



ОТЧЕТ

Проект:

ВРЪЗКА МЕЖДУ АСТРОНОМИЧЕСКИТЕ ДАННИ ЗА АТМОСФЕРАТА И ЕКОЛОГИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ВЪЗДУХА

Представен от доц. д-р Таню Бонев, директор на Институт по астрономия с Национална астрономическа обсерватория - БАН, от името на колектива, работил по проекта

СЪДЪРЖАНИЕ

УВОД	3
ПОКАЗАТЕЛИ ЗА СЪСТОЯНИЕТО НА АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ, ИЗМЕРВАНИ ОТ КОМПЛЕКСНА ФОНОВА СТАНЦИЯ (КФС) „РОЖЕН”	4
АСТРОНОМИЧЕСКИ ДАННИ, ПОЛУЧАВАНИ С ТЕЛЕСКОПИТЕ НА НАО „РОЖЕН”	4
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА СВЕТЛИНАТА С АТМОСФЕРАТА.	6
РАЗСЕЙВАНЕ И ПОГЛЪЩАНЕ НА ФОТОНИТЕ ОТ ЗВЕЗДИТЕ В АТМОСФЕРАТА	6
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА УСТАНОВКА	14
НАБЛЮДЕНИЯ И РЕДУКЦИЯ НА ДАННИТЕ	15
ТЕЛУРИЧНИТЕ ЛИНИИ В ЗВЕЗДНИТЕ СПЕКТРИ И КАЧЕСТВОТО НА ВЪЗДУХА	17
ДАННИ ЗА ИЗМЕРЕНИЯТА ОТ КФС „РОЖЕН” СТОЙНОСТИ НА ЗАМЪРСИТЕЛИ НА АТМОСФЕРАТА	21
РЕЗУЛТАТИ ЗА ИЗБРАНИ МОМЕНТИ	22
- АТМОСФЕРНА ЕКСТИНКЦИЯ И ПРАХОВИ ЧАСТИЦИ ПРЕЗ ЮНИ 2013	22
- АТМОСФЕРНА ЕКСТИНКЦИЯ И КАЧЕСТВО НА ВЪЗДУХА В НАЧАЛОТО НА МАЙ 2013	24
- ВЪЗМОЖНА АНТИКОРЕЛАЦИЯ МЕЖДУ КОНЦЕНТРАЦИЯТА НА ФИНИ ПРАХОВИ ЧАСТИЦИ В ПРИЗЕМНИЯ АТМОСФЕРЕН СЛОЙ И КОЕФИЦИЕНТА НА ЕКСТИНКЦИЯ	28
- АТМОСФЕРНАТА ЕКСТИНКЦИЯ В НАЧАЛОТО НА М. АВГУСТ 2013 Г.	29
- ДАННИ ЗА ЯРКОСТТА НА СВЕТЕНЕТО НА НОЩНОТО НЕБЕ В ПЕРИОДА 5-9 АВГУСТ 2013	35
ПРИЗЕМНИТЕ ФОНОВИ КОНЦЕНТРАЦИИ НА АЗОТНИ ОКСИДИ И СЛЪНЧЕВИТЕ ИЗРИГВАНИЯ; УВОД	41
- Данни и методи за анализ на концентрацията на азотните оксиди - Данните	43
- Т-Р периодограмен анализ	45
- Крос-корелационен анализ	46
- Резултати и анализ	46
- Слънчевите енергетични частици (СЕЧ) и приземните фоновы концентрации на азотни оксиди за периода 2004-2012 г.	47
- Слънчевите протонни изригвания и концентрациите на азотни оксиди през възходящата фаза на SC 24 (2009-2012 г.)	50
- Резултати от Крос-корелационния анализ	53
- Дискусия на резултатите за азотните оксиди	55
- Изводи от резултатите за азотните оксиди	56
-	
КАМЕРА ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЦЯЛОТО НЕБЕ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА АВТОМАТИЗИРАН МОНИТОРИНГ НА ЕКСТИНКЦИЯТА	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66

Увод

Представените в този отчет методи и резултати са разработени и получени в изпълнение на договор ДО № 8785 от 16.01.2013 г. между Института по Астрономия с Национална Астрономическа Обсерватория (ИА с НАО) и Предприятието за Управление на Дейностите по Опазване на Околната Среда (ПУДООС). Работата по проекта продължи една година – от 16.01.2013 г. до 15.01.2014 г.

В НАО Рожен се получават два вида данни характеризиращи състоянието на атмосферата – екологични (локални) и астрономични (интегрални). За първи път тези два потока на информация са обединени и анализирани едновременно. Целта на проекта е да се изследват зависимости между моментното състояние на интегралните параметри на атмосферата и локалните свойства на въздуха, измервани от Комплексната Фоновата Станция (КФС) на МОСВ, инсталирана и функционираща на територията на НАО Рожен.

Основният метод, който е използван в проекта е корелация между данните за атмосферната екстинкция (поглъщане), получавани през всяка ясна нощ, когато се извършват астрономически наблюдения и вариациите на измерваните от фоновата станция на МОСВ локални параметри на атмосферата. Анализирани са механизмите, които оказват най-силно влияние върху качеството на изображението, екстинкцията и светенето на нощното небе. Създадена е интернет страница, в която са публикувани в графичен вид данните от КФС Рожен, получени в периода 2010 – 2013 година (http://www.astro.bas.bg/EKO_Project/). Графичното представяне на данните дава възможност за бърз преглед на измерените параметри на въздуха и избор за целите на изследването на онези моменти, които се характеризират със силни отклонения от средните фоновы стойности. Допълнително са събирани данни, чрез използването на които се търси зависимост между слънчевата активност и локалното състояние на атмосферата, определено по измерваните в НАО Рожен данни. В случаите, когато са намерени такива зависимости, са определени техните количествени параметри: периоди, амплитуди, тригерни механизми, фактори за усилване или намаляване на установените корелации. Показано е, че увеличената концентрация на азотните окиси, измерена от КФС Рожен може да бъде обяснена чрез въздействието на естествени механизми, а именно повишена слънчева активност.

В рамките на проекта бе придобита камера за наблюдения на цялото небе. Получени са първи резултати с нея и е разработена методика за нейното използване за непрекъснат автоматичен мониторинг на атмосферната екстинкция. Анализирана е връзката между атмосферната екстинкция и увеличената концентрация на прахови частици. Започнато е разработването на методика за използване на телуричните линии, в спектралните наблюдения на звезди, за определяне на влагата и останалите характеристики на атмосферния въздух, измервани от КФС Рожен.

За по-бързи справки с библиографските източници, използвани по време на изпълнение на проекта, списъците с използвана литература са дадени непосредствено след разделите, в които са използвани тези източници. В раздела „ПРИЗЕМНИТЕ ФОНОВИ КОНЦЕНТРАЦИИ НА АЗОТНИ ОКИСИ И СЛЪНЧЕВИТЕ ИЗРИГВАНИЯ” формулите и фигурите имат номерация независима от останалите раздели.

ПОКАЗАТЕЛИ ЗА СЪСТОЯНИЕТО НА АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ, ИЗМЕРВАНИ ОТ КОМПЛЕКСНА ФОНОВА СТАНЦИЯ (КФС) „РОЖЕН”

В КФС Рожен се контролират следните атмосферни замърсители: фини прахови частици (ФПЧ₁₀ и ФПЧ_{2.5}), арсен (As), кадмий (Cd), никел (Ni), полиароматни въглеводороди (ПАВ), олово (Pb), серен диоксид (SO₂), азотен диоксид (NO₂), азотни оксиди (NO_x), озон (O₃) и C₆H₆. Контролират се и следните метеорологични параметри: скорост и посока на вятъра, обща слънчева радиация, относителна влажност, температура на въздуха и количество валеж. В този проект са използвани само данните за атмосферните замърсители. КФС „Рожен” е показана на фиг. 1.



Фигура 1: КФС „Рожен”, разположена на територията на НАО. В дясно, в дълбочина, се вижда купола на 60 см телескоп.

АСТРОНОМИЧЕСКИ ДАННИ, ПОЛУЧАВАНИ С ТЕЛЕСКОПИТЕ НА НАО „РОЖЕН”

В НАО „Рожен” има три телескопа за нощни наблюдения – 2-метров телескоп, 60 см телескоп, тип Касегрен и 50/70 см Шмит телескоп. Всички телескопи са оборудвани със съвременни цифрови камери и наблюденията се провеждат всяка ясна нощ, по предварително разпределение на времето съгласно научния план на Института по астрономия с НАО. В НАО има и един телескоп за наблюдение на Слънцето, 15 см коронограф на Лио. Подробна информация за параметрите на телескопите и инструментите към тях може да се намери на официалния сайт на НАО www.nao-rozhen.org. В НАО се извършват наблюдения на тела от Слънчевата система (астероиди, комети, планети и техните спътници), на звезди и звездни системи, на галактики и купове от галактики. Получават се както преки изображения на изследваните обекти в различни филтри (различни дължини на електромагнитното лъчение, така и спектри на отделни избрани обекти, най-често на звезди. Освен богатата информация за изследваните обекти, получените кадри дават възможност да се измерва прозрачността на атмосферата (атмосферната екстинкция), да се анализират промени в спектралните характеристики на нощното небе, характеристиките на телуричните линии, регистрирани в звездните спектри, качество на звездните изображения (seeing), както и параметри характеризиращи слънчевата активност.



Фигура 2: Телескопите на НАО Рожен, с които са получени данни за качеството на атмосферата. В ляво: 2-метровият телескоп, в средата: кулите на 50/70 см Шмит (на преден план) и на 60 см телескоп (в дълбочина) и в дясно: 50/70 см Шмит телескоп в подкуполното пространство.

Взаимодействие на светлината с атмосферата.

Разсейване и поглъщане на фотоните от звездите в атмосферата

В астрономията светлинната екстинкция се определя чрез сравняване на светимостта на добре известни звезди ("стандартни" звезди) с измерените *in situ*. По този начин се оценява пълното поглъщане на светлината (екстинкцията) по целия и път през атмосферата. Екстинкцията на светлината се променя в зависимост от моментното състояние на атмосферата – плътност, температура, влага, наличие на газове и прахови частици. Така ние трябва да получим от измерените данни приноса на различните физични процеси и да конструираме модел на разпространението на светлината в атмосферата.

За да характеризираме състоянието на атмосферата и влиянието и върху светлината се нуждаем от следната информация: вертикален профил на плътността на азотните и кислородните молекули и аерозолите, височината h и разпределението по размери s на аерозолните частици и техните оптични свойства $\rho_A(h,s)$. След това трябва да изчислим диференциалната екстинкция на светлината, $a(\lambda)$ и пълната екстинкция на звездната светлина $k(\lambda)$, използвайки теорията на Ми за разсейване на светлината при различни дължини на вълната, λ . Тези изчисления се извършват със създадени за целта алгоритми и написани по тях програми. Програмите изискват поредица от входни параметри, които съдържат:

Метеорологични данни (атмосферно налягане, температура и влажност)

Аерозолни плътности, размери и химичен състав на поне три различни височини

Астрономична екстинкция за поне 5 дължини на вълната, използвайки измервания на "стандартни" звезди с оптични телескопи

Измерванията на тези параметри се повтарят през много безлунни и безоблачни (фотометрични) нощи. Първите два комплекта данни позволяват изграждането на модел на атмосферата в даден момент от време и изчисляване на атмосферната екстинкция. Моделът може да съдържа някои предположения и неизмерени параметри. Този модел може да бъде тестван и променян чрез сравнение на предсказанията му с третия комплект от данни.

Моделиране на разсейването и поглъщането на светлината в атмосферата

Астрономическата екстинкция се определя от цялата атмосфера, през която фотоните преминават по посоката на наблюдението. Ето защо за получаването на необходимите неизвестни параметри на атмосферата се нуждаем от подробен модел на взаимодействието на фотоните.

Процесите, които оказват влияние върху разпространението на светлината във видимия диапазон на електромагнитното лъчение са релеевско разсейване върху кислородни и азотни молекули, поглъщане в озона и поглъщане и разсейване върху аерозоли. Както е отбелязано в [3], разсейването върху аерозоли е най-същественният процес за отслабването на светлината, следван от поглъщане в аерозолите и релеевското разсейване. При оценка на влиянието на поглъщането в озона трябва да се

има в предвид, че озонния слой е разположен на надморска височина от 25-32 км. Освен това поглъщането е основно в областта на дължини на вълната от 0.17-0.35 мкм и много по-слабо при 0.4-0.7 мкм. Това води до заключението, че екстинкцията на светлината от звездите във видимия диапазон слабо се влияе от поглъщането в озона. Но този ефект, въпреки че е малък, трябва да се отчете при затихването на звездната светлина. Тук трябва да се отбележи, че широко възприетите коефициенти на астрономична екстинкция в озона са $k_{ext} < 0.01 \text{ mag/airmass}$. Стойностите на екстинкцията на звездната светлина в озона могат да бъдат оценени като свободни параметри при сравнение на предсказанията на модела и измерената астрономична екстинкция.

Друг процес, който води до кратковременно затихване на светлината е разсейване на фотоните на флуктуации на плътността на въздуха. Последният ефект се нуждае от термодинамичен подход и е обикновено значително по-малък от взаимодействието с частици [4] и има много малко влияние върху качеството на астрономическите изображения. Трябва да се има в предвид, че обикновено астрономическите телескопи са разположени на голяма надморска височина с цел да работят в сравнително чиста атмосфера. Например, 2-метровият телескоп на НАО се намира на 1750 м над морското равнище, т.е. над планетния граничен слой, който се характеризира със значителна турбуленция.

Нашият подход за решаване на директния проблем с релеевското и аерозолното затихване на светлината е в рамките на класическата електродинамика. И двата процеса са описани като разсейване и поглъщане от единична малка частица (молекула или аерозол). Сечението на взаимодействие на фотоните със съставките на въздуха е точно изчислено в рамките на теорията на Ми за разсейване на електромагнитна вълна върху малка сфера. Тази теория е развита от Ми през 1908 г. и независимо от П. Дебай [4,5,6]. В този модел ние предполагаме, че няма обмяна на енергия между налитания фотон и частицата мишена (раманаво разсейване), тъй като този процес е пренебрежим в атмосферата [4]. В основата на нашия метод седи предположението, че светлината взаимодейства с малки свободни частици в хомогенна среда. Под хомогенна среда разбираме среда, чиято хетерогенност е по-малка от дължината на вълната на светлината. Ние планираме да възприемем микроскопичен подход, предполагайки че всяка взаимодействаща частица може да се характеризира с честотно-зависим комплексен индекс на пречупване n . Тук фазовата скорост на електромагнитната вълна в средата е $c_{ph} = c/n$ (c е скоростта на светлината във вакуум). Следвайки [4] интензивността на плоската вълна, пресичаща слой с инфинитезимално малка дебелина dz , съдържащ N различни типове частици в хомогенна среда може да се запише:

$$(1) \quad dI = -\alpha_{ext}(z)I dz$$

където I е интензивността на затихналата (разсеяна или погълната) светлина. За крайно голям слой с дебелина h и интензивност на падащата светлина I_0 получаваме:

$$(2) \quad I = I_0 e^{-\int_0^h \alpha_{ext}(z) dz}$$

Коефициентът на затихване α_{ext} е:

$$(3) \quad \alpha_{ext}(z) = \sum_{i=1}^N N_i(z) C_{ext,i} = \sum_{i=1}^N N_i(z) C_{sca,i}^{(3)} + \sum_{i=1}^N N_i(z) C_{abs,i}$$

където N_i е броя на частиците от тип i за единица обем. Сечението на екстинкцията е:

$$(4) \quad C_{ext,i} = C_{sca,i} + C_{abs,i}$$

където C_{abs} и C_{sca} са сечението за поглъщане и разсейване, което има размерност на площ (cm^2). В случай на малко разсейване в хомогенен слой с дебелина h , може да се пренебрегне многократното разсейване, тогава:

$$(5) \quad I = I_0 e^{-\alpha_{ext}h}$$

В случай на сфера с радиус a , сеченията C_{sca} и C_{ext} могат да се разложат в безкрайни редове:

$$(6) \quad C_{sca} = \frac{2\pi}{k^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) (|a_n|^2 + |b_n|^2); \quad C_{ext} = \frac{2\pi}{k^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \text{Re}(a_n + b_n)$$

където коефициентите на разсейване a_n и b_n , представени чрез сферичните функции на Бесел и Хенкел, са зависими от два аргумента - размерния параметър x и относителния индекс на пречупване m :

$$(7) \quad x = ka = \frac{2\pi n}{\lambda}; \quad m = \frac{n_1}{n}$$

n и n_1 са индексите на пречупване на средата и частицата, λ и k са дължината и вълновия вектор на светлината в средата. Грубо правило на пръсти е, че за числени пресмятания са достатъчни x члена от реда. По-ефективен начин за числени пресмятания е предложен в [4].

Нека да отбележим тук, че добре известната зависимост на **релеевското разсейване** от дължината на вълната на въздушните молекули ($1/\lambda^4$), отговорна за синия цвят на небето дължащо се на разсеяна неполяризирана слънчева светлина, може лесно за се получи от теорията на Ми в граница на много малки сфери $x \ll 1$:

$$(8) \quad I \sim \frac{a^6}{\lambda^4} (1 + \cos^2\vartheta) I_0$$

Тук ϑ е ъгъла между вълновите вектори на падащата и разсеяната светлина.

Много полезно в теорията на **аерозолното разсейване** е понятието "фазова функция" $p(\vartheta)$ описващо ъгловото разпределение на енергията на разсеяната светлина [5]. Очевидно разпределението на разсеяната светлина около ансамбъл от частици е симетрично по азимут (по отношение на посоката на падане на светлината), т.е. зависи само от ъгъла ϑ между разсеяната и падащата светлина. Стойността на $p(\vartheta)d\Omega/4\pi$ дава плътностната функция на вероятността светлината да се разсее в телесен ъгъл $d\Omega = d\cos\vartheta d\varphi$.

Оттук:

$$(9) \quad \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi p(\vartheta) \sin\vartheta d\vartheta = \frac{1}{2} \int_0^\pi p(\vartheta) \sin\vartheta d\vartheta = 1$$

В случай на сферична частица теорията на Ми дава точно решение на ъгловото разпределение на интензивността на разсеяната светлина [4,5]. Той е разложен в безкраен ред, зависещ от коефициентите на разсейване a_n и b_n и също от асоцираните функции на Лежандър $P_n(\cos\theta)$. Както беше отбелязано комплексните коефициенти a_n и b_n са функции на размерния параметър x (т.е. зависи от отношението на радиуса на частицата и дължината на вълната) и относителния индекс на пречупване m .

От казаното дотук е ясно, че знанието на атмосферните параметри, обсъждани по-горе, ни позволяват да разработим модел на разпространението на светлината. Критичните параметри, като индексите на пречупване, размери и плътности на аерозолите, ще бъдат измерени директно чрез представената по-долу методология. Сечението на ъгловото разсейване, получено от теорията на Ми, дава възможност да се изчисли прецизно изменението на образа на въздушните порои, дължащо се на вариации в аерозолите. Същият модел позволява да изчислим астрономичната екстинкция (тук ъгловата зависимост от разсеяната светлина е несъществена). Така астрономичното детектиране на екстинкцията на звездната светлина на същото място и в същото време както и аерозолните измервания, ще позволи определянето на неизвестните параметри на модела (т.е. разпределението във височина на аерозолната компонента). Директно измерената екстинкция на звездната светлина е ценен инструмент за контролиране на прецизността на новоразработения модел.

Определяне на атмосферната екстинкция от фотометрия на звезди

Когато излъчването от звезда или друг извънземен източник (във видимия диапазон на спектъра) преминава през земната атмосфера, то претърпява два главни типа деградация:

Сиинг (турбуленция): изображенията на извънземните източници се размиват;

Екстинкция (отслабване): излъчването на извънземните източници, достигащо земната повърхност, отслабва.

Размиване от земната атмосфера (турбуленция): По пътя си през земната атмосфера светлината минава през множество различни въздушни слоеве. Всеки слой има малко различна температура, налягане и плътност. Има също така малки разлики в химичния състав, праха и водното съдържание. Поради това показателят на пречупване на всеки слой е леко различен. Така, преминавайки от слой към слой, светлината се отклонява под леко различен ъгъл. Атмосферата се намира в постоянно движение, като въздухът на различни височини се движи в различни посоки с различна скорост. Минаващите през различните слоеве светлинни лъчи се пречупват под постоянно променящи се ъгли. Когато се наблюдава с телескоп, достатъчно голям, за да събира светлина, преминала през различни въздушни нееднородности, телескопът ще формира множество изображения на всяка звезда, леко отместени едно спрямо друго заради различните показатели на пречупване на въздушните нееднородности и като краен резултат имаме размито усреднено изображение.

В астрономията ефектът на размиване от атмосферата се нарича 'сиинг'. Величината на размиването зависи от свойствата на атмосферата, през която преминава светлината. Като общо правило наземните телескопи не могат да разделят детайли, по-малки от около 1 arcsec. Сиингът е малко по-добър на планинските върхове и по-лош за по-ниски местоположения. Например, типичният сиинг в Националната обсерватория на Рожен е около 2 - 2.5 arcsec.

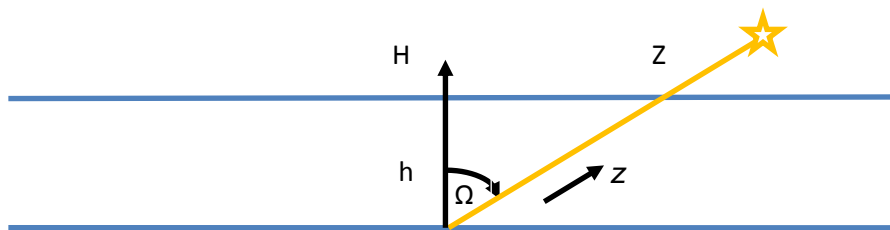
Терминът 'seeing' се използва за описание на случайните промени в посоката на светлинния лъч, влизаш в телескопа, а случайните флукуации в интензитета на лъча, предизвикани от атмосферната турбуленция, се наричат 'сцинтилации (scintillation)'. С невъоръжено око тези сцинтилации се наблюдават като 'блещукане'. Като правило, колкото е по-голяма апертурата на телескопа, толкова по-малки са относителните промени на интензитета и те стават пренебрежими при голяма площ на телескопа. И ефектът на сиинга, и ефектът на сцинтилациите се дължат на промените в показателя на пречупване на въздуха [16].

Екстинкция в земната атмосфера (отслабване): Когато звездното излъчване пресича земната атмосфера, то отслабва частично заради разсейването и частично от поглъщането, дължащо се на молекулите и аерозолите в различните атмосферни слоеве. Явлението наричаме 'екстинкция' на излъчването (за подробности вж. напр. [8,15,20]). Отслабването на излъчването от извънземни източници във видимата спектрална област силно се различава в зависимост от това на коя дължина на вълната наблюдаваме. Отслабването на монохроматичния енергиен поток на единица преминато разстояние е пропорционално на самия енергиен поток, което позволява да

се определи константен фактор на монохроматичното отслабване, изразен в звездни величини. Този фактор наричаме ‘коэффициент на екстинкция’.

Да разгледаме сноп от (оптично) излъчване на звезда, навлизащ в атмосферата (вж. Фиг.3). С $I(\lambda)$ сме означили монохроматичния енергиен поток от звездата при дадена дължина на вълната λ . На основата на уравнението на лъчистия пренос и в съгласие с формула (1) относителната загуба в потока при преминалото разстояние dz може да се изрази като $dI(\lambda) = -I(\lambda)\alpha(\lambda,z)dz$, където dz се взема в посоката на движение на светлината. Факторът $\alpha(\lambda)$ представлява коефициентът на поглъщане (в единици дължина⁻¹). По-надолу с H ще означаваме пълната дебелина на атмосферата при зенитен ъгъл $\Omega = 0$, а Z е пълната дължина, преминалата от звездната светлина във въздуха по зрителния лъч. Интегрирайки по пътя z , измерен по зрителния лъч, получаваме израза

$$(10) \quad I(\lambda,z) = I_0(\lambda) e^{-\tau(\lambda,Z)}$$



Фигура 3: Сноп от светлината на звезда, преминаващ през атмосферата под ъгъл Ω , измерван от посоката към зенита.

