные свидетельствуют о преобладании положительной корреляции между изменениями индекса увлажненности и уровня солнечной активности в XIX в. ($r = 0.43–0.55$ с достоверностью не менее 75%) и антикорреляции в XX в. (за исключением зимнего сезона) ($r = 0.41–0.62$ с достоверностью не менее 70%). В XVIII–XIX вв. наблюдаются зна-

чительные изменения коэффициентов корреляции. Например, изменения GI для зимних сезонов в XVIII в. коррелируют с изменениями чисел Вольфа ($r = 0.56$ с достоверностью 85%), а в XIX в. коэффициент корреляции значительно уменьшается и меняет знак ($r = -0.23$). Коэффициенты корреляции между изменениями числа солнеч-

ных пятен и вариациями количества осадков весной, летом и осенью в XVIII в. малы ($r \approx 0.1-0.3$), а в XIX в. они увеличиваются.

Изменение коэффициентов корреляции, вычисленных отдельно для фаз роста и спада вековых солнечных циклов представлены в табл. 2. В отличие от предыдущего случая (вариации индексов температуры), коэффициенты корреляции между изменениями индексов количества осадков для всех сезонов испытывают значительные временные изменения, однако имеются некоторые закономерности. Если с 1700 по 1850 г. преобладает корреляция между метеорологическими и солнечными параметрами ($r = 0.21-0.93$), то с 1850 по 1970 гг. коэффициенты корреляции имеют преимущественно отрицательный знак ($r = -0.16...-0.8$).

3. Изменение атмосферного давления

Поскольку в некоторых работах [2, 14–17] в качестве основной причины изменения климата в ходе различных циклов солнечной активности указывалось изменение распределения атмосферного давления, и поскольку результаты, полученные авторами ранее [18–20] подтверждают это предположение, то в настоящей работе также было исследовано изменение атмосферного давления в исследуемом регионе с сер. XVIII в. по настоящее время (рис. 3).

Как видно из представленных данных (рис. 3 – сглаженные 20-летним и 50-летним средним вариации атмосферного давления в Женеве и Базеле), с кон. XIX в. наблюдается тенденция к понижению атмосферного давления в летние и зимние сезоны (для зимних периодов это понижение давления совпадает с ростом температур и увеличением количества осадков – циклонические условия). В весенние и осенние сезоны, наоборот, имеет место рост атмосферного давления (совпадающий с увеличением температур и уменьшением – в среднем – количества осадков – антициклонические условия).

Изменения коэффициентов корреляции между вариациями атмосферного давления и числами Вольфа представлены в табл. 1. Полученные результаты свидетельствуют об изменении на протяжении 212 лет степени связи между изменениями атмосферного давления и солнечной активности. Если в XIX в. вариации атмосферного давления антикоррелировали с изменением чисел Вольфа ($r < 0$), то в XX в. давление в весенние сезоны изменяется в фазе с общим уровнем солнечной активности ($r = 0.7$ с достоверностью 80%), а в зимние и летние периоды – в противофазе ($r = -0.55$ и -0.85 с достоверностью 75 и 90% соответственно).

Изменение коэффициентов корреляции, вычисленных отдельно для фаз роста и спада вековых солнечных циклов представлены также в табл. 2. Наибольший уровень корреляции с изменениями уровня солнечной активности показывают вариации атмосферного давления весной и осенью ($r = -0.68-0.85$ и $r = -0.68-0.92$ соответственно).

Интересно отметить, что представленные в данной работе результаты свидетельствуют о том, что в большинстве случаев коэффициенты корреляции между изменениями чисел Вольфа и метеорологических величин в вековом цикле имеют противоположный знак с коэффициентами корреляции между изменениями чисел солнечных пятен и метеорологических параметров в 11-летнем солнечном цикле [18, 20].

ВЫВОДЫ

1. Выявлены значительные вариации температуры воздуха, количества осадков и атмосферного давления на территории Центральной Европы (Швейцария) в ходе вековых вариаций солнечной активности.

