

Н. с. д-р **Петър Ножаров**

Географски Институт на БАН
Ул. "Акад. Г. Бончев", бл. 3
1113 София
E-mail:



Петър Ножаров е възпитаник на НИМГ, профил Науки за Земята. Завършил е География на туризма в СУ (1995 г.) и втора специалност Хидрология и климатология. По време на следването си специализира в Холандия. През 2000 г. защитава дисертация на тема "Рискови метеорологични комплекси в България – биоклиматични аспекти". Има преподавателски стаж в СУ. От 2003 г. е научен сътрудник в Географския институт на БАН, секция физическа география. Професионалните му интереси са в областта на климатологията, биоклиматологията, туризма. Автор на 30 научни публикации.



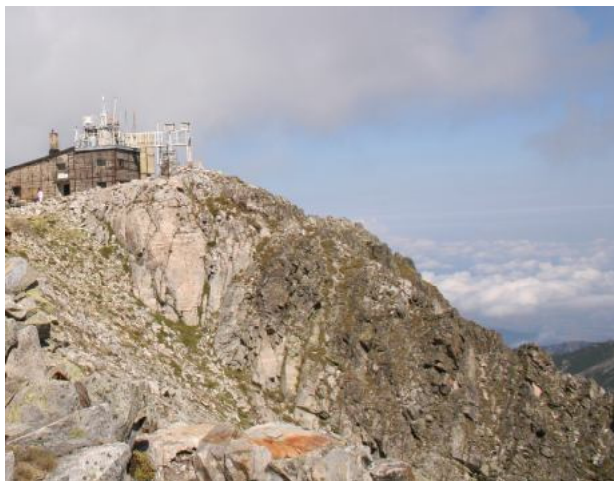
РЕЖИМ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ВЪЗДУХА НА ВР. МУСАЛА ЗА ПЕРИОДА 1933–2007 Г.

Един от основните феномени, наблюдавани през миналия и през този век, свързани с нашата планета, е затоплянето на нейната атмосфера. Причините са от различен характер, но могат да се обобщят в две основни групи. Първата включва естествените колебания в състоянието на земната атмосфера, които в нейното минало са достигали значителни амплитуди. Тези колебания са резултат от различни фактори – астрономически, геофизически, геоложки и др. Втората група са т. нар. антропогенни въздействия, придобиващи все по-голяма сила и значимост през последните приблизително два века. Те са свързани най-вече с промяна в газовия състав на атмосферата, което води и до промяна в термичните ѝ свойства. Повишаването на приземната температура има както положителни, така и отрицателни страни. В досегашните изследвания по разбираеми причини се наблюдава на отрицателните въздействия – увеличаване честотата на неблагоприятните метеорологични явления, повишаване нивото на световния океан, нарушаване на екологичното равновесие, преки топлинни заплахи за здравето на хората и др. срещу които би следвало да се вземат адекватни мерки. Всичко това води до засилен интерес към глобалното затопляне в световен мащаб. Резултатите от изследванията на локално и на регионално ниво са обобщени за цялата

Земя в IPCC Assessment Reports, последният (четвърти) от които излиза през 2007 г.

В България също се работи по проблематиката за затоплянето на атмосферата. Повечето от разработките са за извънпланинската част от страната (Ванкова, 1995; Alexandrov et al., 2004), но има и такива, които включват и планински станции (Топлийски, 2005; Велев, 2006). Периодите на изследване са различни и свършват в различни години, но дори и най-последните трудове не показват някакъв статистически значим тренд за територията на България. Това е в противоречие с разкритите тенденции както на световно ниво, така и за Европа. Възможно е причините да се крият в местни физикогеографски фактори, влияещи на измерванията, особено в ниските и силно антропогенизирани части на страната.

