

УДК 551.590.21

**В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, В. С. Микуцкий, Н. Н. Шешко, Ю. А. Шубская****ПОЛУГODOВАЯ ОКЕАНИЧЕСКАЯ МОДУЛЯЦИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТРЕНДОВ  
ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЕРИОД ПОСЛЕДНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА**

*Рассмотрены тренды температуры на станции Минск для каждых суток года за период с 1966 по 2008 г.. Выявлено, что величины трендов температуры испытывают квазипериодические полугодовые изменения в годовом ходе. Показано, что величина трендов температуры модулируется адвекцией тепла течениями системы Гольфстрим.*

До недавнего времени изучение изменений климата и их причин осуществлялось в основном с использованием температур, осадков, давления и других характеристик месячного и годового разрешения. Между тем, уже первые работы с использованием метеорологических характеристик с суточным разрешением, максимальных и минимальных температур, амплитуд суточного хода позволили выявить некоторые «тонкие» свойства изменений климата и продвинуться в понимании причин изменений климата [4, 5, 15–17].

В статье использован новый подход к изучению трендов температуры, а именно, проведен анализ величины трендов суточной, ночной и дневной температур за период с 1966 по 2008 г. Использованы 8-срочные данные наблюдений на станции Минск, расположенной в центре Беларуси. Ночную и дневную температуру определяли как результат осреднения в 0, 3, 6 часов и, соответственно, в 12, 15 и 18 часов.

Значения линейных трендов суточной, ночной и дневной температуры для каждых из 365 суток за период с 1966 по 2008 г. приведены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что величина линейного тренда температуры для каждых суток года испытывает в течение года существенные изменения. Даже визуально в течение года просматривается наличие двух максимумов величины линейных трендов: главный максимум, особенно выраженный в середине января, и вторичный максимум во второй половине июля и середине августа. Минимумы величин трендов особенно заметны в первой половине мая и в ноябре. Это свидетельствует о том, что в изменении величин трендов температуры, вычисленных для каждых суток года, прослеживаются квазиполугодовые колебания, т. е. величина трендов температуры в годовом ходе модулируется внешним или внутренним фактором, имеющим полугодовую составляющую.

Для более четкого выделения полугодового цикла суточных трендов проведена фильтрация высокочастотных колебаний рядов суточных трендов среднесуточной, дневной и ночной температур. Ширина окна скользящего сглаживания

определена по результатам спектрального анализа рядов и выбрана равной 49 дням.

Периодограмма и спектрограмма величин суточных трендов температуры представлена на рис. 2.

Действительно, периодограммы отмечают наличие существенных периодических компонент ~35–50 суток (рис. 2 а). Соответствующий спектр, полученный из периодограммы с помощью сглаживающего окна Хемминга, рис. 2 б.

Сглаженные (отфильтрованные) по 49 точкам значения величин трендов температуры приведены на рис. 3.

Рис. 3 подтверждает наличие в изменении величин трендов температуры в годовом ходе двух разных по величине максимумов, приходящихся на вторую половину января – начало февраля и конец июля – начало августа, а также двух минимумов: в конце мая и конце октября – первой половине ноября.

Двугорбая кривая в годовом ходе заметна в изменении разностей величин трендов ночных и дневных температур: ночью величины трендов температуры больше, чем днем в зимние и летние сезоны, а днем – наоборот, величины трендов температуры выше в весенние и осенние сезоны.

Установленный характер изменения величин трендов температуры в годовом ходе свидетельствует о том, что объяснение повышения температуры за счет роста содержания парниковых газов в последние десятилетия имеет более сложный характер и требует дальнейшего обоснования.

Основные причины более мощных положительных трендов температуры зимой по сравнению с трендами летом могут быть связаны с более ярким проявлением парникового эффекта зимой и ночью, когда термодинамические условия (частое инверсионное распределение температуры по высоте) способствуют подавлению вертикальной конвекции и большему повышению температуры в нижней атмосфере (менее 1 км). Летом активная вертикальная конвекция «размывает» потепление в более толстом слое и делает его менее заметным. Собственно поэтому летний пик величины трендов меньше зимнего.

