

**ВАРИАЦИИ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА
В ПРИМОРЬЕ И 11-ЛЕТНИЙ ЦИКЛ
СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

ВВЕДЕНИЕ

Проблеме гелиотропосферных связей посвящено огромное количество исследований, результаты которых позволяют сделать вывод о том, что если солнечно-атмосферные связи существуют, то они характеризуются региональностью и нестабильностью во времени [1,3]. Региональное проявление солнечно-земных связей в колебаниях погоды и климата объясняется сложным характером циркуляции воздушных масс в земной атмосфере. Многочисленные исследования показали, что в некоторых регионах Земли наблюдается положительная корреляция между индексами солнечной активности и метеорологическими параметрами [4,9], в других – отрицательная [9,10], а в третьих вообще отсутствует [11]. Кроме того, отклик метеорологических параметров на изменение солнечной активности изменяется в зависимости от сезонов года [5,8] и по-разному проявляется в четных и нечетных 11-летних циклах солнечной активности [6,7].

Во второй половине семидесятых годов исследователи солнечно-тропосферных связей разделились на две группы. К первой относились те, кому удалось найти значимые корреляции между параметрами солнечной активности и характеристиками тропосферы, ко второй – те, кто таких корреляций не нашли. К последним принадлежало большинство метеорологов, поскольку при анализе длинных рядов метеорологических данных "в лоб" (т.е. путем сопоставления индексов солнечной активности и метеопараметров за каждый год) выявить отклик тропосферы на изменения солнечной активности не удавалось. Существенным прорывом в проблеме солнечно-атмос-

наблюдается вблизи вершины петли. Скорость опускания в левой половине петли больше скорости подъема в правой половине. Таким образом, характер течений плазмы в петле 06.06.1980 г. может быть описан в предположении, что эти течения обусловлены дрейфом протонов в электрическом поле.

Отметим, что оценки физических условий в петлях, наблюдаемых за лимбом [7,6], дают температуру, несколько меньшую 7000 – 20 000 К и большую плотность $1 \times 10^{11} - 6 \times 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Если ограничиться областью напряженностей электрического поля в петлях $10^{-5} - 10^{-3} \text{ В/см}$, то скорости течений в таких петлях в зависимости от плотности лежат в пределах от 20 до 170 км/с. В наиболее плотных петлях при плотности около $5 \times 10^{12} \text{ см}^{-3}$ скорость дрейфа протонов практически не превышает их тепловой скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зайцев В.В., Степанов А.В.* К динамо-теории солнечных вспышек // *Астрон. ж.* 1991, Т.68, вып.2. С.384-393.
2. *Зайцев В.В., Степанов А.В.* Природа вспышечного энерговыделения на Солнце и диагностика плазмы солнечных вспышек // *Изв. КрАО.* 1994. Т.92. С.25-43.
3. *Молоденский М.М., Филиппов Б.П.* Магнитные поля активных областей на Солнце. М.: Наука, 1992, с.151.
4. *Смирнов Б.М.* Физика слабоионизованного газа. М.: Наука, 1972. 416 с.
5. *Alfen H., Carlqvist P.* Currents in the solar atmosphere and a theory of solar flares // *Solar Phys.* 1967. V.1. P.220-228.
6. *Hirayama T.* Ionized helium in prominences and in the chromosphere // *Solar Phys.* 1972. V.24. P.310-323.
7. *Jefferies J.T., Orrall F.Q.* On the interpretation of prominence spectra. III // *The line and continuous spectrum of a loop prominence and limb flare.* *Ap.J.* 1961. V.133. P.963-968.
8. *Kurokawa H., Hanaoka Y., Shibata K., Uchida Y.* Rotating eruption of an untwisting filament triggered by the 3B flare of 25 april 1984 // *Solar Phys.* 1987. V.108, N 2. P.251- 264.
9. *Loughhead R.E., Bray R.J.* High-resolution photography of the solar chromosphere. XIX. Flow velocities along an active region loops // *Ap. J.* 1984. V.283, N 1. P.392-397.
10. *Loughhead R.E., Bray R.J., Wang J.-L.* High-resolution photography of the solar chromosphere. XXI. Determination of the physical conditions in an H α active – region loop // *Ap. J.* 1985. V.294, N 2. P.697 – 701.

ферных связей явилась серия работ группы К.Лабицке [1]. В этих работах было показано, что отклик атмосферных параметров (как в стратосфере, так и в тропосфере) на изменение солнечной активности становится хорошо выраженным, если рассматриваются отдельно годы различных фаз квазидвухлетних вариаций (КДВ) западных и восточных ветров, существующих на экваторе в стратосфере на уровне 10–40 гПа.

