

УДК 523.74

11-ЛЕТНИЕ ВАРИАЦИИ КЛИМАТА В ШВЕЙЦАРИИ С 1700 ПО 1989 г. И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

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

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

Поступила в редакцию 03.06.1999 г.

В работе исследован характер вариаций сезонных индексов температуры и увлажненности, а также атмосферного давления в Швейцарии в ходе 11-летнего цикла солнечной активности с 1700 по 1989 г. Показано, что существует связь между вариациями климатических индексов и уровней солнечной активности. Наиболее интересным результатом проведенного исследования является тот факт, что на рубеже XIX и XX вв. происходит смена знака этой связи, что особенно ярко выражается в вариациях климатических параметров в зимние и весенние сезоны.

ВВЕДЕНИЕ

Многие исследователи, интересующиеся проблемой воздействия солнечной активности на погоду и климат Земли, сталкивались с тем, что результаты анализа вариаций климатических параметров (температуры, атмосферного давления, количества осадков, путей движения циклонов и пр.) различными авторами носят иногда противоречивый характер. Этот факт достаточно часто служит серьезным аргументом для доказательства того, что солнечная активность не может оказывать существенного влияния на состояние нижней атмосферы Земли. Тем не менее, можно предположить, что если результаты исследований влияния активности Солнца и климат Земли зависят от региона и рассматриваемого временного промежутка [1], то это может быть связано со сложностью и временной изменчивостью самого механизма воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы Земли.

Результаты, полученные в работах [2] и [3], позволяют предположить наличие 11-летних вариаций в изменении атмосферного давления в районе северной Атлантики. Спектральный анализ вариаций толщины колец деревьев в Европе позволил автору [4] выделить циклические изменения с периодом 10.5 ± 0.6 лет. Позднее результаты [5] выявили значительную связь между изменениями солнечной активности и температуры в Северной Ирландии. Авторы [6] приводят данные, свидетельствующие о том, что периоды повышенного увлажнения и/или низких температур в этом регионе совпадают с эпохами низкой солнечной активности (минимумы Маундера и Шпелера).

Для того чтобы объяснить эту зависимость, авторы [3] и [6] высказали предположение о том, что в периоды высокой солнечной активности

для северо-западной Европы в летние сезоны характерны антициклонические условия. В самом деле, в работах [7] и [8] приведены результаты, подтверждающие зависимость путей циклонов в северо-восточной Атлантике и северо-западной Европе в зимние месяцы от фазы солнечного цикла. В эпоху солнечного максимума “северный” путь атлантических циклонов сдвигается к югу, в то время как “южный” путь сдвигается к северу, причем амплитуда вариаций составляет примерно 10° широты [7]. Результаты, изложенные в [8], свидетельствуют о том, что амплитуда этих вариаций увеличивается в западной фазе квазидвухлетней вариации направления стратосферного ветра над экватором (КДВ). С другой стороны, автор [9] приводит доказательства того, что основные особенности структуры циркуляции Североатлантического региона (устойчивые области пониженного давления и антициклоны) смещаются к северу в период повышенной солнечной активности, а в эпоху слабой активности Солнца имеют более южное расположение. На первый взгляд, эти результаты противоречат описанным выше данным, однако приведенные автором [9] примеры показывают, что рассматривавшиеся им циклоны, по-видимому, следовали “южным” путем.

Кроме короткопериодных изменений (с периодами около 11 и 22 лет) в вариациях солнечной активности присутствуют и длиннопериодные (вековые) циклы. По-видимому, можно ожидать проявления этих вариаций и в изменении земного климата. Автор [3] обнаружил значительные изменения в период с XVIII по XX в. в распределении атмосферного давления над Северной Атлантикой. В частности, в 1790–1829 гг. антициклоны и области пониженного давления располагались южнее, чем в 1900–1939 гг. Начало XX в. совпало с началом нового векового солнечного цикла.

В то же время пути циклонов в Западной Европе сдвинулись к северу – на Скандинавию, Белое и Карское моря [10, 11]. В предыдущие столетия (XVII–XVIII вв.) североатлантические циклоны проходили через Центральную Европу, Балтийское море и Центральную Россию. Эти предположения подтверждаются исследованием характера преобладающих ветров в Арктике [12]: в XIX в. в этом регионе преобладали северо-восточные и юго-восточные ветры (северная часть циклона), а в XX в. – северо-западные и юго-западные (южная часть циклона).