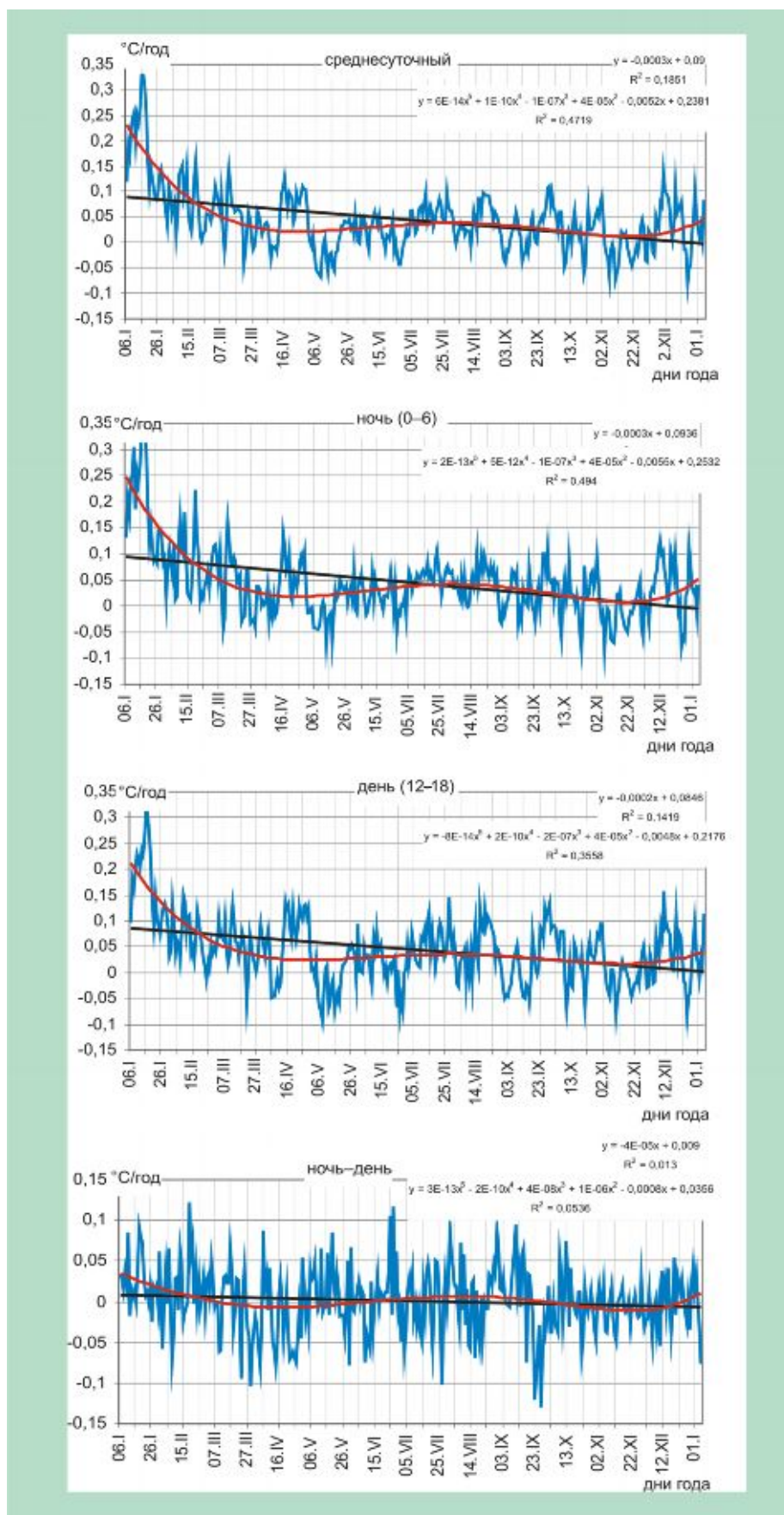
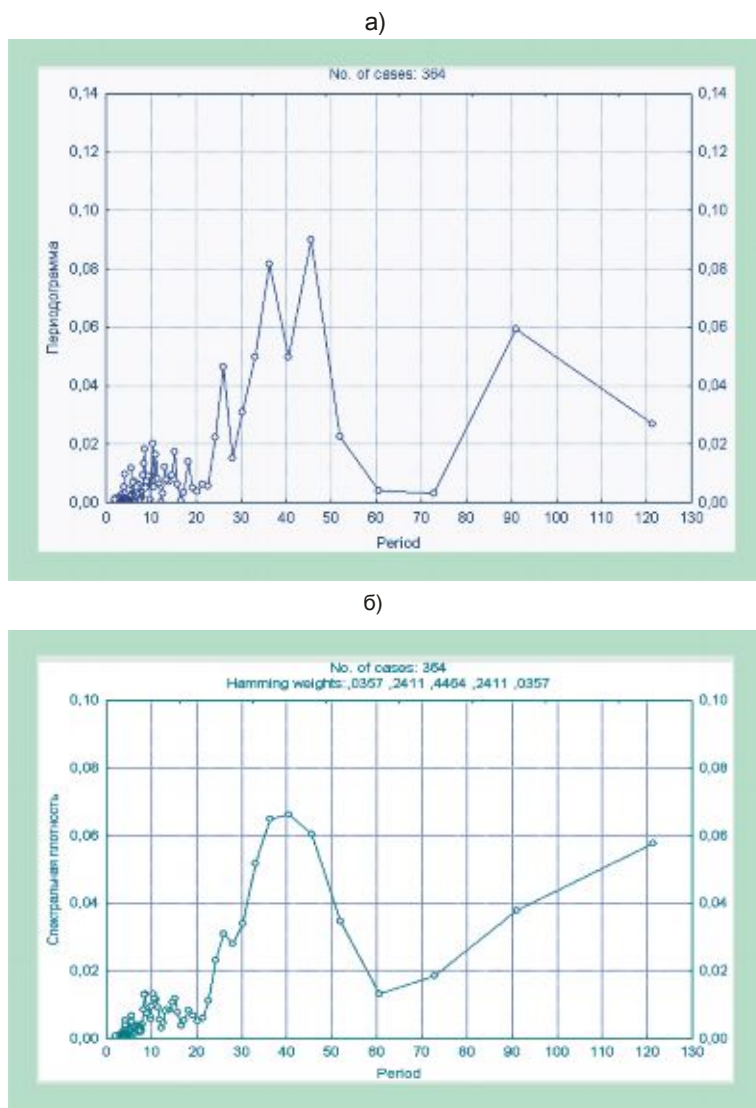