Наибольшее количество исследований по солнечно-атмосферным связям относится к 11-летнему циклу. Сопоставления различных метеорологических явлений в годы высокой и низкой активности Солнца показали, что экстремумы в ходе метеорологических параметров далеко не всегда совпадают с экстремумами числа пятен в 11-летнем цикле [2]. В большинстве случаев обнаруживаются заметные смещения по фазе, которые разнообразны не только у различных метеопараметров, но и у одного и того же параметра при переходе от цикла к циклу или от одного географического региона к другому.

Целью данной работы является определение взаимосвязи (или ее отсутствия) между вариациями приземных температур воздуха в Приморье и 11-летним циклом солнечной активности.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В качестве метеорологических параметров использовались среднегодовые и среднемесячные значения температуры воздуха на станциях Владивосток-порт (за 1881–2001 гг.) и Тимирязевский (за 1911–2001 гг.). Данные были взяты из таблиц метеорологических ежемесячников, хранящихся в архиве Приморского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета. Данные станции Владивосток-порт заканчиваются 1985 г., дальше имеются данные только для станции Владивосток-гора. Временной ход приземной температуры воздуха для этих двух станций практически одинаков (коэффициент корреляции 0,99), но из-за разности высот (высота станции Владивосток-порт 13 м, станции Владивосток-гора – 187 м) ампли-

туды вариаций и постоянные составляющие в этих рядах несколько различаются. Зависимость приземной температуры воздуха t (°C) для станций Владивосток-порт и Владивосток-гора имеет следующий вид:

$$t_{\text{порт}} = 0,986 \times t_{\text{гора}} + 1,36.$$

Используя это уравнение регрессии, данные станции Владивосток-гора с 1986 по 2001 г. были соответственно скорректированы и добавлены к ряду температур станции Владивосток-порт. Таким же образом перерывы в наблюдениях станции Владивосток-порт за 1944–1946 гг. и 1960–1962 гг. были заполнены скорректированными данными станции Владивосток-гора.

Данные температуры воздуха для станции Тимирязевский за период 1911–2001 гг. почти не содержат перерывов.

Из исходных кривых вариаций среднегодовых и среднесезонных температур были удалены тренды, связанные с потеплением климата. А также были исключены вариации с более короткими, чем солнечный цикл, периодами, для чего температурные отклонения сглаживались методом скользящего среднего (интервал осреднения 5 лет). Поскольку погода в теплые и холодные месяцы может по-разному реагировать на вариации солнечной активности, мы рассматривали температурные отклонения как для всего года, так и отдельно для каждого сезона.

В качестве индекса солнечной активности использовались среднегодовые значения чисел Вольфа.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

Для того чтобы определить, имеется ли взаимосвязь между изменением приземной температуры воздуха и солнечной активностью, применялся широко используемый в гелиофизике метод наложенных эпох, который позволяет выделить вклад интересующего нас события на фоне больших шумов случайного происхождения и

вариации температуры тропосферы вблизи интересующего нас периода.

Неодинаковая длительность циклов солнечной активности, а также различная длина восходящей и нисходящей ветвей, меняющаяся при переходе от цикла к циклу, осложняют операцию по подгонке лет одного цикла к другому, поэтому приходится производить искусственное приведение 11-летних циклов к единому стандарту, взяв за реперные точки годы минимумов или максимумов. Мы производили расчеты по методу наложенных эпох двумя способами. В первом в качестве реперных точек брались годы минимумов, все циклы приводились к одной длине и были разбиты на 10 фазовых интервалов. Большинство циклов соответствовало длине в 10 лет, более длинные (циклы № 13, 14, 17, 20) приходилось "сжимать". При совмещении лет циклов вторым способом мы (подобно Вителюсу [2]) совместили все минимумы, с одной стороны, и все максимумы, с другой, а растяжению или сжатию подвергались восходящие и нисходящие ветви циклов. Для стандартной длины восходящей ветви была принята длина в 4 фазовых интервала, для нисходящей – в 7. Все данные были нормированы таким образом, что в течение каждого 11-летнего солнечного цикла максимальное по модулю значение исследуемой величины было равно единице. При вычислениях осреднению подвергались данные за десять циклов (№13 – № 22) для станции Владивосток-порт и за восемь циклов (№ 15 – № 22) – для станции Тимирязевский. Результаты, полученные двумя способами, достаточно хорошо согласуются между собой, поэтому далее мы будем рассматривать результаты анализа только одного из них (второго).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для повышения достоверности полученных результатов мы сравнивали временной ход температурных отклонений Δt для двух станций Владивосток-порт и Тимирязевский, имеющих сходный характер. Коэффициент корреляции между изменениями среднегодовых температур для этих станций равен 0,9 (значимость $p = 99\%$).