Представленные выше данные позволяют предположить, что характер связи между вариациями климата и короткопериодными (порядка 11 лет) изменениями солнечной активности в Центральной Европе могут претерпевать значительные изменения в ходе вековых солнечных циклов.

В данной работе представлены результаты анализа 11-летних вариаций температуры, атмосферного давления и количества осадков, проведенного отдельно для трех вековых циклов солнечной активности (соответствующих, приблизительно, XVIII–XX вв.).

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 и коллегами [13–15] 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 биологические 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, по-

лученных 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. 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;

± 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 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.).

Данные по вариациям чисел Вольфа (W) (J. McKinnon, [16]) и интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ) получены через World Data Center A, NGDC, NOAA, Solar Database.

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРА 11-ЛЕТНИХ ВАРИАЦИЙ КЛИМАТА И ВЕКОВЫЕ ЦИКЛЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Для того, чтобы определить, имеется ли взаимосвязь между изменением температурного, барического режимов и количества осадков и солнечной активностью был использован метод наложенных эпох. В качестве реперных точек брались годы минимумов солнечной активности.

Из исходных кривых вариаций индексов температуры и увлажненности и изменений атмосферного давления 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

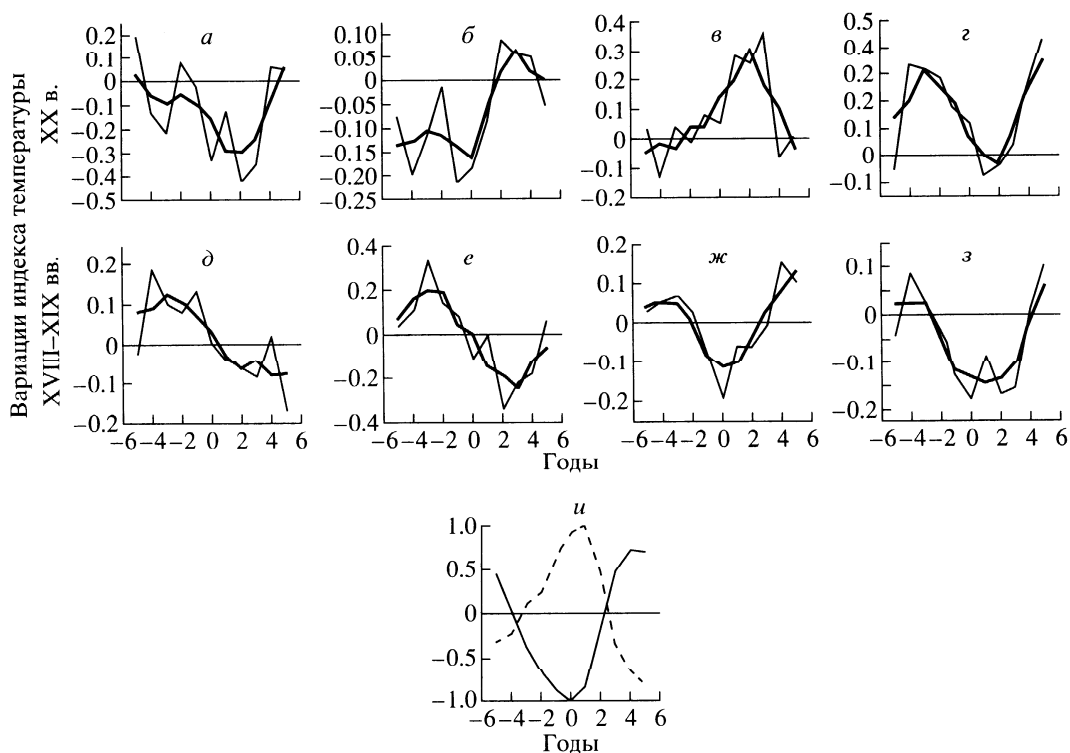


Рис. 1. Нормированные вариации индекса температуры в ходе 11-летнего цикла солнечной активности для двух временных интервалов: XX в. (*a* – осень, *б* – зима, *в* – весна, *г* – лето) и XXVIII–XIX вв. (*д* – осень, *е* – зима, *ж* – весна, *з* – лето) и изменение (*и*) чисел Вольфа (сплошная линия) и интенсивности потока ГКЛ (пунктир) в 11-летнем солнечном цикле.