Метеорологичната станция "Вр. Мусала" представлява интерес със своето разположение на почти 3000 м надморска височина, с липсата на силни влияния, нарушаващи хомогенността на измерванията, и сравнително дългия и непрекъснат период с данни. От 2003 г. близо до първата станция започват и паралелни метеорологични измервания в Базисната екологична обсерватория (БЕО "Мусала") на Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ) при БАН. Това ще доведе до по-го-



ляма надеждност на получаваните данни и ще увеличи перспективността на изследванията в този район на България.

Целта на статията е да разкрие ходът и евентуални трендове в температурата на въздуха на вр. Мусала за изследвания период. Също така се изследва и евентуалната цикличност на разглеждания елемент. Това се прави както за отделни характерни месеци, така и за средногодишните температури.

Данни и методи

Метеорологичната станция на връх Мусала (2925 м н.в.) е открита в края на 1932 г. (фиг. 1), поради което периодът на изследване е 1933–2007 г. Този 75-годишен период дава възможност за извеждане на сравнително добри статистически заключения за температурата на въздуха. Данните са пълни, с изключение на 1996 г., възстановена по метода на разликите от метеорологичната станция Черни връх, за която има надеждни данни за същата година. Предмет на изследване са както средномесечните, така и средногодишните температури. Хомогенността на редицата е проверена чрез сравняване с данните от Черни връх. Също така е направен и анализ на историята на измерванията и е приложен непараметричният критерий на Ман-Уитни, който отново доказват хомогенността на данните.

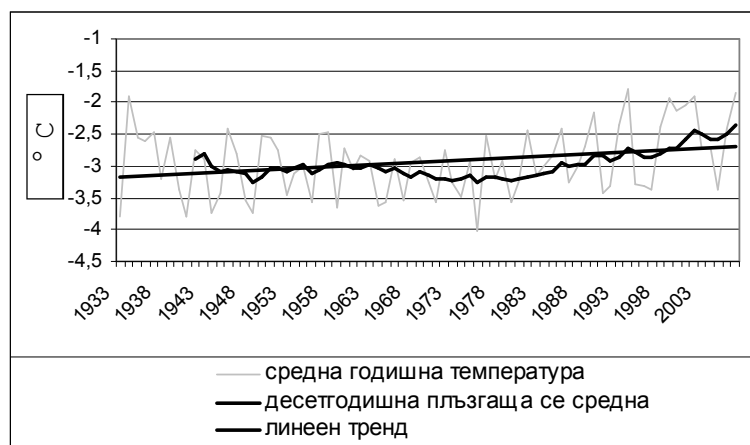
Методите, които се използват в изследването, са статистически. Навсякъде възприетото ниво на значимост е $p=0,05$. Тренд-анализът е един от основните методи, чрез които се определя наличието на определена тенденция във времето разпределение на температурите на въздуха. Използва се линейна регресионна функция, която в повечето случаи описва най-добре температурните трендове.

За установяването на евентуална цикличност на разглеждания елемент се използват автокорелацията и спектралният анализ. При изследването е добре да се съчетаят двата метода, за да се получат достоверни резултати. Иначе значимостта на автокорелационния коефициент се извежда чрез оценка на дисперсията и стандартната му грешка.

За оценка на значимостта на пиковите в разпределението на спектралната плътност се използва друг подход – т. нар. χ^2 -разпределение. Това е непараметричен критерий за еднородност, при който наблюдаваните плътности се сравняват с очакваните плътности при зададена функция на разпределение. В конкретния случай беше заложена нулева хипотеза, че спектралната плътност е случайно разпределена. Очакваното разпределение е с еднакви стойности във всички възможни честоти (т. нар. "бял шум"). Действителното разпределение се сравнява с очакваното и ако при ниво на значимост 95 % нулевата хипотеза се отхвърля, приема се, че има статистически значими отклонения в разпределението и съответно – наличие на определени цикли.