Рис. 1. Значения линейных трендов температуры для каждого суток и разности ночных и дневных трендов для периода с 1966 по 2005 г. (в °C/ год)



**Рис. 2. Периодограмма (а) и спектрограмма (б) величин суточных трендов температуры**

Вторым фактором, способным уменьшить величину потепления летом, являются аэрозоли естественного (вулканического) и антропогенного происхождения. Демпфирующее значение аэрозолей, естественно, должно быть больше летом, когда радиационные факторы климата становятся доминирующими. В холодное время года роль циркуляционных факторов климата существенно увеличивается, а роль аэрозольной составляющей изменения климата становится минимальной. Такой аэрозольный эффект в изменении разности температур «большой город – пригород» подробно рассмотрен нами в работах [4, 5].

Прямой и, особенно, косвенный (через образование дополнительной облачности) эффект аэрозолей имеет значительную неопределенность [7, 14]. Показано, что в холодное время года тепляющий эффект облачности определяет около 50 % общей изменчивости температуры на станциях России [12]. В теплое время года охла-

ждающий эффект облачности определяется около 25 % общей изменчивости температуры. В апреле и октябре доля объясненной вариации за счет облачности минимальна и составляет менее 5 %. В апреле осуществляется переход от тепляющего к охлаждающему эффекту, а в октябре, соответственно, – наоборот. Заметим, что вблизи указанных переходов и наблюдаются минимальные значения величины трендов температуры в Беларуси.

Парниковый эффект облачности так же, как и эффект парниковых газов, больше в холодное время года в высоких широтах, т.е. при условиях, когда радиационный эффект слабый положительный или даже отрицательный.

При большой инсоляции относительно слабый парниковый эффект облачности в теплый период перекрывается отражательной способностью облачности, а это приводит к понижению температуры в нижней атмосфере.