течение каждого 11-летнего солнечного цикла максимальное (минимальное) значение исследуемой величины было +1 (–1).

Полученные за весь трехсотлетний промежуток времени (с 1700 по 1989 г.) результаты позволяют выделить слабые вариации метеорологических параметров в ходе 11-летнего солнечного цикла. Рассмотрим теперь эти вариации отдельно для трех вековых циклов: примерно с 1700 по 1800 г., с 1800 по 1900 г. и с 1900 по 1989 г.

Результаты анализа, проведенного отдельно для трех “вековых” циклов солнечной активности, показали, что характер вариаций метеорологических параметров в XVIII и XIX в. сходен. Это позволило рассматривать отдельно два временных интервала: с 1700 по 1899 г. и с 1900 по 1989 г. (рис. 1*a*–1*з*–3*a*–3*з*). Вариации чисел Вольфа (*W*) и ГКЛ в ходе 11-летнего цикла, полученные методом наложенных эпох, представлены на рис. 1*и*, 2*и* и 3*и*.

Представленные на рис. 1–3 данные позволяют заметить значительное изменение в характере 11-летних вариаций метеорологических параметров в некоторые сезоны, произошедшее в конце XIX–начале XX в.

Рассмотрим сначала вариации индекса температуры (рис. 1*a*–1*з*). Полученные результаты позволяют предположить резкое изменение в конце XIX–начале XX в. характера 11-летних вариаций температур в зимние (рис. 1*б* и 1*е*) и весенние (рис. 1*в* и 1*ж*) сезоны. С другой стороны, характер вариаций индекса температуры в летний период остался постоянным на протяжении всего трехсотлетнего промежутка (рис. 1*г* и 1*з*).

Результаты, полученные при анализе изменений индекса количества осадков (рис. 2*a*–2*з*), также показывают резкое изменение характера 11-летних вариаций в зимние (рис. 2*б* и 2*е*) и весенние (рис. 2*в* и 2*ж*) сезоны в конце XIX–начале XX в.

Кроме того, анализ вариаций атмосферного давления (рис. 3*a*–3*з*) позволяет предположить, что в XVIII–XIX вв. уменьшение атмосферного давления весной (рис. 3*ж*) наблюдалось в эпоху минимума солнечной активности, а в XX в. – в эпоху максимума (рис. 3*в*). В отношении же зимних сезонов можно отметить, что в XVIII–XIX вв. повышенное атмосферное давление (рис. 3*е*) преобладало в эпоху минимума солнечной активности, а в XX в. – в эпоху максимума (рис. 3*б*).

Коэффициенты корреляции между вариациями климатических параметров (индексов температуры и количества осадков и атмосферного давления) и чисел Вольфа и интенсивности ГКЛ (коэффициенты корреляции, значимость которых превышает 90% выделены жирным)

Числа Вольфа и ГКЛ	Временной промежуток	Индекс температуры				Индекс количества осадков				Атмосферное давление			
		зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
W	XVIII–XIX вв.	-0.24	0.77	0.51	-0.42	0.63	-0.93	-0.08	0.84	-0.15	0.65	0.55	-0.78
	XX в.	0.52	-0.14	0.22	0.29	0.57	0.74	0.07	0.13	-0.22	-0.74	-0.79	0.23
ГКЛ	XVIII–XIX вв.	-0.02	-0.85	-0.68	0.23	-0.79	0.89	0.17	-0.72	0.33	-0.62	-0.63	0.8
	XX в.	-0.36	0.38	-0.5	0.42	-0.32	-0.59	0.24	-0.13	-0.06	0.8	-0.92	-0.21

Коэффициенты корреляции между вариациями климатических параметров (рис. 1а–1з–3а–3з) и чисел Вольфа и интенсивности ГКЛ (рис. 1и, 2и и 3и) для различных временных интервалов приведены в таблице.