Резултати и дискусия

Ходът на средногодишните температури на вр. Мусала за изследвания период е показан на фиг. 1. Вижда се, че трендът е възходящ със стойност от $0,06^\circ\text{C}/\text{десетилетие}$. Той е и статистически значим. Това доказва, че в свободната атмосфера над България на височина 3 км. се проявява затопляне. Получените резултати са в съгласие с тези от IPCC – 4 report, където глобалното затопляне през последното столетие (1906–2005 г.) се оценява на $0,74^\circ\text{C}$. За петдесетгодишния период (1956–2005 г.) има пълно съвпадение на стойностите на затопляне: $0,13^\circ\text{C}/\text{десетилетие}$. Това потвърждава, че и България е засегната от общата за Земята тенденция.



Фиг. 1. Средногодишни температури, вр. Мусала (1933–2007 г.)

Fig. 1. Average annual temperatures, peak Moussala (1933–2007)

Предимството на станцията на вр. Мусала е в липсата на сериозни антропогенни или местни физикогеографски влияния върху измерванията на температурата на въздуха. Това дава възможност за една относителна „чистота“ на данните. Визуалният анализ на графиката на десетгодишната плъзгаща се средна показва наличието на няколко добре изразени периода:

- относително топъл - от началото на 30-те до началото на 60-те години на 20-ти в.;
- студен - от началото на 60-те до средата на 80-те години;
- топъл - през последните 20 години.

Дали обаче тези факти показват съществуването на определени цикли, се проверява чрез методите на автокорелацията и спектралния анализ. При автокорелацията се използват времеви периоди до една трета от основния. В този случай единственият значим автокорелационен коефициент е при стъпка от 8 години (0,28). Той обаче не се потвърждава с друг значим коефициент. Спектралният анализ също не показва значими пикове в разпределението на плътността. Всичко това води до извода, че при средногодишните температури на въздуха на вр. Мусала не се наблюдават цикли в рамките на изследвания 75-годишен период. Това, обаче не изключва възможността от някакви по-дългопериодични колебания.

Поотделно е анализиран ходът на средномесечните температури на въздуха за всеки отделен месец от годината (фиг. 2-13).

При **средноянуарските температури** има много ясно изразен тренд на повишаване (фиг. 2.). Стойността му е $0,25^{\circ}\text{C}/\text{десетилетие}$ и е статистически значим. Всъщност това е и най-голямата стойност на затопляне от всички останали месеци, което означава, че този зимен месец допринася най-много за повишаването на средногодишните температури на въздуха. Десетгодишната плъзгаща се средна откроява един сравнително хладен период от средата на 60-те до средата на 80-те години и след това - топъл период до наши дни. Това до голяма степен съвпада и с хода на средногодишните температури. Спектралният анализ показва наличието на значим цикъл с период от 2,39 г., но той не се потвърждава от автокорелацията.

В хода на **среднофевруарските температури** (фиг. 3) липсва статистически значим тренд и не се наблюдават никакви цикли. Статистически значим тренд няма и при **средномартенските температури** (фиг. 4). При анализа на графиката на десетгодишната плъзгаща се средна се наблюдава един относително по-хладен период от началото на 40-те до средата на 70-те години на 20-ти в. и след това по-топъл период до средата на 90-те години. Последното десетилетие се характеризира със сравнително ниски температури. Автокорелацията показва наличието на значим коефициент при период от 6 години (-0,23). Той

обаче не се потвърждава от друг такъв. Спектралният анализ показва наличие на два статистически значими цикла с периоди съответно 4,35 и 2,47 г. Последният до голяма степен съвпада с резултатите от автокорелацията и би следвало да му се обърне внимание.

Трендът при **средноаприлските температури** (фиг. 5) също не е статистически значим, но за първи път е отрицателен, което показва, че през този месец има понижаване на температурите. Ясно изразени периоди не се разкриват, но спектралният анализ отчита значим цикъл от 2 години.