Тук с $I_0(\lambda)$ е означен извънатмосферния монохроматичен поток от звездата, измерен на входа на атмосферата, а $I(\lambda)$ е монохроматичният поток, достигащ до земната повърхност. Безразмерната величина $\tau(\lambda)$ описва т.нар. ‘оптична дебелина’ на атмосферата по зрителния лъч. Определя се от уравнението

$$(11) \quad \tau(\lambda) = \int_{0,Z} \alpha(\lambda,z) dz.$$

При измерването на атмосферната екстинкция на звездната светлина обикновено се приема приближение за ‘плоска атмосфера’, в която коефициентът на поглъщане $\alpha(\lambda,z)$ зависи само от височината $h=zc\cos(\Omega)$. Тогава оптичната дебелина се изразява като

$$(12) \quad \tau(\lambda) = \sec\Omega \int_{0,H} \alpha(\lambda,h) dh = \tau_0(\lambda)\sec\Omega,$$

където интегралът $\tau_0(\lambda)$ представлява оптичната дебелина в зенита. Факторът $\sec\Omega$ се нарича ‘въздушна маса’ и се означава с X . Накрая имаме

$$(13) \quad I(\lambda,X) = I_0(\lambda) e^{-\tau_0(\lambda)X}$$

Въздушната маса е относителното количество атмосфера, през която е минало излъчването, като за единица се приема ‘дебелината’ на атмосферата, когато звездата е

вертикално над хоризонта (в зенита), т.е. при зенитен ъгъл 0° . Приближението $X = \sec \Omega$ е приемливо за зенитни ъгли до 60° , където грешката е 0.25%. Тази грешка на приближението нараства до 10% при $\Omega = 85^\circ$.

Прозрачността на атмосферата за дадена дължина на вълната и дадена въздушна маса $T(\lambda, X)$, (наричана още “пропускане”) се дефинира като отношение на потоците $I(\lambda, X)/I_0(\lambda)$. Чрез уравнение (1) можем да свържем атмосферното пропускане с оптичната дебелина в зенита:

$$(14) \quad T(\lambda, X) = e^{-\tau_0(\lambda)X}.$$

Ако $\tau_0(\lambda) > 10$, атмосферата се приема за напълно непрозрачна. От друга страна, при астрономични наблюдения се иска $\tau_0(\lambda) < 0.5$ (пропускане над 61% в зенита) [вж. 13].

В астрономията звездният блясък се измерва в звездни величини. По формулата на Погсън видимата звездна величина $m(\lambda)$ на дадена звезда, излъчваща при дължина на вълната λ , е

$$(15) \quad m(\lambda) = -2.5 \log_{10} I(\lambda, X) + C(\lambda),$$

където $C(\lambda)$ е константа, отчитаща нул-пункта на скалата на звездните величини. Замествайки $I(\lambda, X)$ от уравнение (1), изразът придобива следната форма, позната като ‘закон на Бугер’:

$$(16) \quad m(\lambda) = m_0(\lambda) + [2.5 \log_{10} e] \tau_0(\lambda)X = m_0(\lambda) + k(\lambda)X$$

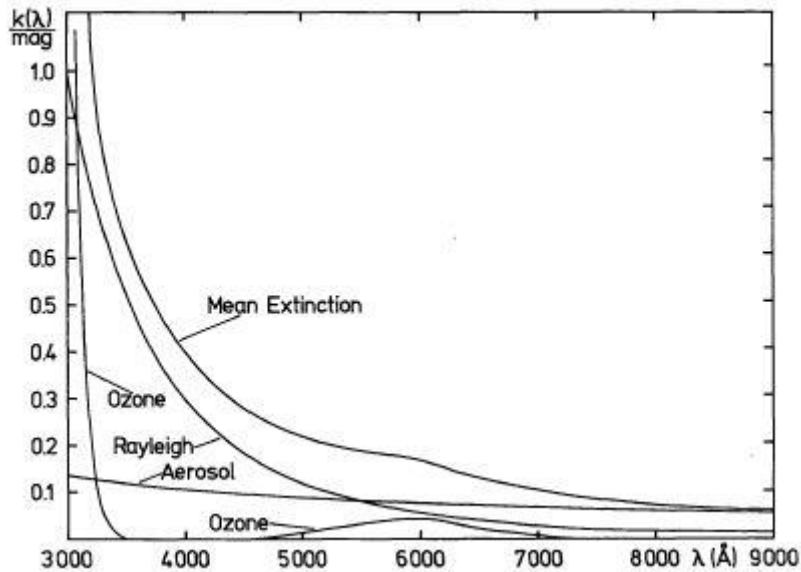
където $m_0(\lambda) = -2.5 \log_{10} I_0(\lambda) + C(\lambda)$ е видимата величина на звездата на входа на атмосферата, а $m(\lambda)$ е величината, измерена на повърхността на Земята, след като светлината от звездата е преминала през въздушна маса X . В астрономията $k(\lambda)$ се нарича ‘коэффициент на екстинкция’ при дължина на вълната λ и се изразява в единици ‘magnitudes/air mass’. От уравнение (7) следва, че коэффициентът на екстинкция представлява разликата в звездни величини между блясъка на звездата, когато я наблюдаваме от земната повърхност в зенита, и блясъка, който тя има на входа на атмосферата. За да се избегне евентуално объркване, трябва да отбележим, че (извън астрономията) в атмосферните изследвания коэффициентът на отслабване $\tau(\lambda)$ също се нарича ‘коэффициент на екстинкция’. В действителност двете величини са свързани така:

$$(17) \quad k(\lambda) = 2.5 (\log_{10} e) \tau(\lambda) = 1.08 \tau_0(\lambda)$$

Имайки предвид различната природа на източниците на отслабване на светлината, описани в параграф 3.1, можем да запишем

$$(18) \quad k(\lambda) = \sum_i k_i(\lambda)$$

Тук индексът i се отнася към различните екстинкционни процеси, показани на фиг.4.



Фигура 4: Пример за средната екстинкция $k_i(\lambda)$ и нейните компоненти, дължащи се на разсейването на Рейли, аерозолното разсейване и O_3 (данните са взети от [19] и са за обсерваторията Флагстаф, Аризона).

Hayes and Latham [10] отбелязват, че има три главни източника на екстинкция в земната атмосфера, които задължително трябва да се отчитат в астрономическата фотометрия: разсейването на Рейли от молекулите, аерозолното разсейване и поглъщането от молекулите.

1. *Разсейване на Рейли.* Зависимостта на вертикалната екстинкция (изразена в magnitudes/air mass), дължаща се на това разсейване, от дължината на вълната (λ в μm) и височината (h в km) се апроксимира чрез:

$$(19) \quad k_{\text{Ray}}(\lambda, h) = 0.0094977 \lambda^{-4} \left((n-1)_{\lambda} / (n-1)_{\lambda=1} \right)^2 \exp(-h/7.996)$$

където скалата на височините за долната тропосфера е взета 7.996 km . Членът на показателя на пречупване се дава от:

$$(20) \quad (n-1)_{\lambda} / (n-1)_{\lambda=1} = 0.23465 + 107.6 / (146 - \lambda^{-2}) + 0.93161 / (41 - \lambda^{-2}).$$

2. *Разсейване от аерозоли.* Дължи се на частици – включително прах, водни капки и замърсители от човешка дейност. Екстинкцията в този случай често се апроксимира числено с формулата:

$$(21) \quad k_{\text{aer}} = 0.05 \lambda^{-\alpha} e^{-h/H} \text{ mag/air mass,}$$

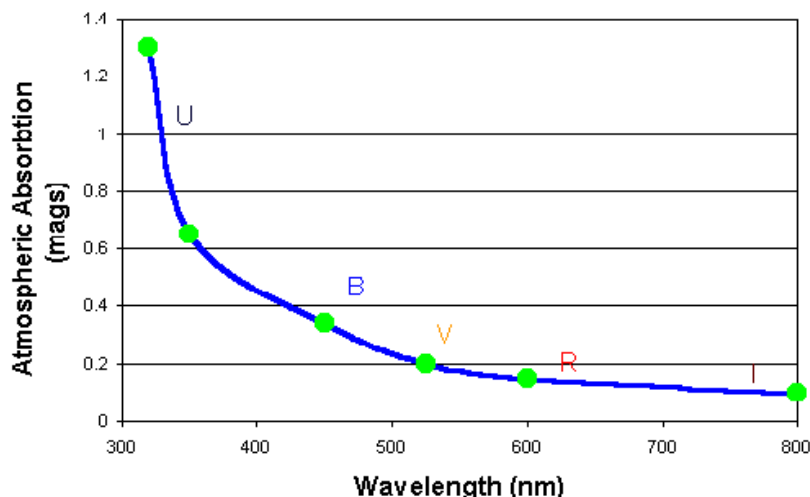
където λ е наблюдаваната дължина на вълната (в μm), а скалата на височините H обикновено се взема [10] (в действителност тя варира значително в зависимост от мястото). Авторите на [19] и [10] намират типични стойности на $\alpha = 0.9$. По-новите измервания на зависимостта на аерозолната екстинкция от дължината на вълната дават за α по-широк диапазон (0.5 – 2.5) със средна за цялата земна повърхност стойност около 1.3.

3. *Молекулярно поглъщане.* Главните компоненти на това поглъщане са абсорбционните ивици на озона, на кислорода и на водните пари. Вертикалната екстинкция от озона се апроксимира така, както е описано в “La Palma Technical Note No.31” [14].

Експериментална установка

Коефициентът на екстинкция $k(\lambda)$ лесно може да се определи от уравнение (16). Правят се няколко измервания на звездната величина $m(\lambda)$ на стандартните звезди в хода на нощта при различни въздушни маси. Линејната апроксимация, използвайки метода на най-малките квадратични отклонения (МНК) на уравнение (7) дава екстинкционния коефициент за конкретната дължина на вълната λ . Допълнително атмосферното пропускане при тази дължина на вълната за различни въздушни маси може да се пресметне директно от уравнението $T(\lambda, X) = e^{-\tau_0^{(\lambda)} X}$. За да получим коефициентите на екстинкция (и следователно атмосферното пропускане) в различни дължини на вълните от оптичния диапазон, ще използваме стандартните U, B, V, R и I астрономически широкоивични филтри. През 50-те години на миналия век Джонсън (Johnson) определи три фотометрични ивици (U, B и V), базирани на чувствителността на фотоумножителите (ФЕУ), използвани по негово време. По-нататък бяха добавени червената и инфрачервената ивици (R и I) поради появата на ФЕУ с повишена чувствителност в червената област на спектъра. След това, през 80те години приборите със зарядова връзка (Charge Coupled Devices, CCD) детекторите изместиха ФЕУ и се наложи създаването на нов набор от филтри, който да възпроизвежда резултатите, получени по-рано с ФЕУ [7]. Днес т.нар. ‘филтри с дефиниция на Бесел (Bessell)’ се смятат за индустриален стандарт при работа с CCD матрици. С такава система от детектори и филтри са оборудвани и телескопите на НАО „Рожен”, които са използвани за целите на този проект.

На Фиг.5 е показана зависимостта на атмосферното поглъщане от централната дължина на вълната на различните филтри за средно добро място. Трябва да се отбележи, че за достигане на необходимата точност следва да се добави корекция, която е функция от цвета на стандартната звезда. Причина за това е, че ширината на използваните филтри в ивиците U, B, V, R и I е достатъчно голяма, щото спектралното разпределение на звездния поток в рамките на ивицата на пропускане на филтъра да покаже забележим градиент. Една червена (т.е. студена) звезда ще даде повече енергия в червения край на тази ивица по сравнение с една синя (т.е. гореща) звезда. Това създава ефект на изместване на ‘центъра на тежестта’ на филтъра към червената или синята област, т.е. трябва да се въведе корекция за цвета (т.е температурата) на стандартната звезда.



Фигура 5: Вариация на поглъщането от атмосферата (в звездни величини) в зависимост от цвета на използвания филтър.

Цялата инструментална установка, използвана в проекта представлява телескоп + CCD камера + аксесоари + компютър. Такъв комплект от компоненти ще наричаме ‘Машина за астрономическа атмосферна екстинкция’ (AAEM). Всеки от телескопите в НАО „Рожен” може да бъде използван като една AAEM.

Наблюдения и редуция на данните;

За да се определи на практика коефициента на екстинкция, трябва да се наблюдават през нощи с „добри” атмосферни условия (т.нар. ”форометрични нощи”) определени стандартни площадки/полета, по възможност разпределени по различни зенитни ъгли. Напр., може да се използва групата звезди от т.нар. “Extended Landolt Standards”, измерена и публикувана от Galadi-Enriques, Trullois and Jordi [9]. В тяхната работа е представен списък от 681 вторични UBVR_I стандартни звезди за CCD фотометрия. Те са разпределени по V-величини от 9.7 до 19.4, а цветовият им индекс B–V варира от 1.15 до 1.97. Звездите са групирани в 11 различни площадки/полета, всяко от които се събира на единичен CCD кадър. Звездите са разположени около първичните екваториални UBVR_I стандартни звезди на Ландолт (Landolt – вж. [11,12]), които широко се използват от астрономическата общност за калибровъчни цели. Те представляват вътрешно съгласувана и хомогенна реализация на широкоивичната фотометрична система на Johnson-Cousins.

Много полезна за нашите цели е също така и фотометричната база данни, поддържана от Stetson:

<http://www4.cadc-ccda.hia-ih.nrc-cnrc.gc.ca/community/STETSON/standards/>

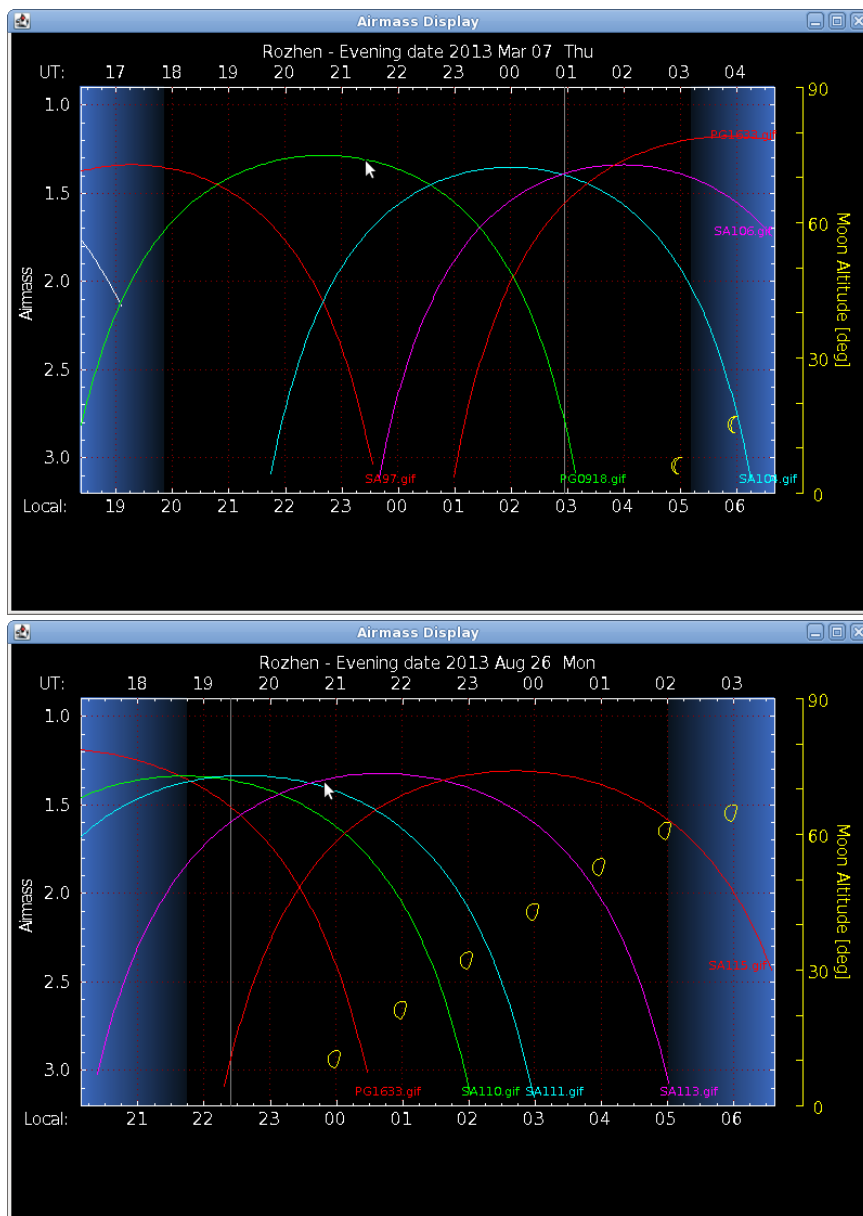
<http://www4.cadc-ccda.hia-ih.nrc-cnrc.gc.ca/community/STETSON/archive/>

Първият линк съдържа т.нар. ‘Стандартни фотометрични полета на Стетсън’ (около 200 на брой) в Астрономическия център за данни на Канада, който се управлява от Националния съвет за научни изследвания на Канада с подкрепата на Канадската космическа агенция. Другият линк води към ‘Архива със стандартни звезди на Стетсън’,

съдържащ UBVRI фотометрия за 40 090 отделни първични (на Landolt) и вторични (на Stetson) стандарти. За подробности вж. [17,18] и посочената там литература.

Разполагайки с кадрите с избраните площадки със стандартни звезди, получаването на екстинкционните коефициенти е предмет на рутинна астрономическа редукция, която подробно е описана в литературата.

Ефективното използване на наблюдателната база изисква добро планиране на наблюденията за цялата нощ. Това планиране изисква изчисление на променящата се височина на обектите (звездите) и разписание на последователното им обхождане. Два примери за такова планиране са показани на Фиг. 6.

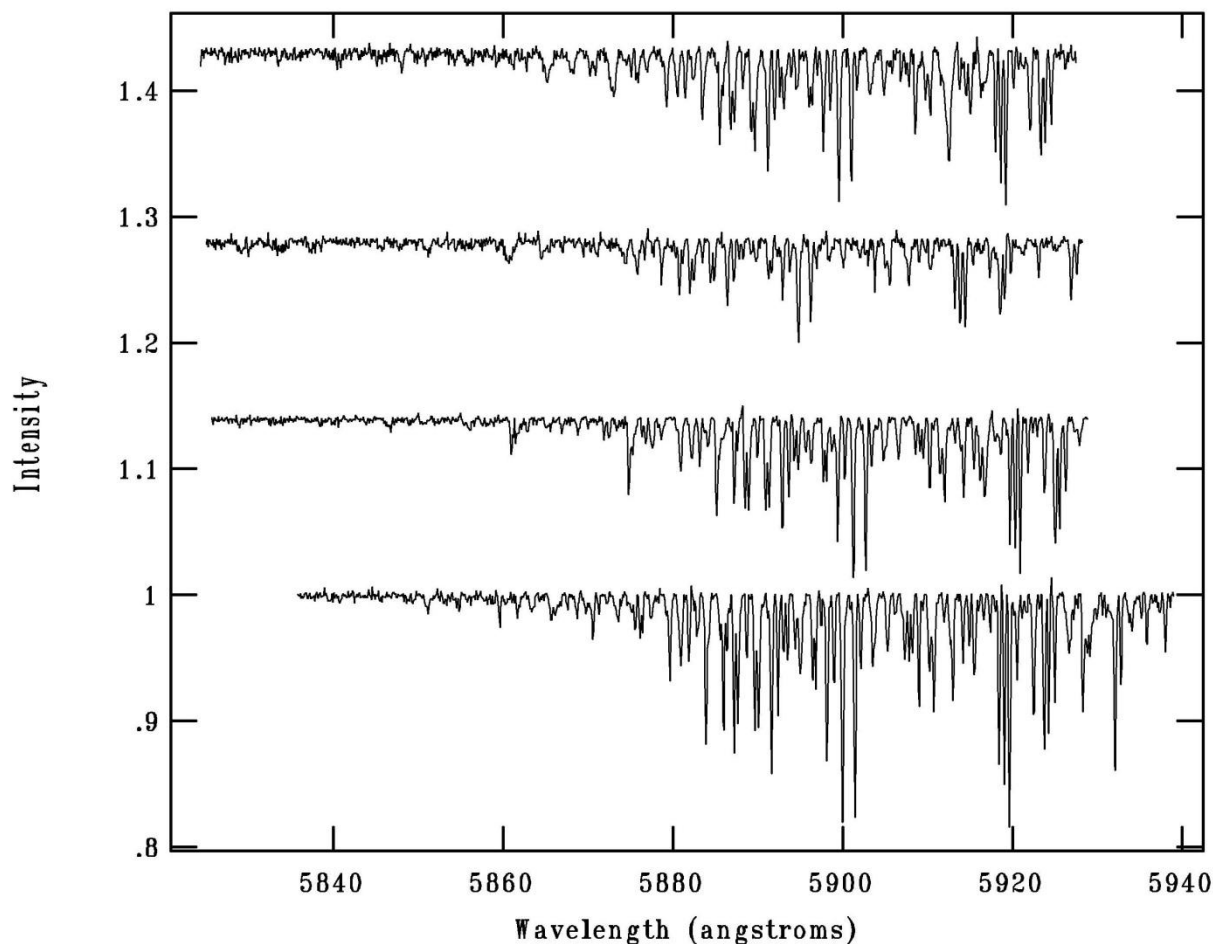


Фигура 6: Два плана за наблюденията на стандартни звезди с цел определяне на атмосферната екстинкция на 7 март (горе) и 26 август (долу) 2013 г. Звездите са избрани от площадките на Landolt така, че да покриват възможно най-голям диапазон от въздушни маси, в двата случая от около 1.2 до над 3.0. Въздушната маса е изчислена за координатите на НАО „Рожен” и е представена като функция на локалното време за

целите нощи, включително вечерния и сутрешния полумрак (светло-сините вертикални ивици в ляво и дясно на фигурите).

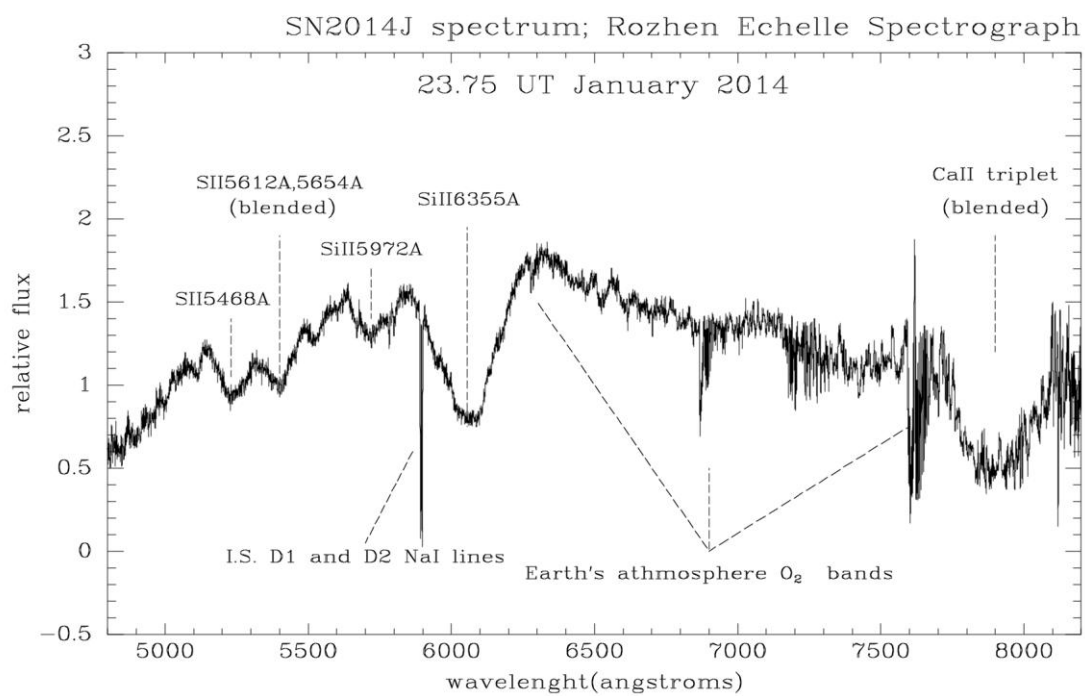
Телуричните линии в звездните спектри и качеството на въздуха

Алтернативен метод за изследване на състава на атмосферата предоставят спектрите на небесните тела, получавани с 2-метровия телескоп на НАО „Рожен“. Освен спектралните характеристики на изследвания обект те съдържат и така наречените телурични линии. Това са тесни абсорбционни линии, които се появяват в спектрите на небесните тела – звезди и галактики, в резултат от преминаването на светлината от тях през земната атмосфера. Телуричните линии по своята природа са преди всичко молекулни, защото главните компоненти на земната атмосфера, които са отговорни за тяхното образуване са преди всичко молекулите на водата, хидроксила (ОН-), въглеродния двуокис, кислорода, озона и азота. Изучаването на телуричните линии дава възможност да се получат данни за състава и моментното състояние на земната атмосфера, защото се образуват в най-плътните и слоеве. Известно е, че почти 99.9 процента от масата на атмосферата е съсредоточена на височина до 100 километра. Понеже земната атмосфера е сложна смес от няколко газа и аерозоли, изучаването на поведението на телуричните линии в различни периоди от време ще позволи да се съберат и анализират данни за наличните връзки между физическите характеристики на отделните компоненти на атмосферата, в частност и тези измервани от ФС Рожен. Направените от нас първи изследвания показаха, че поведението на телуричните линии, получени в спектри на звезди с 2-м телескоп на НАО Рожен, е изключително сложно и не се поддава на моделиране с прости математически модели. Със скорошното въвеждане на новия ешелен спектрограф, захранван от 2-м телескоп, броят на телуричните линии достъпни за анализ в единичен звезден спектър ще нарасне няколко пъти. Така ще бъдат получени нови, по-достоверни данни за състоянието на атмосферата за последните няколко години.



