

**ИЗМЕНЕНИЯ В ЙОНИЗИРАЩАТА РАДИАЦИЯ  
НА ЙОНОСФЕРНИЯ СЛОЙ E***Кирил Серафимов*

Слоят  $E$  е най-закономерната йоносферна слоиста формация [1, 2, 3 и др.]. Сравнително малката дисперсия на характеристичните параметри за този слой при еднакви физични условия дава възможност да се установи и изучи йонизиращият му източник с по-голяма достоверност, отколкото за другите йоносферни части. Сега можем да твърдим с голяма сигурност, че йонизиращият източник на слоя  $E$  е разположен върху слънчевия диск или корона, поради: а) характера на дневните изменения на електронната концентрация в този слой, тъй като концентрацията по правило е пропорционална на  $\cos^n \chi$  (където  $\chi$  е зенитният ъгъл на Слънцето в наблюдателния пункт) [2, 3, 4, 5, 6]; б) промените, които претърпява максималната електронна плътност ( $N_m E$ ) по време на слънчеви затъмнения [1, 3, 7 и др.]; в) това, че автокорелационната функция на  $N_m E$  с отстранено влияние от  $\cos \chi$  подчертава 27-дневния период на повторение [8, 9] и г) приблизително съвпадащия характер на измененията с 11-годишния цикъл на слънчевата активност [10, 11]. Освен това йонизиращата радиация, която дава Слънцето, е напълно достатъчна, за да предизвика наблюдаемите стойности на електронната плътност във височинната област от 100 до 130 km над земната повърхност, където се разполага слой  $E$  [10, 12]. Така за съвременната астрофизика и геофизика общият източник на йонизацията на слоя  $E$  е напълно изяснен, но все още не е точно доказано кои диапазони от слънчевата радиация конкретно йонизират този слой и съответно кои части на слънчевата корона, хромосфера или фотосфера са йонизиращите агенти за тази част на високата атмосфера. Директните измервания чрез ракети сочат, че съществена част от рентгеновото излъчване с дължина на вълната 10 — 100 Å се абсорбира в слоя  $E$ . Също така по-голямата част от данните сочат, че под този слой почти отсъства лаймановският континуум с  $\lambda < 910 \text{ \AA}$  и радиацията в линията  $L_\beta$  на Слънцето, които с почти неизменна интензивност се регистрират на височини, по-големи от 150 km. Съотношението между йонизационните приноси от тези три най-вероятни йонизиращи агенти, както и евентуалното влияние на други диапазони на слънчевата радиация (например линията  $C \text{ III}$ ) не е изяснено [10, 12, 13]. Някои смятат, че слой  $E$

изцяло се йонизира под действието на рентгеновото лъчение на Слънцето [14], като при това получаваната интензивност на рентгеновата радиация не е много далеч от измерваната при ракетни експерименти [10]. Според [12] лаймановският континуум,  $L_{\beta}$  и мекото рентгеново лъчение в диапазона от 50 до 100 Å внасят в слоя  $E$  новопроизведена йонна концентрация от еднакъв порядък. От този кратък обзор е очевидно, че въпросът за честотния диапазон и положението на йонизиращия източник на слоя  $E$  не е решен окончателно. Най-същественният недостатък на всички работи за този йонизиращ източник е липсата на достатъчно висока корелация на измерваните данни за слоя  $E$  с пряко и непряко измерваемите характеристики на различните диапазони от слънчевата йонизираща радиация [15, 16].

Засега единствените измерителни средства, чрез които непрекъснато, статистически съпоставимо и от многобройни пунктове можем да контролираме йонизацията на слоя  $E$ , са йоносферните станции. Измерванията за максималната електронна плътност на слоя  $E$  ( $N_m E$ ) се водят с висока точност и ако съществуваша методични средства за точен, достоверен преход от тази плътност към интензивността на йонизиращия източник, поставеният въпрос би могъл лесно да бъде решен. Но както показахме в [17, 18, 19], в многобройните изследвания за йонизацията на слоя  $E$  не се отстраняват влиянията на измененията в аерономичните параметри върху индекса на йонизация  $J_E$ . При това индексът на йонизация е само индиректна характеристика на интересувашата ни интензивност на йонизиращия източник извън абсорбиращата среда (земната атмосфера), която интензивност ще бележим с  $I_{\infty}$ . Поради това налага се проблемът да бъде преразгледан отново. Значението на такова изследване не е ограничено само в хелиофизичен и геофизичен аспект, но е от важност и за практиката на радиосъобщенията, тъй като индексът на йонизация (под наименованието „характеристично число“ или „характеристични криви“) е базата за прогнозиране на отражателните възможности на слоя  $E$ . Чрез  $J_E$  се определят максималните приложими честоти (ако отражението се извършва от слоя  $E$ ) или най-ниските приложими честоти (ако слой  $E$  е проходим, абсорбиращ слой) за перспективни, а при нужда — и за ретроспективни интервали от време.