При **средномайските температури** (фиг. 6) отново няма статистически значим тренд. Анализът на кривата на десетгодишната плъзгаща се средна показва наличието на два относително по-хладни периода, съответно от средата на 50-те до средата на 70-те години и от началото на 80-те до края на 90-те години на миналия век. Последното десетилетие се характеризира с по-високи температури. Автокорелацията показва наличие на статистически значими коефициенти с периоди от съответно 12 г. (-0,22), 13 г. (0,23) и 17 г. (0,24). Спектралният анализ обаче не потвърждава наличието на значими цикли.

Статистически значим положителен тренд от $0,16^{\circ}\text{C}/\text{десетилетие}$ има при **средноюниските температури** (фиг. 7). Това е вторият месец, който допринася съществено за затоплянето в тази част от България. Анализът на десетгодишната плъзгаща се средна показва наличието на топъл период от началото до края на 40-те години, а след това хладен период от началото на 60-те до средата на 90-те години на миналия век. Последното десетилетие отново е топло. Автокорелацията показва статистически значим коефициент при период от 7 г. (0,25), но спектралният анализ не потвърждава цикличност.

За **средноюлиските температури** (фиг. 8) трендът е положителен, но не е статистически значим. Десетгодишната плъзгаща се средна показва наличието на относително топъл период до началото на 60-те години, последван от хладен до началото на 90-те години, и после отново има затопляне. Автокорелацията показва значим коефициент при период от 3 г. (0,23), но спектралният анализ не извежда статистически значими цикли.

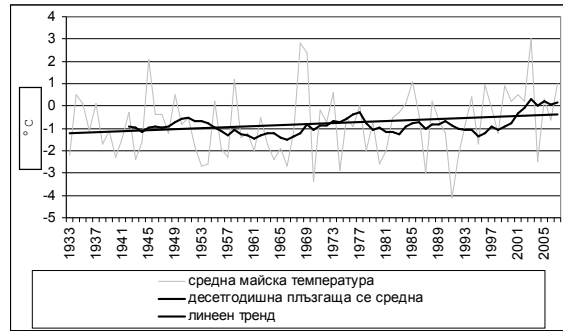
При **средноавгустовските температури** (фиг. 9) не се наблюдава статистически значим тренд. Десетгодишната плъзгаща се средна откроява следните три периода: топъл - от средата на 40-те до средата на 60-те години; по-хладен - до началото на 90-те години; по-топъл - през последните 15 години. Автокорелацията показва значими коефициенти при следните периоди: 6 г. (0,3); 16 г. (-0,24); 20 г. (-0,22); 22 г. (-0,23). Спектралният анализ показва наличието на статистически значими цикли с период от 2,11 г. и от 37 г. Предвид резултатите от автокорелацията, би следвало да се обърне внимание и на двата посочени цикла.

Септември е вторият месец с отрицателен тренд на средномесечните температури на въздуха (фиг. 10), но той не е статистически значим. При автокорелацията има само един статистически значим коефициент при

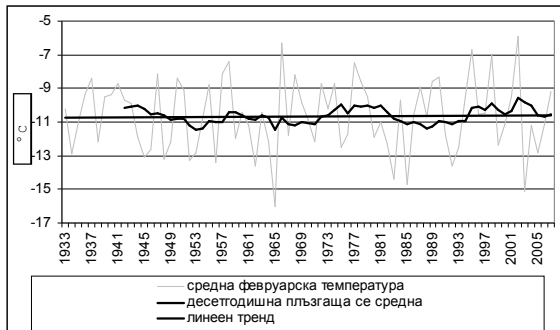
Фиг. 2-13. Средномесечни температури на въздуха на вр. Мусала (1933-2007)
Fig. 2-13. Average monthly temperatures at peak Moussala (1933-2007)



