

Влияние солнечной активности на приземную температуру Северного полушария

В.А. Тартаковский, Н.Н. Чередыко*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 11.07.2017 г.

Исследуются ряды температуры с 818 метеостанций Северного полушария и ряд чисел Вольфа за период 1955–2010 гг. Влияние солнечной активности на приземную температуру оценивается косинусом угла между двумя векторами, определяемыми сопоставляемыми рядами. Оценка названа солнечным эффектом. Используется циклическое время, что обеспечивает широкую общую частотную полосу исследуемых рядов. Солнечный эффект имеет монотонно аппроксимируемую зависимость от среднемесячной температуры, отражает географию климата, в том числе влияние глобальных теплых океанских течений. Предлагаемый подход целесообразно применять для анализа данных наблюдений, аналитических преобразований и моделирования климата.

Ключевые слова: солнечная активность, приземная температура, климат; solar activity, surface air temperature, climate.

Введение

Факт существования Солнечной системы предполагает, что природные и климатические процессы на Земле регулируются Солнцем. Моделирование и прогнозирование этих процессов ограничено недостаточным уровнем знаний, хотя исследования солнечно-земных связей ведутся несколько столетий. Проблема сложна и многообразна.

В фотосфере Солнца наблюдаются области пониженной светимости — солнечные пятна, количество и распределение которых служат для расчета чисел Вольфа. Эти числа были выбраны в качестве меры солнечной активности, действующей на геосферу как совокупность энергий различной природы. Существуют представления о недостаточности влияния колебаний солнечной активности для изменения климата. Однако известны некоторые механизмы [1–13], благодаря которым незначительная энергия регулятора способна инициировать существенные изменения в системе. Солнечное магнитное поле изменяет магнитные поля планет, модулирует потоки космических заряженных частиц, которые вместе с частицами солнечного ветра вызывают ионизацию воздуха, изменяют прозрачность атмосферы. При этом меняется также концентрация стратосферного озона, что в совокупности приводит к изменениям радиационного баланса климатической системы и в итоге температуры и давления в тропосфере [3–5, 9].

Необходимая основа для моделирования климата вполне разработана в рамках теории систем, математической физики, компьютерных наук и пр. [14]. Построены математические модели, позволяющие изучать различные климатические сценарии; получены значительные результаты. Тем не менее этого недостаточно для практических прогнозов. Основные нерешенные проблемы были названы в работах [10, 11, 15]: неустойчивость решений систем уравнений в совокупности с невозможностью задать адекватные начальные условия и передаточные отношения, наличие неизвестных механизмов, неопределенность внешнего воздействия на климатическую систему. Существует также необходимость в обоснованных предположениях о стохастических свойствах процессов, образующих анализируемый временной ряд [16].

Природно-климатические процессы инициируются сложным комплексом различных факторов; зарегистрировать и учесть их все почти невозможно. Этим процессы в природе принципиально отличаются от процессов в технических системах, специально сконструированных для реализации выделенных полезных факторов. По названным причинам представление климатической системы традиционными физическими величинами не является очевидным и может быть неэффективным.

Механизмы трансформации солнечной энергии в атмосфере по-прежнему остаются предметом дискуссий и требуют дополнительных исследований. На данном этапе целесообразно расширять сеть наблюдений и, исходя из общих физических принципов, развивать феноменологические основания для изучения и прогноза климата [1, 8, 10]. При

* Валерий Абрамович Тартаковский (trtk@list.ru);
Наталья Николаевна Чередыко (atnik3@rambler.ru).

этом необходимо выявлять такие составляющие рядов наблюдений, которые бы акцентировали закономерности отклика климатической системы на внешние вынуждающие воздействия.

Ранее нами было показано [17, 18], что синхронность есть сущностное свойство климатических процессов. В качестве меры синхронности использовались смешанные начальные моменты. Были найдены и исследованы действующие разнонаправленно компоненты температуры и солнечной активности, обладающие экстремальной синхронностью. Введена фаза температурных колебаний, а их сфазированность как мера синхронности была географически локализована, что привело к адекватной классификации климата в Северном полушарии [19].

В настоящей работе представлены новые результаты, касающиеся влияния солнечной активности на приземную температуру. При этом уникальный ряд чисел Вольфа рассматривается как интегральный индикатор внешнего вынуждающего воздействия.

1. Ряды данных и методы исследования

При выполнении расчетов использовались ряды среднемесячной температуры с 818 метеорологических станций Северного полушария за период с 1955 по 2010 г. Данные были получены на веб-сайте Университета Восточной Англии [20]. Ряд среднемесячных чисел Вольфа за тот же период был взят с веб-сайта Пулковской обсерватории [21]. Для каждой из 818 метеорологических станций температурный ряд содержит 672 отсчета, а размер выборки составляет 549696. Используемый ряд чисел Вольфа также содержит 672 отсчета.