### Теоретични съображения и метод

Основният вид на балансовото уравнение йонизационно-неутрализационните процеси в околмаксимумната част на слоя  $E$  е (вж. [1, 16, 17 и др.)

$$(1) \quad \frac{d(N_m E)}{dt} = q_0 \cos^n \chi - \alpha(N_m E)^2 - \operatorname{div}(N_m E \vec{V}),$$

където  $q_0$  е максималната електронна продукция, отнесена към максималното дневно значение на скалата на височините  $H_0$ ,\*

$$(2) \quad q_0 = \frac{\sigma I_{\infty}}{H_0 \exp 1}$$

\* Под скала на височините  $H_0$  ще разбираме приведената височина на атмосферата за йонизируемите съставлящи на атмосферната газова смес.

( $\sigma$  е сечението на йонизационния процес),  $\alpha$  — еквивалентният рекомбинационен коефициент, а за  $n$  в [18] получихме

$$(3) \quad n = 1 + \gamma - \nu.$$

В (3) с  $\gamma$  означаваме вертикалния градиент на скалата на височините, а с  $\nu$  — степения показател на ефективния косинусов закон относно дневните изменения на  $H$ . Наличието на значителен температурен градиент във височинната част на атмосферата, където се разполага слой  $E$  (виж. [19]), както и съществени промени във вертикалното разпределение на средната маса  $m$  на йонизируемите съставлящи на този слой (вж. например измененията в отношенията  $O_2:O$  и данните за концентрацията  $N_2$  и средната маса на неутралния газ  $m_n$  в [20]) показват, че скалата на височините има непренебрежим градиент  $\gamma$  в своето височинно разпределение ( $H_0 = kT(z)/\bar{m}(z)g(z)$ , където  $k$  е Болцмановата константа, а  $g(z)$  — земното ускорение).

Под индекс на йонизация (характеристично число) на определена йоносферна част разбираме отношението на интензивността на йонизиращата радиация към еквивалентния неутрализиационен коефициент

$$(4) \quad J = \frac{q_0}{r};$$

за слоя  $E$

$$(5) \quad J_E = \frac{q_0}{\alpha}.$$

Ако съставките  $\sigma$  и  $H_0$  на електронната продукция и коефициентът  $\alpha$  са постоянни и неизменни при промени в аерономичните параметри и височината на развитие на максималната електронна плътност на слоя  $E$ , индексът на йонизация непосредствено е пропорционален на интензивността на йонизиращия източник  $I_\infty$ . В това е и астрофизичният смисъл на  $J$  — чрез него се получава възможност за непрекъсната непряка индикация на слънчевата йонизираща радиация и с това се постига контрол върху генерационните процеси на Слънцето. За  $J_E$  в достъпната литература (вж. [10, 15, 16, 21, 2, 23, 24, 25]) се използва изразът

$$(6) \quad J_E = Ch_E = (N_m E)^2 / \cos \chi = K(f_0 E)^4 \sec \chi,$$

който се получава от (1) при квазистационарно приближение ( $d(N_m E)/dt \ll q_{om} \cos^n \chi \approx d(N_m E)^2$ ), а също така при допускането  $n \approx 1$  и пренебрегване на дивергентния член (а с това се пренебрегва и влиянието на динамичните процеси, свързани с транспорт на електрони). В (6) с  $f_0 E$  е означена критичната честота на слоя  $E$ , а  $K = 1,54 \cdot 10^8$ . По-нататък изследователите в цитираните работи приемат, че  $\sigma$ ,  $\alpha$  и  $H_0$  са константи и търсят корелации между  $J_E$  и различни характеристики на слънчевата активност. В [26] съвместно с д-р В. Летфус за пръв път обърнахме внимание, че така дефинираният и използван от всички други автори индекс теоретически включва значителни сезонни промени поради измененията на величините  $\sigma$ ,  $H_0$  и  $\alpha$ . Анализът на данните в [24] сочи, че в публикуваните стойности на  $J_E$  действително се включват значителни сезонни ва-

риации. Използвайки сведенията на йоносферната станция Monte Carre-lino, в [26] показахме ред методични корекции, които до голяма степен отстраняват влиянието на аерономичните параметри и особено последствията от измененията във височината, на която се разполага  $N_m E$ . В [17], изхождайки от (1), при квазистационарно приближение (което е справедливо за слоя  $E$  — вж. [27] — с изключение на изгревно-залезния период) за независимата от влиянията на земната атмосфера част  $J_{E,0}$  на индекса  $J_E$  получихме

$$(7) \quad J_{E,0} = \varphi(f_0 E, \alpha, V_z) \sec^{p'} \chi_m \sec^n \chi,$$

където

$$(8) \quad \varphi(f_0 E, \alpha, V_z) = K(f_0 E)^4 + \frac{\sqrt{K}(f_0 E)^2}{\alpha} \frac{\partial V_z}{\partial z}.$$

Тук  $V_z$  е вероятната компонента на скоростта на електронния транспорт, отнесена към действителни височини, а  $\chi_m$  е зенитният ъгъл при кулминацията на Слънцето. Степенният показател  $p'$  се определя с

$$(9) \quad p' = p_1 - (p_2 + p_3),$$

а  $p_1$ ,  $p_2$  и  $p_3$  намираме от приблизителните зависимости

$$\sigma \approx \sigma_0 \cos^{p_1} \chi_m, \quad H_0 \approx H_{0,m} \cos^{p_2} \chi_m, \quad \alpha \approx \alpha_0 \cos^{p_3} \chi_m.$$