Фигура 7: Телурични линии в диапазона 5820 – 5940 Ангстрьом.

На фиг. 7 са показани телуричните линии около натриевия дублет при 5889.950 и 5895.924. Тези спектри са получени с куде-спектрографа на 2-метровия телескоп и са нормирани към 1.0. Горните три спектъра са отместени по интензитет за да може да се прави сравнение между спектрите, получени в различни моменти. При възможност за получаване на спектри в по-голям спектрален диапазон броят на телуричните абсорбционни линии става достатъчно голям за получаване на статистически достоверни резултати за състоянието на атмосферата. Такава възможност в НАО „Рожен” предоставя въведеният в експлоатация в края на 2013 г. спектрограф от тип ешелел, който регистрира в един кадър целия видим диапазон на електромагнитния спектър, от 3900 до 9200 Ангстрьом. Илюстрация за тези възможности дава представения на фиг. 8 спектър на свръхновата звезда SN2004J, която избухна през януари 2014 г. В спектъра са отбелязани характерните телурични абсорбции на молекулата на кислорода, виждат се и голям брой абсорбции от водни молекули и производни на водата, като например хидроксил, ОН. Параметрите на всички тези линии могат да се използват за анализ на състоянието на атмосферата.



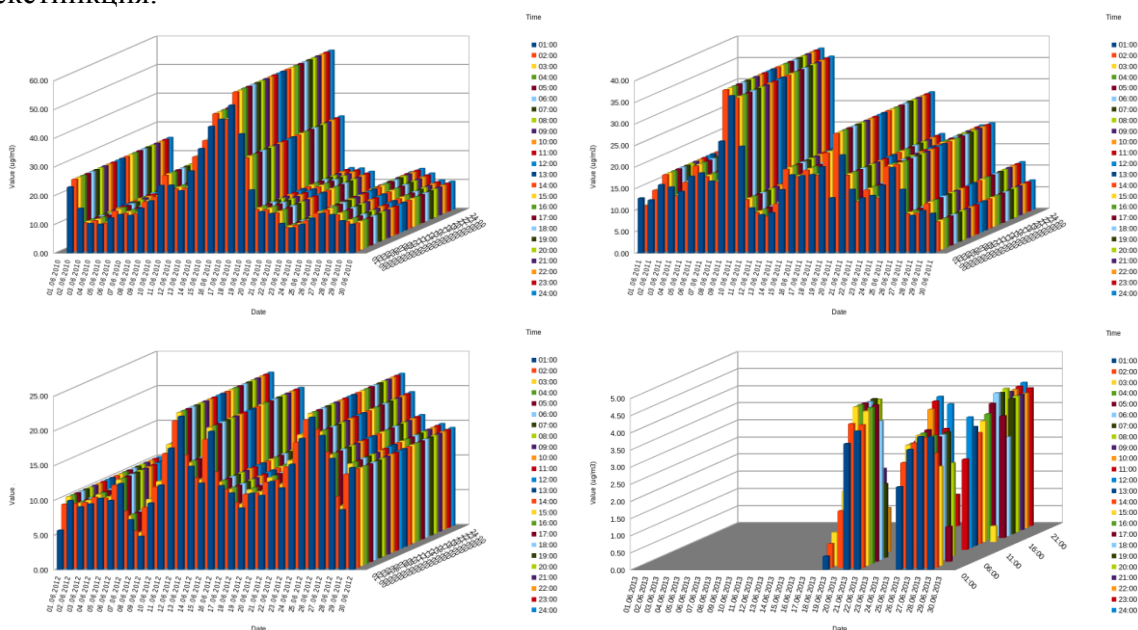
Фигура 8: Спектър на свръхновата звезда SN2014J, регистриран с новия спектрограф от тип ешеле на 2-метровия телескоп на НАО „Рожен“. Спектърът съдържа голям брой телурични линии - индикатори за състоянието на атмосферата.

Литература:

- (1) Impact of atmospheric parameters on the atmospheric Cherenkov technique, K. Bernlohr, *Astroparticle Physics*, 12, 255-268 (2000)
- (2) Feasibility study of an absolute energy calibration of imaging atmospheric Cherenkov telescopes by starlight, O. Karschnick et al., *Astronomy & Astrophysics Suppl.*, 143, 535-539 (2000)
- (3) Fundamentals of Atmospheric Modeling, M. Jacobson, Cambridge Univ. Press, 2005
- (4) Absorption and Scattering of Light by Small Particles, C. Bohren and D. Huffman, Wiley Professional Edition, 1998
- (5) Aerosol Optics - Light Absorption and Scattering by Particles in the Atmosphere, A. Kokhanovsky, SPRINGER-Praxis Publishing, 2008
- (6) Light Scattering by Small Particles, H. van de Hulst, Dover Publications, 1981
- (7) Bessel M.S. 1990, *PASP* 102, 1181.
- (8) Burki G., Rufener F., Burnet M., Richard C., Blecha A., and Bratschi P. 1995, *A&AS* 112, 383
- (9) Galadi-Enriquez D., Trullols E. and Jordi C. 2000, *A&AS* 146, 169
- (10) Hayes D. S. and Latham D. W. 1975, *ApJ* 197, 593
- (11) Landolt A.U. 1983, *AJ* 88, 439
- (12) Landolt A.U. 1992, *AJ* 104, 340
- (13) Lena P., Lebrun F. and Mignard F. 1998, "Observational Astrophysics", Berlin: Springer, p. 37
- (14) King D.L. 1985, RGO/La Palma technical note no.31, "Atmospheric Extinction at the Roque de los Muchachos Observatory, La Palma".
- (15) Rufener, F. 1986, *A&A* 165, 275.
- (16) Schroeder D. 2000, "Astronomical Optics", Academic Press.
- (17) Stetson P. 2005, *PASP* 117, 563.
- (18) Stetson P., Catelan M. and Smith H.A. 2005, *PASP* 117, 1325.
- (19) Tueg, H., White N.M. and Lockwood G.W. 1977, *A&A* 61, 679.
- (20) Vargas M.J., Benitez P.M. and Bajo F.S. 2000, *Eur. J. Phys.* 21, 245.

Данни за измерените от КФС „Рожен” стойности на замърсители на атмосферата

Изпълнителната агенция по околна среда предостави на ИА с НАО достъп до Националната автоматизирана система за контрол качеството на атмосферния въздух – пункт КФС „Рожен”. Сътрудници на ИА с НАО изработиха интернет страница, в която данните са представени графично, http://www.astro.bas.bg/EKO_Project/index.html. Показани са стойностите за Бензен, азотни окиси, озон, серен двуокис и фини прахови частици по-малки от 10 мкм. Данните са организирани за отделните месеци на 2010 г., 2011г. и 2012 г. и частично за 2013 г. Илюстрация на графичното публикуване на данните е показана на фигура 9. Тук е показано разпределението на фините прахови частици за месец юни на 2010, 2011, 2012 и частично на 2013. По оста X са нанесени дните от месеца, по оста Y – часовете, а по оста Z – съдържанието на фините прахови частици, изразено в микрограма/м³. С условни цветове са представени колонките за отделните часове от денонощието. Сравнението на данните за различните години показва, че те се характеризират с вариации, достигащи отношение около 6 между максималните и минималните стойности. Друга особеност е намаляването на концентрацията на прахови частици в разглеждания период, особено силно изразена през 2013 г. През 2010 година (горе-ляво), максималните стойности достигат 60 микрограма/м³, докато през 2013 г. те не надвишават 5 микрограма/м³. Ще се върнем към тази особеност в следващите глави, при анализа на данните за атмосферната екстинкция.



Фигура 9: Графично представени данни за концентрациите на фини прахови частици, от измервания на КФС „Рожен” за м. юни 2010 – 2013 г.

Резултати за избрани моменти

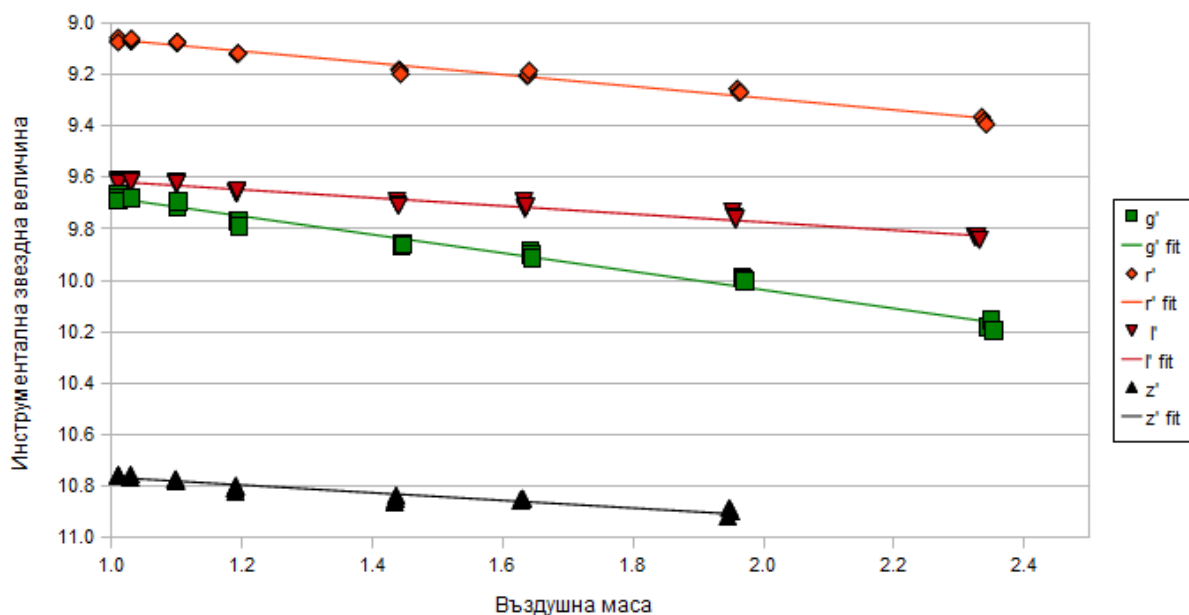
Атмосферна екстинкция и прахови частици през юни 2013

Тук представяме анализ на екстинкцията, измерена на 22 и на 24 юни 2013 г. и сравняваме с данните атмосферния въздух по измервания от КФС „Рожен“. В таблицата са представени инструменталните звездни величини при различни въздушни маси за четири филтъра. Използвани са филтри от системата на Sloan (g',r',I' и z') и телескоп ST10.

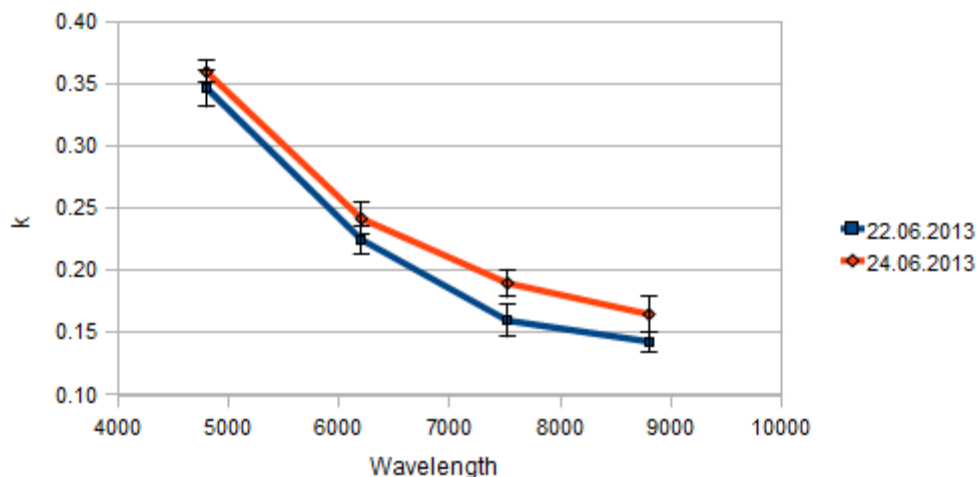
Air Mass	g' [mag]	Air Mass	r' [mag]	Air Mass	I' [mag]	Air Mass	z' [mag]
1.0098	9.667	1.0098	9.064	1.0098	9.611	1.0098	10.759
1.0098	9.678	1.0098	9.054	1.0098	9.615	1.0098	10.760
1.0098	9.691	1.0098	9.072	1.0098	9.625	1.0098	10.766
1.0300	9.676	1.0295	9.069	1.0290	9.608	1.0285	10.770
1.0302	9.675	1.0297	9.064	1.0292	9.616	1.0287	10.758
1.0304	9.679	1.0299	9.058	1.0294	9.618	1.0288	10.758
1.1010	9.713	1.0998	9.076	1.0986	9.623	1.0974	10.778
1.1014	9.696	1.1002	9.071	1.0990	9.618	1.0978	10.775
1.1017	9.694	1.1005	9.071	1.0994	9.622	1.0982	10.782
1.1946	9.770	1.1927	9.119	1.1908	9.660	1.1890	10.809
1.1951	9.768	1.1933	9.114	1.1915	9.660	1.1896	10.826
1.1958	9.791	1.1939	9.115	1.1921	9.652	1.1902	10.801
1.4444	9.870	1.4409	9.178	1.4374	9.689	1.4339	10.864
1.4455	9.855	1.4420	9.183	1.4385	9.702	1.4351	10.849
1.4467	9.861	1.4432	9.196	1.4397	9.709	1.4362	10.839
1.6421	9.887	1.6372	9.203	1.6323	9.692	1.6274	10.856
1.6437	9.899	1.6387	9.200	1.6338	9.720	1.6290	10.855
1.6453	9.913	1.6403	9.183	1.6354	9.714	1.6306	10.851
1.9671	9.989	1.9598	9.253	1.9524	9.730	1.9451	10.924
1.9697	9.997	1.9622	9.268	1.9548	9.750	1.9474	10.888
1.9720	10.003	1.9645	9.267	1.9571	9.763	1.9497	10.900
2.3457	10.181	2.3352	9.363	2.3245	9.831		
2.3494	10.156	2.3386	9.379	2.3279	9.832		
2.3529	10.196	2.3420	9.392	2.3313	9.842		

Резултатите са представени графично на фигура 10, където е показана и тяхната апроксимация с линейна функция. Наклона на правите представлява коефициентите на екстинкция за отделните дължини на вълните. Получените коефициенти са представени като функция на дължината на вълната на фиг. 8. На фиг. 9 е представена остатъчната екстинкция след изваждане на приноса на релеевското разсейване. Полученият резултат е в съответствие със закона за приноса на аерозолите към общата екстинкция, който се описва със зависимостта $k_{\text{aer}} = 0.05 \lambda^{-\alpha} e^{-h/H}$ mag/air mass. Апроксимирайки данните с тази зависимост получаваме стойност за степения показател $\alpha = 1.47$. Този резултат показва, че през м. юни 2013 г. аерозолната екстинкция над НАО „Рожен“ намалява по-бързо с увеличаване на дължината на вълната в сравнение със средната зависимост за цялата земна повърхност, която се описва със степенен показател $\alpha=1.3$.

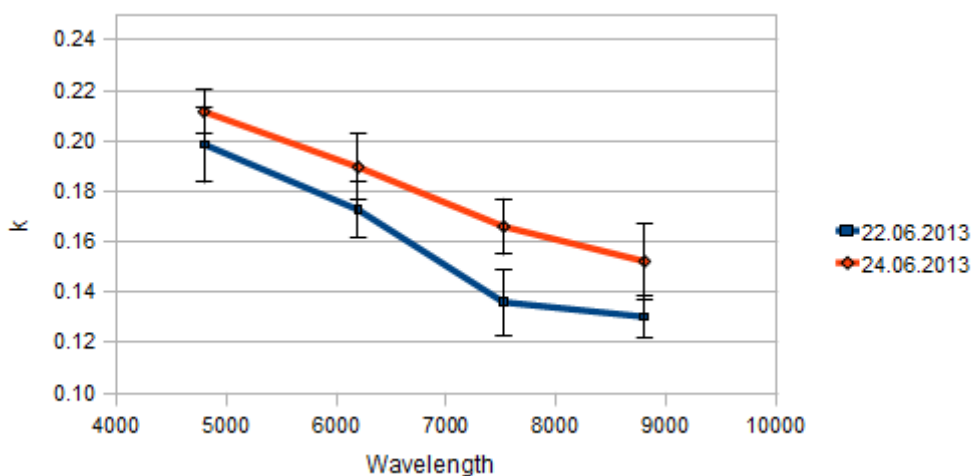
От друга страна измерената на 22 юни от КФС „Рожен” концентрация на прахови частици с размер < 10 мкм е около два пъти по-ниска от средните стойности на измерванията за втората половина на месец юни в периода 2010 – 2012 г. Едно възможно обяснение, обединяващо измерените характеристики на двата независими източника на данни, би могло да бъде увеличена концентрация на аерозолни частици, вкл. прахови частици с по-малки размери, на височина в атмосферата по-голяма от приземния слой. Частици с размери от порядъка на дължините на вълните, при които са направени астрономическите измервания, т.е. субмикронни частици, биха дали съществен принос към аерозолната екстинкция. Този принос ще бъде относително по-голям за късовълновата част на спектъра, когато в разпределението на частиците по размер доминират частици по-малки от 0.5 мкм. Наличието на такива частици е типично за праховата компонента на кометите, които са източник на метеорите. По най-груби оценки на специалисти в областта на метеорната астрономия системният приток на метеорна материя в земната атмосфера варира между 3 и 50 000 тона за денонощие! Метеорните частици са ключов фактор за баланса между загуба на маса на Земята (поради изпаренията на атоми и молекули от земната атмосфера) и приток на материя (постъпваща чрез попадащите върху нея метеорни частици). Това е само едно от многото доказателства, че екосистемата на Земята не може да се разглежда изолирано от околопланетното пространство и близкия Космос.



Фигура 10: Инструментални звездни величини измерени при различни въздушни маси, за четири различни дължини на вълните.



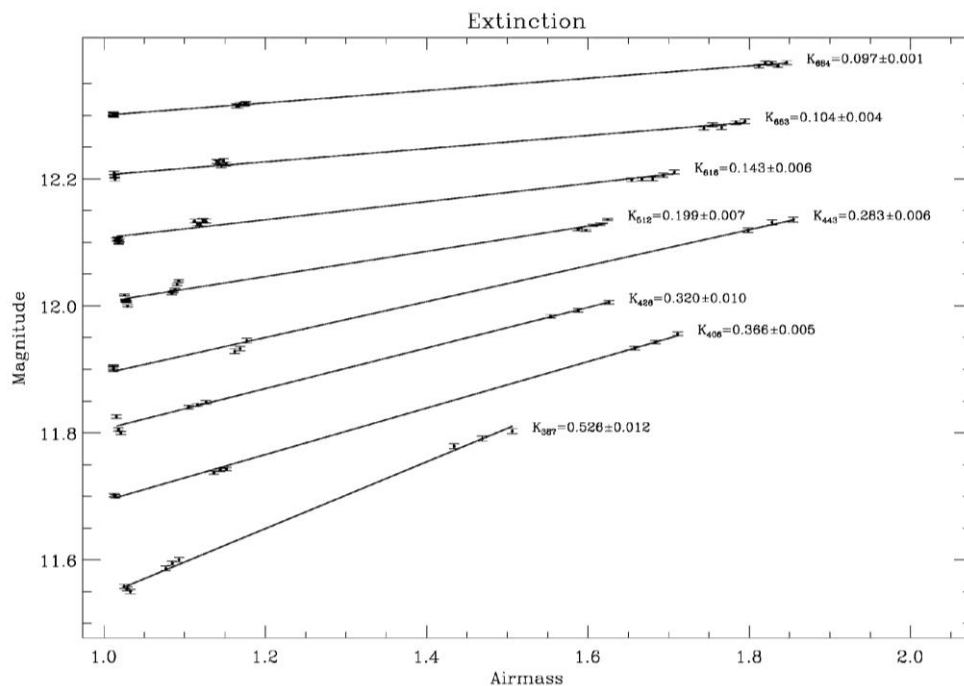
Фигура 11: Зависимост на коефициента на поглъщане в атмосферата (екстинкцията) от дължината на вълната, получена от измерванията на 22 и 24 юни 2013 г.



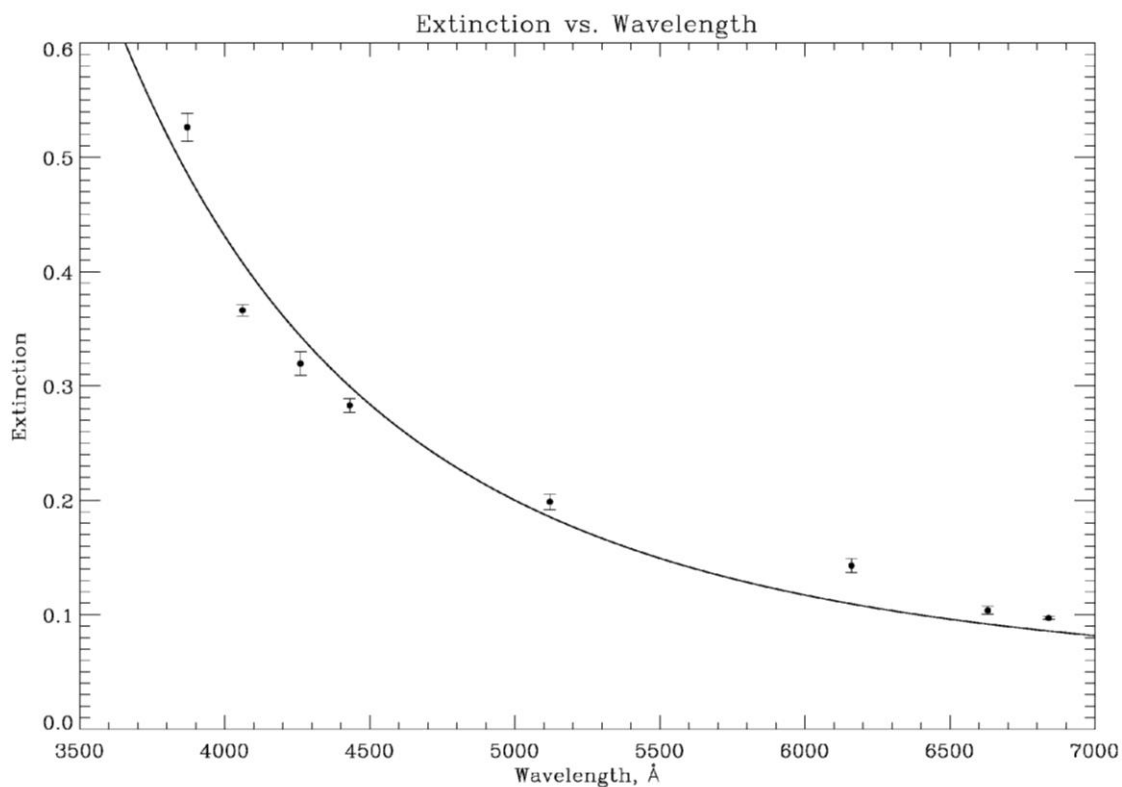
Фигура 12: Остатъчна екстинкция след отчитане (изваждане) на приноса на релеевското разсейване на светлината от молекулите в атмосферата.