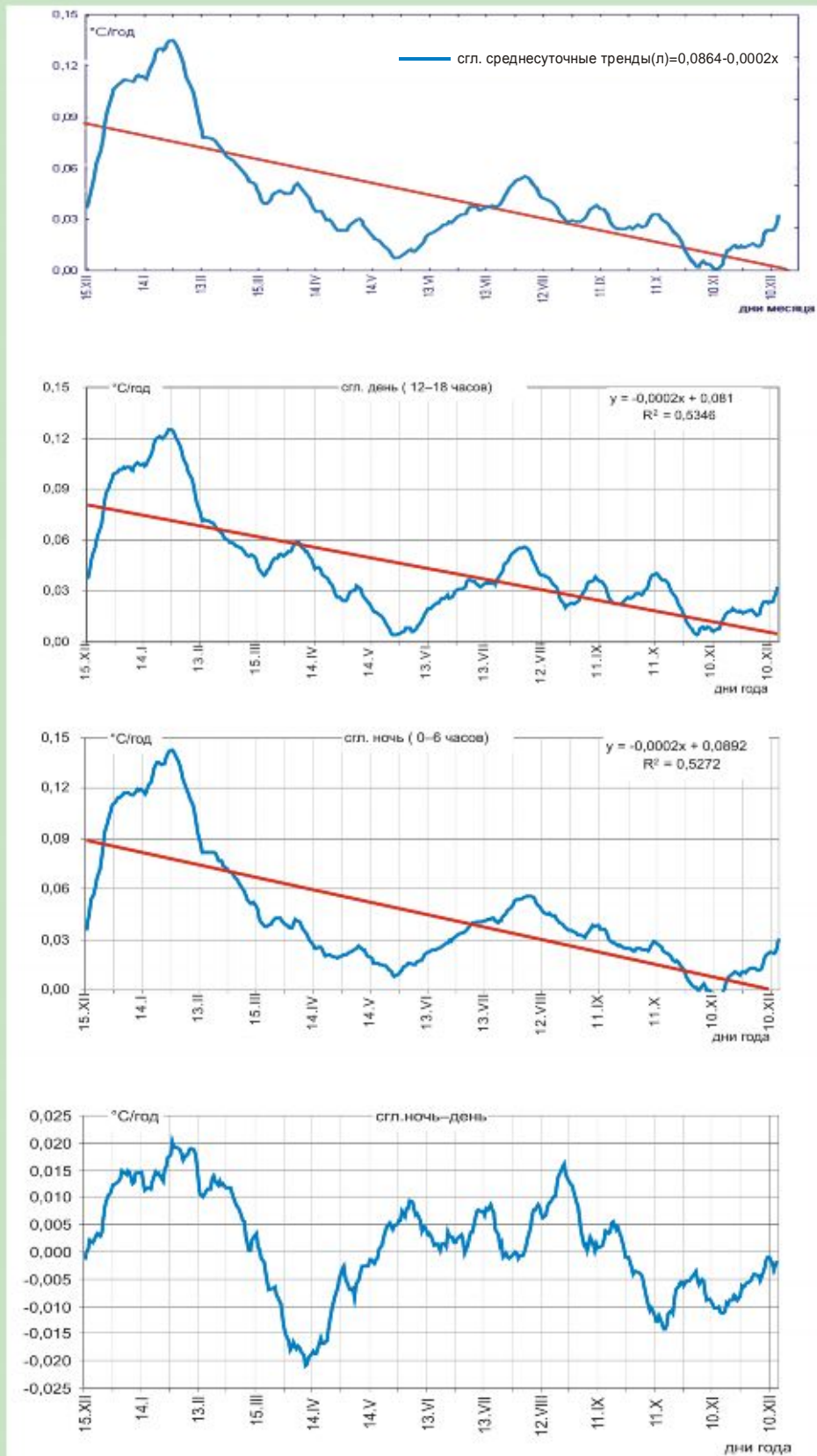


Рис. 3. Сглаженные (отфильтрованные) по 49 точкам значения величин трендов температуры и разностей трендов ночной и дневной температур

Известно, что изменчивость температуры в холодное время года существенно выше, чем в теплое. В этой связи представляется полезным провести нормировку величин трендов суточных средних, ночной и дневной температур. С учетом этого, нормировка температуры (среднесуточной, ночной или дневной) проводилась делением значений суточного тренда на среднеквадратическое отклонение температуры данных суток следующим образом:

$$\bar{b} = \frac{b \cdot N}{\sigma_t}$$

где  $b$  – тренд температуры данных суток (град/год),  $\sigma_t$  – среднее квадратическое отклонение температуры данных суток (град),  $N$  – длина ряда, равная 43 (год). Таким образом получены безразмерные нормализованные величины трендов, представленные на рис. 4, а на рис. 5 представлены сглаженные (отфильтрованные) величины трендов температуры.

Из рис. 4 и 5 следует, что нормализованные значения величины трендов становятся соизмеримыми зимой и летом. Полугодовое колебание в изменении нормализованных величин тренда еще более выражено, а разность ночных и дневных величин трендов температуры становится положительной в мае–сентябре, т.е. в теплый период года. Этот результат можно объяснить более ярким проявлением аэрозольного демпфирования потепления климата, связанного с ростом содержания парниковых газов, именно днем, когда ослабление радиации за счет аэрозолей естественного и антропогенного происхождения максимально. Ранее подобный эффект обнаружен нами при исследовании разностей температуры «большой город – пригород (сельская местность)» [4, 5].

Наиболее интересным результатом настоящего исследования является обнаружение полугодового колебания в изменении величин трендов температуры для каждых суток года, ночной и дневной температур. Следует отметить, что многие авторы неоднократно указывали на существование полугодовой вариации в изменении атмосферных и океанических процессов [1, 2, 8, 10, 11]. Природу полугодовой вариации связывали с полугодовым приливом в океане, геомагнитной активностью, полугодовыми вариациями прямой солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы, тепловыми различиями между континентами и океанами в различные сезоны года. Известно, что в переходный сезон, когда температурные различия между материками и океанами сглаживаются, значения меридиональной составляющей циркуляции значительно уменьшаются, а летом вновь возрастают. Годовой максимум повторяемости зональных процессов наблюдается зимой, поскольку в это время наблюдаются большие контрасты температуры между холодной Арктикой и теплым югом Европы и Средней Азии. После апреля, в связи с быстрым нагреванием материка, происходит выравнивание температуры между

Атлантикой и Европой с Западной Сибирью. Это сопровождается увеличением меридиональных и уменьшением зональных процессов.

Однако тепловые различия между континентами и океанами Северного полушария, формирующие горизонтальный перенос в атмосфере, не являются единственным фактором формирования аномалий температуры. Не меньшее значение имеют притоки тепла за счет радиационных процессов и конденсации водяного пара в атмосфере. Так, повышение температуры приземного слоя среди зимы в восточных регионах Европейской территории России вызывается в основном образованием облачного покрова, а не притоком более теплого воздуха.