Получаването на  $J_{E,0}$  във вида (8) е свързано със значителни трудности, тъй като  $V_z$ ,  $\partial V_z / \partial z$  и техните изменения с времето засега не се измерват съпоставимо с радиофизични методи и се получават от серия балансови уравнения (подобни на (1)) при известни допускания [28]. Обаче като достатъчно точен и прост критерий за възможността да елиминираме дивергентния член, както и за приложимостта на квазистационарното приближение можем да използваме следния анализ на опитните данни. Построяваме зависимостта на  $\lg f_0 E$  от  $\lg \cos \chi$ . При постоянно  $n$  и  $\alpha$ , при пренебрежимо малък дивергентен член и при изпълнени условия за квазистационарност тази зависимост би трябвало да бъде права линия (сравни с (1)), като се има пред вид, че отражателната електронна плътност е свързана с критичната честота чрез зависимостта  $N_m E \text{ cm}^{-3} = 1,24 \cdot 10^4 (f_0 E)^2 \text{ MHz}$ . Уравнението на тази права следва от (1) и е

$$(10) \quad \lg(f_0 E) = \frac{1}{4} \left[ \lg \frac{q_{00}}{\alpha_0} - \lg K - p' \lg \sec \chi_m \right] - \frac{n}{4} \lg \sec \chi,$$

където с  $q_{00}/\alpha_0$  означаваме коригирания индекс  $J_{E,0}$ . Тази зависимост се модифицира в тесен интервал  $\pm \varepsilon^\circ$  около кулминацията на Слънцето в

$$(11) \quad \lg(f_0 E_m) = \frac{1}{4} \left[ \lg \frac{q_{00}}{\alpha_0} - \lg K \right] + \frac{n+p'}{4} \lg \cos \chi_m,$$

като (11) се удовлетворява от максималната критична честота  $f_0 E_m$  в дневния ход и от близки до нея честоти за ъгли  $\chi_m \pm \varepsilon$ . От (10) и (11) се вижда, че би трябвало в околообедния период да имаме промяна в отреза и ъгловия коефициент на евентуалната права  $\lg f_0 E(\lg \cos \chi)$ . Ако извън периода  $\chi_m \pm 3^\circ$  наблюдателните данни за  $f_0 E$  се разполагат на права линия в логаритмичното поле  $\lg f_0 E(\lg \cos \chi)$ , квазистационарното приближение и пренебрегването на дивергентния член в (1) са допустими.

При това дисперсията  $\sigma_{\text{ст}}^2$  на наблюдателните резултати около правата линия характеризира точността на апроксимиране на процесите в слоя  $E$  с тези в прост слой, развит в среда с градиент в  $H_0$  и зависещи от  $\cos \chi_m$  промени на всички йоносферни параметри. Тук отдаваме очакваните отклонения в правата линия  $\lg f_0 E (\lg \cos \chi)$  изцяло на динамичните процеси или на неизпълненост в квазиравновесните условия, тъй като измерителната точност на  $f_0 E$  е твърде висока [18] и може лесно да бъде повишена до напълно пренебрежими грешки от регистрацията и интерпретацията [29]. Отклонението  $\pm 3^\circ$  е характерно за околообедната промяна в наклона на правите по наши наблюдения [5, 6]. Честите значителни отклонения от праволинейната зависимост в логаритмичното поле за ъгли  $\chi_m$  от  $3$  до  $15^\circ$  се дължат изцяло на динамични причини и в частност се свързват с влияние от  $S_q$ -токовата система (т. нар. предиобедна задръжка в растежа на  $f_0 E$  — вж. [2, 29]).

Така чрез използване справедливостта на логаритмичната зависимост (10) като критерий за пренебрежимостта на дивергентния член ние можем да ограничим тези интервали от време, през които динамичните процеси не оказват съществено влияние върху  $f_0 E$ , а чрез този параметър и върху индекса на йонизация  $J_{E,0}$ . Това е първата методическа особеност, която предлагаме тук.

Друга методическа възможност за намиране на индекса на йонизация с повишена точност и с елиминиране до контролируема степен на статичните и допълнителните влияния от земната атмосфера може да бъде получена също от анализа на зависимостите  $\lg f_0 E (\lg \cos \chi)$ . Ако съществена част от тези зависимости се представят с прави линии, отрезките на тези прави от ординатната ос (при  $\lg \cos \chi = 0$ ) ще ни позволят да определим  $J_{E,0} = q_{00}/\alpha_0$ , т. е. величина, която е директно пропорционална на интензивността на слънчевата йонизираща радиация. Да подчертаем, че непосредствената област от наблюдателни данни около изгрева и залеза на Слънцето не може да бъде използвана за бързо пресмятане на  $J_{E,0}$ , тъй като в този период се развиват специфични процеси, които по право отклоняват  $\lg f_0 E (\lg \cos \chi)$  от праволинейната зависимост. От сравнението на (10) и (11) се вижда, че при паралелното използване на двете зависимости можем да намерим  $q_{00}/\alpha_0$ ,  $p'$  и  $n$ . Някои наши проби за приложение на този способ не донесоха удовлетворителен резултат, защото около кулминацията на Слънцето се разполагат малък брой и слабо променящи се точки, така че правата (11) се очертава с повишена неточност. Затова за намиране на  $q_{00}/\alpha_0$  успоредно с определянето на  $p'$  можем да постъпим така. Получаваме ежедневните стойности на отрезките  $C$  в зависимостта (10) и си построяваме годишната зависимост  $C(\sec \chi_m)$ . При постоянно  $p'$  би трябвало да се получи приблизително праволинейна зависимост, като отклоненията около нея се дължат на промените в  $I_\infty$ . Разбира се, отклоненията в  $C(\sec \chi_m)$  от правата линия поради промените на слънчевата активност могат да бъдат твърде значителни и с това прокарването на самата права да бъде много затруднено. Съществено е, че при това имаме втора възможност за намиране на  $p'$ , а именно чрез методичните положения, развити в [17] и [26]. За тази цел построяваме ежедневните стойности на зависимостта  $\lg f_0 E_m (\lg \sec \chi_m)$  за една година. От тази зависимост при праволинейна апроксимация получаваме общия сте-