Атмосферна екстинкция и качество на въздуха в началото на май 2013

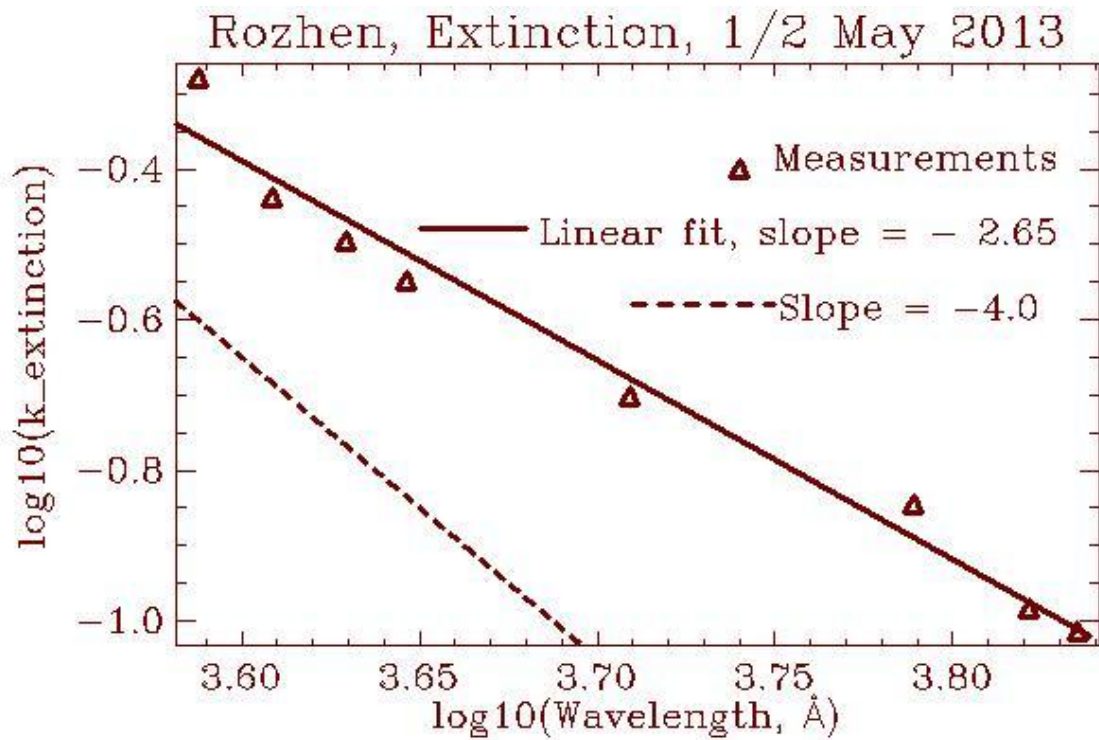
През нощта на 1 срещу 2 май 2013 г. бяха получени данни за атмосферната екстинкция в 8 различни тесноивични филтъра. Тези филтри са центрирани на следните дължини на вълната (изразени в Ангстрьом): [3870, 4060, 4260, 4430, 5120, 6150, 6630, 6840]. Тесноивичните филтри имат предимство пред широкоивичните, тъй като при тях ефектите от различното спектрално разпределение на енергията, излъчвана от звездите, са минимални.



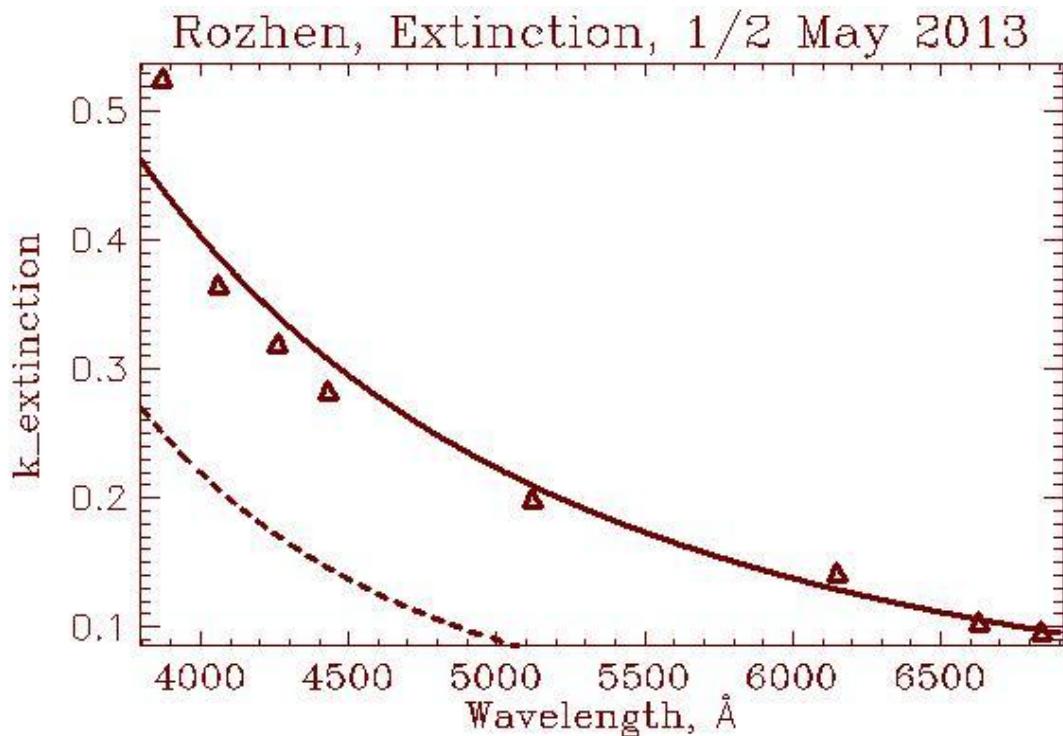
Фигура 13: Атмосферната екстинкция, измерена в 8 тесноивични филтъра на 1-2 май 2013 г.



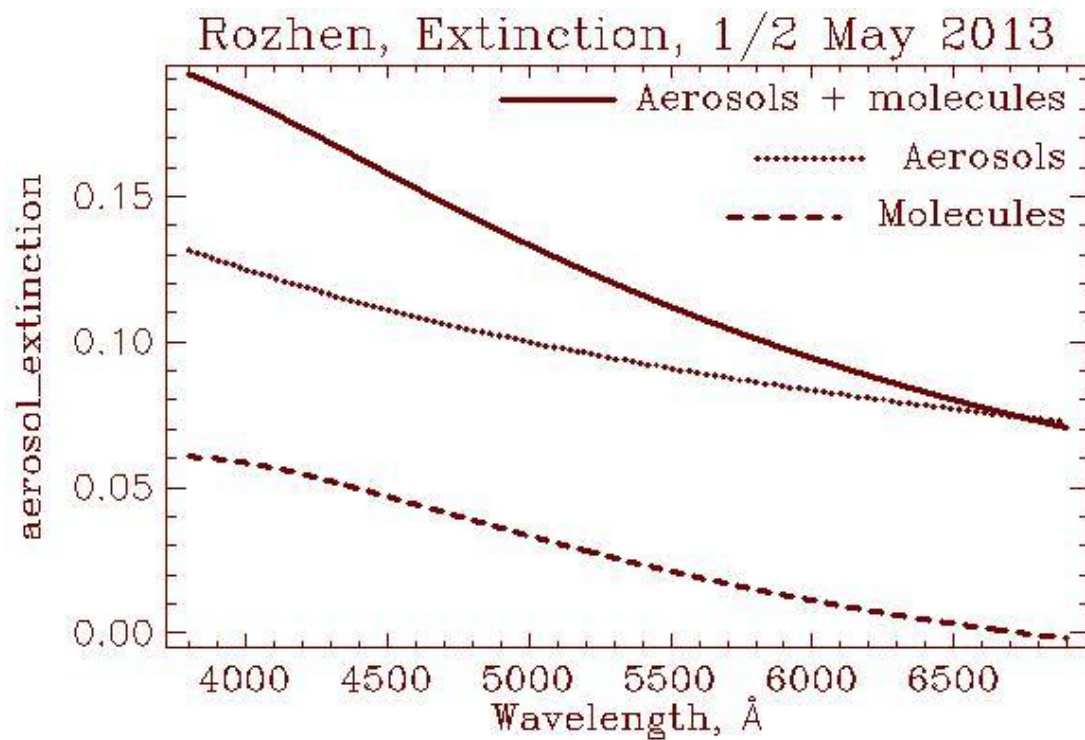
Фигура 14: Зависимост на атмосферната екстинкция от дължината на вълната за 1-2 май 2013 г.



Фигура 13: Апроксимиране на зависимостта на атмосферната екстинкция от дължината на вълната чрез степенен закон (плътната линия). Пунктираната линия показва степенния закон със степенен показател = -4, който описва разсейването на Релей. Повече подробности – в текста.



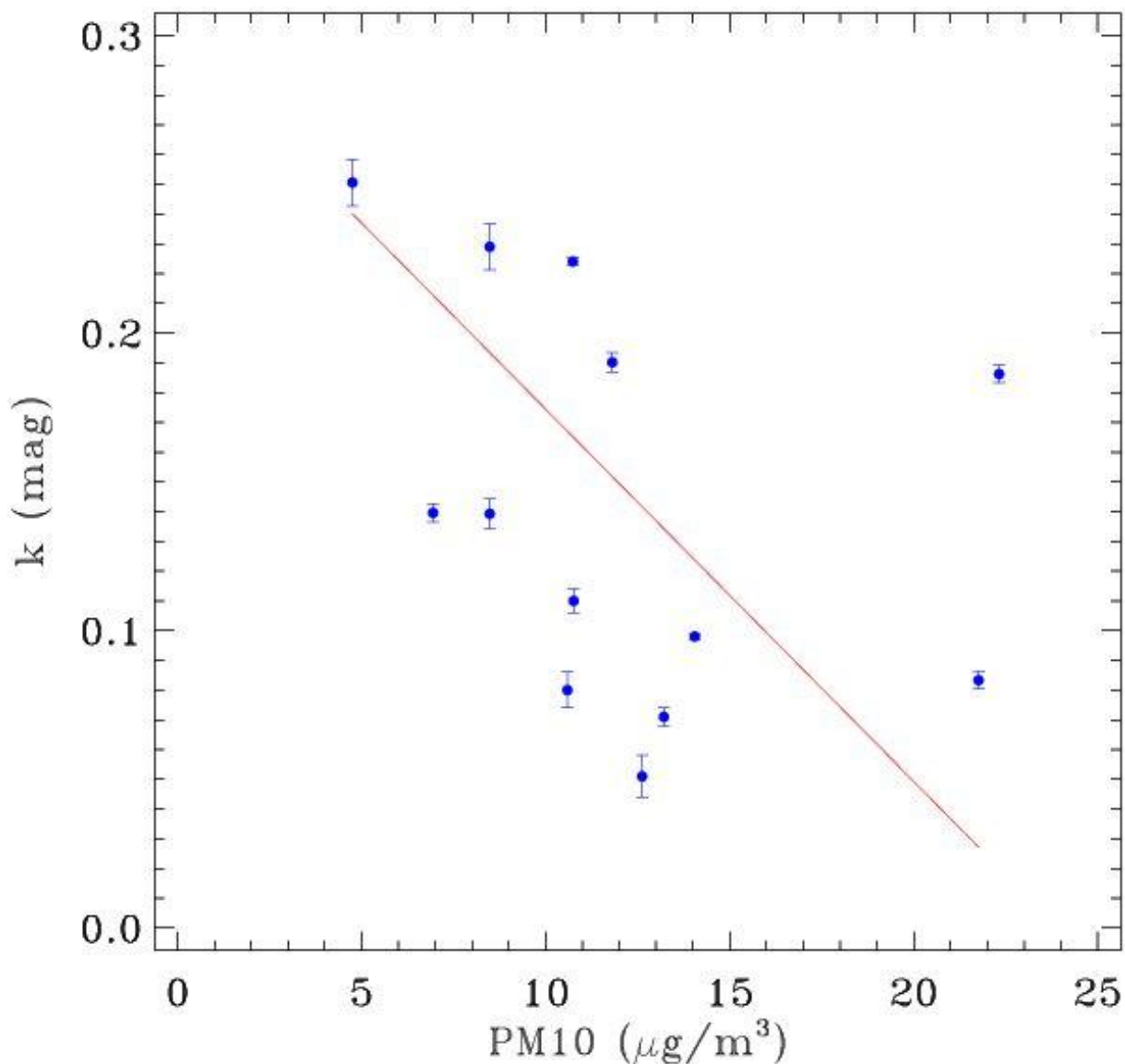
Фигура 14: Аналогично на фиг. 13, но тук представянето е в линейни единици.



Фигура 15: От данните за пълната екстинкция е изваден приноса на релеевското разсейване. Плътна линия: приноса на аерозолите и поглъщането от молекули. С пунктир и прекъснатата линия са дадени поотделно приносите на аерозолите и на поглъщането от молекули.

Възможна антикорелация между концентрацията на фини прахови частици в приземния атмосферен слой и коефициента на екстинкция

За изследване на зависимостта на коефициента на екстинкция от концентрацията на фините прахови частици (с размер $< 10 \mu\text{m}$, PM_{10}) в приземния атмосферен слой ние използвахме коефициентите на екстинкция, k , определени с телескопите на НАО Рожен във филтър R за 12, предимно летни нощи за периода юни 2012 – август 2013.



Фигура 16: Зависимост на екстинкцията от концентрацията на фини прахови частици.

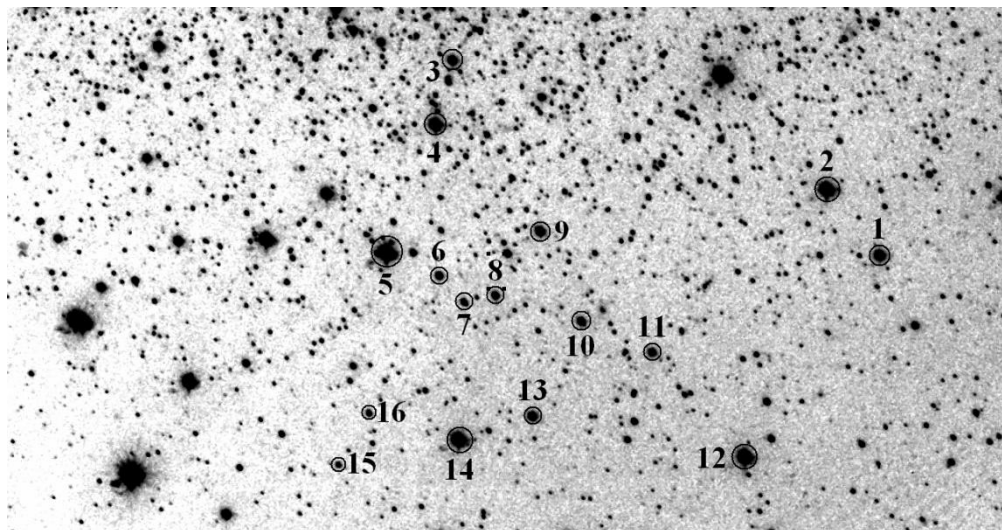
Използваният наблюдателен материал е получен по програми за повърхностна фотометрия на Сийфъртови галактики и целonoщен фотометричен патрул на квазари. Използвани са стандартните методики за обработка и фотометрия на наблюденията и за определяне на k . Така получените коефициенти на екстинкция бяха корелирани със стойностите на PM_{10} , взети за съответните дати от WWW архива на КФС Рожен. Резултатите са представени на фигура 16 и показват наличието на антикорелация между коефициента на екстинкция и величината PM_{10} . Коефициентът на корелация е -0.6 . При неговото изчисление, както и при изчислението на окончателната линейна апроксимация е използвана двустъпкова итерация. При първата стъпка е построена

линейна апроксимация на данните като точката с най-голямо отклонение от нея е премахната и не участва във втората итерация.

Така получената антикорелация може да се обясни като вземем предвид факта, че коефициентът на екстинкция отразява взаимодействието на светлината с горните слоеве на атмосферата. Когато фините прахови частици са „разхвърляни“ из различните по височина слоеве на атмосферата (напр. от пренос на въздушни маси, турбуленция и др.) то те дават по-голям принос към поглъщането на светлината в горните слоеве на атмосферата и имат ниска концентрация в приземния слой, достъпен за КФС. Когато атмосферата се успокои, частиците се „утаяват“, повишава се тяхната концентрация в приземния слой, а тяхното влияние върху разпространението на светлината в горните атмосферни слоеве намалява. Разбира се това е един груб модел, базиращ се на представената антикорелация. Значителното увеличаване броя нощи с определена екстинкция ще потвърди (или отхвърли) получената антикорелация. Би било полезно също така да се построят подобни корелации в различни филтри и за различни сезони, а също така да се свържат с атмосферната циркулация над региона. За задълбоченото изследване на физическите процеси, водещи до появата на подобна антикорелация трябва да получим отговори на следните въпроси: (1) Каква е типичната височина, на която фините частици идват над нас?; (2) Какъв е приносът на фините частици към екстинкцията?; (3) Колко време им е необходимо за да паднат до земната повърхност, където става измерването от КФС Рожен.

Атмосферната екстинкция в началото на м. август 2013 г.

В периода 5 – 9 август 2013 г. бяха получени данни за екстинкцията чрез използването на два инструмента на 2-метровия телескоп на НАО „Рожен“ – преки наблюдения в Ричи-Кретиен фокуса и наблюдения с 2-каналния фокален редуктор, ФоРеРо2. За определяне на екстинкцията бяха използвани измервания на 16 стандартни звезди в полето на кълбовидния куп М92 (NGC 6341), на различни въздушни маси и в различни филтри - В, V, R, I. Регистрираното поле е показано на фиг. 17, където са посочени и използваните стандарти (оградените в кръгчета и номерирани звезди).



Фигура 17: Площадка от кълбовидния куп М92 с избрани 16 звезди, фотометрични стандарти.

Данни за атмосферната екстинкция на 5 август 2013 г.

Филтър В:

2013-08-05 --- В : В-V

N	M_cat	err	X_1	X_2	M_0	err
1	15.366	0.013	1.090	2.160	-8.075	0.014
2	15.062	0.010	1.090	2.160	-8.438	0.013
3	16.674	0.009	1.090	2.160	-6.911	0.019
4	16.178	0.005	1.090	2.160	-7.433	0.016
5	14.853	0.004	1.090	2.160	-8.673	0.013
6	17.446	0.008	1.090	2.160	-6.122	0.028
7	18.118	0.010	1.090	2.160	-5.353	0.039
8	16.346	0.007	1.090	2.160	-7.066	0.018
9	16.502	0.005	1.090	2.160	-6.996	0.018
10	18.155	0.008	1.090	2.160	-5.428	0.037
11	16.245	0.007	1.090	2.160	-7.192	0.017
12	15.501	0.014	1.090	2.160	-8.021	0.014
13	16.599	0.007	1.090	2.160	-6.878	0.019
14	15.412	0.008	1.090	2.160	-8.114	0.014
15	18.650	0.012	1.090	2.160	-4.915	0.060
16	18.475	0.017	1.090	2.160	-5.090	0.046

Weighted-mean extinction coefficient:

0.258 0.005

First and second order extinction coefficients:

0.272 0.006

-0.027 0.010

Филтър V:

2013-08-05 --- V : R-I

N	M_cat	err	X_1	X_2	M_0	err
1	15.366	0.013	1.067	1.996	-7.816	0.009
2	15.062	0.010	1.067	1.996	-9.252	0.007
3	16.674	0.009	1.067	1.996	-7.813	0.009
4	16.178	0.005	1.067	1.996	-8.960	0.007
5	14.853	0.004	1.067	1.996	-9.781	0.007
6	17.446	0.008	1.067	1.996	-6.912	0.013
7	18.118	0.010	1.067	1.996	-6.013	0.022
8	16.346	0.007	1.067	1.996	-6.358	0.018
9	16.502	0.005	1.067	1.996	-7.634	0.010
10	18.155	0.008	1.067	1.996	-7.198	0.011
11	16.245	0.007	1.067	1.996	-6.484	0.016
12	15.501	0.014	1.067	1.996	-9.170	0.007
13	16.599	0.007	1.067	1.996	-7.417	0.010
14	15.412	0.008	1.067	1.996	-9.215	0.007
15	18.650	0.012	1.067	1.996	-5.192	0.035
16	18.475	0.017	1.067	1.996	-5.679	0.030

Weighted-mean extinction coefficient:

0.034 0.005

First and second order extinction coefficients:

0.051 0.005

-0.047 0.013

Филтър R:

2013-08-05 --- R : V-R

N	M_cat	err	X_1	X_2	M_0	err
1	15.366	0.013	1.074	2.046	-8.857	0.009
2	15.062	0.010	1.074	2.046	-9.980	0.008
3	16.674	0.009	1.074	2.046	-8.586	0.009
4	16.178	0.005	1.074	2.046	-9.587	0.008
5	14.853	0.004	1.074	2.046	-10.284	0.008
6	17.446	0.008	1.074	2.046	-7.669	0.011
7	18.118	0.010	1.074	2.046	-6.849	0.015
8	16.346	0.007	1.074	2.046	-7.537	0.012
9	16.502	0.005	1.074	2.046	-8.444	0.009
10	18.155	0.008	1.074	2.046	-7.782	0.010
11	16.245	0.007	1.074	2.046	-7.664	0.011
12	15.501	0.014	1.074	2.046	-9.840	0.008
13	16.599	0.007	1.074	2.046	-8.263	0.009
14	15.412	0.008	1.074	2.046	-9.891	0.008
15	18.650	0.012	1.074	2.046	-6.150	0.021
16	18.475	0.017	1.074	2.046	-6.376	0.019

Weighted-mean extinction coefficient:

0.071 0.003

First and second order extinction coefficients:

0.079 0.004

-0.022 0.010

Филтър I:

2013-08-05 --- I : R-I

N	M_cat	err	X_1	X_2	M_0	err
1	15.366	0.013	1.067	1.996	-7.816	0.009
2	15.062	0.010	1.067	1.996	-9.252	0.007
3	16.674	0.009	1.067	1.996	-7.813	0.009
4	16.178	0.005	1.067	1.996	-8.960	0.007
5	14.853	0.004	1.067	1.996	-9.781	0.007
6	17.446	0.008	1.067	1.996	-6.912	0.013
7	18.118	0.010	1.067	1.996	-6.013	0.022
8	16.346	0.007	1.067	1.996	-6.358	0.018
9	16.502	0.005	1.067	1.996	-7.634	0.010
10	18.155	0.008	1.067	1.996	-7.198	0.011
11	16.245	0.007	1.067	1.996	-6.484	0.016
12	15.501	0.014	1.067	1.996	-9.170	0.007
13	16.599	0.007	1.067	1.996	-7.417	0.010
14	15.412	0.008	1.067	1.996	-9.215	0.007
15	18.650	0.012	1.067	1.996	-5.192	0.035
16	18.475	0.017	1.067	1.996	-5.679	0.030

Weighted-mean extinction coefficient:

0.034 0.005

First and second order extinction coefficients:

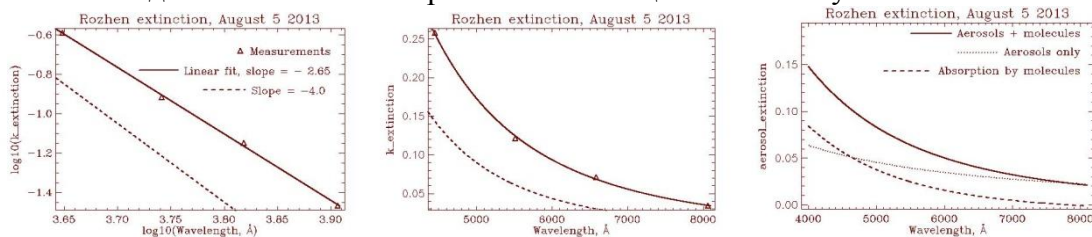
0.051 0.005

-0.047 0.013

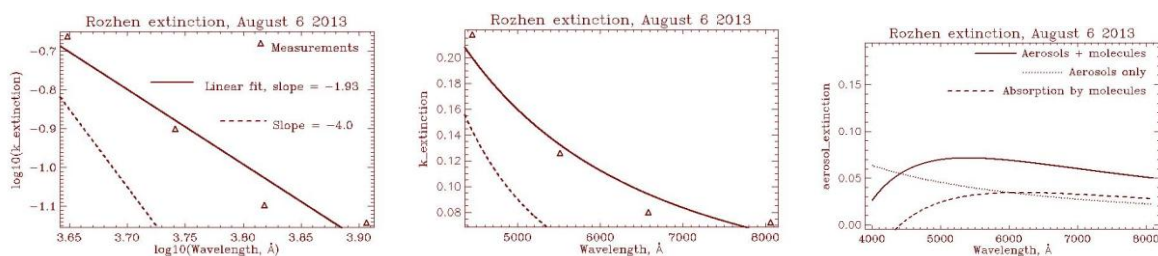
Подобни резултати бяха получени за следващите дни, 6-9 август 2013 г. Средните стойности на изчислените от фотометрията на 16-те звезди коефициенти на екстинкцията и техните грешки (1- σ средно квадратично отклонение) са дадени в следната таблица за целия период:

Дата, 2013 г.	Филтър В	Филтър V	Филтър R	Филтър I
5 август	0.258 +/- 0.005	0.121 +/- 0.003	0.071 +/- 0.003	0.034 +/- 0.005
6 август	0.218 +/- 0.005	0.126 +/- 0.007	0.080 +/- 0.006	0.072 +/- 0.008
7 август	0.196 +/- 0.003	0.154 +/- 0.002	0.110 +/- 0.004	0.075 +/- 0.004
8 август	0.197 +/- 0.007	0.082 +/- 0.006	0.051 +/- 0.007	0.031 +/- 0.006
9 август	0.285 +/- 0.002	0.154 +/- 0.001	0.098 +/- 0.001	0.030 +/- 0.004

Тези данни бяха използвани за анализ на атмосферната екстинкция, чрез определяне на нейната зависимост от дължината на вълната и разделяне на приносите на релеевското разсейване, аерозилите и поглъщането от молекулите. За целта бе извършена декомпозиция на пълната атмосферната екстинкция при използване на зависимостите за отделните компоненти, дадени в методическата част – формули (19) и (21), за разсейването на Рейли и за аерозолното поглъщане, като третата компонента е третирана като остатък, който бе сравнен с данните за различните молекули, измерени за този период от КФС „Рожен”. Резултатите от декомпозицията за 5 август са показани на фиг. 18. На лявата компонента е показано фитирането на пълната екстинкция със състепенна функция. Получената стойност за степения показател е -2.65, което е индикация за наличието на други механизми на разсейване и поглъщане, различни от разсейването на Релей, характеризиращо се със степенен показател -4. За сравнение е показана правата (в логаритмично представяне степенната функция се превръща в права), описваща релеевското разсейване. В средния панел на фиг. 18 виждаме линейното представяне на тази апроксимация, а в десния панел приноса на разсейването на Релей е изваден и остатъчната екстинкция е декомпозирана на останалите две компоненти – аерозоли и поглъщане от молекули.