В Северной Атлантике формируется огромный «клин» теплых океанических и воздушных масс, внедряющихся далеко на север в холодную арктическую область. Этот «клин» нарушает термическую зональность и приводит к нарушению западного переноса. Такого рода «клин» обнаруживается в изгибе изотерм у поверхности моря и в образованном гребне в термическом поле тропосферы [2].

Маловозмущенный западный перенос имеет место при отрицательной аномалии температуры поверхности океана в Северной Антарктике ( $\varphi > 60^\circ$  с.ш.) и положительной аномалии температуры в южных районах. Такое распределение температуры обеспечивает ее увеличение вдоль меридиана. В эти годы происходит интенсивный перенос теплого атлантического воздуха на восток, что обуславливает положительную аномалию температуры в высоких и умеренных широтах Европы и Западной Сибири. Собственно, при таких условиях большую интенсивность имеет Североатлантическое колебание.

Когда температура выше нормы, в северных районах Атлантики над океаном сильно развит гребень. По его восточной периферии происходит заток холодных масс воздуха на территорию Европы и Европейскую часть России. Описанные выше условия циркуляции атмосферы формируются в результате крупномасштабного взаимодействия атмосферы и Атлантического океана, главной особенностью которого является наличие теплого течения Гольфстрим, влияние же последнего на климат Европы весьма значительно [3, 9, 13]. Полугодовые составляющие значительны в изменении полей давления над Северной Атлантикой, а также в изменении широты, долготы и интенсивности Исландского центра действия. По материалам наблюдений кораблей погоды в Северной Атлантике получено, что отношение амплитуды полугодовой волны к годовой составляет 0,23, причем минимальное значение этого отношения (0,15) наблюдается в районе корабля погоды К ( $\varphi = 53^\circ$  с.ш.,  $\lambda = 41^\circ$  з.д.). Фазы полугодовых колебаний одинаковы во всех районах: максимумы – в феврале и августе, минимумы – в мае и ноябре [10]. Для скорости течений системы Гольфстрим обнаружена достаточно четкая полугодовая цикличность максимальных скоростей в январе и июле [11].