Фиг. 2. Средни януарски температури
Fig. 2. Average January temperatures



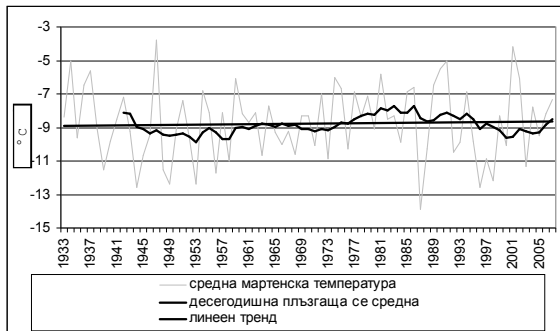
Фиг. 6. Средни майски температури
Fig. 6. Average May temperatures



Фиг. 3. Средни февруарски температури
Fig. 3. Average February temperatures



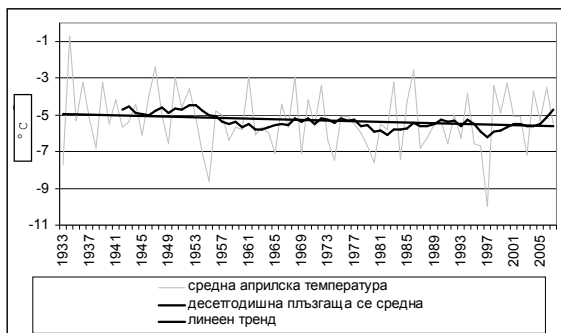
Фиг. 7. Средни юнски температури
Fig. 7. Average June temperatures



Фиг. 4. Средни мартенски температури
Fig. 4. Average March temperatures



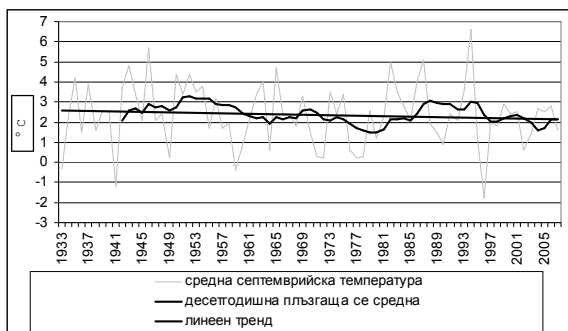
Фиг. 8. Средни юлски температури
Fig. 8. Average July temperatures



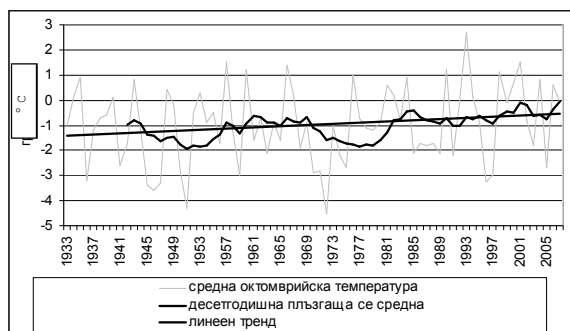
Фиг. 5. Средни априлски температури
Fig. 5. Average April temperatures



Фиг. 9. Средни августовски температури
Fig. 9. Average August temperatures



Фиг. 10. Средни септемврийски температури
Fig. 10. Average September temperatures



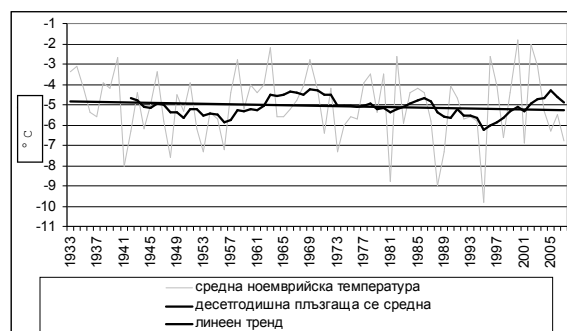
Фиг. 11. Средни октомврийски температури
Fig. 11. Average October temperatures

период от 19 г. (0,23). Спектралният анализ обаче не показва наличие на значими цикли за този месец.