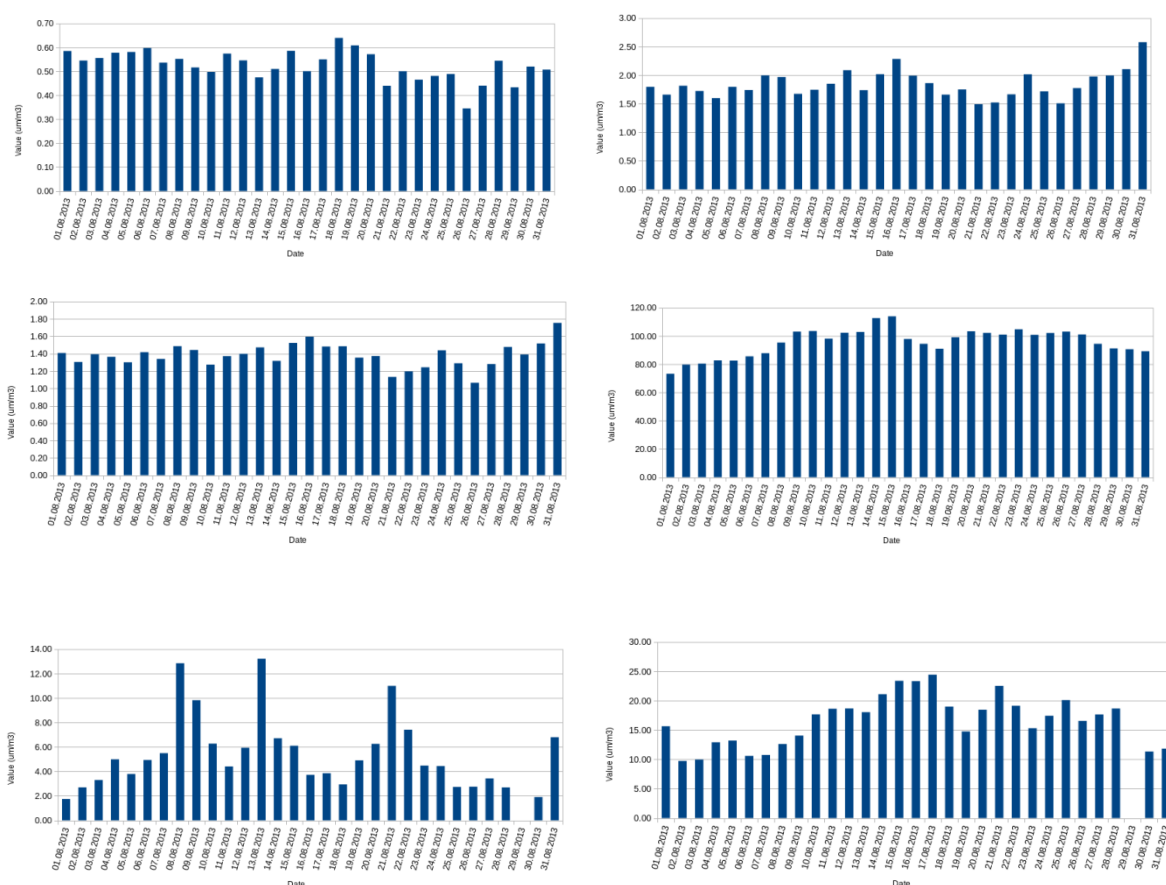


Фигура 18: Ляво: Апроксимация на измерените стойности на екстинкцията при различни дължини на вълните със степенен закон (права линия при log – log представянето). В средата: Резултатът от фитирането, представен в линеен вид. Дясно: Приноса на аерозилите и поглъщането от молекули, декомпозиция извършена след изваждане на приноса на разсейването на Релей. (повече подробности – в текста). Данните са за 5 август 2013 г.



Фигура 19: Същото, както във фигура 18, но за данните от 6 август 2013 г.

На фиг. 19 са представени резултатите от подобен анализ за 6 август 2013 г. Степенният показател за общата атмосферна екстинкция тук се е променил на -1.93. Това отдалечаване от закона за релеевско разсейване показва, че се увеличава ролята на аерозолната компонента и на поглъщането в молекули. Друга разлика, в сравнение с резултата от 5 август е, че тук абсорбцията от молекулите е относително по-малка малка в късовълновия край на електромагнитния спектър и нараства с увеличаване дължината на вълната, докато аерозолната екстинкция е почти непроменена. Това би могло да се дължи на нарастване на концентрацията на озона и на водни пари в атмосферата и запазване на концентрацията на праховите частици, които са основна съставка на аерозолната компонента. Дали има достатъчно основание за една такава хипотеза ще покаже сравнението с данните за концентрации на различните молекули и на прахови частици, представени на фиг. 20.



Фигура 20: Средни дневни стойност на молекули и прахови частици, измерени от КФС „Рожен”. От горе-надолу и отляво-надясно са представени данните за NO, NO₂, NO_x, O₃, SO₂ и за праховите частици с размер < 10 мкм. Графичните данни са взети от интернет страницата на проекта - http://www.astro.bas.bg/EKO_Project/.

Данните на фиг. 20 показват съвсем леко нарастване на концентрациите на озона, а приносът на прахови части на 6 август дори леко намалява, в сравнение с 5 август. Най-силно е нарастването на концентрацията на серния двуокис през следващите дни, с максимум на 8 август, нещо което ще бъде предмет на допълнителни изследвания. И накрая нека представим вектора на степенните показатели на сумарната екстинкция за разглежданите пет нощи: [-2.65, - 1.93, -1.64, -3.08, -3.68]. В края на периода се достигат стойности много близко до тези характерни за разсейването на Релей. Това е

индикация за доминиращата роля на разсейването на молекулите в атмосферата и по-малко значение на аерозолите и поглъщането от молекули. Най-вероятната причина за такова поведение е промяна в метеорологичните условия в близките няколкостотин метра над земната повърхност, т.е. до около 3000 метра надморска височина. Едно продължаване на тези изследвания би трябвало да съдържа и мониторинг на метеорологичните параметри във височина.

Данни за яркостта на светенето на нощното небе в периода 5-9 август 2013 г.

Паралелно с данните за екстинкцията, представени в предишния раздел, бяха получени и следните данни за яркостта на нощното небе. Данните са получени от фотометрията на 16-те стандартни звезди в кълбовидния куп М92, чрез измерване на фона на небето около тях. Те са представени в колонките „BACKGROUND, в следните таблици:

5 Август, 2013; М92В1, 300 sec

```

;-----+-----+-----+-----+-----+-----+
; ID  X    Y    BACKGROUND    MAGNITUDE
;-----+-----+-----+-----+-----+
;  1 1089.22 829.50  76.83 +-  7.09 -7.785 +- 0.005
;  2 1019.02 912.54  78.01 +-  6.93 -8.184 +- 0.005
;  3  535.87 1066.97  81.64 +- 13.34 -6.623 +- 0.006
;  4  516.18  983.70  81.23 +-  9.24 -7.154 +- 0.005
;  5  456.75  817.22  77.77 +-  6.95 -8.414 +- 0.005
;  6  525.61  789.57  77.35 +-  7.70 -5.807 +- 0.007
;  7  558.18  756.30  77.82 +-  6.40 -5.083 +- 0.009
;  8  598.17  765.83  78.26 +-  7.21 -6.771 +- 0.006
;  9  653.57  849.50  79.24 +-  7.12 -6.722 +- 0.006
; 10  709.25  734.96  76.48 +-  7.75 -5.149 +- 0.009
; 11  800.80  697.54  76.89 +-  6.71 -6.873 +- 0.006
; 12  922.79  565.50  75.24 +-  5.82 -7.737 +- 0.005
; 13  649.49  611.36  75.03 +-  6.74 -6.593 +- 0.006
; 14  555.69  578.86  75.02 +-  6.22 -7.835 +- 0.005
; 15  402.17  542.95  75.21 +-  7.69 -4.540 +- 0.012
; 16  439.86  610.21  74.79 +-  6.79 -4.750 +- 0.011
;-----+-----+-----+-----+-----+
;

```

М92V1, 250 sec

```

;-----+-----+-----+-----+-----+
; ID  X    Y    BACKGROUND    MAGNITUDE
;-----+-----+-----+-----+-----+
;  1 1085.14 834.73  238.32 +- 11.29 -8.621 +- 0.003
;  2 1015.03 917.67  243.49 +- 12.97 -9.451 +- 0.003
;  3  532.32 1072.05  250.63 +- 20.52 -7.975 +- 0.004
;  4  512.49  988.77  250.37 +- 20.09 -8.818 +- 0.003

```


M92I1, 250 sec

```

;-----+-----+-----+-----+-----+
; ID  X   Y   BACKGROUND   MAGNITUDE
;-----+-----+-----+-----+-----+
;  1 1080.26 843.35  526.69 +- 16.87 -7.766 +- 0.003
;  2 1010.10 926.29  532.32 +- 19.34 -9.208 +- 0.002
;  3  528.00 1081.00  534.74 +- 20.13 -7.799 +- 0.003
;  4  508.00  997.00  537.63 +- 21.77 -8.940 +- 0.002
;  5  448.93  830.87  528.65 +- 17.33 -9.782 +- 0.002
;  6  517.44  803.22  525.24 +- 16.79 -6.890 +- 0.004
;  7  549.62  770.19  523.63 +- 17.89 -6.001 +- 0.006
;  8  589.84  779.64  525.27 +- 19.30 -6.302 +- 0.005
;  9  645.01  863.16  526.82 +- 22.49 -7.608 +- 0.003
; 10  700.72  749.13  525.85 +- 16.07 -7.184 +- 0.003
; 11  792.14  711.45  522.82 +- 16.48 -6.413 +- 0.005
; 12  913.92  579.58  523.92 +- 16.38 -9.110 +- 0.002
; 13  640.95  625.38  520.70 +- 16.59 -7.382 +- 0.003
; 14  547.45  593.00  522.96 +- 16.33 -9.179 +- 0.002
; 15  394.28  557.15  519.94 +- 15.64 -5.224 +- 0.010
; 16  431.91  624.17  519.58 +- 18.48 -5.555 +- 0.009

```

```

;-----+-----+-----+-----+-----+
;

```

M92B2, 300 sec

```

;-----+-----+-----+-----+-----+
; ID  X   Y   BACKGROUND   MAGNITUDE
;-----+-----+-----+-----+-----+
;  1 1020.33 843.88  92.25 +-  8.90 -7.500 +- 0.010
;  2  950.83 927.24  94.79 +-  9.17 -7.934 +- 0.009
;  3  468.82 1084.36  98.82 +- 11.58 -6.339 +- 0.015
;  4  448.98 1001.07  99.17 +- 13.57 -6.881 +- 0.012
;  5  388.82  835.15  96.60 +- 12.87 -8.159 +- 0.009
;  6  456.83  806.99  95.07 +- 11.23 -5.498 +- 0.023
;  7  489.34  774.00  94.84 +-  9.36 -4.817 +- 0.033
;  8  529.06  783.24  92.45 +-  9.09 -6.483 +- 0.013
;  9  585.14  866.43  95.56 +- 10.66 -6.453 +- 0.014

```



```

; 10 640.32 751.60 94.34 +- 9.14 -4.875 +- 0.032
; 11 731.31 713.48 93.71 +- 9.37 -6.560 +- 0.013
; 12 852.50 580.90 90.49 +- 7.79 -7.458 +- 0.010
; 13 579.56 628.20 91.79 +- 9.18 -6.313 +- 0.014
; 14 485.81 596.18 90.72 +- 8.53 -7.561 +- 0.009
; 15 331.75 561.62 91.90 +- 9.19 -4.171 +- 0.053
; 16 370.65 627.86 91.58 +- 7.95 -4.416 +- 0.040

```

```

;-----+-----+-----+-----+-----+-----

```

```

;

```

M92V2, 250 sec

```

;-----+-----+-----+-----+-----+-----

```

```

; ID X Y BACKGROUND MAGNITUDE

```

```

;-----+-----+-----+-----+-----+-----

```

```

; 1 1014.06 857.17 285.27 +- 14.90 -8.476 +- 0.004
; 2 944.52 940.49 289.73 +- 18.00 -9.336 +- 0.004
; 3 463.29 1097.32 311.90 +- 32.52 -7.846 +- 0.006
; 4 443.01 1014.10 309.40 +- 23.22 -8.692 +- 0.004
; 5 383.15 848.18 290.12 +- 19.51 -9.773 +- 0.003
; 6 451.26 820.15 287.86 +- 17.10 -6.987 +- 0.007
; 7 483.73 786.69 283.76 +- 17.22 -6.231 +- 0.012
; 8 523.47 796.00 286.50 +- 14.79 -7.315 +- 0.006
; 9 579.42 879.24 294.65 +- 17.81 -7.857 +- 0.005
; 10 634.07 764.55 286.00 +- 15.57 -6.833 +- 0.008
; 11 725.21 726.84 283.72 +- 13.49 -7.388 +- 0.006
; 12 846.18 594.24 278.32 +- 13.75 -9.065 +- 0.004
; 13 573.70 641.49 283.67 +- 14.83 -7.695 +- 0.005
; 14 479.92 609.49 280.89 +- 13.79 -9.157 +- 0.004
; 15 326.45 574.44 279.06 +- 14.21 -5.552 +- 0.017
; 16 364.68 641.41 285.13 +- 15.61 -5.799 +- 0.015

```

```

;-----+-----+-----+-----+-----+-----

```

```

;

```

M92R2, 250 sec

```

;-----+-----+-----+-----+-----+-----

```

```

; ID X Y BACKGROUND MAGNITUDE

```

```

;-----+-----+-----+-----+-----+-----

```


; 14 472.06 626.24 748.61 +- 20.05 -9.148 +- 0.005
 ; 15 318.75 591.21 747.35 +- 20.79 -5.253 +- 0.024
 ; 16 356.81 658.24 749.51 +- 21.57 -5.447 +- 0.021
 ;-----+-----+-----+-----+-----

Подобни са данните и за следващите нощи през м. август 2013 г., 6 -9 август. Характерната особеност тук е нарастването на светенето на нощното небе с увеличаване на дължината на вълната. До известна степен това е функция на квантовата ефективност на използвания приемник, но има достатъчно основания да разглеждаме част от това нарастване като следствие на естествени причини. Така например по-силното светене на нощното небе във филтър R, сравнено с по-късоволновите филтри може да се дължи на силната емисия на забранената емисия на кислород [OI]6300.3, 6363.8, при така наречения небулярен преход от състояние $O(^1D)$ в $O(^3P)$. А източник на кислород в това състояние могат да бъдат много процеси. Така например един от каналите, по които дисоциира водата е $H_2O + \nu \rightarrow H_2 + O(^1D)$, като скоростта на този процес варира между $6e-7 \text{ сек}^{-1}$ и $1.5e-7 \text{ сек}^{-1}$, в зависимост от активността на Слънцето. Друг източник на кислород, който повишава населеността на ниво (1D) е дисоциацията на озона: $O_3 + \nu \rightarrow O(^1D) + O_2(a^1\Delta_g)$, много бърз процес, чиято скорост е средно $9.7e-3 \text{ сек}^{-1}$. Това означава, че една от причините за сравнително високите стойности на светенето на нощното небе в червения спектрален диапазон би могла да бъде повишена концентрация на озон и на водни пари в началото на м. август 2013 г.

ПРИЗЕМНИТЕ ФОНОВИ КОНЦЕНТРАЦИИ НА АЗОТНИ ОКСИ И СЛЪНЧЕВИТЕ ИЗРИГВАНИЯ

(в тази глава номерата на формулите и фигурите е самостоятелна)

Увод

Азотните окиси NO_x (NO , NO_2) и производните им съединения спадат към т.нар. “малки компоненти” в земната атмосфера. Заради токсичното си действие техните концентрации са сред основните параметри, които са обект на екологичен мониторинг на въздуха. От друга страна азотните окиси играят важна роля в хиическия баланс на стратосферата и средната атмосфера. Те са важни за процесите, свързани с запълването и възстановяването на озоновия слой. Увеличеното присъствие на азотни окиси и техните производни води до редукция на съдържанието на озон в стратосферата и мезосферата.

В ниската част на атмосферата е голяма ролята на антропогенните източници на азотните окиси – автомобилният и въздушният транспорт, металургичната и химическата индустрия, взривовите и др. Сериозен източник на азотни окиси през 50-те и началото на 60-те години са били и ядрените взривове в атмосферата.

Естествените източници на азотни окиси в ниската атмосфера са различни процеси на изветряне и изпарение, а така също и гръмотевичната активност.

Важен източник за образуването на азотни окиси в стратосферата и мезосферата са фактори пряко или косвено свързани със слънчевата активност. Към тях спадат слънчевата ултравиолетова и рентгенова радиация., а също така и вариациите на потока на частиците, идващи от далечния космос – т.нар. галактични космически лъчи (ГКЛ). Тези вариации представляват “огледален образ” а нивото на слънчевата активност, т.е. на висока слънчева активност съответства слаб поток на ГКЛ и обратно. Явлението се нарича “Форбуш –ефект”. Под действие на слънчевата ултравиолетова и рентгенова радиация и ГКЛ в стратосферата и мезосферата първичните молекули N_2 , O_2 , H_2O , CO_2 и др. се разпадат на свободни атоми, радикали и йони. В резултат на различни други реакции (неутрал-неутрални, йонно обменни и рекомбинации) в стратосферата и мезосферата възникват голям брой вторични (малки) газове компоненти, сред които и азотни окиси и техни производни.

Особено съществена и интересна е ролята на слънчевите изригвания. Много често мощните слънчеви изригвания (рентгенов клас M5 или по-висок) са съпроводени с отделяне не само на голямо количество рентгенова и ултравиолетова радиация, но също така и на слънчеви протони с висока енергия ($E \Rightarrow 10 \text{ MeV}$). Това са т.нар- “слънчеви енергетични частици” (СЕЧ). Тези явления се наричат “протонни ерупции”. При вай.мощните слънчеви протонни ерупции сумарната енергия на навлазщите в земната атмосфера частици е съпоставима със съответната енергия на ГКЛ, но в рамките цял един 11-годишен слънчев цикъл (Smart and Shea XXXX)[1].

Периодът 2003-2005 година се отличава с десетина на брой особено силни слънчеви изригвания, чийто мощностен бал беше X9 или по-голям. За такива събития се използва много често терминът “mega- flares”, т.е. “свръхизригвания”. Протонните ерупции по време на мегаизригванията са особено мощни. При тях се оказва много съществено нарастването на потока на частици с особено висока енергия ($E > 300 \text{ MeV}$),

които са в състояние да достигат до земната повърхност. В резултата на това възниква естествено покачване на приземния радиационен фон (GLE- Ground Level Enhancement). От 28 февруари 1942 г., когато е регистрирано първото подобно събитие, до края на месец май 2013 г. общия брой GLE- явления е 68. Закономерен е въпросът как подобни мощни слънчеви събития влияят върху физическите и химически процеси в ниската атмосфера на Земята?

За големите нараствания на концентрациите на азотни окиси, особено над полярните райони в стратосферата и мезосферата на Земята в продължение на няколко седмици след силни слънчеви изригвания, съпроводени с протонни ерупции в периода 2003-2005 година съобщават много автори (Rinsland et al. 2005, Seppala et al. 2007, Jackman et al. 2011) [2, 3, 4]. Увеличението след СЕЧ- ерупциите специално за NO₂ достига до няколко десетки пъти спрямо спедностатистическите съдържания на тази компонента в земната атмосфера (Jackman et al. 2011 [2]). В своята работа авторите са изследвали ефекта от двете силни слънчеви изригвания от 16 и 20 януари 2005г въз основа както на преки наблюдателни данни, така също и на числени модели. Увеличението на концентрациите на азотните окиси е съпроводено с разрушаване на озона в полярната стратосфера и мезосфера.

В цитираната работа (Jackman et al. 2011) [2] е показано също, че процесът на интензивно взаимодействие на СЕЧ-потока с атмосферата е обхванал областта над 20-25 км височина над земната повърхност, а максимумът на образуване на азотни окиси и по- специално на NO₂ е на около 70 км. Освен това е показано, че главна роля играят слънчевите протони в енергетичния интервал между 10 и 300 MeV. Ролята на протоните с енергия >300 MeV, т.е. тези които причиняват GLE- събитията е незначителна за образуването на азотни окиси.

Ефектът върху химическите процеси в стратосферата и средната атмосфера по време от силните слънчеви изригвания в края на м.октомври – началото на ноември 2003 г (т.нар. “Хелоуински бури”) също е изследван подробно, включително и по отношение на азотните окиси. Получени са резултати, аналогични с тези на Jackman et al. (2011) [2].

“Залповото” образуване на азотни окиси в средната атмосфера на Земята под въздействието на СЕЧ-радиацията по време на слънчеви протонни ерупции е в основата на един от индиректните методи за изследване на вариациите на слънчевата активност в миналото и по-специално на слънчевите изригвания. Идеята на метода се състои в това, че образуването под действието на слънчевите протони азотни окиси, както и техните преки продукти в резултат на гравитачно-дифузионни процеси достигат до повърхността на Земята. След това те се включват в различни естествени среди там. Специално що се отнася до районите със студен климат каквито са високите планини и полярните райони, включването може да стане в намиращите се там ледници. Слоистата структура на ледниците позволява календарна калибровка. Допълнително в някои случаи калибровката се тества и по следите от натрупване в леда на вещества, свързани с известни вулканични изригвания. По този начин натрупването на нитратни съединения в слоеве на различни дълбочини дава възможност да се разграничат пикове в техните концентрации, които се свързат с определени мощни слънчеви изригвания и съответни протонни ерупции.