Значимость коэффициентов корреляции r была протестирована с помощью серий “случайных” коэффициентов корреляции (r_R). Для вычисления r_R использовалась следующая процедура. Для каждого временного промежутка (XVIII–XIX вв. и XX в.) случайным образом выбирались

“годы минимумов солнечной активности”. Относительно этих реперных годов вычислялись вариации метеорологических параметров в ходе “11-летнего солнечного цикла” и вычислялся коэффициент корреляции этих вариаций с изменениями чисел Вольфа в цикле солнечной активности. В каждой серии вычислялось 1000 коэффициентов. Всего для каждого временного интервала было рассмотрено по 5 серий. Коэффициенты корреляции, значимость которых превышает 90%, выделены в таблице жирным. Кро-

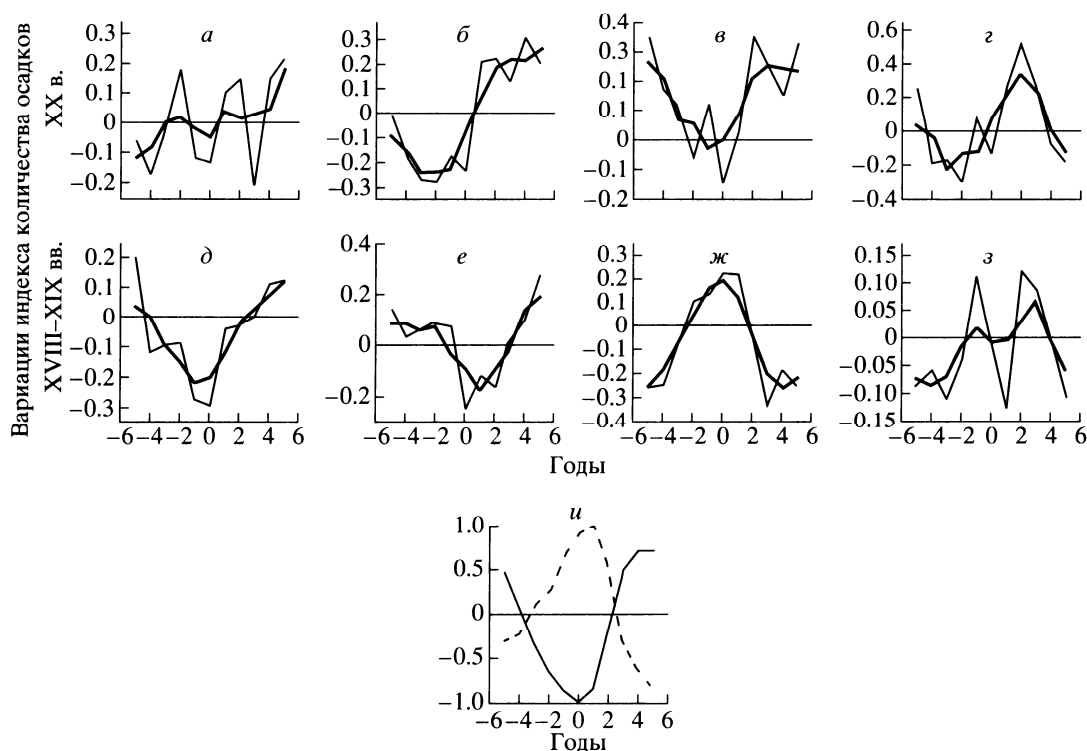


Рис. 2. Нормированные вариации индекса количества осадков в ходе 11-летнего цикла солнечной активности для двух временных интервалов: XX в. (а – осень, б – зима, в – весна, г – лето) и XVIII–XIX вв. (д – осень, е – зима, ж – весна, з – лето) и изменение (и) чисел Вольфа (сплошная линия) и интенсивности потока ГКЛ (пунктир) в 11-летнем солнечном цикле.