пенен показател  $(n+p')/4$  и като използваме средногодишното значение на  $n$ , отново определяме  $p'$ . Целесъобразно е използването на усреднена стойност за  $p'$  от резултатите по двата метода. Така можем да намерим  $q_{00}/\alpha_0$  по развития тук начин. За съпоставимост обаче непременно трябва да се използват и околообедните значения на  $f_0 E_m$  по описания от нас способ в [17]. При този начин за индекса на йонизация имаме (сравни [17])

$$(12) \quad J_{E,0} = K(f_0 E_m)^4 \sec^p \chi_m,$$

където

$$(13) \quad p = p' + n.$$

При това трябва да се отстраняват случаите с околообедна релаксация  $\tau$ , по-голяма от получаваната за дадената електронна плътност, и значения на  $\alpha \geq 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Необходимо е да се приложат и всички мерки за повишаване на точността, препоръчани в [17].

Получените данни от отреза  $C$  и от стойностите при кулминацията трябва да бъдат усреднени по подходящ начин.

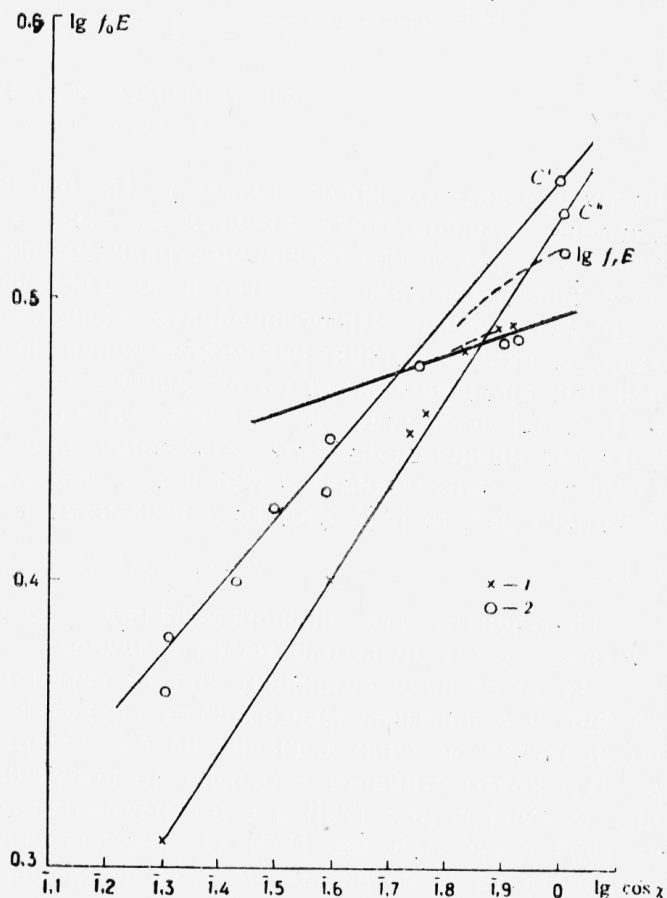
Предимствата на разглеждания тук способ спрямо досега прилаганите са ясно очертани. Основното преимущество е, че за определянето на  $J_{E,0}$  не се използва само околообедното значение на  $f_0 E$ , което независимо от някои усреднявания (препоръчани от нас в [17]) си остава само едно от възможните дневни значения. При анализа, предлаган тук, се използва важното обстоятелство, че всички дневни значения на  $f_0 E$  съдържат информация за характерната за дадения ден интензивност на йонизиращия агент. Това ни позволява много по-точно и статистически съпоставимо да намираме индекса на йонизация. От достъпните изследвания единствено в [22] е направен опит за използване не само на стойността на  $f_0 E$  при местно пладне, но и на всички дневни стойности на критичната честота. За тази цел в [22] не използват директно измерената стойност на  $f_0 E_m$  при кулминация на Слънцето, а едно екстраполирано значение ( $f_r E$ ) от целия дневен ход към максималните значения на  $\cos \chi_m$  (вж. пунктира на фиг. 1). Този метод има значителни недостатъци, отбелязани от нас в [26]. Най-съществен от тях е използването не на директно измерената, а на изчислителна величина. При това нормите за екстраполация не са уточнени и както показахме в [5, 6] и тук (чрез (10) и (11)), понижението на степения показател в косинусовата зависимост за  $f_0 E(t)$  в околообедния период не е случайно, а физически аргументирано явление.