Първите успешни изследвания в тази насока датират от края на 80-те и началото на 90-те години. До момента има анализи и резултати от няколко сондажни ледени проби в Антарктида и Гренландия (Palmer et al. 2001, Ogurtsov et al. 2004, Shea and Smarth 2004) [5,6,7]. Най- дългата изследвана редица обхваща период от около 400

години (1561-1950 г.) (Shea and Smarth 2004) [6]. За успешни изследвания на нитратни концентрации и връзката им със силни слънчеви изригвания и дългосрочните вариации на слънчевата активност по данни от сондаж във високопланински ледник в Западен Китай съобщават Wang, Thompson, and Cole-Dai (2000) [8]. Типичното време на закъснение (т.нар. “резидентно време”) между залповото образуване на азотни окиси и др. азотни съединения в стратосферата и мезокферата и тяхното натрупване в континенталните ледници според усреднените оценки от различните изследователи е между един и няколко месеца. Максимумът на процеса се достига около три месеца след слънчевото изригване (Wang, Thompson, and Cole-Dai 2000, Palmer et al. 2001, Shea and Smarth 2004, Ogurtsov et al. 2004) [5-8].

В това изследване ние фокусираме нашето внимание върху един интересен аспект на връзката между слънчевите изригвания и образуването на азотни съединения в земната атмосфера. Той се отнася до отговор на следните въпроси:

1. Има ли статистически забележимо влияние на залповото образуване на азотни съединения в средната атмосфера свързано със слънчеви протонни ерупции и измерваните на земната повърхност данни за азотни окиси от станции за “фонови наблюдения”? Става въпрос за станции за екологичен мониторинг на въздуха, разпорожени в райони, които са достатъчно отдалечени от източници на антропогенно замърсяване.

2. В случай, че такава връзка съществува, какво е закъснението, т.е. “резидентното време”, за което тя се осъществява?

3. Как действат процесите на пренос на азотни окиси между средната атмосфера и земната повърхност? Каква част от достигащите до земната повърхност в пункта за наблюдение азотни окиси се формират в средната атмосфера и каква част са резултат от тяхното формиране над други райони от Земята? Имат се в предвид полярните области, където интензивността на тяхното образумане по време на слънчеви изригвания е най-голяма.

4. Дали статистическите връзки (ако такива бъдат намерени) са достатъчно силни за да могат да се използват за целите на прогнозата? С други думи – дали е възможно по информация за дадено протонно изригване да се направи прогноза за очаквано покачване на фоновите концентрации, обект на измерване в изследвана приземна станция?

Отговорът на така поставените въпроси и особено на No 4 би бил много полезен в много случаи, свързани с интерпретация на данните за азотни окиси. Става въпрос за много от тези случаи, когато не може да се установи източник на конкретно антропогенно замърсяване. В този случай причината би могла да бъде от естествен (неантропогенен) характер. В това число влиза и възможността наблюдаваното покачване на измерените концентрации да бъде свързано със слънчево протонно събитие, станало например от един до няколко месеца преди това. За подобни случаи би могъл да се разработи алгоритъм за ранно предупреждение.

Данни и методи за анализ на концентрацията на азотните окиси

Данните

За решаването на дефинираните в края на предишния параграф величини бяха избрани за ползване среднодневните стойности на концентрациите на азотни окиси (NO , NO_2 и NO_x) от автоматичната станция за измерване на фоновите съдържание на атмосферните замърсители, разположена в района на Националната астрономическа обсерватория “Рожен”.

Станцията се намира на връх Рожен в Средните Родопи, на надморска височина приблизително 1760 метра. В близките 60-70 км около нея няма никакви значителни източници на индустриално замърсяване. По-близко разположените населени места са сравнително малки и са поне на 400-500 метра по-малка височина. Основните стопански дейности в тях са свързани с туризма, търговията и дърводобива, т.е. не са значителни източници на атмосферно замърсяване.

Станцията за наблюдение на фоновите концентрации на атмосферните замърсители е в действие от лятото на 2004 г. През първите 3 месеца обаче тя е била очевидно в процес на настройване. Има твърде много прекъсвания и голяма част от регистрираните стойности са недостоверни. Приблизително около средата на октомври качеството на регистрацията съществено се подобрява и всички данни след 15 октомври 2004 г. могат да се считат за достоверни. В тях обаче има големи прекъсвания, чиято продължителност понякога достига до 18-20, а в един случай дори над 150 дни. Това се отнася за периода между 15 октомври 2004 г. и 1 септември 2009 г. Общата дължина на всички “прозорци” с липсващи данни възлиза на 302 дни - Това съответства на 16% от целия посочен времеви интервал. Тази част от данните може да се използва за качествен и полуколичествен анализ. Пълноценният количествен анализ на тази част от данните обаче е значително затруднен. Това особено силно важи за анализ на временните редове както и за изследване на отместени във времето връзки (крос-корелационен анализ).

От началото на месец септември 2009 г. и до края на 2012 г. “прозорците” с липсващи данни са много по-малко на брой и много по-кратки. Обикновено те са само в изолирани единични дни и има само 3 случая когато няма данни в продължение съответно по веднъж от 3, 4 и 5 дни. Общият брой на дните без данни за периода 1 септември 2009 г. - 31 декември 2012 г. е 31, което представлява само 2.55% от всичките 1216 дни за посочения интервал. Много по-малкият относителен дял на липсващите данни прави възможно и целесъобразно ползването на интерполационна процедура. Чрез нея редиците от среднодневни стойности на концентрациите на азотните окиси ($[\text{NO}]$, $[\text{NO}_2]$ и $[\text{NO}_x]$) се превърщат във временни редове с постоянна стъпка (1 денонощие), които вече могат да бъдат обект на пълноценен статистически анализ – от изследване на временните редове за трендове и цикли, до търсене на връзки със слънчеви, геофизични и метеорологични фактори, включително и крос-корелация.

Месец септември 2009 година приблизително съвпада с началото на активната фаза, т.е. първоначалното нарастване на настоящия 11-годишен петнообразователен цикъл на Швабе-Волф под номер 24 в Цюрихския ред (SC 24). От друга страна околномаксимумната фаза на същия, определена по 13-месечни изгладени стойности на международното число на Волф е през януари 2012 г. По този начин пълноценният количествен анализ на тази по-пълна част от данните може да даде информация за връзката между азотните окиси и слънчевата активност за целия възходящ клон на SC 24.

Данните за потока на слънчевите протони с висока енергия ($E > 10 \text{ MeV}$; СЕЧ), измервани от спътниците GOES, за периода след 1994 г. могат да бъдат намерени в

архива на Центъра за прогнози на космическото време в Боулдър (Колорадо, САЩ) (<http://www.swpc.noaa.gov/Data/index.html#indices>). Те са по данни на геостационарните спътници GOES-11 и GOES-13. Стойностите на сумарните дневни потоци са дадени за два енергийни диапазона ($E \geq 10$ MeV и $E \geq 100$ MeV). Тъй като потоците на СЕЧ се качват с до няколко порядъка по време на слънчевите протонни ерупции, ние използваме на всички етапи в това изследване не самите тях, а техните десетични логаритми.

T-R периодограмен анализ

В настоящата работа за разкриването на цикли се използва процедура, която за пръв път тя е описана накратко и приложена от автора в средата на 80-те години (Комитов 1986) [9]. За нея е възприето названието "T-R периодограмен анализ" (Komitov 1997) [10]. Тя включва следните работни етапи:

1. Изследваният временен ред се апроксимира по метода на най-малките квадрати (МНК) със серия от прости периодични функции от вида

$$f(t) = A_0 + A \cos(2\pi t/T) + B \sin(2\pi t/T) \quad (1)$$

където: A_0 е средната стойност на членовете на временния ред. Коефициентите A и B за всяка една от минимизиращите функции (при фиксиран период T) се получават от решаването на системата алгебрични уравнения:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N (y_i - A_0) \cos \frac{2\pi(i-1)}{T} &= A \sum_{i=1}^N \cos^2 \frac{2\pi(i-1)}{T} + B \sum_{i=1}^N \sin \frac{2\pi(i-1)}{T} \cos \frac{2\pi(i-1)}{T} \\ \sum_{i=1}^N (y_i - A_0) \sin \frac{2\pi(i-1)}{T} &= A \sum_{i=1}^N \cos \frac{2\pi(i-1)}{T} \sin \frac{2\pi(i-1)}{T} + B \sum_{i=1}^N \sin^2 \frac{2\pi(i-1)}{T} \end{aligned}$$

(2)

В случая е положено, че $y_i = f(t)$; $t = i - 1 = 0, 1, 2, 3, \dots$

Периодът T варира от избрана начална до някаква максимална стойност със стъпка ΔT . Пределната минимална стойност на T е $T_0 = 2$. Тъй като се разглежда временен ред с равноотстоящи по време стойности, то е твърде удобно да се използва за единица време интервалът между две съседни стойности /напр. Денонощие, ако данните представляват средноденонощни стойности на изследваната величина/. От своя страна ΔT може да приема както целочислени, така и дробни стойности, изразени във възприетата единица за време (стъпка на временния ред).

За всяка една от намерените прости периодични функции се изчислява коефициентът на линейна корелация R между нея и временния ред, и грешката на същия

$$R / SR = \frac{1 - R^2}{\sqrt{N}} \quad (3)$$

Амплитудата (мощността) на цикъла може да се изчисли по формулата :

(4)

2. Проверява се за статистическата достоверност на където N е дължината на

$$a = \sqrt{A^2 + B^2}$$

временния ред. Получената последователност от стойности на $R(T)$ (Т- R корелограма) има локални максимуми, около тези стойности на периода T , които съответствуват на потенциалните цикли, присъстващи в изследвания временен ред. намерените цикли. За целта се използват два критерия. Според първия от тях /сигма-тест/ коефициентът на корелация трябва да отговаря на условието $R/SR > 1.96$. Твърде често обаче в редиците от псевдослучайни числа, възникват слаби цикли, удовлетворяващи този критерий, които при това много добре личат след прилагането на процедура на пълзящо усредняване. Вторият, по - твърд критерий е установен емпирично, на базата на анализа на повече от 20 000 редици от псевдослучайни числа. В съответствие с него, ако коефициентът на корелация отговаря на условието

$$R/SR \geq 4,54/N^2 + 3.46$$

(5)

то установената околномаксимумна стойност на R е нетипична за редиците от случайни числа. В този случай цикълът не е възникнал случайно, а е реален и причинно обусловен. Ако локалният максимум на R попада между праговете граници на двата критерия, то въпросът за това дали намереният слаб цикъл е реален или не, следва да се решава по преценка на изследователя на базата на допълнителна информация.

Получените с помощта на Т- R периодограмния анализ резултати могат да се използват за построяване на модели на временни редове. Същите могат да бъдат екстраполирани извън времеви интервал, в който са получени с цел прогноза.

Крос-корелационен анализ

Изследването на отместени във времето връзки от типа “фактор (предиктор)-предиктант” в нашия случай е наложително. Причината за това е голямото закъснение (“резидентно време” от един до няколко месеца) на достигащите до повърхността “залпови” нараствания на азотните окиси и техните съединения спрямо предизвикващите ги слънчеви протонни ерупции и съответно сумарните дневни потоци на СЕЧ.

В нашия анализ е изследвано изменението на коефициента на линейна корелация R_c между сумарните дневни потоци на СЕЧ и приземните концентрации на азотни окиси ($[NO]$, $[NO_2]$ и $[NO_x]$) в района на станцията за фонов измервания “Рожен” за отместена връзка в интервала между 0 и 500 дни. Всяка една от получените стойности на R_c е получена при стъпка на отместване от 1 ден. По този начин за връзката между СЕЧ и всяка една от концентрациите на трите изследвани азотно-окисни компоненти е получен набор от по 501 стойности на R_c . Коефициентна достоверност на R_c се проверява с помощта на “сигма-теста”, т.е. отношението между R_c и неговата грешка SR_c , изчислена по формулата (3).

Методите, описани в &2.2 и 2.3 са използвани за анализ на късната част от редиците данни, т.е. между 1 септември 2009 г. и 31 декември 2012 г.

Резултати и анализ

Слънчевите енергетични частици (СЕЧ) и приземните фонове концентрации на азотни окиси за периода 2004-2012 г.

На фиг.1 , 2 и 3 (горните панели на фигурите) са показани среднодневните стойности на концентрациите (тегловните съдържания в единици $\mu\text{g}/\text{m}^3$) на NO , NO_2 и NO_x (респективно $[\text{NO}]$, $[\text{NO}_2]$ и $[\text{NO}_x]$). Средните панели на графиките представят в логаритмичен мащаб сумарните денонощни потоци на слънчевите протони с енергия ≥ 100 MeV на геостационарна орбита, а долните панели – на тези с енергия ≥ 10 MeV. В долния панел с линия и обозначение “S1” е посочено праговото ниво, над което се счита, че СЕЧ-потокът вече е достигнал параметрите на радиационна буря. Подобни високи нива на слънчева протонна радиация се считат за потенциално опасни за техниката, навиваща се в околоземна орбита, както и за тази в самолетите, летящи във високата тропосфера и ниската стратосфера. С червени кръгчета са показани и моментите на GLE-явленията (покачванията на естествения радиационен фон).

От фиг.1-3 се вижда, че СЕЧ-потоците и в двата избрани енергетични диапазона (над 10 и над 100 MeV) може да се раздели на две части:

1. Спокойна компонента- характеризира се с ниски стойности и с много бавно и плавно покачване от началото (октомври 2004 г.) приблизително до м. септември 2008 г. След това тенденцията се обръща към плавно и постепенно намаляване до края на изследвания период (декември 2012 г.). Видът на графиката на тази компонента наподобява фон, който обаче се мени в антикорелация с нивото на слънчевата активност през този период: Около края на 2008 г. приключва предишният 11-годишен слънчев цикъл под номер 23 (SC 23), а както казахме, началото на активната фаза на SC 24 започна в края на лятото на 2009 г. Това дава основание да считаме, че тази “спокойна” компонента не е просто приборен шум, а съдържа и значителен принос от ГКЛ (галактичните космически лъчи). Обратната връзка със слънчевата активност е просто проява на характерния за ГКЛ “Форбуш ефект”.

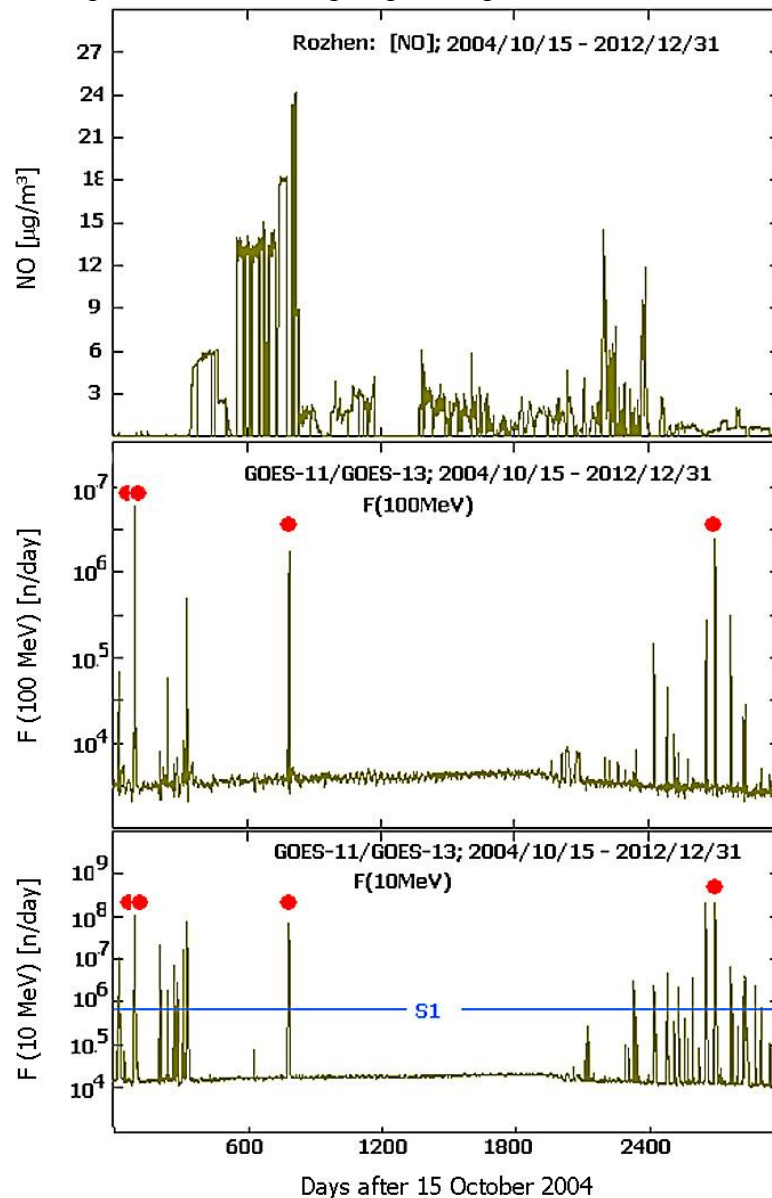
2. Кратки по-силни или по-слаби пикове, при които стойността на потоците на СЕЧ се променя до няколко порядъка. Тези скокове в потока са свързани със слънчевите протонни ерупции. Всъщност това са явленията, които причиняват залповите покачвания на азотните окиси в стратосферата и мезосферата. Виждат се два периода на протонни изригвания – единият между 2004 и 2006 г, който е много мощен и много добре изразен, и вторият, който съответства на началото на активната фаза на новият 24-ти цикъл – т.е. от септември 2009 г.

Най-мощните слънчеви протонни събития през ранния период са свързани с изригванията от 16 и 20 януари 2005 г., 14 май 2005 г. и 11 септември 2005 г.. Специално трябва да се отбележат и двете много мощни изригвания на 7 и 13 декември 2006 г. През периода 15 октомври 2004 г. - 31 декември 2006 г. има общо 3 на брой GLE –събития. Те са съответно на 16 и 20 януари 2005 г. и на 13 декември 2006 г.

Вторият период на протонни изригвания, свързан с възходящата фаза на 24-ти слънчев цикъл се характеризира с повече на брой, но по- слаби протонни изригвания. Двете най-мощни измежду тях съвпадат по време с петнообразувателния максимум на слънчевия цикъл. Те са съответно на 23 януари и 7 март 2012 г. По време на второто събитие е наблюдавано и покачване на естествения радиационен фон (GLE).

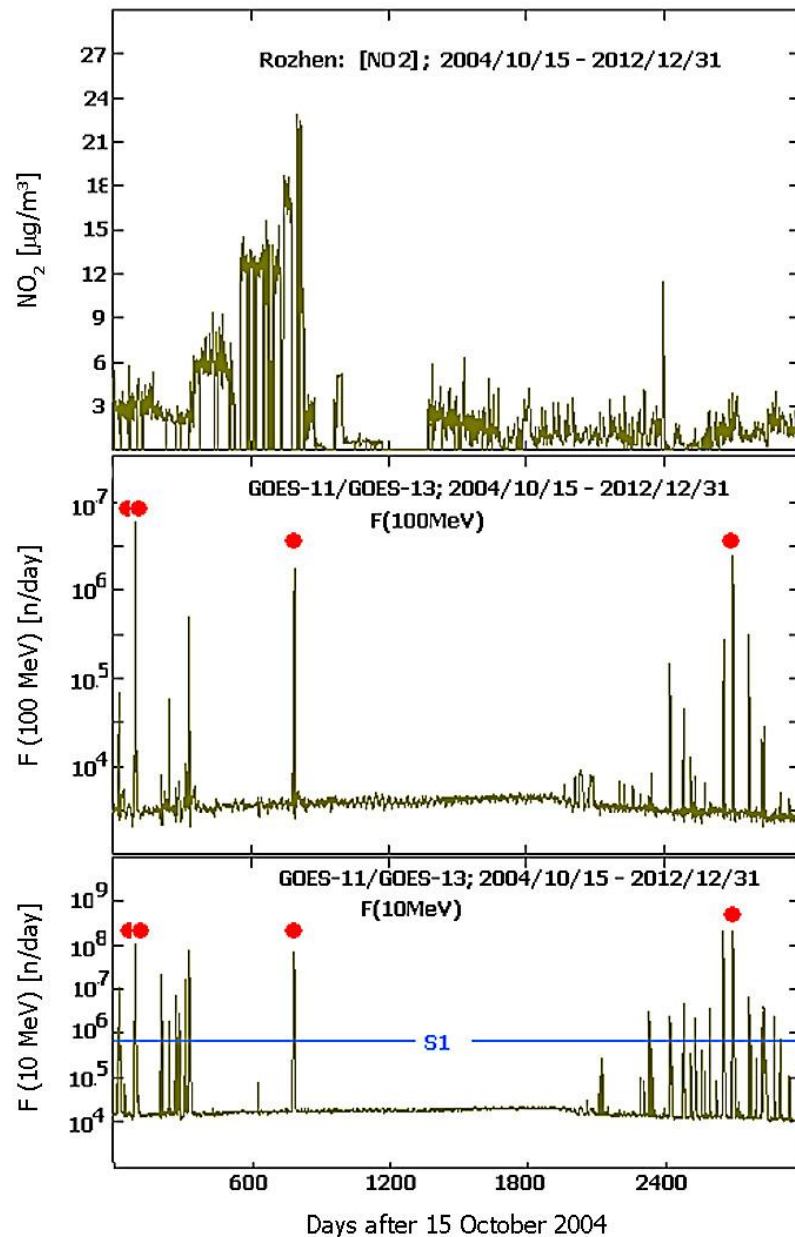
Нека сега да разгледаме вариациите на концентрациите на азотните окиси, както и това как те се съотнасят по време към данните за СЕЧ-потоците. В най-горните панели и на трите фигури (1-3) се вижда период на много високи концентрации на измерваните газови компоненти. Той започва приблизително в началото на октомври 2005 г. (~350-ти ден от началото на изследвания период, т.е. 15 октомври 2004 г.).

Абсолютният максимум на концентрациите е в средата на месец януари 2007 г. (820-ти ден). След това стойностите им много бързо падат в началото на 2007 г. Има обаче едно по-слабо изразено, но все пак отчетливо покачване през юли същата година. Това нарастване е най-добре изразено при $[\text{NO}_2]$, значително по-слабо, но също видимо е при $[\text{NO}_x]$, а отсъства при $[\text{NO}]$. След лятото на 2007 г. концентрациите на азотните окиси падат в предела на $1\text{-}2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Тези стойности впоследствие леко се повишават, но остават много ниски в сравнение с периода октомври 2005 г. - януари 2007 г. Тук разбира се, трябва да се вземе предвид и отсъствието на данни в продължение на около половин година в края на 2007 г. и първите месеци на 2008 г. Това налага да приемем извода за ниски концентрации с известни резерви в предела над 150 дни.



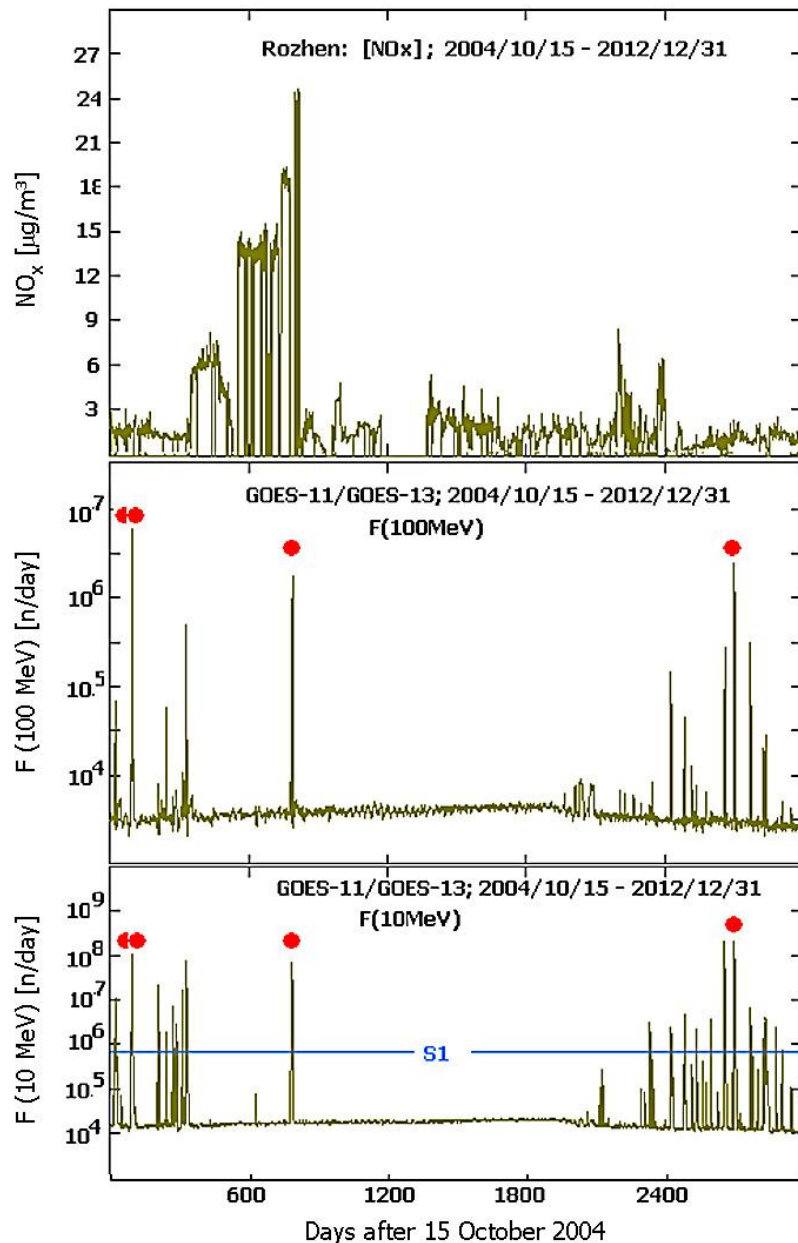
Фиг.1. Среднодневни стойности на концентрациите на азотния окис $[\text{NO}]$ и сумарните дневни потоци на слънчевите протони с висока енергия на геостационарна орбита за $E \geq 100\text{MeV}$ (средния панел) и съответно $E \geq 10\text{MeV}$ (долния панел).