Рассматриваемые ряды температуры $x_{l,k}$ (в °C) и безразмерный ряд чисел Вольфа s_k взаимно однозначно представляют изучаемые процессы. Эти ряды действительные и с ограниченной энергией. Здесь k – дискретный аргумент, принимающий N значений на интервале наблюдений, характеризующий линейное время, а l – номер ряда и метеостанции, где он получен.

Имея в виду, что в солнечной системе происходят квазипериодические движения, целесообразно ввести дискретное циклическое время. Для этого из рядов данных отбираются значения для одного конкретного месяца в каждом году, из которых формируют один новый ряд, и индекс k рассчитывается в циклическом времени следующим образом:

$$k = m + 12(j - 1), \quad (1)$$

где $m \in [1; 12]$ – номер месяца, а $j \in [1; 56]$ – номер года. В частности, матрица средней многолетней температуры на метеостанциях с номером $l \in [1; 818]$ для каждого месяца m за 56 лет вычислялась по традиционной формуле

$$T_{l,m} = \sum_j x_{l,m+12(j-1)} / 56. \quad (2)$$

В линейном и в циклическом временах рассматриваемые ряды можно продолжить по непрерывности на всю действительную ось периодически, четным образом. Для этих рядов с помощью дискретного преобразования Фурье рассчитывались действительные периодические спектры $X_{l,v}$ и S_v . С целью уравнивания длин рядов и последующего сопоставления спектров отсчеты предварительно интерполировались до $N = 2^{12}$ в обоих случаях.

Пусть $v \in [1, N]$ есть дискретная частота. Оценим спектральную плотность P_v для 818 температурных рядов и квадрат модуля W_v спектра Фурье для ряда чисел Вольфа, имея в виду, что в данном случае спектры являются действительными функциями:

$$P_v = \sum_{l=1}^{818} X_{l,v}^2, \quad X_{l,v} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{l,k} \exp(-i2\pi vk/N),$$

$$P_v = P_v / \max(P_v); \quad (3)$$

$$W_v = S_v^2, \quad S_v = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N s_k \exp(-i2\pi vk/N),$$

$$W_v = W_v / \max(W_v)$$

(i – мнимая единица).

Введенные в циклическом времени ряды можно рассматривать как 12 векторов температур $\mathbf{x}_{l,m}$ для каждой метеостанции с номером $l \in [1; 818]$ и 12 векторов чисел Вольфа \mathbf{s}_m для всех метеостанций. Каждый вектор имел изначально по 56 компонент в соответствии с длительностью периода наблюдений:

$$\mathbf{x}_{l,m} = \{x_{l,m+12(j-1)}\}; \quad \mathbf{s}_m = \{s_{m+12(j-1)}\}; \quad j = 1, 2, \dots, 56. \quad (4)$$

Для них вычислялись нормированные начальные смешанные моменты в каждом месяце и для каждой метеостанции. Как известно, такой момент есть косинус угла между векторами, т.е. между $\mathbf{x}_{l,m}$ и \mathbf{s}_m . Он характеризует в нашем случае влияние солнечной активности на поле приземной температуры. Обозначим его как $\alpha_{l,m}$ и назовем «солнечный эффект» или sun effect. Вычисление $\alpha_{l,m}$ может быть выполнено следующим способом:

$$\alpha_{l,m} = \cos(\widehat{\mathbf{x}_{l,m}; \mathbf{s}_m}) = \sum_j x_{l,k} s_k / \sqrt{\sum_j x_{l,k}^2 \cdot \sum_j s_k^2}, \quad (5)$$

где индекс k зависит от m и j в соответствии с выражением (1).

При вычислении солнечного эффекта не происходит центрирования, т.е. в рядах сохраняется ненулевое среднее значение, которое может иметь физический смысл. Интересно, что нормирование в (5) исключает не зависящий от временного индекса (k или j) коэффициент в конкретном ряду. Этим коэффициентом можно было бы описать широтную зависимость солнечной активности, но не

очевидно, что числа Вольфа связаны с геометрией. Их следует рассматривать как интегральный индикатор внешнего воздействия, действующего на Землю. В данном контексте они характеризуют единственное воздействие на входе в климатическую систему, а реакция ее внутренних механизмов отображается в значениях средней температуры на метеостанциях. Никаких предположений о свойствах системы не делается. Исследуют лишь взаимосвязи входа и выходов, используя вполне корректный инструмент (5).