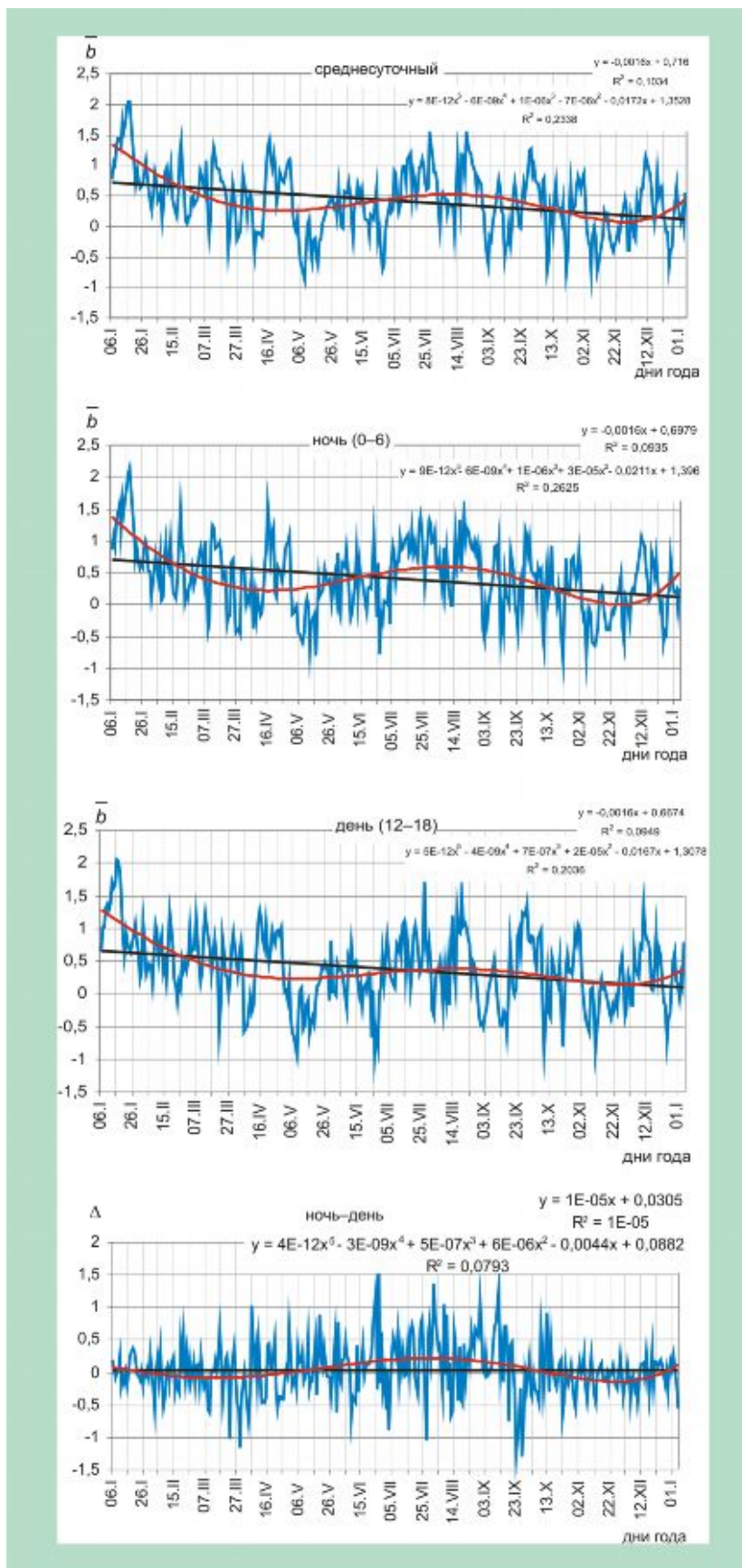


Рис. 4. Нормализованные величины трендов температуры и разности ночных и дневных трендов для периода с 1966 по 2008 г.

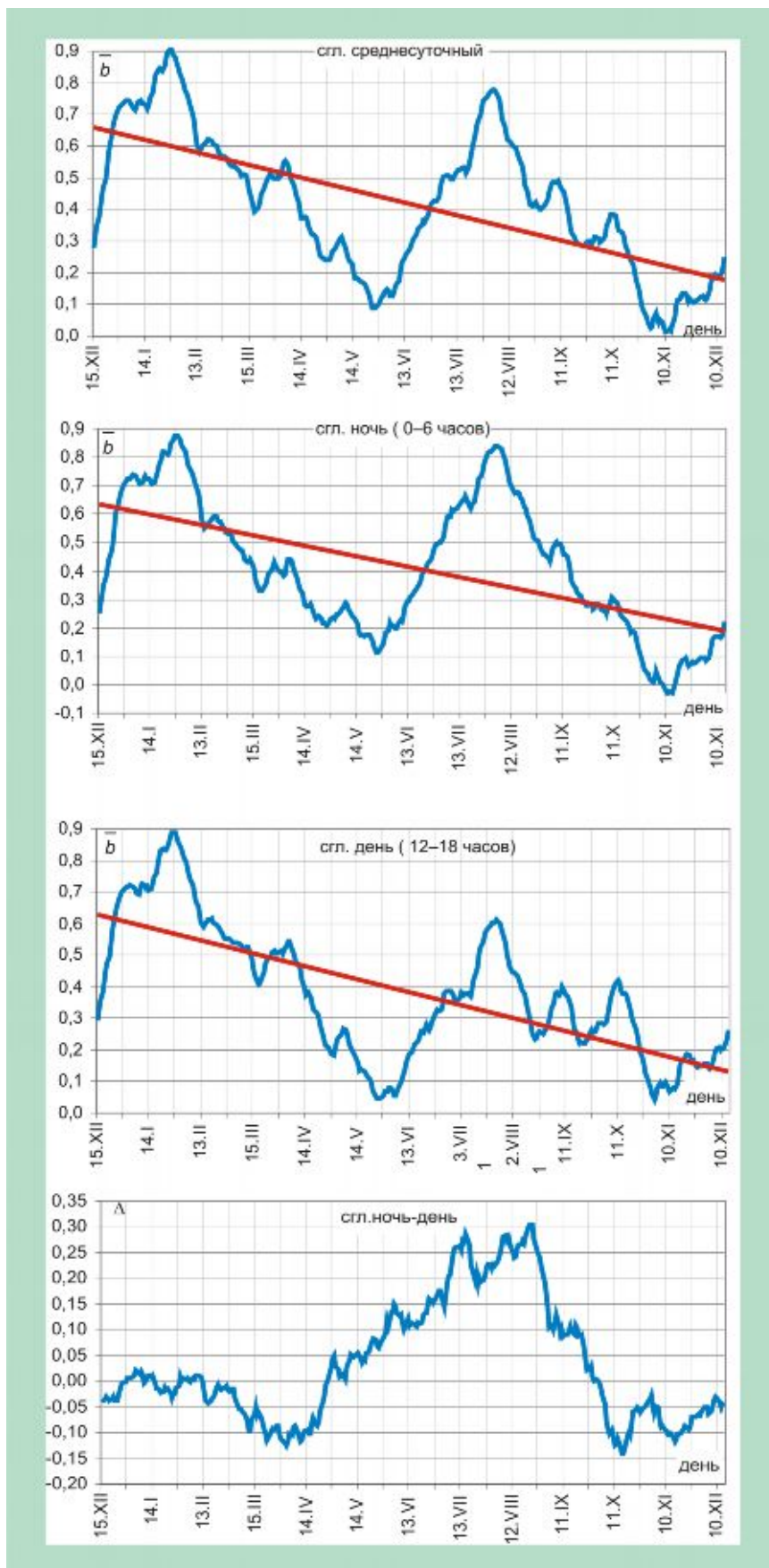


Рис. 5 Сглаженные (отфильтрованные) по 49 точкам нормализованные значения величин трендов температуры и разностей трендов ночных и дневных температур