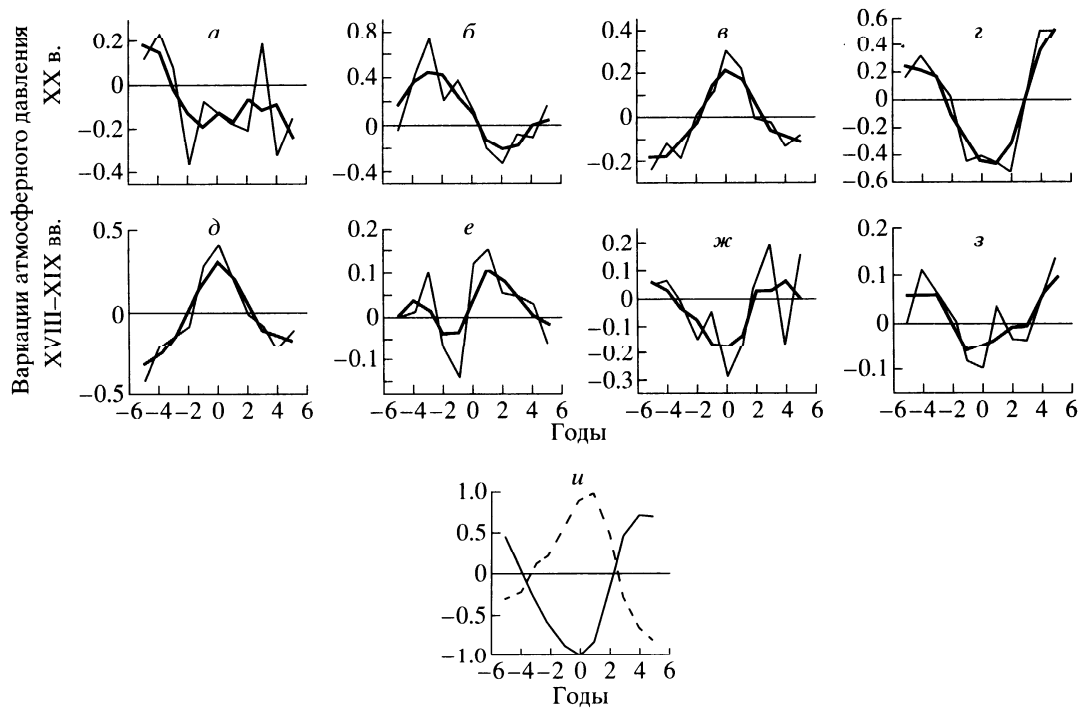


Рис. 3. Нормированные вариации атмосферного давления в ходе 11-летнего цикла солнечной активности для двух временных интервалов: XX в. (а – осень, б – зима, в – весна, г – лето) и XIX в. (д – осень, е – зима, ж – весна, з – лето) и изменение (и) чисел Вольфа (сплошная линия) и интенсивности потока ГКЛ (пунктир) в 11-летнем солнечном цикле.

ме того, значимость основных экстремумов в вариациях индексов температуры, количества осадков и в изменении давления в весенние периоды оценивалась по критерию Стьюдента (значимость – 95–90%).

Представленные в данной работе результаты позволяют предположить, что в конце XIX в. имело место изменение характера связи погодно-климатических условий на территории Швейцарии с уровнем солнечной активности. Например, в XVIII–XIX вв. в годы минимумов солнечной активности (± 1 год) весной стояла холодная и дождливая (по сравнению с периодами максимумов активности Солнца) погода с пониженным атмосферным давлением. В XX в. в эпоху пониженной солнечной активности весны были теплее и суше, чем в период роста активности Солнца, а атмосферное давление было повышенным. На основании такого анализа можно высказать предположение, что в весенние сезоны в XVIII–XIX вв. в годы минимумов солнечной активности преобладали циклонические, а в XX в. в эпоху пониженной солнечной активности преобладали антициклонические условия.

В чем причина кардинального изменения погодно-климатических условий в Центральной Европе в конце XIX–начале XX вв.? Многочисленные ([3], [6]–[7], [10]–[11], [12], [17] и пр.) экспери-

ментальные данные указывают на значительные вариации характера атмосферной циркуляции и путей движения зимних циклонов над Западной и Центральной Европой в рассматриваемый период. Эти вариации могут быть связаны с изменением в ходе вековых вариаций уровня солнечной активности распределения атмосферного давления в этом регионе ([2]–[3]), в особенности, в высокоширотной атмосфере.