2. Результаты и обсуждение

На рис. 1 сопоставлены спектры P_v и W_v (3) для линейного времени и для циклического. В циклическом времени W_v и P_v быстро убывают и, очевидно, имеют общую полосу частот, например в январе и в июне. В случае линейного времени спектры W_v и P_v затухают медленно, поэтому возможно «просачивание» за частоту Найквиста. Кроме того, у них наблюдается слабое пересечение информационно-значимых частотных интервалов. По этим причинам поиск взаимосвязи между рядами температуры и чисел Вольфа более перспективен

с использованием циклического времени. В этом случае исключается периодичность и консолидируется информация об отклонениях, происходящих в текущее время, и о тех, которые произошли в течение многих предыдущих циклов. В случае линейного времени целесообразны исследования спектральной полосы в окрестностях несущей частоты, связанной с годовым циклом. Оба варианта развивались в наших работах [17–19].

2.1 Солнечный эффект и средняя многолетняя температура

Проведем анализ взаимосвязи солнечного эффекта $\alpha_{l,m}$ и средней многолетней температуры $T_{l,m}$, которые в циклическом времени являются функциями индексов l (номера метеостанции) и m (номера месяца). Точечный портрет сопоставляемых величин оказался очень информативным (рис. 2). Рассеяние точек на нем достаточно мало, просматривается монотонная квазиступенчатая аппроксимация. Некоторая асимметрия расположения точек есть следствие различного количества метеостанций с отрицательной и положительной среднемесячной

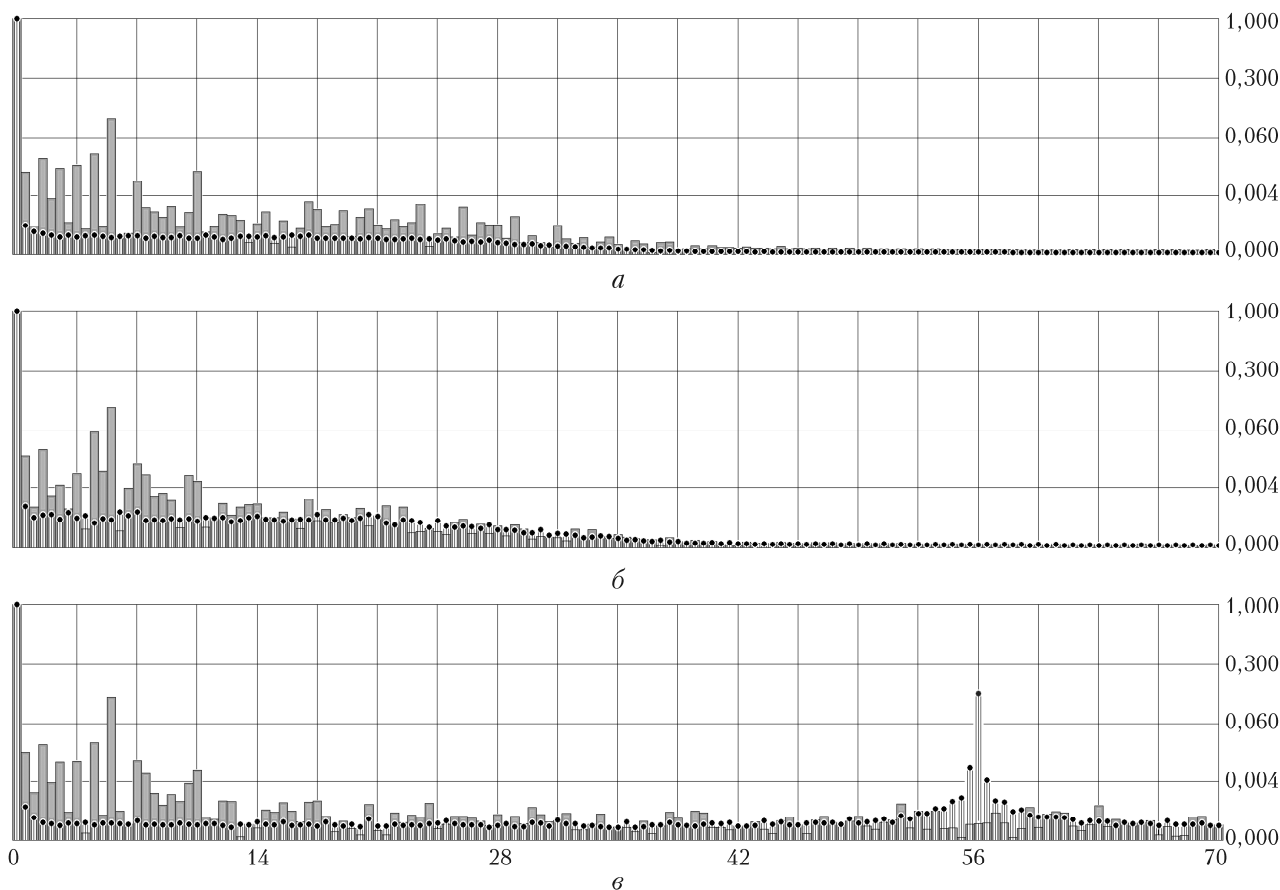


Рис. 1. Сопоставление нормированной спектральной плотности среднемесячной температуры (черные сегменты с точками) и квадрата модуля Фурье-преобразования чисел Вольфа (серые полоски) с 1955 до 2010 г. (в степенном масштабе с показателем $1/4$). Используются циклическое время для января (а) и июня (б) и линейное время (в). Несущая частота $\nu = 56$ обусловлена годовым циклом. Выравнивание длин рядов перед Фурье-преобразованием осуществлялось сплайн-интерполяцией отсчетов до 2^{12}