Съществено значение за успеха на приложението на развития тук метод имат установените от нас в [5] и [6] обстоятелства, че: а) предобедните и следобедните стойности на  $\lg f_0 E(\lg \cos \chi)$  често лежат на две различни прави (вж. примера на фиг. 1) и б) съществува определена асиметрия в дневните изменения на  $f_0 E(t)$ , която се изразява в това, че факторът на симетрия  $\mathcal{S} = (f_0 E_N / f_0 E_V)$  при  $\cos \chi_N = \cos \chi_V$  често пъти не е равен на единица. В [9] посочихме, че най-влиятелен източник за еквивалентните промени в степения показател на косинусовата зависимост  $f_0 E(\cos \chi)$ , както и за асиметричните дневни изменения в слоя  $E$  е непрекъснатото изменение на йонизиращата радиация. Поради това рационално е за определянето на  $J_{E,0}$  да се използва средната величина между получените от предиобедния отрез  $C'$  и следобедния  $C''$  (фиг. 1) и от екстрем-

ното значение при местно пладне чрез зависимостта (12). Усредняването е още по-аргументирано, като се има пред вид, че всички корелации на йоносферни и хелиофизични характеристики се правят за усреднени величини от дневни, месечни и др. периоди (като изключим ексцесивните случаи на хромосферни ерупции, големи водородни флокули и др. особени явления).

### Някои наблюдателни резултати и тяхната интерпретация

Съобразно с наличните възможности изследвахме измененията на индекса на йонизация от данните на станциите в Dourbes ( $\varphi = 50^{\circ}04'С$ ;  $\lambda = 04^{\circ}36'И$ ), Julius-Ruh ( $\varphi = 54^{\circ}38'С$ ;  $\lambda = 13^{\circ}23'И$ ) и София ( $\varphi = 42^{\circ}41'С$ ;  $\lambda = 23^{\circ}21'И$ ). Данните за Dourbes и Julius-Ruh са от осемгодишния период 1957—1965 г. включително (в този период е спадащата част от цикъла на слънчевата активност 1957—1964 г.). Данните от йоносферната станция София са от основаването ѝ (февруари 1960 г.) до средата на 1965 г. За получаване на съпоставими със слънчеви характеристики величини указаните данни обработихме по различни методи. Център на внимание при това бяха условията за приложение и изследователски възможности при използване на логаритмичните зависимости от типа (10). На фиг. 1 е илюстрирана подобна зависимост от станцията в София за април 1964 г. От фиг. 1 се вижда обедното понижение на степения показател в еквивалентната косинусова зависимост за критичните честоти, отразено в логаритмичното поле

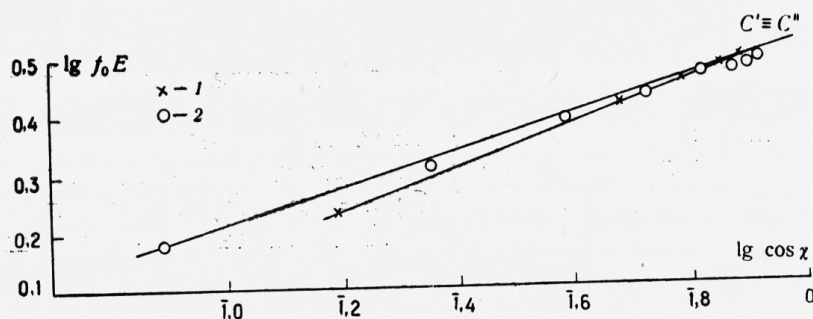


Фиг. 1. София, април 1964 г.

1 — след обед; 2 — предиобед

с промяна на ъгловия коефициент на апроксимиращата права. На фигурата са използвани половинчасови стойности на  $f_0E$ , специално интерпретирани с повишена точност. За другите станции се използваха стандартните интерпретации, отразени в медианните стойности на месечните бюлетени [30, 31]. За илюстрация на фиг. 2 са показани аналогични зависимости за

станция Dourbes (за август 1964 г.). От показаните резултати можем да потвърдим, че квазистационарните условия са справедливи за целия ден с изключение на изгревно-залезния период и че динамичните влияния имат пренебрежим принос в наблюдаваните величини на  $f_0E$  с изключение



Фиг. 2. Dourbes, август 1964 г.  
1 — след обед ; 2 — преди обед

на интервалите от време около  $3-15^\circ$  преди обед. Разбира се, не е изключено транспортните процеси да имат значително по-продължително влияние върху йонизационно-неутрализационния баланс, но техният принос да е пропорционален на  $\cos \chi$  и по използвания способ да не може да бъде разграничен. Праволинейната зависимост  $\lg f_0E(\lg \cos \chi)$  сочи също така, че еквивалентният рекомбинационен коефициент  $\alpha$  или е постоянен, или има пропорционални на височината на Слънцето изменения. Тъй като в [1, 3, 32] доказахме, че  $\alpha \neq \text{const}$ , следва, че наблюдателните резултати доказват пропорционалните изменения на  $\alpha$  с  $(\cos \chi)^n$ . Този резултат е в съгласие с използваната в [26] и тук зависимост  $\alpha \approx \alpha_0 \cos p_3 \chi_m$ , както и с нашата работа [33], където  $\alpha$  изразихме в най-общ вид чрез

$$(14) \quad \alpha = \alpha_0 + \alpha_d [\cos(\theta + \tau)].$$

Получената тук пропорционалност на  $\alpha$  с  $\cos \chi$  дава основание да считаме, че  $\theta$  е нула или малка величина.