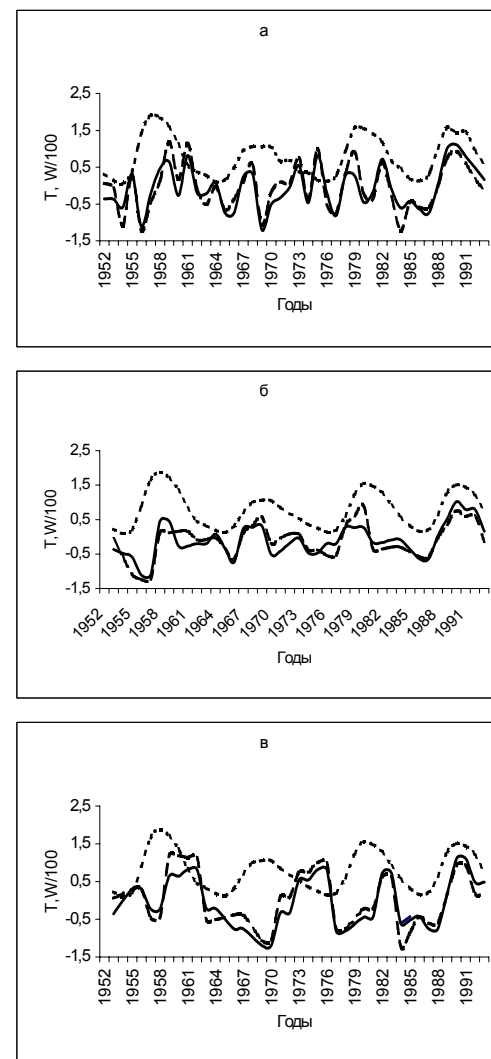


Рис. 1. Временной ход отклонений среднегодовых температур для станций Владивосток-порт (сплошная линия) и Тимирязевский (пунктирная) и уменьшенных в 100 раз чисел Вольфа (точки) за период 1952–1993 гг.: а – все годы; б – годы западной фазы КДВ; в – годы восточной фазы КДВ

Достоверность (Р) коэффициентов корреляции определялась по критерию Стьюдента.

При непосредственном сопоставлении чисел Вольфа W и среднегодовых отклонений температур $\Delta t_{\text{год}}$ действительно трудно обнаружить зависимость между этими величинами (рис.1,а). Коэффициенты корреляции малы ($r_{\text{Вл}} = 0,34$, $r_{\text{Тим}} = 0,31$, $p = 95\%$), связи между $\Delta t_{\text{год}}$ и W практически нет. Согласно исследованиям группы Лабицке при разделении всех данных по фазам квазидвухлетних вариаций стратосферных ветров на экваторе должна получаться значимая корреляция для обоих массивов [1]. Мы располагали данными о фазах КДВ только за 1952–1993 гг., поэтому рассматривался именно этот период. Наши исследования показали, что если для лет с западной фазой КДВ существует связь между $\Delta t_{\text{год}}$ и W (рис.1,б), и найденные коэффициенты корреляции составляют $r_{\text{Вл}} = 0,5$ и $r_{\text{Тим}} = 0,51$ ($p = 98\%$), то для лет с восточной фазой (рис.1,в) можно видеть изменение характера связи от цикла к циклу.

При разделении по фазам КДВ температурных рядов отдельно для каждого сезона года летом и осенью наблюдается положительная корреляция ($r_{\text{лето}} = 0,42$; $r_{\text{осень}} = 0,43$ для станции Владивосток-порт и $r_{\text{лето}} = 0,36$; $r_{\text{осень}} = 0,52$ для станции Тимирязевский) со значимостью 95% в период западной фазы, и корреляция практически отсутствует для любого сезона в период восточной фазы КДВ.

Результаты анализа приземных температур воздуха по сезонам года методом наложенных эпох графически представлены на рис.2. Можно видеть, что максимумы кривых среднегодовых температур для обеих станций смещены относительно максимума кривой чисел Вольфа на 4 года (рис.2,а,е). При сдвиге кривых относительно друг друга на величину 2–3 года получаются значимые коэффициенты корреляции (см. таблицу).

Анализ вариаций индекса температур летом и осенью позволяет предположить, что наиболее высокие температуры в эти сезоны для обеих станций наблюдались в эпоху максимума солнечной активности (рис.2,г,д,и,к). Наиболее высокие и значимые коэффициенты корреляции получены именно для летних и осенних сезонов.