температурой. Важно отметить, что аргументом этой предполагаемой ступенчатой функции является температура $T_{l,m}$, которая сама достаточно сложно распределена как в пространстве (индекс l), так и во времени (индекс m).

Вблизи нуля в расположении точек присутствует определенная линейность, в большей мере в интервале $\pm 1,5$ °С, где была выполнена линейная регрессия (среднеквадратическое отклонение для температур равно 0,6%). Было установлено, что повышение температуры на 1 °С вызвано увеличением величины солнечного эффекта $\alpha_{l,m}$ приблизительно в 1,4 раза, и он достигает значений около $\pm 0,3$ на границах интервала.

Заметим, что ряды температуры и чисел Вольфа в циклическом времени не являются центрированными, также нет этой операции в выражении (5), поэтому расположение точек в окрестности нуля на рис. 2 можно объяснить только некоторым физическим взаимодействием исследуемых процессов. В частности, линейное изменение солнечного эффекта $\alpha_{l,m}$ с температурой $T_{l,m}$ в интервале $\pm 1,5$ °С наводит на мысль, что оно отображает проявление фазовых переходов воды в приземной атмосфере. Переходы сопровождаются скачкообразными изменениями внутренней энергии, поэтому система становится чувствительной к малым внешним воздействиям.

Рост солнечного эффекта и вынужденный переход воды из твердого состояния в жидкое не приводят к повышению ее температуры, поскольку энергия расходуется на разрыв межмолекулярных связей. При замерзании воды происходит отдача тепловой энергии вовне без понижения температуры; солнечный эффект на рис. 2 имеет при этом отрицательный рост. Эти процессы симметричны: сколько энергии поглотилось, столько и выделилось. В целом расположение точек на рис. 2 этому не противоречит. Однако температура фазовых переходов воды зависит от многих ее параметров, от влагосодержания и состава приземного воздуха в разных пунктах наблюдений, и это может влиять на разброс точек на графике в диапазоне реализации эффекта.

Как следует из рис. 2, большинство из 9816 точек располагаются в нечетных квадрантах, т.е. знаки солнечного эффекта $\alpha_{l,m}$ и среднемесячных температур $T_{l,m}$ в этих точках совпадают. В четные квадранты попали только 35 точек, расположенных вблизи начала координат в диапазонах расчетных температур приблизительно от $-0,077$ до $0,083$ °С и солнечного эффекта от $-0,201$ до $0,289$. Пока неясно, чем это обусловлено.

Как следует из теоремы Парсеваля, расположение большинства точек в нечетных квадрантах на экстремальных уровнях (см. рис. 2) эквивалентно совпадению знаков значительного числа энергетически значимых одноименных спектральных гармоник исследуемых процессов. В этом проявляется синхронизирующее влияние Солнца на природно-климатические процессы [18].

За пределами $\pm 1,5$ °С наблюдается переход значений $\alpha_{l,m}$ к насыщению. В среднем оно достигается на уровнях $-0,77$ (среднеквадратичное отклонение равно $0,02$; при $T \leq -15$ °С расположено 560 точек) и $0,79$ (среднеквадратичное отклонение равно $0,02$; 4350 точек при $T \geq 15$ °С). Стало быть, вне интервала ± 15 °С реализуется максимально возможная согласованность всех рядов среднемесячной температуры с рядом чисел Вольфа. Очевидная ограниченность значений $\alpha_{l,m}$ обусловлена функцией косинус в (5), но уровень насыщения по модулю меньше единицы можно объяснить только реальным соотношением измеренных значений температуры и чисел Вольфа для некоторых станций в определенные месяцы.

2.2. Изменения солнечного эффекта в циклическом времени

Качественный анализ помесечного хода солнечного эффекта $\alpha_{l,m}$ в поле приземной температуры показывает, что эта величина может иметь положительные значения на протяжении всего года, а может менять знак с минуса в холодный период на плюс в теплый (рис. 3). Диапазон изменения, как уже было отмечено, от $-0,77$ (нижний уровень) до $0,79$ (верхний).

Климатические условия поясов от экваториального до субтропического, как известно, наиболее стабильны в годовом ходе. Оказалось, что на большинстве метеостанций этих поясов (оранжевый цвет на рис. 3) солнечный эффект имеет значения вблизи верхнего уровня в течение всего года, но в период с ноября по март на отдельных станциях эти значения уменьшаются. Такая изменчивость соответствует станциям, расположенным в переходных зонах с умеренным типом климата.