Наиболее значимые результаты получены для весенних, летних и осенних сезонов. По-видимому, это может быть связано со значительной изменчивостью в этот сезон года траекторий движения атлантических циклонов над Центральной Европой.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены значительные вариации температуры воздуха, количества осадков и атмосферного давления на территории Швейцарии в ходе 11-летнего солнечного цикла.

2. По-видимому, в конце XIX–начале XX вв. в этом регионе имело место изменение характера вариаций метеорологических величин в ходе цикла солнечной активности: в XVII–XIX вв. в годы минимумов солнечной активности (± 1 год) весной стояла холодная и дождливая, по сравнению с пе-

риодами максимумов активности Солнца, погода с пониженным атмосферным давлением. В XX в. в эпоху пониженной солнечной активности весны были теплее и суше, чем в период роста активности Солнца, а атмосферное давление было повышенным.

3. По-видимому, в весенние сезоны в XVIII–XIX вв. в годы минимумов солнечной активности преобладали циклонические, а в XX в. в эпоху пониженной солнечной активности преобладали антициклонические условия.

4. Причиной описанных вариаций климата могут быть значительные вариации характера атмосферной циркуляции и путей движения циклонов над Западной и Центральной Европой в рассматриваемый период. Эти вариации могут быть связаны с изменением в ходе вековых вариаций уровня солнечной активности распределения атмосферного давления в этом регионе.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoyt D.V., Schatten K.H. The role of the Sun in Climate change // Oxford Univ. Press. 1997. 274 p.
2. Kelly P.M. Solar influences on North Atlantic mean sea level pressure // Nature. 1977. V. 269. P. 320–322.
3. Lamb H.H. Climatic variation studying with the general circulation charts // In Proceedings of the conference "Solar variations, climatic change and related geophysical problems", Annals of the New York Academy of Science, New York Academy Press, New York, 1961. V. 95. Art. I.
4. Currie R.G. Deterministic signals in tree-rings from Europe // Annales Geophysicae. 1992. V. 10. № 5. P. 241–253.
5. Butler C.J. and Johnston D.J. The link between the solar dynamo and climate – The evidence from a long mean air temperature series from Northern Ireland // Irish Astronomical Journal. 1994. V. 21. № 3–4. P. 251–254.
6. Blackford J.J. and 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. № 133. P. 145–160.
7. Brown G.M. and John J.I. Solar cycle influences in tropospheric circulation // Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics. 1979. № 41. P. 43–52.
8. Tinsley B.A. The solar cycle and the QBO influences on latitude of storm tracks in the North Atlantic // Geophysical Research Letters. 1988. V. 15. № 5. P. 409–415.
9. Абросов В.Н. Гетерохронность периодов повышенного увлажнения гумидной и аридной зон // Известия ВГО. 1962. № 4. С. 325–328.
10. Гумилев Л.Н. Гетерохронность увлажнения Евразии в древности (Ландшафт и этнос. IV) // Вестник ЛГУ, сер. Геология и география. 1966. № 6. С. 62–71.
11. Гумилев Л.Н. Гетерохронность увлажнения Евразии в средние века (Ландшафт и этнос. V) // Вестник ЛГУ, сер. Геология и география. 1966. № 18. С. 81–90.
12. Визе В.Ю. Климат морей Советской Арктики. М.: Главсевморпути, 1940. 220 с.
13. Pfister C. Das Klima der Schweiz von 1525–1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevoelkerung und Landwirtschaft // Bern, 1984.
14. 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 // In: Climate since 1500 A. D. (Bradly R.S., Jones P. D. – eds.). London, 1992. P. 118–143.
15. Pfister C., Kington J., Kleinlogel G., Schuele H., Siffert E. The creation of high-resolution spatio-temporal reconstruction of past climate from direct meteorological observations and proxy data. Methodological considerations and results // In: Climate in Europe 1675–1715 (Frenzel B., Pfister C., Glaeser B. – eds.). 1994.
16. McKinnon J. Sunspot Numbers: 1610–1985 // Report UAG-95, WDC-A for Solar-Terrestrial Physics WDC. Boulder, 1987.
17. Nastrom G.D. and Belmont A.D. Evidence for a solar cycle signal in tropospheric winds // Journal of Geophysical Research. 1980. V. 85. № C1. P. 443–452.