За да се види сезонният ход на аерономичните параметри  $\sigma$ ,  $H_0$  и  $\alpha$ , на фиг. 3 е показана зависимостта  $4 \lg f_0E(\lg \sec \chi_m)$  за София през 1963 г. по медианни месечни значения на  $f_0E$ . Очертават се сезонни изменения с  $p' \approx 0,7$ , която стойност е близка до получената за станция Monte Carre-lipo за 1964 г. (вж. [26]) и е по-голяма от съответната стойност за София за 1964 г. ( $p' \approx 0,5$ , вж. [17]). От анализа на получаваните по подобен път стойности на  $p'$  са вижда, че тази величина се мени съществено в различните наблюдателни пунктове и в зависимост от слънчевата активност. Трябва да се подчертае, че получаваните по този метод значения на  $p'$  са до известна степен условни и не съвсем точни.

Анализът на изчислените по (10) значения на  $J_{E,0}$  сочи, че най-съществено им влияе факторът  $p' \lg \sec \chi_m$ . Ако пренебрегнем този фактор, отрезите  $4 \lg f_0E_C$ , отговарящи на точките С, имат слаби изменения, които много зависят от изгревните условия за появата на отражения от слоя Е и в периода януари — август 1964 г. корелират добре с меката слънчева рентгенова радиация в диапазона  $44-60 \text{ \AA}$ . Трябва да отбележим, че из-



мененията на отрезите в логаритмичното поле  $\lg f_0 E (\lg \cos \chi)$  при  $\lg \cos \chi = 0$  са твърде слаби и за да бъдат добре забележими, налага се да се използват много точни, чести и прецизирани при представянето с права измервания. Тъй като разполагаме със стандартни данни, методът с отрезите прилагаме само за сравнение на получаваните по други начини индекси на йонизация.

На фиг. 4 са показани с непрекъсната плътна линия средните месечни стойности на  $J_{E,0}$  от станция Douibes, получени от среднодневните стойности на  $f_0 E$  според (12) при подходящи усреднявания около кулминацията на Слънцето (вж. [17]) и при  $p \approx 1$ . С тънка линия са показани съответните значения от отрезите в логаритмичното поле при пренебрегнат член  $p' \sec \chi_m$ . Вижда се удовлетворителното съвпадане на резултатите по двата метода. Обаче при  $p' \sec \chi_m \neq 0$  между тези резултати се явяват значителни разлики. За сравнение на фиг. 4 с пунктир са посочени средните стойности на интензивността  $\bar{F}$  на рентгеновите лъчи в диапазона  $44-60 \text{ \AA}$  по данни на спътника „Ариел I“ (в интервала от време, когато спътникът е давал достатъчно информация — от януари до август 1964 г.). Вижда се добрата корелация между индекса на йонизация и интензитета на най-вероятния йонизиращ агент. Между дневните стойности на  $J_{E,0}$  и  $F(44-60 \text{ \AA})$  получихме коефициенти на корелация 0,68 (за станция София) и 0,71 (за станция Douibes). Този резултат може да се изтъква в полза на представата за мекото рентгеново лъчение като главен йонизиращ агент на слоя  $E$ . Трябва да подчертаем, че между дневните значения на  $J_{E,0}$  и относителното число на слънчевите петна (по данни на Цюрихската служба за Слънцето) има много слаба корелация, която през някои периоди е дори отрицателна. Средните стойности на слънчевото



Фиг. 3

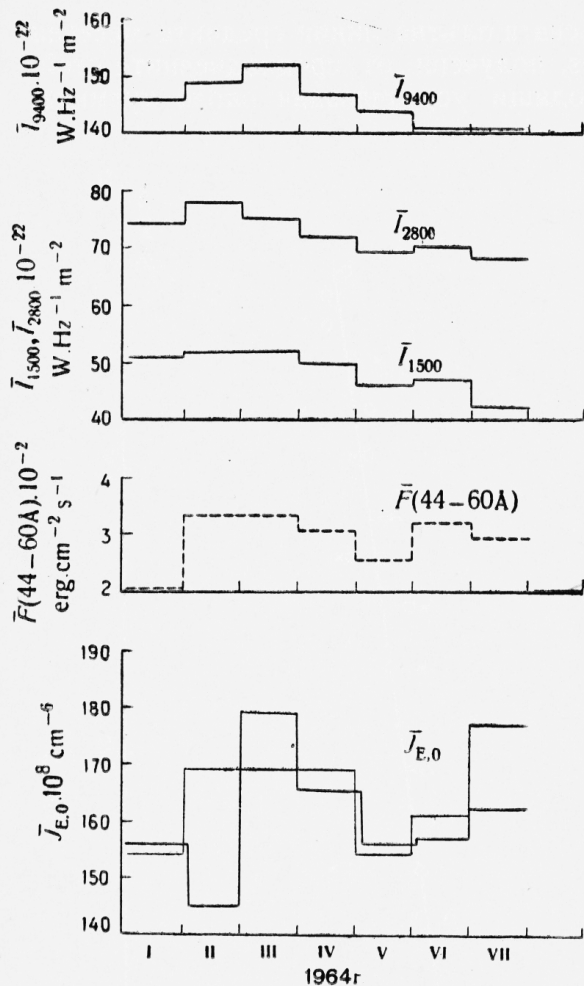
радиоизлъчване в диапазона на 1500 MHz добре корелират с  $F(44-60 \text{ \AA})$  (вж. фиг. 4).