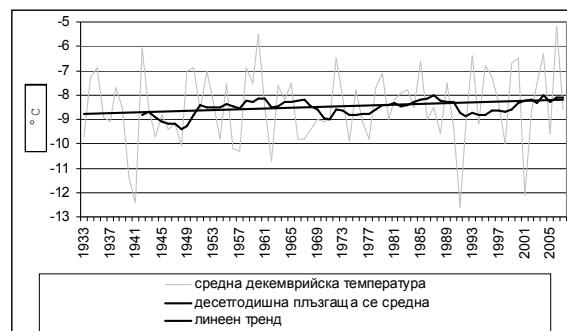
При **среднооктомврийските температури** (фиг. 11) също няма статистически значим тренд. Десетгодишната плъзгаща се средна извежда два хладни периода – от средата на 40-те до средата на 50-те години и от края на 60-те до началото на 80-те години на миналия век. Автокорелацията обаче не показва статистически значими коефициенти, а спектралният анализ не потвърждава цикли.

Ноември е третият месец с отрицателен тренд (фиг. 12), но и той не е статистически значим. Десетгодишната плъзгаща се средна откроява последователно 4 периода: хладен период – от средата на 40-те до началото на 60-те години; по-топъл – до началото на 70-те; отново по-хладен – до края на 90-те години; по-топъл период – съвременен. Автокорелацията извежда един статистически значим коефициент при период от 6 г. (0,22), но спектралният анализ отново открива наличие на значими цикли.

При **среднодекемврийските температури** (фиг. 13) няма статистически значим тренд. Десетгодишната плъзгаща се средна също не откроява периоди. Автокорелацията обаче показва статистически значими коефициенти със следните периоди: 2 г. (-0,25), 19 г. (-0,21) и 21 г. (0,21). Спектралният анализ извежда един статистически значим цикъл с период от 3,36 г. С оглед на данните от автокорелацията той би следвало да се вземе под внимание.



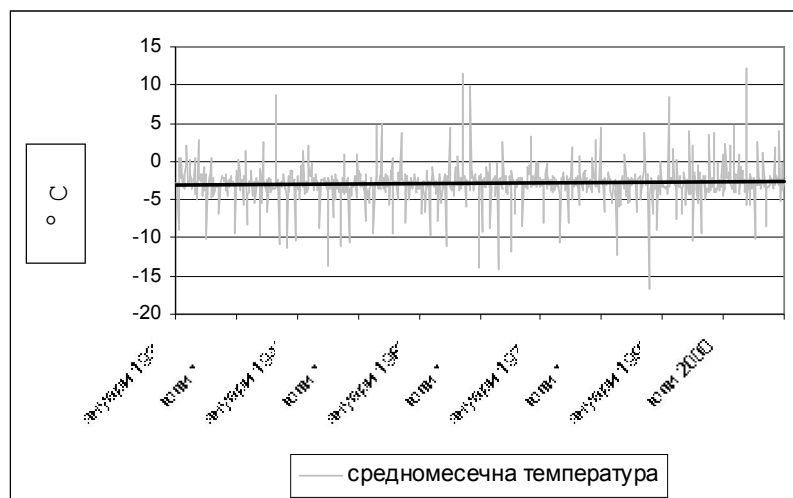
Фиг. 12. Средни ноемврийски температури
Fig. 12. Average November temperatures



Фиг. 13. Средни декемврийски температури
Fig. 13. Average December temperatures

Тъй като цикличността не е задължително да се проявява само по предварително зададени стъпки, целият период на изследването е разгледан като една редица от средномесечни стойности. Чрез статистически продукт той е изчистен от сезонността, характерна за температурата. Също така е премахнат и трендът. По този начин остават месеци с под или над нормални температури. Или реално това са температурните аномалии. Изчистената по този начин редица е показана на фиг. 14.