Ситуацията се променя рязко около ден 2200, т.е. в края на октомври 2010 г. Тогава възниква кратко внезапно покачване на $[\text{NO}]$ и $[\text{NO}_x]$ с продължителност от около 20 дни, последвано от друго подобно събитие, приблизително 7 месеца по-късно. При данните за $[\text{NO}_2]$ добре изразен е само вторият пик, а първият не се вижда.



Фиг.2. Среднодневни стойности на концентрациите на азотния диоксид $[\text{NO}_2]$ и сумарните дневни потоци на слънчевите протони с висока енергия на геостационарна орбита за $E \geq 100 \text{ MeV}$ (средния панел) и съответно $E \geq 10 \text{ MeV}$ (долния панел).

Не се забелязват никакви следи от наличие на годишен (сезонен) цикъл в изменението на $[\text{NO}]$, $[\text{NO}_2]$ и $[\text{NO}_x]$ за ранната част от извадката до септември 2009 г. Това показва визуалният оглед на графиките на тези величини. Както вече бе отбелязано, поради многото “прозорци” с липсващи данни не е възможен пълноценен количествен анализ на тази част от извадката.



Фиг.3. Среднодневни стойности на концентрациите на азотния окиси $[NO_x]$ и сумарните дневни потоци на слънчевите протони с висока енергия на геостационарна орбита за $E \geq 100 \text{ MeV}$ (средния панел) и $E \geq 10 \text{ MeV}$ (долния панел).

От сравняването на двата вида данни (слънчевите протони и концентрациите на азотните окиси) се вижда, че: 1. Има съответствие между двата вида величини - високите измерени стойности на NO , NO_2 и NO_x попадат в период на силни протонни изригвания; 2. Основната връзка е силно отместена по време – концентрациите на азотните окиси закъсняват по време спрямо пиковите на СЕЧ-потоците с по 7-10 месеца; 3. Има и втора по-изразена тенденция на закъснение на концентрациите на азотните окиси спрямо СЕЧ-ерупциите от около един месец; 4. Периодът на ниски стойности на концентрациите на азотни окиси между 2007 г. и 2009 г. съвпада с дълбокия минимум на слънчевата активност между слънчевите цикли с номера 23 и 24 (SC 23 и SC 24).

Слънчевите протонни изригвания и концентрациите на азотни окиси

през възходящата фаза на SC 24 (2009-2012 г.)

Както вече бе посочено, късната част от данните за азотните окиси, започваща от 1 септември 2009 г. се характеризира с много малък процент дни без наблюдения. Същите са попълнени с интерполирани стойности. По този начин попълнената редица позволява пълноценен количествен анализ с помощта на различни статистически методи.

Първият въпрос, който трябваше да се изясни беше: Има ли някакви статистически изявени цикли в тези редици (по една за $[\text{NO}]$, $[\text{NO}_2]$ и $[\text{NO}_x]$)? Особено полезно беше да се провери дали има статистически достоверни годишни, т.е. сезонни цикли в тези редици. Ако този въпрос по отношение на ранните части от редиците (преди септември 2009 г.) беше решен на базата на визуален оглед на графиките, то за късните части е възможно да се приложи количествен метод – T-R периодограмният анализ.

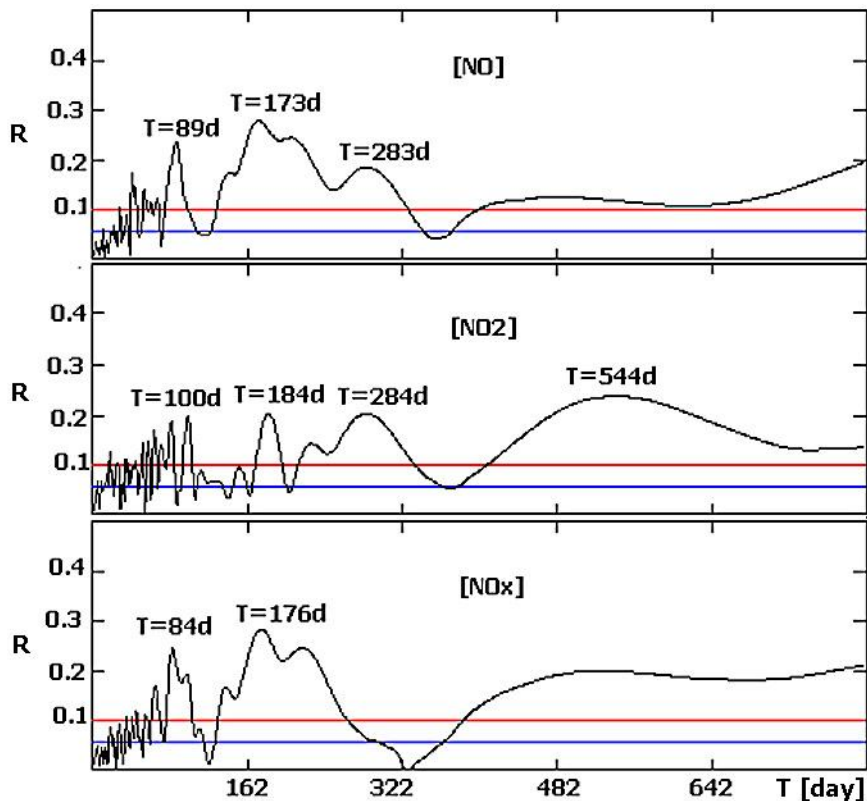
Процедурата беше изпълнена и за трите редици данни за концентрациите на азотните окиси при следните параметри: начален период на сканиране $T_0=2$ дни, стъпка на сканиране (т.е. стъпка на нарастване на периода) $\Delta T=1$ ден. Броят на стъпките на сканиране е 800. По този начин T-R корелограмите включват информация за 800 периодични функции, получени по МНМК с периоди между 2 и 800 дни.

Резултатите са показани на фиг.4 В най-горния панел е корелограмата на редицата на данните за $[\text{NO}]$, в средния панел е показана корелограмата за $[\text{NO}_2]$, а в най-долния панел е тази за $[\text{NO}_x]$.

На нито една от тези T-R корелограми не се вижда квази-годишен цикъл, т.е. статистически достоверен цикъл с период $T \sim 360-370$ дни. Това потвърждава, че изводът за липса на годишен цикъл за извадките до 2009 година е валиден и за периода 2009-2012 г. На фиг. 4 обаче се вижда, че и в трите редици (за $[\text{NO}]$, $[\text{NO}_2]$ и $[\text{NO}_x]$) присъства достоверен полугодишен цикъл (около 180 дни), а в редиците на $[\text{NO}]$ и $[\text{NO}_2]$ се наблюдават и достоверни вариации с продължителност около 9-10 месеца, т.е. 270-290 дни. От корелограмата в средния панел се вижда, че специално в редицата на $[\text{NO}_2]$ има и силно изявен цикъл от около 540 дни, т.е. резонансно кратен на 9-месечния.

Би могло да се предположи, че всъщност наблюдаваният квази-6 месечен цикъл в концентрациите на азотните окиси е , може би, вид проява на годишен цикъл. Това би могло да се случи ако поради някакви причини има два периода в годината , които да благоприятстват екстремално високите или ниски стойности на $[\text{NO}]$, $[\text{NO}_2]$ и $[\text{NO}_x]$ -например пролет и есен или лято и зима. Другото възможно обяснение би било, че има някакъв друг природен фактор, за който през изследвания период е действал 6-месечен цикъл.

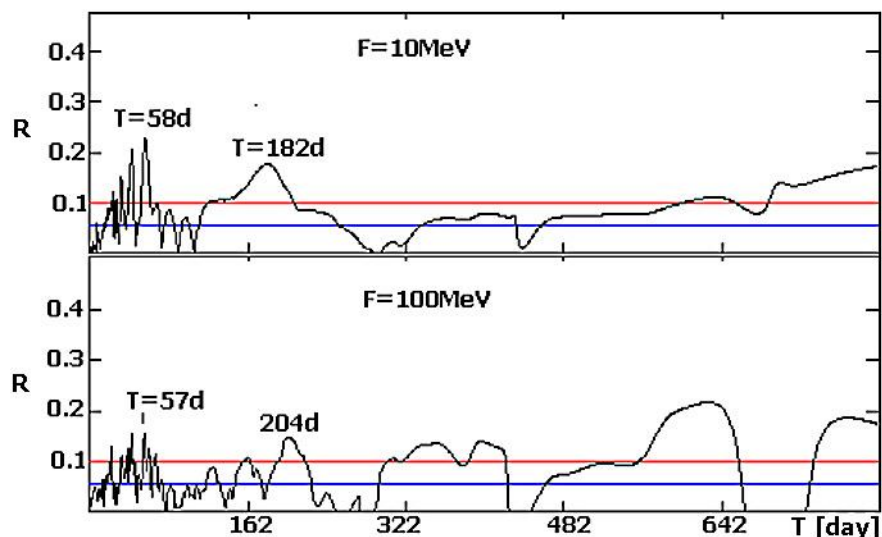
В предвид целта на настоящия проект с помощта на T-R периодограмния анализ бяха изследвани и двете редици на потоците слънчеви протони с висока енергия – тези с енергия над 10 и над 100 MeV, обозначени тук съответно като F10 MeV и F100 MeV. Както и при концентрациите на азотните окиси бяха търсени статистически достоверни цикли в диапазона между 2 и 802 дни. Резултатите са показани на фиг.5.



Фиг4. T-R корелограми на временните редове на $[NO]$, $[NO_2]$ и $[NO_x]$ за периода 1 септември 2009-31 декември 2012 г.

Най-важният резултат в случая е, че в данните за СЕЧ-потоците се наблюдава цикъл с продължителност около 180-200 дни ($T=182$ дни за F10 MeV и $T=204$ дни за F100 MeV). От гледна точка на спецификата на T-R периодограмният анализ като метод с по-голяма тежест е резултата за F10 MeV, тъй като поведението на потока на тези “по-нискоенергетични” частици е относително по-регулярно и следователно, по добре би могло да се опише с простопериодична функция. От своя страна изменението на F100 MeV е “по-накъсано” във времето. Наличието на полугодишен цикъл в данните за СЕЧ-потоците дава сериозно основание да се смята, че е твърде възможно именно на него, а не на сезонните метеорологични промени да се дължи цикълът с подобна дължина при концентрациите на азотните окиси в рамките на изследвания период септември 2009- декември 2012 г. Произходът на квази 180 дневният цикъл в данните за СЕЧ-потоците не е много ясен. По наше мнение е твърде възможно той да е причинен от повторемост с подобна продължителност в честотите и мощността на слънчевите изригвания през възходящата фаза на 24-тия слънчев цикъл.

От друга страна, наличието на квази 180-дневен цикъл и в двата вида данни е косвено доказателство, че между концентрациите на азотните окиси от една страна и нивата на СЕЧ- потоците от друга би могла да съществува статистически значима крос-корелационна връзка. Какви са характерните фазови отмествания и колко силни са въпросните корелационни връзки може да се разбере с помощта на крос-корелационен анализ.



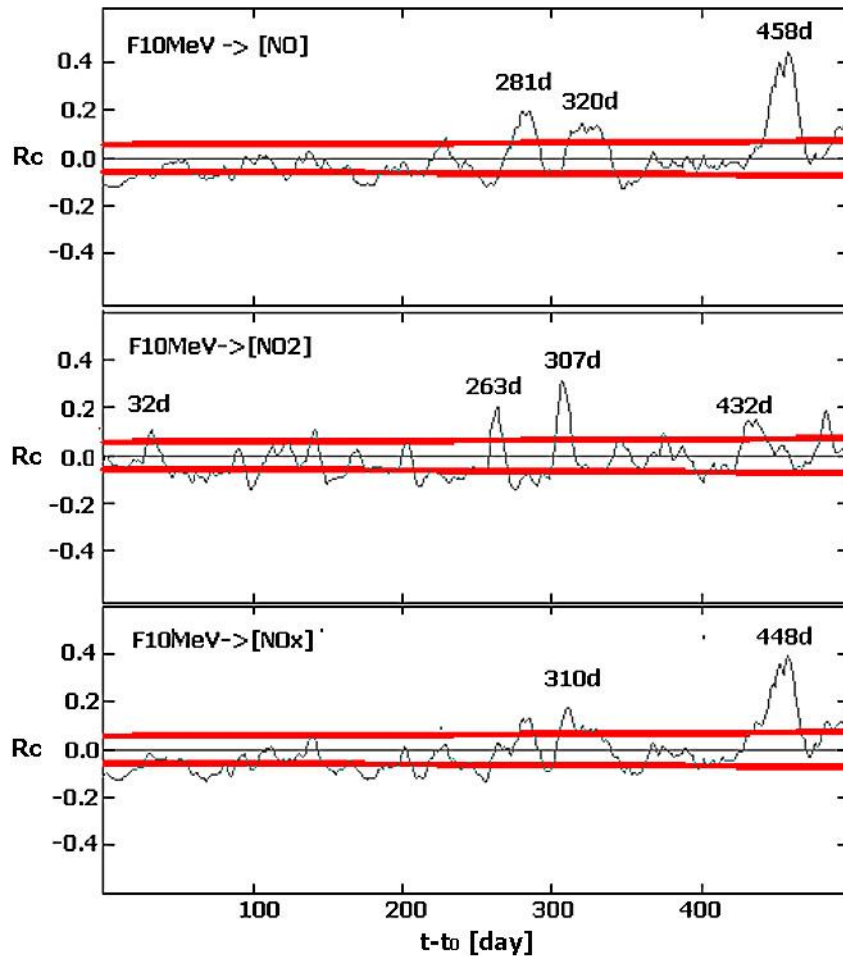
Фиг5. T-R корелограми на временните редове на *думарните* дневни потоци на слънчевите протони с висока енергия на геостационарна орбита $E \geq 10$ MeV (горния панел) и $E \geq 10$ MeV (долния панел), за периода 1 септември 2009-31 декември 2012 г.

В T-R корелограмите и на двете редици F10 MeV и F100 MeV се наблюдава 57-58 дневен цикъл. Появата на такова колебание не е изненадващо. Удвоеният 27 дневен цикъл на Бартелс е типична особеност в поведението на повечето слънчеви и геофизични индекси по време на възходящите фази на слънчевите 11-годишни цикли.

Резултати от крос- корелационния анализ

Резултатите от крос-корелационния анализ са показани на фиг. 6 и 7. Първата от тях е комбинирана графика, представяща фазово-отместените връзки между редиците на всяка една от измерваните газови компоненти (NO), $[NO_2]$ и $[NO_x]$) и F10MeV. По абсцисната ос е фазовото отместване между двете величини в дни. Стойностите на СЕЧ-потока изпреварват тези на концентрациите на азотните окиси. По ординатната ос са представени съответните стойности на коефициентите на корелация R_c . Областите на трите панела, ограждащи в червени линии хоризонтаните оси, съответстващи на $R_c=0$ представят праговите критични стойности на R_c . Те показват дали съответният коефициент на корелация е над или под прага на статистическа достоверност от над 95% ($R_c/SR_c < 1.96$). Зоните между двете червени граници и в трите панела съответстват на ниски по абсолютна стойност и статистически недостоверни коефициенти на корелация R_c .

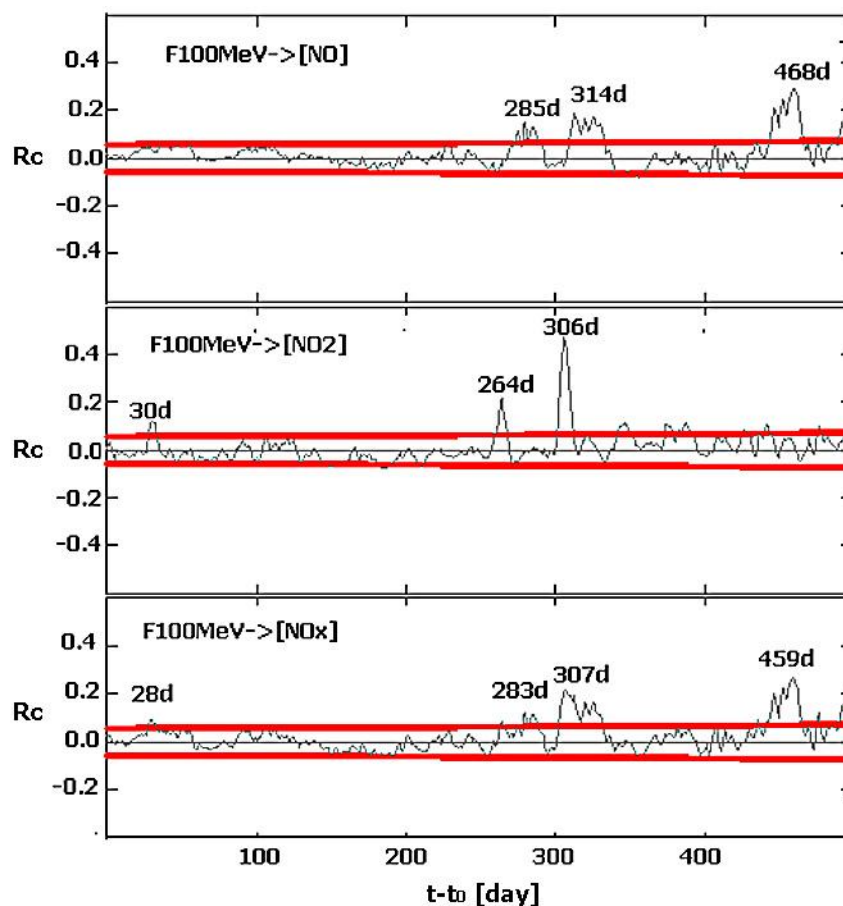
От фиг.6 се вижда, че статистически достоверни, при това положителни пикове на R_c има при отместване $t-to$ от около 260-280 дни (~ 8-9 месеца), 305-320 дни (10-месеца) и 430-460 дни (~15 месеца). Специално при $[NO_2]$ се откроява слаб пик при отместване $t-to = 32$ дни.



Фиг.6 Коефициенти на крос-корелация R_c между $F10\text{ MeV}$ и концентрациите на азотни окиси $[NO]$, $[NO_2]$ и $[NO_x]$.

На фиг. 7 са представени резултатите от крос-корелационния анализ, свързани с $F100\text{ MeV}$. И тук има ясно изразени пикове на R_c при фазово отместване $t-t_0=9, 10$ и 15 месеца при редиците на $[NO]$ и $[NO_x]$. При $[NO_2]$ отново се наблюдава пик при фазово отместване от около месец ($t-t_0=30$ дни; средният панел). Подобен пик при отместване от 28 дни е видим и за $[NO_x]$.

Много интересна особеност има при крос-корелограмата за $[NO_2]$. При поголемите фазови отмествания (над един месец) има само два, пика, от които единият е много силен. Той съответства на $t-t_0=306$ дни (~ 10 месеца). Коефициентът на корелация е $R_c=0.48$. Той надхвърля грешката си 18 пъти, т.е. неговата досотверност е практически 1. Вторият пик е при фазово отместване от 263 дни. Нарастването на коефициента на корелация от ниски стойности до висок пик и последвалия спад се проявява в интервал от фазово отместване в рамките само на 2-3 седмици. Това е индикация, че става въпрос за залпово покачване на $[NO_2]$, чиято основна фаза настъпва около 9-10 месеца след предполагаемия причинител – слънчево протонно изригване. Наличието на два или повече пика в коефициента на корелация най-вероятно се дължат на това, че измерваните стойности на концентрациите се формират от дадено протонно изригване на различни височини в атмосферата, а вероятно и в различни географски зони на Земята. Посредством процесите на пренос (дифузия, конвекция и ветрове) те достигат до наблюдателния пункт в различни моменти време след формирането им. Това води до възникване на повече от един пик на R_c .



Фиг.7 Коефициенти на крос-корелация R_c между $F100\text{ MeV}$ и концентрациите на азотни окиси $[NO]$, $[NO_2]$ и $[NO_x]$.

Получените резултати са в много добро съответствие с направения в &3.1 извод относно фазовото закъснение на връзката между концентрациите на азотните окиси и слънчевите протонни изригвания за по-ранния период на наблюденията между 2004 и 2009 г.

Дискусия на резултатите за азотните окиси

Както вече бе посочено в уводната част, в по-високите широчинни зони на Земята и особено тези около двата полярни овала (авроралните зони) “залповата” продукция на азотни окиси под действието на слънчеви протонни изригвания е много по-ефективна, отколкото на по-ниски ширини. Макар, че използваме определението “залпово” тези явления далеч не са много кратки като събития. Те обикновено продължават с дни, понякога дори седмица и повече. Това се дължи до голяма степен и на факта, че протонните изригване много често не са единични събития, а са в последователност от 2 –3 и дори повече такива в продължение на дни, понякога и на седмици. Това става в случай, че източникът им е някой голям и развит активен център на Слънцето. От представените в изследването на Jackman et al. [2] резултати за двете мощни изригвания на 16 и 20 януари 2005 г. се вижда, че покачванията на потоците на СЕЧ на геостационарна орбита и съответно йонизационните процеси силно са се застъпили. По такъв начин те са продължили общо около цяла седмица между 16 и 23 януари. Следователно, ефектът от подобни събития независимо от процесите свързани

с химически реакции и пренос в атмосферата на Земята не винаги затихва бързо. Това е много силно валидно особено за образуването на азотните съединения в средната атмосфера.

Имайки предвид всичко това и изхождайки и от нашите получени резултати, ние считаме за много вероятно измерваните пикове във фоновите концентрации в станицята на НАО “Рожен да се дължат главно на залпово образуване на азотни окиси в резултат на слънчеви протонни ерупции. Източникът (или източниците) на тези събития обаче са много отдалечени от наблюдателния пункт. Вероятно това е високоширочинния пояс на Северното полукълбо (около и над 50 градуса северна магнитна ширина). Поради отместването в ориентацията (11 градуса) на магнитната спрямо ротационната ос на Земята въпросната област от средната атмосфера е разположена основно над Северна Америка, северната част на Атлантическия океан и по-голямата част от Северния ледовит океан. Преносът на формираните “залпови излишъци” от азотни съединения от високите към ниски ширини е бавен. Доколко даден залпов процес на образуване на азотни окиси ще даде отражение на измерените стойности в станцията на Рожен при всички случаи ще зависи не само от мощността и продължителността на “залпа” на високи ширини. Значение имат също и конкретните условия на атмосферната циркулация, които са силно сезонно обусловени. Това би могло да обясни защо например някои от пиковете на измерените концентрации са много по-слабо изразени, въпреки че са свързани с мощни протонни изригвания. Анализът показва, че такива са например случаите с пикове на азотните окиси, които са свързани с изригвания станали през топлата част от годината, когато меридионалният пренос север-юг е отслабен.