Получената тук тясна корелация между отрезите  $J_{E,0}$  и  $F(44-60 \text{ \AA})$  ни дава възможност да предложим ново обяснение на намерената в [5, 6] зависимост на степенния показател  $n$  в косинусовия закон за  $f_0E$  от интензитета на радиацията в диапазона 44-60 \AA :

$$(15) \quad \bar{n} = a(1 + b\bar{F}),$$

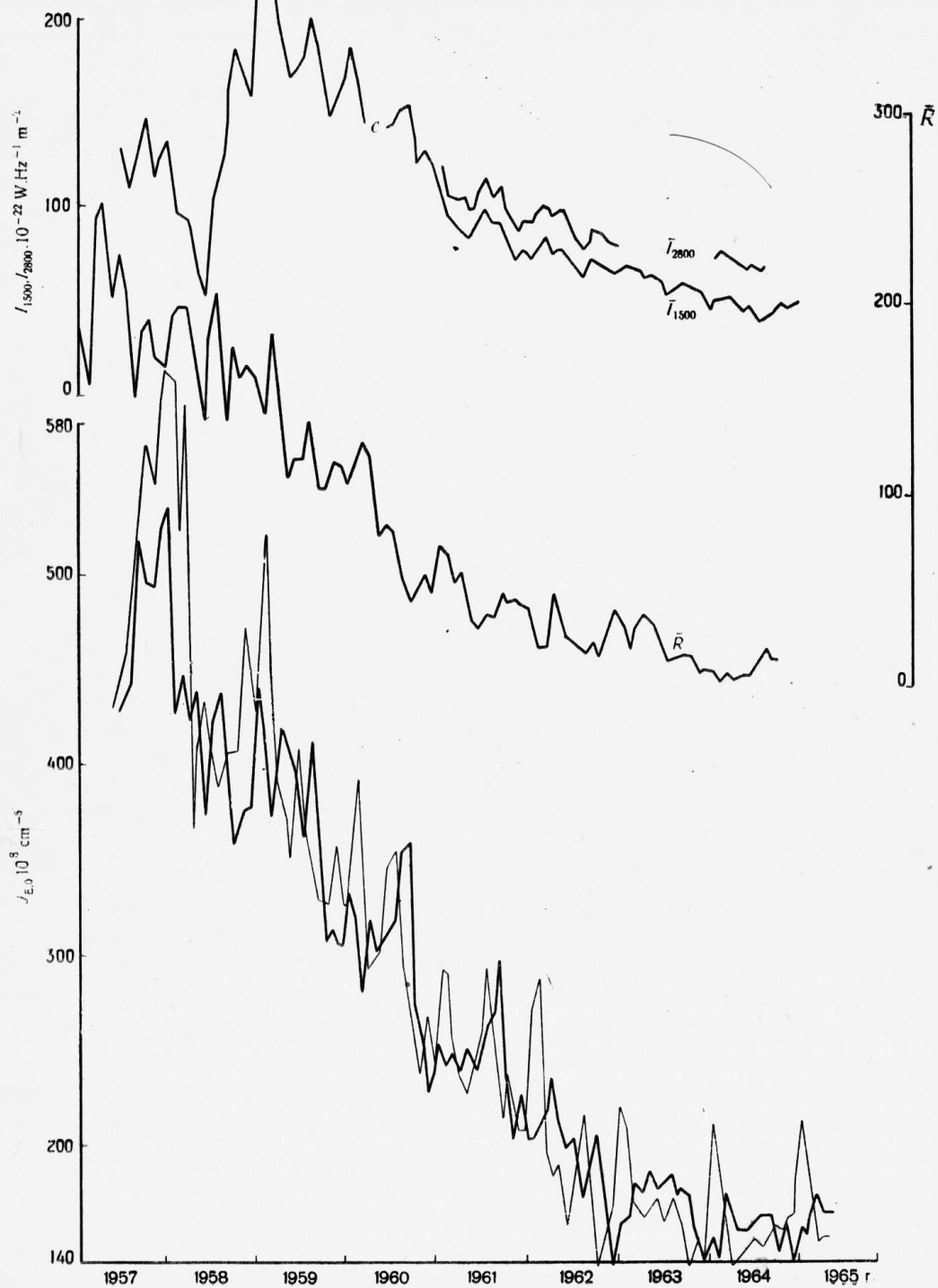
където за София  $a \approx 0,1$ , за Dourbes  $a \approx 0,19$ , а за двете станции  $b \approx 0,53$ . За тази цел обръщаме внимание на факта, че първите регистрации на слоя  $E$  при изгрев Слънце чрез вертикално йоносферно сондиране се явяват при приблизително една и съща електронна плътност, а следователно и при приблизително постоянно  $f_0E$ . Тъй като с тези регистрации се дефинира началото на правата (разликата в различните изгревни зенитни ъгли за поява на слоя  $E$  е малка) в логаритмичното поле  $\lg f_0E$  ( $\lg \cos \chi$ ), нейният наклон, т. е.  $n$ , ще зависи от околообедните значения за  $f_0E_m$ . А тъй като  $J_{E,0} \sim f_0E_m$ , следва, че и  $n \sim f_0E_m$ . Оттук корелацията на измерителната даденост  $f_0E_m$  с  $F(44-60 \text{ \AA})$  се пренася, отразява в аналитичните величини  $J_{E,0}$  и  $n$ .