За да се види има ли някаква цикличност в температурните отклонения, тя е анализирана чрез двата метода, използвани в изследването. Автокорелацията показва статистически значими коефициенти при следните периоди: 19 мес. (0,15); 41 мес. (-0,08); 48 мес. (0,07); 101 мес. (0,1); 144 мес. (-0,14); 156 мес. (0,1); 175 мес. (0,08); 180 мес. (-0,08); 192 мес. (-0,07); 204 мес. (0,18); 223 мес. (0,11); 228 мес. (-0,07); 235 мес. (0,08); 245 мес. (-0,06); 259 мес. (-0,06); 288 мес. (0,09). Спектралният анализ показва статистически значими цикли с период съответно от 100 мес., 6,38 мес., 4,74 мес., 3,72 мес. и 2,1 мес. Тук би следвало да се обърне внимание на късопериодичния цикъл от около два месеца, а също така и на тези от 100 и 288 месеца (вторият само по данни от автокорелацията). Най-дългопериодичният цикъл се равнява на 24 години. Късопериодични-



Фиг. 14. Средномесечни, изчистени от тренд и сезонност, температури на вр. Мусала (1933–2007)

Fig. 14. Average monthly, detrended and deseasonalized, temperatures at peak Moussala (1933–2007)

ят цикъл означава на практика редуване през 5 седмици на положителни и отрицателни аномалии в температурата на въздуха на вр. Мусала.

Заклучение

Основният извод, който може да се направи от това изследване е, че на вр. Мусала се наблюдава затопляне на атмосферата, което е в синхрон с данните за цялата Земя. Този тренд е видим особено през последните 25–30 години. Не се откриват никакви статистически значими цикли при средногодишните температури. Ситуацията по месеци показва, че с най-значим принос за затоплянето са януари и юни. И само три месеца от годината показват незначим отрицателен тренд – април, септември и ноември. Това са, в общи линии преходните от една към друга атмосферна циркулация месеци. От цикличността по месеци би следвало да се обърне внимание на някои цикли, характерни за март, август и декември. Също така внимание заслужават и циклите в температурните отклонения по месеци с периоди от 2,1 мес., 100 мес. и 288 мес.

Литература

Ванкова, Н. Хронологични колебания на температурата на въздуха в извънпланинската част на България. – Год. на СУ, ИГФ, Кн. 2 – География, Т. 87, 1995, с. 341–366.

Велев, Ст. Глобалните климатични промени и климатът на България. – География' 21, бр. 2, 2006, с. 4–8.

Топлийски, Д. Хронологични колебания на климата в България през XX век. Автореферат на дисертация, С., 2005.

Alexandrov, V., M. Schneider, E. Koleva, J.-M. Moisselin. Climate variability and change in Bulgaria during the 20th century. – Theoretical and Applied Climatology, v. 79, № 3–4, 2004, 133–149.

Climate change 2007. IPCC Fourth Assessment Report, 2007, <http://www.ipcc.ch/>

Kalapunov, I. Meteorological measurements at the Basic Environmental Observatory "Moussala". – High Mountain Observatory Moussala OM2, vol.12, 2007, 56–63.

Air temperature variability and change at peak Moussala for the period 1933–2007

Assistent prof. **Peter Nojarov**, PhD.
Institute of Geography, BAS

Summary

The course and changes of air temperature at peak Moussala for the period 1933–2007 are revealed in the paper. Subject of investigation are both average annual and monthly temperatures. Station data are homogeneous for the period of research. Only the values for 1996 are recovered based on data from Chemi Vruh station using the method of differences. Other methods employed in this paper are trend, autocorrelation and spectral analyses. The main conclusion is that there is statistically significant atmosphere air warming at peak Moussala, which corresponds to data from other parts of the world. This trend is especially visible during the last 25–30 years. There are no cycles in average annual temperatures. The main contributors to the warming at peak Moussala are months of January and June. There are some significant cycles in average monthly temperatures of March, August and December. There are also some significant cycles in monthly air temperature deviations with periods of 2.1 months, 100 months and 288 months.