Для большинства метеостанций умеренного пояса (черный цвет на рис. 3) значения солнечного эффекта $\alpha_{l,m}$ располагаются вблизи верхнего уровня в период с апреля по октябрь, а с ноября по март опускаются на нижний уровень. На станциях субарктического и арктического поясов $\alpha_{l,m}$ спадает к нижнему уровню в зимние месяцы и в месяцы переходных сезонов, в период полярной ночи (черный цвет на рис. 3); в летние месяцы солнечный эффект достигает верхнего уровня.

Известно существенное климаторегулирующее влияние крупнейших теплых океанских течений на геосистему. Переносимое водой тепло усиливает солнечный эффект и смягчает климат регионов так, что он приближается к условиям более низких широт с точки зрения изменений температуры в течение года. Основываясь на значениях $\alpha_{l,m}$, из числа метеорологических станций умеренного пояса были отобраны станции, максимально подверженные влиянию глобальных теплых течений: станции на побережье Северо-Западной Канады и Южной Аляски, где действует теплое Аляскинское течение (голубой цвет на рис. 3), а также метеостанции, находящиеся под влиянием течения Гольфстрим (зеле-

ный цвет на рис. 3). Видно, что ход солнечного эффекта здесь сходен с таковым для станций более низких широт. Перечень метеостанций этих двух групп приведен в [19].

Выявлены также метеостанции субтропического пояса с отрицательными значениями $\alpha_{l,m}$ и $T_{l,m}$ в зимние месяцы (таблица). Они характеризуются большой высотой расположения над уровнем моря, что обуславливает более суровые климатические условия, нежели на окрестных территориях. Изменения солнечного эффекта на этих метеостанциях показаны черным на рис. 3.

Поступление солнечной энергии в конкретные места происходит в основном посредством прямого прогрева поверхности и атмосферы в соответствии с климатическим поясом, а также путем перераспределения тепла в ходе глобальных и региональных циркуляционных процессов. Ранее было установлено [18], что годовой ход вторых начальных моментов экстремальных составляющих ряда чисел Вольфа отображает существующую географию климата. На рис. 3 годовой ход солнечного эффекта $\alpha_{l,m}$ также отображает эту географию. При этом обнаружена неизвестная ранее особенность — наибольшие и наименьшие значения солнечного эффекта составляют около 80% от теоретически возможных значений ± 1 .

Заключение

Подтверждено синхронизирующее влияние солнечной активности на поле приземной температуры. Обнаружение этого влияния стало возможным благодаря использованию циклического времени и новой для исследуемой проблемы оценки, которая была названа «солнечный эффект». Ряд чисел Вольфа как интегральный индикатор внешнего воздействия и как входной сигнал в климатическую систему Земли сопоставлялся с выходными сигналами — температурными рядами. Исследование позволило выявить новые детали глобального перераспределения энергии в климатической системе.

— Солнечный эффект распределяется по метеостанциям в пространстве и во времени, имея монотонно аппроксимируемую зависимость от среднемесячной температуры.

— В диапазоне $\pm 1,5$ °C повышение температуры на 1° вызвано увеличением солнечного эффекта приблизительно в 1,4 раза.

— Происходит насыщение солнечного эффекта в среднем на уровнях $-0,77$ и $0,79$ при возрастании отрицательных и положительных среднемесячных температур соответственно.

— Максимальный наблюдаемый солнечный эффект составляет приблизительно 80% от теоретически

Метеостанции субтропического пояса с отрицательными значениями солнечного эффекта

ISI	Широта, град	Долгота, град	Высота н.у.м., м	Alpha-2 ISO 3166-1	T, °C, январь
55591	29,7	91,1	3650	CN	-1,4
56137	31,2	97,2	3316	CN	-2,0
52836	36,3	98,1	3191	CN	-10,0
72486	39,3	-114,9	1909	US	-3,8
72564	41,1	-104,8	1872	US	-2,6
17096	39,9	41,3	1758	TR	-9,0
72576	42,8	-108,7	1696	US	-6,4
17170	38,5	43,4	1661	TR	-3,6
72569	42,9	-106,5	1612	US	-4,7
52533	39,8	98,5	1477	CN	-9,4
72476	39,1	-108,6	1473	US	-3,0
51828	37,1	79,9	1375	CN	-4,6
72578	42,9	-112,6	1358	US	-4,5
72583	40,9	-117,8	1315	US	-1,2
51709	39,5	76,0	1291	CN	-5,6
72572	40,8	-112,0	1289	US	-1,7
72666	44,8	-107,0	1209	US	-5,6
17092	39,7	39,5	1154	TR	-2,9
72465	39,4	-101,7	1124	US	-2,0
53614	38,5	106,2	1111	CN	-8,1
72677	45,8	-108,5	1091	US	-4,1
17244	37,9	32,5	1031	TR	-0,0
72662	44,1	-103,1	1030	US	-4,8

возможного, и он достигается в диапазоне среднемесячной температуры $\sim 2,5\text{--}45^\circ\text{C}$ как для отрицательных, так и для положительных температур.