В другой работе показано, что в Гольфстриме прослеживаются полугодовые колебания расходов воды и тепла. Максимальные значения расходов воды и тепла в годовом ходе приходятся на январь, апрель и август, а минимальные – на март, май и октябрь [10]. Максимальные значения расходов воды и тепла в годовом ходе занимают больший временной период в декабре–январе и июле–августе. В апреле положительный пик расходов воды и тепла занимает около одного месяца. Если сравнить особенности изменения величины трендов температуры в годовом ходе со значениями расходов воды и тепла Гольфстримом, то можно увидеть, что величина трендов температуры модулируется величиной расходов воды и тепла Гольфстримом. При 49-дневной фильтрации апрельский максимум величины трендов температуры в силу его малой продолжительности существенно уменьшается и заметен лишь как небольшая по величине флюктуация на ветви спада величины трендов температуры от января к маю.

Е. И. Серяковым выявлены аналогичные колебания в адвекции тепла течениями для незамерзающей части Баренцева моря. Адвекция тепла на Кольском меридиане может служить показателем теплового и динамического состояния водных масс в системе Гольфстрим – Североат-

лантическое течение. С использованием данных по изменению адвекции тепла течениями на разрезе «Кольский меридиан» ( $\lambda = 33^\circ$  в.д.) на северных широтах  $72,5^\circ$ ,  $73,5^\circ$  и  $74,5^\circ$  [10] нами получен средний годовой ход адвекции тепла течениями через указанные широтные круги на Кольском меридиане. Годовой ход адвекции тепла течениями [1] и средние сглаженные величины трендов температуры для разных месяцев года представлен на рис. 6. На этом же рисунке приведены значения величин трендов температуры каждые сутки, ночью и днем.

Из рис. 6 следует определенное согласие приведенных кривых. Это означает, что крупномасштабное взаимодействие с атмосферой Атлантического океана и его наиболее яркого феномена – течения Гольфстрим модулирует полугодовое колебание в изменении величин тренда температуры в различные периоды года. Наибольшая величина адвекции тепла течениями, наблюдаемая в январе–феврале, а также в июле–сентябре обеспечивает больший по величине положительный тренд температуры (потепление) в указанные месяцы года и, наоборот, самая низкая адвекция тепла течениями в мае и ноябре отвечает самым малым положительным или отрицательным трендам температуры в эти месяцы.

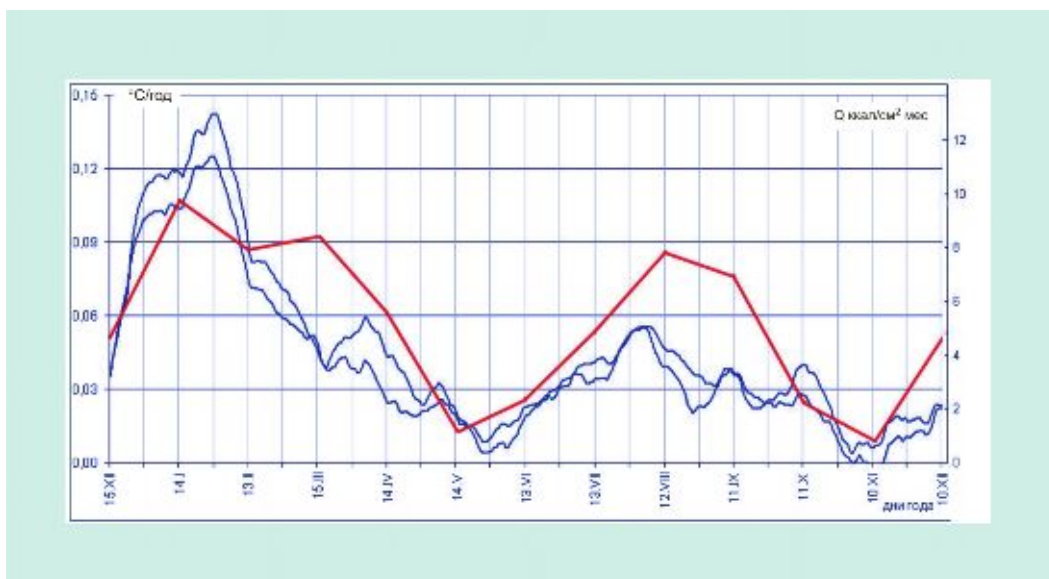


Рис. 6. Значения среднесуточных трендов температуры и адвекции тепла течениями на Кольском меридиане

Роль Атлантического океана в формировании климата Европы многократно установлена и не вызывает сомнений, а следовательно, его можно считать модулятором полугодовых вариаций величин трендов в изменении климата Европы. Многолетние изменения величины трендов температуры за период с 1966 по 2008 г. могут быть, в свою очередь, связаны с колебаниями

газового и аэрозольного состава атмосферы и другими внешними и внутренними факторами. Однако, приведенные результаты показывают, что только ростом содержания парниковых газов в атмосфере нельзя объяснить современное потепление климата в Беларуси в различные периоды года.