Весной для обеих станций можно отметить понижение температуры на фазе роста активности Солнца и ее повышение на фазе

спада (рис.2,в,з). Для станции Тимирязевский при сдвиге температурной кривой на 3 года относительно кривой солнечной активности получается значимый коэффициент корреляции (см. таблицу).

Коэффициенты корреляции (R) между вариациями температуры и числами Вольфа и их достоверность (p)

Сезон	Владивосток-порт		Тимирязевский	
	R	p	R	p
Год	0,23	-	0,34	-
Сдвиг на 2 года	-	-	0,93	99%
Сдвиг на 3 года	0,93	99%	0,82	99%
Зима	-0,71	98%	0,28	-
Сдвиг на 2 года	-	-	0,81	99%
Весна	-0,76	98%	-0,29	-
Сдвиг на 3 года	-	-	0,92	99%
Лето	0,89	99%	0,62	95%
Осень	0,87	99%	0,93	99%

Зимой же картина получается наиболее противоречивой (рис.2,б,ж). Если для станции Владивосток-порт можно предположить, что наиболее холодные зимы соответствовали эпохе максимума солнечной активности, то для станции Тимирязевский картина не совсем ясна. Здесь скорее можно говорить о положительной корреляции между солнечной активностью и среднезимними температурами при сдвиге кривых на 2 года. Вопрос о причине таких различий остается открытым. Станции находятся в одном регионе, и коэффициент корреляции между зимними температурами станций, осредненными за 5 лет, равен 0,78 ($p=98\%$). Поэтому мы вправе были ожидать, что результаты анализа методом наложенных эпох должны быть похожими, к примеру, как для лета и осени. Но поскольку это не так, можно высказать сомнения по поводу достоверности полученных результатов в зимний период года.

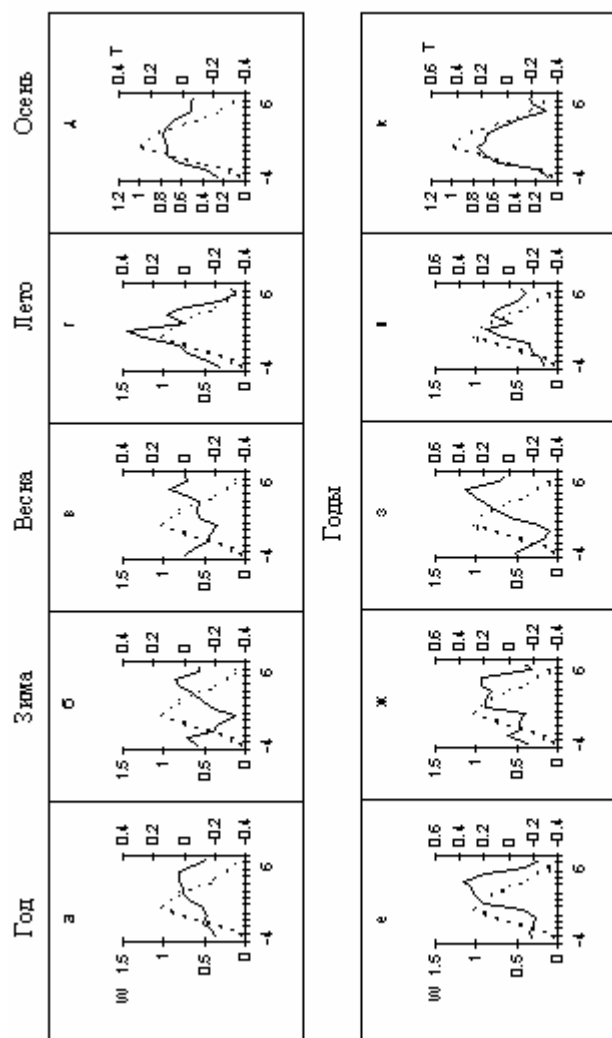


Рис.2. Нормированные вариации годовых и сезонных температур T (сплошная линия) и числа Вольфа W (пунктир): а–д – для станции Владивосток-порт, е–к – для станции Тимирязевский

Очевидного механизма влияния изменчивой части солнечного излучения на нижние слои атмосферы нет. Первая трудность проблемы солнечно-погодных связей обусловлена тем, что приток энергии от Солнца постоянен с высокой степенью точности. Изменение солнечной постоянной от минимума к максимуму в современных циклах солнечной активности составляет $\sim 0,15\%$ [1], и неясно, как такие небольшие изменения могут существенно влиять на изменения тропосферных характеристик. Вторая трудность состоит в том, что прямое воздействие коротковолнового солнечного излучения на тропосферу невозможно из-за поглощения его в мезосфере и нижней термосфере. Значит, должен существовать какой-то триггерный механизм передачи воздействия этого излучения на мезосферу и термосферу вниз в тропосферу [1]. Наиболее перспективными направлениями поиска триггерных механизмов на сегодня являются следующие: динамический, электрический и оптический.