— Изменение солнечного эффекта в течение года отображает географию климата, и в том числе действие теплых глобальных океанских течений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РАН.

1. *Ракипова Л.Р.* Влияние вариаций концентрации озона на термический режим атмосферы // Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Л.: Гидрометеоздат, 1974. С. 359–361.
2. *Callis L.B., Nealy J.E.* Solar UV variability and its effect on stratospheric thermal structure and trace constituents // *Geophys. Res. Lett.* 1978. V. 5, N 4. P. 249–252.
3. *Пудовкин М.И.* Влияние солнечной активности на состояние нижней атмосферы и погоду // Сорос. образоват. ж. 1996. № 10. С. 106–113.
4. *Svensmark H., Friis-Christensen E.* Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage — a missing link in solar-climate relationships // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 1997. V. 59. P. 1225–1232.
5. *Пудовкин М.И.* Influence of solar activity on the lower atmosphere state // *Int. J. Geomagn. Aeron.* 2004. V. 5, N 2. P. G12007. DOI: 10.1029/2003GI000060.
6. *Haigh J.D., Blackburn M., Day R.* The response of tropospheric circulation to perturbations in lower-stratospheric temperature // *J. Clim.* 2005. V. 18. P. 3672–3691.
7. *Lean J., Rottman G., Harder J., Kopp G.* SORCE contributions to new understanding of global change and solar variability // *Sol. Phys.* 2005. V. 230. P. 27–53.
8. *Jager C., Usoskin I.* On possible drivers of Sun-induced climate changes // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2006. V. 68. P. 2053–2060.
9. *Courtillot V., Gallet Y., Le Mouél J.-L., Fluteau F., Genevey A.* Are there connections between the Earth's magnetic field and climate? // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2007. V. 253. P. 328–339.
10. *Scafetta N.* Solar and planetary oscillation control on climate change: hind-cast, forecast and a comparison with the CMIP5 GCMS // *Energy Environ.* 2013. V. 24, N 3–4. P. 455–496.
11. *Scafetta N.* Global temperatures and sunspot numbers. Are they related? Yes, but non linearly. A reply to Gil-Alana et al. // *Physica A.* 2014. V. 413. P. 329–342.
12. *Lam M.M., Tinsley B.A.* Solar wind-atmospheric electricity-cloud microphysics connections to weather and climate // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2016. V. 149. P. 277–290.
13. *Svensmark J., Enghoff M.B., Shaviv N.J., Svensmark H.* The response of clouds and aerosols to cosmic ray decreases // *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 2016. V. 121, iss. 9. P. 8152–8181.
14. *Дымников В.П.* Устойчивость и предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов. М.: ИВМ РАН, 2007. 283 с.
15. *Сайт* ФГБУ Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. URL: <http://meteoinfo.ru/forecasts-limits> (дата обращения: 01.06.17).
16. *Ghil M.M., Allen R.M., Dettinger D., Ide K., Kondrashov D., Mann M.E., Robertson A.W., Saunders A., Tian Y., Varadi F., Yiou P.* Advanced spectral methods for climatic time series // *Rev. Geophys.* 2002. V. 40, N 1. P. 1–41. DOI: 10.1029/2001RG000092.
17. *Тартаковский В.А.* Синхронный анализ рядов чисел Вольфа и температуры с метеостанций Северного полушария Земли // *Оптика атмосф. и океана.* 2015. Т. 28, № 2. С. 182–188.
18. *Tartakovsky V.A.* Synchronicity as an essential property of solar-terrestrial relations: Latent components // *Nonlin. Proc. Geophys. Dis.* 2015. V. 2. P. 1275–1299. DOI: 10.5194/npgd-2-1275-2015.
19. *Cheredko N.N., Tartakovsky V.A., Krutikov V.A., Volkov Yu.V.* Climate classification in the Northern hemisphere using phases of temperature signals // *Atmos. Ocean. Opt.* 2017. V. 30, N 1. P. 63–69. DOI: 10.1134/S1024856017010043.
20. *Архив* Университета Восточной Англии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metoffice.gov.uk>, <http://www.cru.uea.ac.uk> (дата обращения: 01.06.17).
21. *Главная* (Пулковская) Астрономическая Обсерватория [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gao.spb.ru> (дата обращения: 01.06.17).

V.A. Tartakovsky, N.N. Cheredko. Sun effect on surface temperature in the Northern hemisphere.