Малка част от азотните окиси по всяка вероятност се образуват и на средни ширини под действието на слънчевите протонни изригвания. За тях би могло да се приеме, че те имат доста по-къс път за да достигнат до повърхността, т.е. фазовото отместване по време е по-малко. Възможно е слабият пик в R_c който се получава при отместване на около 30 дни в някои от изследваните редици да се дължи именно на поодбен слаб (“местен”) източник. Това е областта от средната атмосфера непосредствено над района над станцията или над относително близки съседни райони.

Изводи от резултатите за азотните окиси

Получените в хода на това изследване резултати показват, че има много голяма вероятност наблюдаваните значителни пикове в концентрациите на азотните окиси в станцията за екомониторинг на въздуха в района на НАО “Рожен” да са резултат от залпов ефект на образуването им в средната атмосфера в интервала от един месец до около една година преди това. От друга страна обаче трябва да се има предвид, че независимо от привидно голямата продължителност на провежданите наблюдения - вече около 8 години - все още се чувства сериозен дефицит на информация. От една страна това е поради големите прекъсвания в наблюденията. Това обстоятелство важи особено през първите няколко години от функционирането на станцията. От друга страна, поради дълбокия минимум между слънчевите цикли с номера 23 и 24 от началото на 2007 г. до есента на 2009 г. няма практически никакви активни явления на Слънцето, включително и протонни ерупции.

За да се стигне до окончателен и категоричен отговор на въпроса влияят ли слънчевите протонни изригвания върху фоновите концентрации на азотните окиси и докава степен е тяхното влияние, е необходимо да се проведе анализ върху значително по-голяма съвкупност от данни. Във връзка с това е необходимо да се продължи изпълнението на задачите, свързани с този проект поне още няколко години, до края на

настоящия 24-ти слънчев цикъл през 2018-2019 г. Продължението на проекта могло да основа за организиране на дейност по предварително предизвестяване на възможните периоди на повишени фонові концентрации. Последното би помогнало много на дейностите, свързани с мониторинга на въздуха осъществявана от регионалните инспекции по околната среда в страната, както и на Националната агенция за околна среда.

ЛИТЕРАТУРА (само за анализа на азотните окиси)

- Jackman, C. H., Marsh, D. R., Vitt, F. M., Roble, R. G., Randall, C. E., Bernath, P. F., Funke, B., López-Puertas, M., Versick, S., Stiller, G. P., Tylka, A. J., and Fleming, E. L., 2011, Northern Hemisphere atmospheric influence of the solar proton events and ground level enhancement in January 2005, *Atmos. Chem. Phys.*, **11**, 6153–6166, www.atmos-chem-phys.net/11/6153/2011/doi:10.5194/acp-11-6153-2011
- Komitov B., 1997, The Schöve's series. Centennial and Supercentennial variations of the solar activity. Relationships between adjacent 11-year cycles, *Bulg. Geoph. J.*, **23**, 74 –82.
- Ogurtrsov M., Jingner H., Kocharov G., Lindholm M., Eronen M., 2004, Nitrate Concentration in Greenland Ice: An Indicator of Changes in Fluxes of Solar and Galactic High-Energy Particles, *Solar Physics*, **222**, 177–190.
- Palmer, A.S., van Ommen T.S., Curran M., Morgan V., 2001, Ice-core evidence for a small solar-source of atmospheric nitrate. , *Geophys. Res. Lett.*, **28**, No 10, 1953-1956.
- Rinsland, C. P., Boone, C., Nassar, R., Walker, K., Bernath, P., McConnell, J. C., and Chiou, L.: 2005, Atmospheric Chemistry Experiment (ACE) Arctic stratospheric measurements of NO_x during February and March 2004: Impact of intense solar flares, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L16S05, doi:10.1029/2005GL022425.
- Seppala, A., Verronen, P. T., Clilverd, M. A., Randall, C. E., Tamminen, J., Sofieva, V., Backman, L., and Kyrölä, E.: 2007, Arctic and Antarctic polar winter NO_x and energetic particle precipitation in 2002–2006, *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L12810, doi:10.1029/2007GL029733.
- Shea M., Smart D.F., 2004, The Use of Geophysical Data in Studies of the Historical Solar-Terrestrial Environment, *Solar Physics* (2004) 224, 483–493.
- Smart D.F and Shea M.A, Impulsive Nitrate Deposition Events in Polar Ice. The results of Solar Proton Events, (http://www.acd.ucar.edu/Events/Meetings/HEPPA/pdf_files/Indirect_Effects_Coupling/Smart.pdf)
- Wang Ninglian¹, L. G. Thompson., J. Cole-Dai, 2000, The nature of the solar activity during the Maunder Minimum revealed by the Guliya ice core record, *Chinese Science Bulletin* **45**, No. 1 January 2000
- Комитов Б., 1986, О възможном влиянии солнечных циклов на климат в Болгарии, *Солн. данные*, No 5, 73-78.

Камера за наблюдение на цялото небе и възможности за автоматизиран мониторинг на екстинкцията

Камерата SBIG AllSky-340

ССД камерата AllSky-340 бе придобита и въведена в експлоатация като част от оборудването, планирано за изпълнение на целите на проекта. Тя е производство на американската фирма Santa Barbara Instrument Group (SBIG). Основното и предназначение е за мониторинг на цялото небе за наличие на облаци, което е от решаващо значение за планиране и реализиране на астрономически наблюдения. Като допълнителна задача подобни камери често се използват за регистриране и изследване на метеорни следи в атмосферата.

Известно е, че камери за наблюдение на цялото небе се използват и за наблюдение на слънчевото греене от дневното небе (Roman et al. 2012). Нашата цел ще е проучване на възможността за използване на AllSky камера за измерване на атмосферната екстинкция по астрономически методи.

Техническите параметри на камерата (Фигура 1) са следните:



Фигура 1. Външен вид на ССД камерата

- цветен светочувствителен сензор от тип Kodak KAI-340 CCD;
- размер на полето 640 x 480 пиксела;
- размер на пикселите 7.4 к 7.4 микрона;
- шум на четене < 15 електрона rms;

- работен температурен интервал от -10 С до +45 С;
- интервал на експозиции от 0.0001 сек. до 10 минути;
- камерен обектив от тип „рибешко око“ е Fujinon FE185C046HA-1;
- фокусно разстояние на обектива 1.4 mm, при отношение F/1.4;
- компютърно управление чрез RS-232 порт;
- скорост на трансфер на данни от 9600 до 460800 Baud Rate;
- механичен затвор за автоматично получаване на кадри с „ток на тъмно“;
- нагревател против кондензация на атмосферната влага;
- софтуер за управление „SBIG All Sky Camera“;
- запис на данните в стандартен за астрономията FITS формат;
- възможност за запис на кадрите в JPG формат;
- възможност за запис на анимация;
- възможност за запис на данните на отдалечен ftp сървър.

Софтуерът на камерата позволява със заснетите кадри да се извършват някои елементарни обработки като изваждане на ток на тъмно, въртене на полето и др.

Първи кадри и анализ на резултатите

Камерата AllSky-340 комуникира с компютъра чрез сериен канал по стандарт RS-232, което позволява тя да се монтира на открито и далече (до 30м) от сгради и светлини. За съжаление съвременните компютри не притежават такъв порт, затова бе наложително да се използва адаптер от USB към RS-232. Но комуникацията чрез USB кабел по стандарт е ограничен до 5м, затова първоначалните тестове на камерата се извършиха в лабораторни условия на 12 юни 2013г. На 12 юни 2013г. бе получена „първата светлина“ с камерата (Фигура 2), която беше инсталирана в подкуполното помещение на 60см телескоп на НАО Рожен. Наблюденията не бяха оптимални от астрономическа гледна точка, виждаше се само част от небето (северен хоризонт и зенит), докато важни за измерване на екстинкцията части от небето бяха закрити от купола на 60см телескоп. Но дори тези първи кадри бяха полезни за изучаване работата на ССД камерата и планиране на следващи наблюдения.

Най-важният резултат от първите кадри бе информация за параметрите които се записват в хедъра на FITS файловете. Един примерен хедър има вид:

```

SIMPLE      = T
BITPIX     = -32
NAXIS      = 3
NAXIS1     = 640
NAXIS2     = 480

```



Фигура 2. Първи кадър на нощното небе с камерата AllSky-340

```

NAXIS3      = 3
INSTRUME    = 'SBIG AllSky-340'
DATE-OBS    = '2013-06-19T19:20:32.761'
BSCALE      = 1.0000000000000000
BZERO       = 0.0000000000000000
EXPTIME     = +6.000000000000E+001
CBLACK      = 1024
CWHITE      = 6492
INPUTFMT    = 'FITS'  '/'      Format of file from which image was read

```

Въпреки че информацията в хедъра е малко, най-важната информация за времето на експозиция DATE-OBS и за продължителността на експозицията EXPTIME са налице. Установено бе, че софтуера прави няколко помощни кадри и автоматично подбира необходимата експозиция в зависимост от осветеността на небето. Затова кадрите направени при ярко небе като по време на пълнолуние или по време на полумрака имат променливи експозиции. Това е нежелателен ефект и значително ще затрудни процеса по обработка и фотометриране на кадрите за измерване на атмосферната екстинкция.

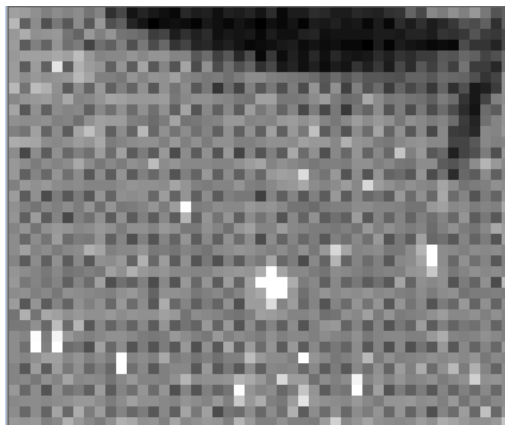
Изход от ситуацията е ако предварително се сложи горна граница на продължителността на експозициите. Опитно бе установено, че такава граница може да е в рамките на 1 – 2 минути. При експозиции от 1 минута се регистрират звезди в интервала 0 – 5 звездни величини. При експозиции от 2 минути звездите по-ярки от ~0.5 звездна величина са преекспонирани в центъра и не са подходящи за фотометрия. От друга страна при звезди по-слаби от 4.5 звездна величина е много малко отношението сигнал/шум. Затова полезният диапазон от звездни величини на измерваните звезди е 0.5 – 4.5 mag.

При изследването на първите кадри от AllSky-340 камерата бе установен и друг нежелателен ефект - начинът на съхранение на цветовете във FITS файла. Установено бе, че размерът на ССД сензора 640x480 се отнася до общия брой на пикселите, докато броя пиксели с различен цвят е по-малък: 320x240 за R (червен) 320x240 за B (син) и 2x320x240 за G (зелен). Пикселите от различен цвят се редуват в следната последователност:

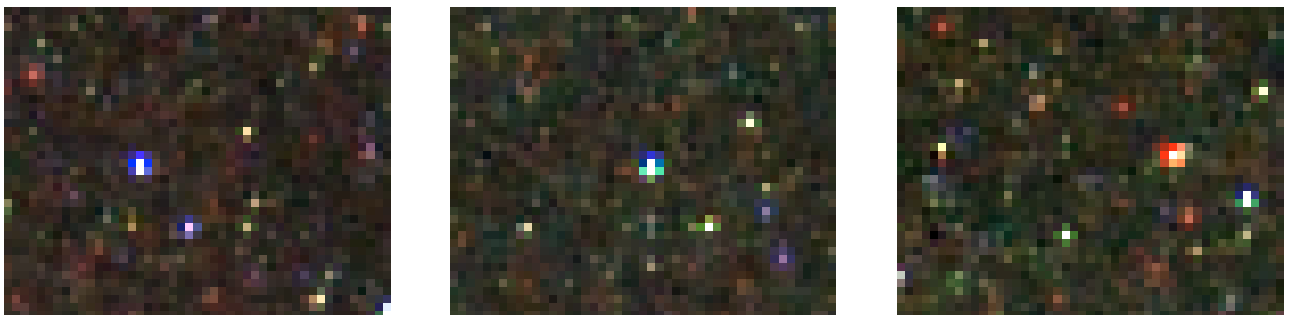
Червен	Зелен
Зелен	Син

Такъв FITS файл не може да се фотометрира със стандартни софтуери за астрономическа обработка като IRAF, MIDAS, MaxIm DL и др. Файловете разгледани с подобни програми изглеждат като черно-бели, по-точно сиви с диапазон на сигнала от 0 до 32782 понеже информацията се записва като 15 битово число. Този ефект се вижда добре на Фигура 3, където е увеличен многократно един малък участък от звездно изображение.

Забелязва се, че фона на небето не е еднакъв в съседните пиксели. Друг много важен извод е, че звездното изображение се разпростира върху много малко на брой пиксели.



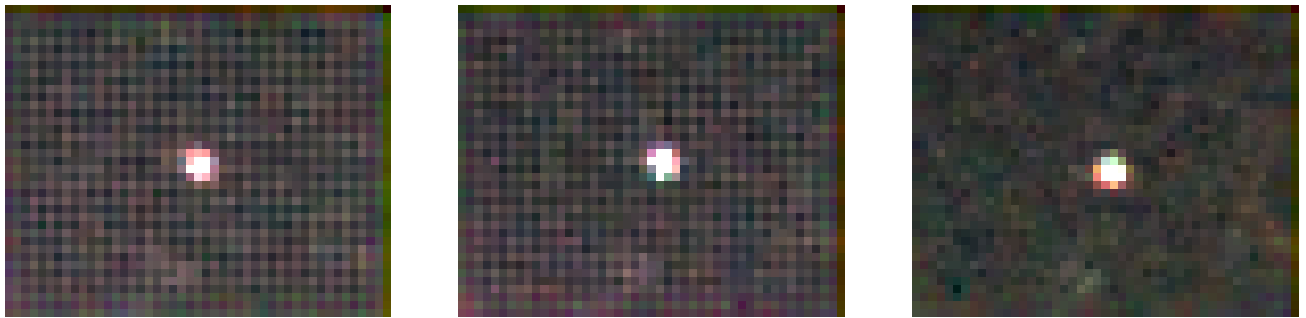
Фигура 3. Увеличено звездно изображение около Полярната звезда.



Фигура 4. Част от три кадъра, заснети по различно време. Забелязва се промяна на цвета на звезди попаднали върху различни пиксели.

Поради денонощното въртене на земята при неподвижна камера, с времето една звезда попада върху различни съседни пиксели, с което изкуствено се променя цвета на звездата (Фигура 4.). Този ефект значително усложнява фотометрирането на звездите. За да съвместимост на сигнала от една звезда е необходимо във всеки следващ кадър разпределението на звездата върху пикселите трябва да се абсолютно същото както и на

предходните кадри.



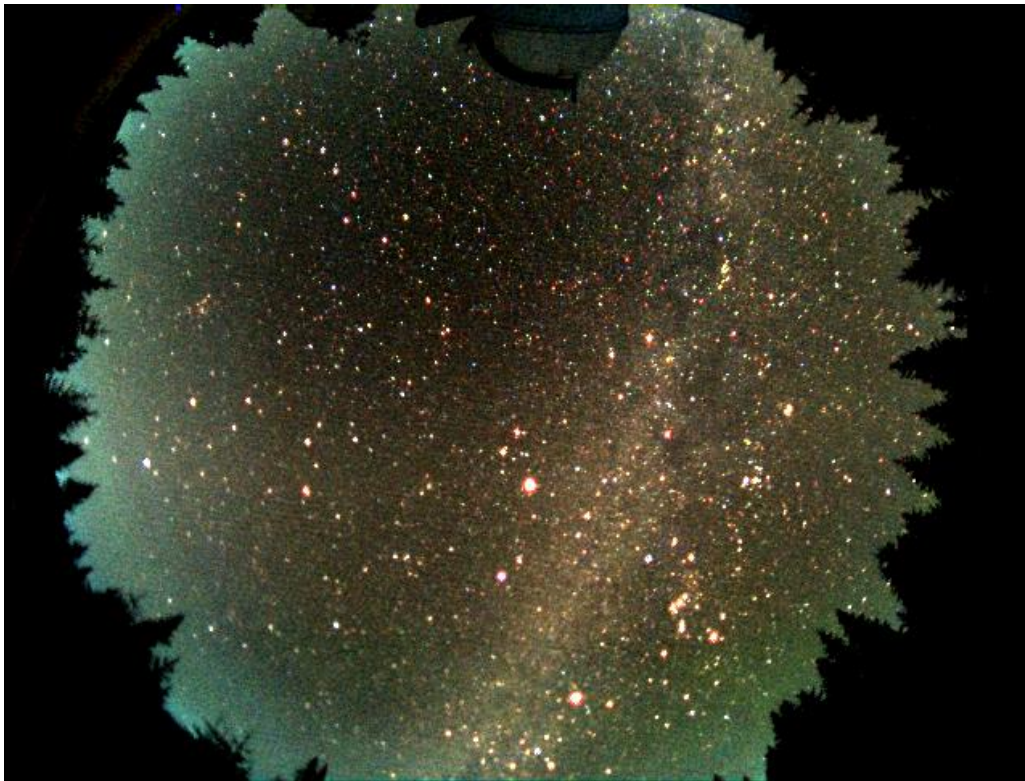
Фигура 5. Кадри както на фигура 4, но за южна звезда.

Това условие в значителна степен е изпълнено за звезди от южното небе, далече от полярната звезда. За такива звезди изображението се разполага върху голям брой пиксели поради въртенето на земята при неподвижна камера и продължителните експозиции (2 мин.). Подобен ефект се получава и при изкуствено разфокусиране на изображението.

Наблюдения за определяне на атмосферната екстинкция

Реални наблюдения по които е възможно да се определи атмосферната екстинкция бяха проведени на 03 – 05 декември 2013г. ССД камерата беше поставена южно от кулата на 60см телескоп, на достатъчно голямо разстояние за чист хоризонт (Фигура 6). Тази конфигурация бе възможна благодарение на използването на удължителен USB кабел с пасивни усилватели с дължина 20м. При това положение на камерата могат да се фотометрират звезди на височина над хоризонта 10-12 градуса, което отговаря на въздушна маса от 5-6. Част от наблюдателните данни за звездата Бетелгейзе са дадени в Таблица 1, а графиката по която се определя коефициента на атмосферна екстинкция е показана на Фигура 7. Данните от Таблица 1 са представени със сини квадрати, линейната зависимост по всички наблюдения е дадена с червена линия.

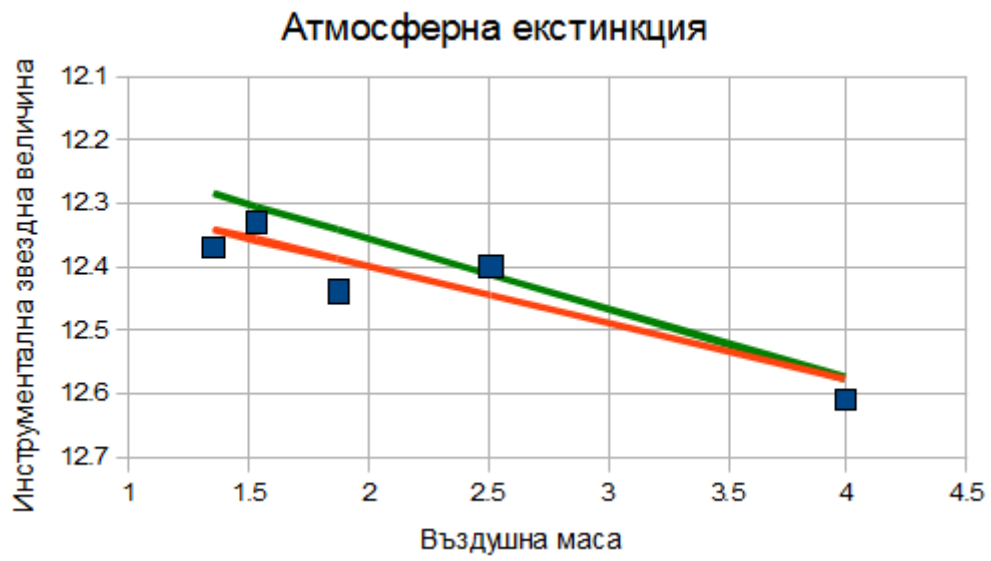
Самата нощ не беше перфектна и на някои кадри се наблюдаваха високи облаци, които оказват негативно влияние на точността на фотометрията. На фигура 7 се наблюдава и ефекта от различното положение на звездата върху ССД матрицата за различните кадри. Ако искаме да минимизираме този ефект, то трябва да пренебрегнем кадрите на които звездата се намира „неоптимално“ (между пикселите за съответния цвят). На графиката тази зависимост е показана с зелен цвят. В първият случай коефициента на екстинкция е $k=0.09$, а във втория случай $k=0.11$, които стойности са нормални за видимия оптичен диапазон.



Фигура 6. Кадър на нощното небе от 05 декември 2013г.

Таблица 1. Измерване на инструменталната звездна величина на Бетелгейзе

Време [UT]	Звездна величина	Височина [deg]	Въздушна маса
18:07:40.38	12.61	14.44	3.99
18:59:44.85	12.4	23.56	2.51
19:47:45.32	12.44	32.34	1.87
20:37:47.96	12.33	40.53	1.53
21:27:50.31	12.37	48.04	1.35



Фигура 15: Определяне на атмосферната екстинкция чрез използване на измервания, получени с камерата за наблюдения на цялото небе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Договорът ВРЪЗКА МЕЖДУ АСТРОНОМИЧЕСКИТЕ ДАННИ ЗА АТМОСФЕРАТА И ЕКОЛОГИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ВЪЗДУХА между ПУДООС и ИА с НАО даде възможност да се направи за първи път в България комплексно изследване на зависимостите между качеството на въздуха в приземния слой и характерни особености на атмосферата във височина до няколко десетки километра. Данните за атмосферната екстинкция от астрономическите наблюдения бяха сравнени с концентрациите на прахови частици и молекули, измервани от КФС „Рожен”. Разгледани са поотделно приносите на разсейването на Рейли, на аерозолната екстинкция и на молекулярното поглъщане от озон, водни молекули и техните производни. Намерена е антикорелация между концентрацията на праховите частици с размери по-малки от 10 мкм и атмосферната екстинкция. В късовълновата част на електромагнитния спектър аерозолната екстинкция показва леко завишени стойности в сравнение със усреднените за цялата земна повърхност.

С много голяма вероятност наблюдаваните значителни пикове в концентрациите на азотните окиси, измерена от КФС “Рожен”, биха могли да са резултат от залпов ефект на образуването им в средната атмосфера в интервала от един месец до около една година преди това. Това образуване може да бъде причинено от протонни изригвания от Слънцето. Този резултат е изключително ценен, тъй като чрез него се дава обяснение за естествено нарастване на концентрацията на азотните, което няма антропогенен характер. За да се стигне до окончателен и категоричен отговор на въпроса влияят ли слънчевите протонни изригвания върху фоновите концентрации на азотните окиси и до каква степен е тяхното влияние, е необходимо да се проведе анализ върху значително по-голяма съвкупност от данни. Във връзка с това е необходимо да се продължи изпълнението на задачите, свързани с този проект поне още няколко години, до края на настоящия 24-ти слънчев цикъл през 2018-2019 г.

През последните седмици на изпълнение на дейностите по договора в НАО „Рожен” бе въведен нов, високодисперсен спектрограф. Важна характеристика на този спектрограф е, че с него става достъпен за регистрация в един кадър целия спектрален диапазон на електромагнитния спектър, вкл. и част от близката инфрачервена област – от 0.4 до 0.9 мкм. Спектрите, получавани с този прибор съдържат голям брой телурични линии, които дават възможност за проследяване на вариации в молекулярните компоненти на атмосферата. Сравняването на тези вариации с данните, измервани от КФС „Рожен” е допълнителен източник на информация за състоянието на атмосферата и качеството на въздуха в района на НАО „Рожен”. Броят на телуричните линии, които се регистрират с новия спектрограф е с около 30 пъти по-голям в сравнение с досегашните възможности на НАО „Рожен”. Това крие огромен допълнителен потенциал за анализ на състоянието на атмосферата и по-точно на характерните за нейния състав молекулярни компоненти – озон, кислород, водни пари, хидроксилен радикал.

Получените до момента резултати показваха, че дейностите заложи в договора между ПУДООС и ИА с НАО са изключително перспективни. Продължаването на тези дейности ще доведе до ново разбиране на взаимодействието между атмосферата във височина до няколко десетки километра и качеството на въздуха в приземния слой.