ВЫВОДЫ

1. В работе показано, что существует положительная корреляция между отклонениями среднегодовых, летних и осенних температур и солнечной активностью при западной фазе КДВ. Для лет с восточной фазой корреляция практически отсутствует в любой сезон года.
2. Среднегодовые температуры в Приморье достигают своего максимума через 4 года после максимума солнечной активности.
3. Характер вариаций приземных температур воздуха изменяется в зависимости от сезонов года. Результаты анализа методом наложенных эпох позволяют предположить, что в эпоху максимума солнечной активности летом и осенью в Приморье регистрируются более высокие температуры по сравнению с эпохой минимума. Наиболее значимые результаты получены именно для этих сезонов.
4. Зимой и весной наблюдается либо отрицательная корреляция между значениями температуры и числами Вольфа, либо экстремумы температурных кривых смещены на ветви подъема и спада кривой солнечной активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдюшин С.И., Данилов А.Д. Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему. (Обзор) // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т.40, № 5. С.3-14.
2. Вительс Л.А. Синоптическая метеорология и гелиогеофизика. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 255 с.
3. Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 351 с.
4. Герман Дж.Р., Гольдберг Р.А. Солнце, погода, климат. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 319 с.
5. Комитов Б.П. О возможном влиянии солнечной активности на климат в Болгарии // Солнечные данные. 1986. №5. С.73-78.
6. Комитов Б.П., Крестев Д. Солнечные циклы и кратковременные климатические вариации влажности воздуха в Болгарии. Относительная влажность // Солнечные данные. 1990. №4. С. 83-87.
7. Пудовкин М.И., Люблич А.А. Проявление циклов солнечной и магнитной активности в вариациях температуры воздуха в Ленинграде // Геомагнетизм и аэрономия. 1989. Т.29, №3. С.359-363.
8. Пудовкин М.И., Морозова А.Л. 11-летние вариации климата в Швейцарии с 1700 по 1989 г. и солнечная активность // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т.40, №3. С.3-8.
9. Чистяков В.Ф. Солнечные циклы и колебания климата. Владивосток: Дальнаука, 1997. (Тр. УАФО; Т.1, вып.1). 154 с
10. Югов В.А., Николашкин С.В., Игнатъев В.М. Связь температуры субавропальной нижней термосферы с солнечной активностью и фазами квазидвухлетних колебаний // Геомагнетизм и аэрономия. 1997. Т.37, № 6. С.108-112.
11. Elling W., Schwentek H. No dependence of the temperature of the troposphere at Berlin on the solar activity cycle // Sol.Phys. 1992. V.137, N.2. P.401-402.

А.П Крамынин, И.В. Кузьменко

КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ВОЛНЕ 10,7 см ПО ДАНЫМ ОТТАВЫ ЗА 1947–2000 годы

Интенсивность радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см тесно связана с характеристиками оптических образований на нем [5]. Хорошо известным свойством медленно изменяющейся компоненты радиоизлучения на 10,7 см является наличие периодичности с периодом, равным периоду вращения Солнца. Это свойство низкочастотной компоненты в сантиметровом диапазоне связано с тем, что источники этого радиоизлучения, расположенные в короне над активными областями [3], имеют время жизни, в несколько раз превышающее период вращения Солнца. Поэтому поток радиоизлучения, приходящий от них к наблюдателю на Земле, модулируется вращением Солнца. Авторы [9,10] по анализу спектров мощности нашли, что период вращения радиоисточников s-компоненты изменяется в пределах от 27 до 30 сут, и, как они полагают, эти изменения связаны с широтным дрейфом зоны пятен в течение 11-летнего цикла солнечной активности и законом дифференциального вращения Солнца (так называемая гипотеза широтной стратификации источников и их дифференциального вращения). Однако их же исследования длительных рядов потока радиоизлучения Солнца на волне 10,7 см показывают, что колебания автокорреляционной функции с периодом 27–28 сут не затухают даже при больших сдвигах до 600 сут [10]. Точнее, они пропадают на относительно небольших интервалах, а затем снова появляются, что говорит о существовании выделенных долготных интервалов, в которых концентрация источников радиоизлучения несколько преобладает, и эти долготные интервалы вращаются жестко. Более поздние исследования [2] показали, что в вариациях s-компоненты радиоизлучения наблюдается жесткий период вращения источников около 28 сут, а источники этих