Series of temperatures measured at 818 weather stations in the Northern hemisphere and one series of Wolf numbers for the period from 1955 to 2010 are considered. The sun effect on the surface temperature is estimated by the cosine of the angle between the two vectors determined by the series under consideration using the cyclic time. The technique is effective because it provides a broad common frequency band of the series under study. The sun effect has a monotone approximated dependence on the monthly average temperature and reflects the climate geography, including the effect of warm ocean streams. The approach suggested is expedient for applications in the development of observational data analysis, analytical transformations, and climate simulations.

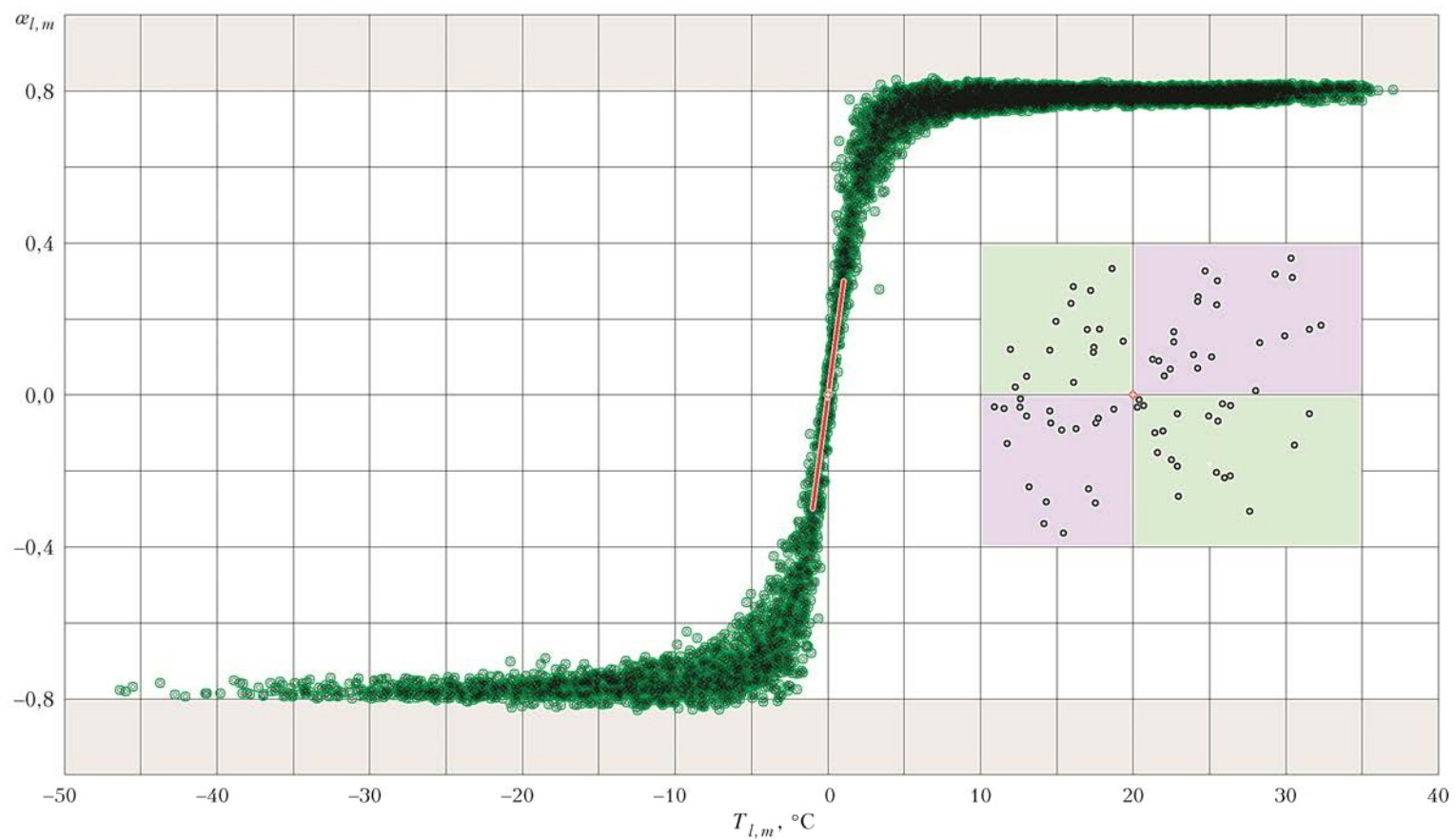


Рис. 2. Солнечный эффект как функция средней многолетней температуры $T_{l,m}$ (°C) в период с 1955 по 2010 г. Всего 9816 точек, из них 1977 при отрицательной температуре и 7839 – при положительной. Линия регрессии проведена в диапазоне $\pm 1,5$ °C, где располагаются 535 точек. Сплошной серый цвет заполняет диапазон вне $\pm 0,8$. На врезке показана увеличенная окрестность начала координат, там все 35 точек в четных квадрантах расположены в диапазонах рассчитанных температур приблизительно от $-0,077$ до $0,083$ °C и солнечного эффекта от $-0,201$ до $0,289$