2. Показано, что коэффициенты корреляции между вариациями метеорологических параметров могут изменяться (вплоть до смены знака) при переходе не только от одного векового солнечного цикла к другому, но и в зависимости от фазы векового цикла (ветви роста и спада).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 98-05-65538.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эдди Дж. История об исчезнувших пятнах // УФН. 1978. Т. 125. Вып. 2. С. 315–325.
2. Визе В.Ю. Климат морей Советской Арктики. М.: Главсевморпуть, 1940. 220 с.
3. Rodrigo F.S. et al. The onset of the Little Ice Age in Andalusia (southern Spain): detection and characterization from documentary sources // Annales Geophysicae. 1995. № 13(3). P. 330–340.
4. Jacoby G.C., D'Arigo R.D., Davaajamts T. Mongolian tree-rings and 20th century warming // Science. 1996. № 273. P. 771–775.
5. Ponyavin D.I. Recurrent streams in the solar winds and "The global warming" in St.-Petersburg // Problems of Geospace. Proceed. "Problems of Geocosmos". 1996. St.-Petersburg. P. 31–35.
6. Ладьюри Э. Ле Руа. История климата с 1000 г. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 280 с.
7. Pfister C. Das Klima der Schweiz von 1525–1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevoelkerung und Landwirtschaft // Bern, 1984. 100 p.
8. Pfister C. Monthly temperature and precipitation patterns in Central Europe from 1525 to the present. A me-

teorology for quantifying man made evidence on weather and climate // *Climate since 1500 A.D.* Bradly R.S., Jones P.D. (eds.). London. 1992. P. 118–143.

9. Pfister C., Kington J., Kleinlogel G., Schuele H., Siffert E. 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* / Frenzel B., Pfister C., Glaeser B. (eds.). 1994. P. 105.
10. McKinnon J. Sunspot Numbers: 1610–1985 // Report UAG-95, WDC-A for Solar-Terrestrial Physics. 1987. P. 112.
11. Наговицын Ю.А. О реконструкции изменений солнечной активности в прошлом // Тр. конф. Современные проблемы солнечной цикличности. С.-Петербург, 1997. С. 377–381.
12. Наговицын Ю.А. Нелинейная математическая модель процесса солнечной цикличности и возможности для реконструкции активности в прошлом // Письма в астрономический журнал. 1997. Т. 23. № 11. С. 851–858.
13. Мацкевич И.П., Свирид Г.П. Высшая математика. Теория вероятностей и математическая статистика. Минск: Высшая школа, 1993. 269 с.
14. Абросов В.Н. Гетерохронность периодов повышенного увлажнения гумидной и аридной зон // Известия ВГО. 1962. № 4. С. 325–328.
15. Гумилев Л.Н. Гетерохронность увлажнения Евразии в древности (Ландшафт и этнос. IV) // Вестник ЛГУ, сер. геология и география. 1966. № 6. С. 62–71.
16. Гумилев Л.Н. Гетерохронность увлажнения Евразии в средние века (ландшафт и этнос. V) // Вестник ЛГУ, сер. геология и география. 1966. № 18. С. 81–90.
17. 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. 145–150.
18. Пудовкин М.И., Морозова А.Л. Проявление циклов солнечной активности в вариациях индексов температуры и увлажненности в Швейцарии с 1525 по 1989 гг. // Тр. конф. Современные проблемы солнечной цикличности. С.-Петербург, 1997. С. 205–209.
19. Пудовкин М.И., Морозова А.Л. Изменение характера 11-летних вариаций температуры, количества осадков и давления на территории США в ходе вековых вариаций солнечной активности с 1700 по 1988 г. // Тр. конф. Новый цикл солнечной активности. С.-Петербург, 1998. С. 353–356.
20. Морозова А.Л., Пудовкин М.И. Гелиосферные процессы и погода // Вопросы геофизики. 1998. Вып. 35. СПб (Ученые записки СПбГУ, № 433). С. 327–337.