## Литература

1. **Бышев В. И.** О годовых и полугодовых колебаниях некоторых характеристик приводного слоя атмосферы // Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. 1968. Т. 4, № 5. С. 540–547.
2. **Кац А. Л.** Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Л., 1960.
3. **Лаппо С. С., Соков А. В., Терещенков В. П., Добролюбов С. А.** Океан и колебания климата // Российская наука: выстоять и возвратиться. М., 1997.
4. **Логинов В. Ф.** Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Мн., 2008.
5. **Логинов В. Ф., Микуцкий В. С.** Оценка антропогенного сигнала в климате городов // Изв. Рус. геогр. о-ва. 2000. № 1. С. 23–31.
6. **Максимов И. В.** Географические силы и воды океана. Л., 1970.
7. **Марчук Г. И., Кондратьев К. Я., Козодеров В. В.** и др. Облака и климат. Л., 1986.
8. **Молодых В. А., Логинов В. Ф.** Возможные причины полугодовых колебаний температуры воздуха // Тр. Главной геофиз. обсерватории им. А. И. Воейкова. Л., 1984. Вып. 471. С. 86–93.
9. **Николаев Ю. В.** Роль крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в формировании аномалий погоды. Л., 1981.
10. **Серяков Е. И.** Долгосрочные прогнозы тепловых процессов в Северной Атлантике. Л., 1979.
11. **Смирнов Н. П.** Сезонные вариации в деятельности системы Гольфстрим // Проблемы Арктики и Антарктики. Л., 1966. Вып. 22. С. 43–51.
12. **Шерстюков Б. Г.** Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата // ГУ «ВНИНГМИ–МЦД». Обнинск, 2008.
13. **Шулейкин В. В.** Физика моря. М., 1968.
14. Climate change 2001. IPCC, WMO/UNEP. Cambridge Univ. press, 2001.
15. **Bradzil R., Maghu K., Budikova M.** Temporal and spatial in maxima and minima of air temperature in the Czech republic in period of 1951-1900 // Contemporary climatology. Ed. Bradzil R and Kolar V. Brno, 1994. P. 93–102.
16. **Hansen J., Sato M., Ruedy R.** Long-term change of the diurnal temperature cycle: Implication about mechanisms of global climate change. *Atm. Res.*, 1995, 37. P. 175–209.
17. **Karl T. R.** et. al. 1993: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature // *Bull. Amer. Met. Soc.* № 74. P. 1007–1023.

**В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, В. С. Микуцкий, Н. Н. Шешко, Ю. А. Шубская**

**ПОЛУГОДОВАЯ ОКЕАНИЧЕСКАЯ МОДУЛЯЦИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТРЕНДОВ  
ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЕРИОД ПОСЛЕДНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА**

*Проанализированы величины линейных трендов температуры Минска для каждых суток года за период с 1966 по 2008 г.. Выявлено, что в годовом ходе наибольшие величины трендов приходятся на середину января, а также на конец июля–августа, а в мае и ноябре величины трендов температуры слабые положительные или даже отрицательные. Максимальные величины трендов температуры совпадают с максимальной адвекцией тепла течениями системы Гольфстрим. Слабая адвекция тепла течениями отвечает слабым положительным и даже отрицательным значениям величин трендов температуры. Это означает, что величина трендов температуры в годовом ходе модулируется адвекцией тепла течениями системы Гольфстрим, которая содержит полугодовую составляющую и определяется естественными факторами, а следовательно причина современного потепления климата не может быть связана только с ростом парниковых газов в атмосфере.*

**V. F. Loginov, A. A. Voltchek, V. S. Mikutskij, N. N. Sheshko, J. A. Shubskaya**

**SEMI-ANNUAL OCEANIC MODULATION OF TEMPERATURE  
TRENDS DURING THE LAST WARMING OF CLIMATE**

*Linear trends of daily temperature in Minsk have been analyzed for the period of 1966–2008. Maximal trends were revealed for the middle of January and the end of July and August. Temperature trends of May and November are lightly positive or negative. Maximal temperature trends coincide the maximal warm advection by Gulf Stream flow. Low warm advection by flow corresponds to the lightly positive and negative temperature trends. This implies the modulation of temperature trends in annual scale by Gulf Stream flow warm advection. This warm advection complies with semi-annual cycle and determined by natural factors. Therefore, the reason of current warming of climate can not be related only to the growth of greenhouse gases in the atmosphere.*