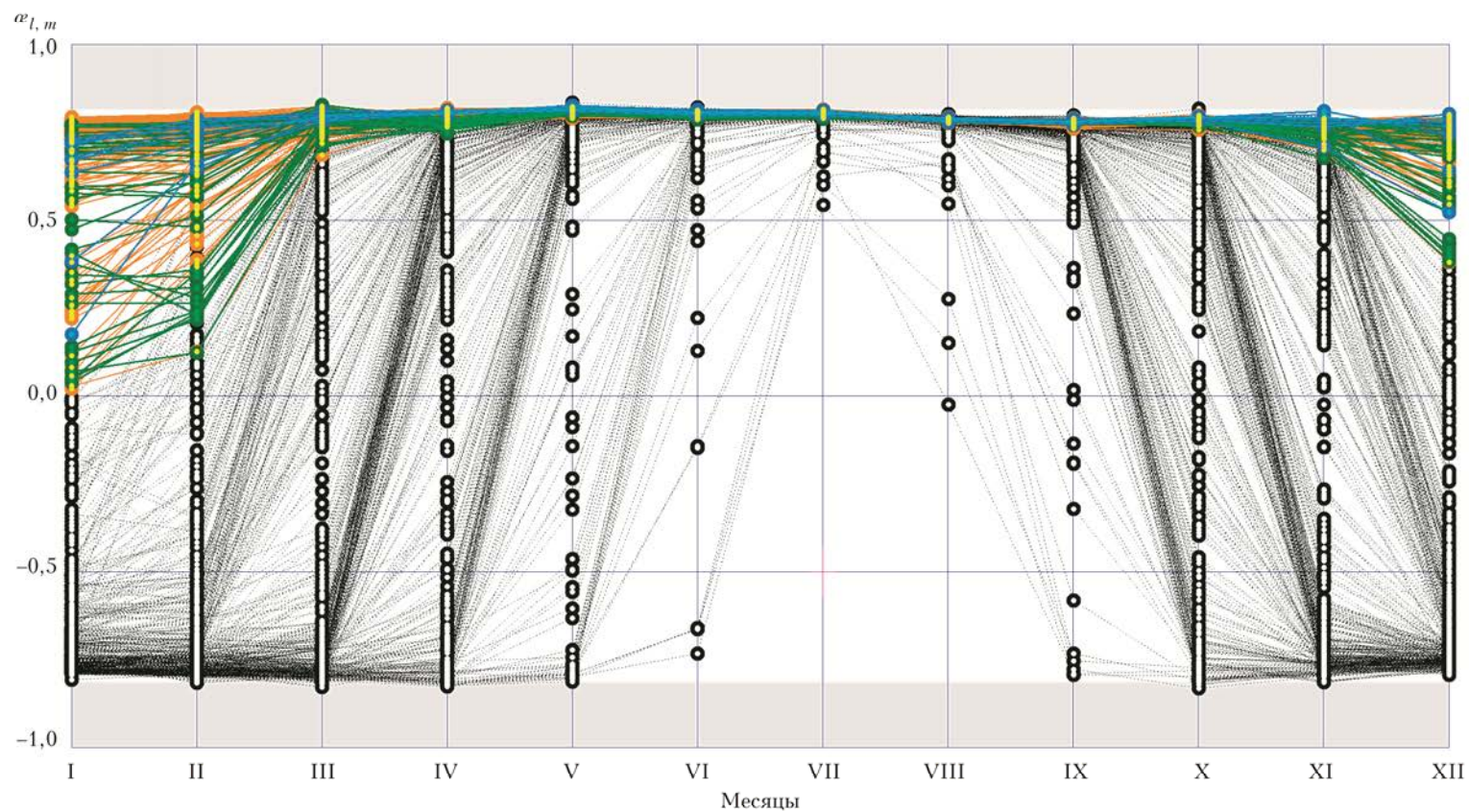


Рис. 3. Солнечный эффект помесячно за период с 1955 по 2010 г. на метеостанциях с индексами l . Желтым и оранжевым цветом показаны 351 станции, расположенные между $-0,5^\circ$ ю.ш. и $45,8^\circ$ с.ш.; зеленым отмечены 39 станций в Северной Атлантике ($46-62,9^\circ$ с.ш.); синим и голубым – 9 станций на северо-западном побережье Америки ($45,6-55^\circ$ с.ш.); черным – 419 станций, которые не совпадают с предыдущими ($29,7-80,6^\circ$ с.ш.). Сплошной серый цвет заполняет диапазон вне $\pm 0,8$