За да може да се изяснят закономерностите на връзката на индекса на йонизация на слоя



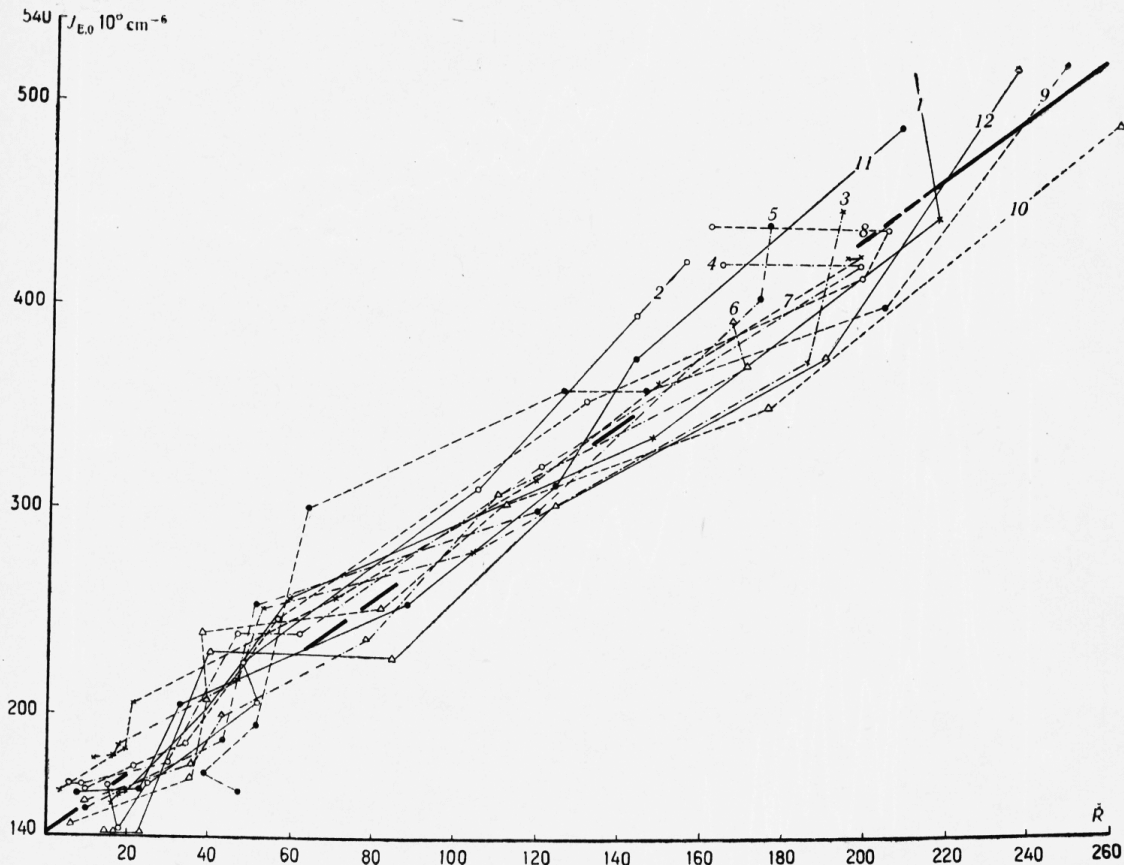
Фиг. 4

$E$  с хелиофизичните величини и за да се получат най-подходящите зависимости за прогнозиране на критичните честоти на слоя  $E$ , тук ще съпоставим измененията на  $J_{E,0}$ , изчислени в два варианта, с промените на относителното число на слънчевите петна и с радиоизлъчването от Слънцето в различни диапазони. На фиг. 5 с плътна линия са посочени промените на  $J_{E,0}$  при  $p=1$  за станция Dourbes, а с тънка линия измененията на същата величина, но при  $p \approx 1,1$ . Трябва да отбележим, че показателят  $p$  се мени от година в година (например за станция София  $p \approx 0,5$  за 1964 г. и  $p \approx 0,7$  за 1963 г.). За станция Dourbes средната стойност на  $p$  в разгледания осемгодишен период е около 1 (по-точно 1,1). Като се има пред вид, че  $p$  за станция Monte Cappelino е около 0,72, следва,



Фиг. 5

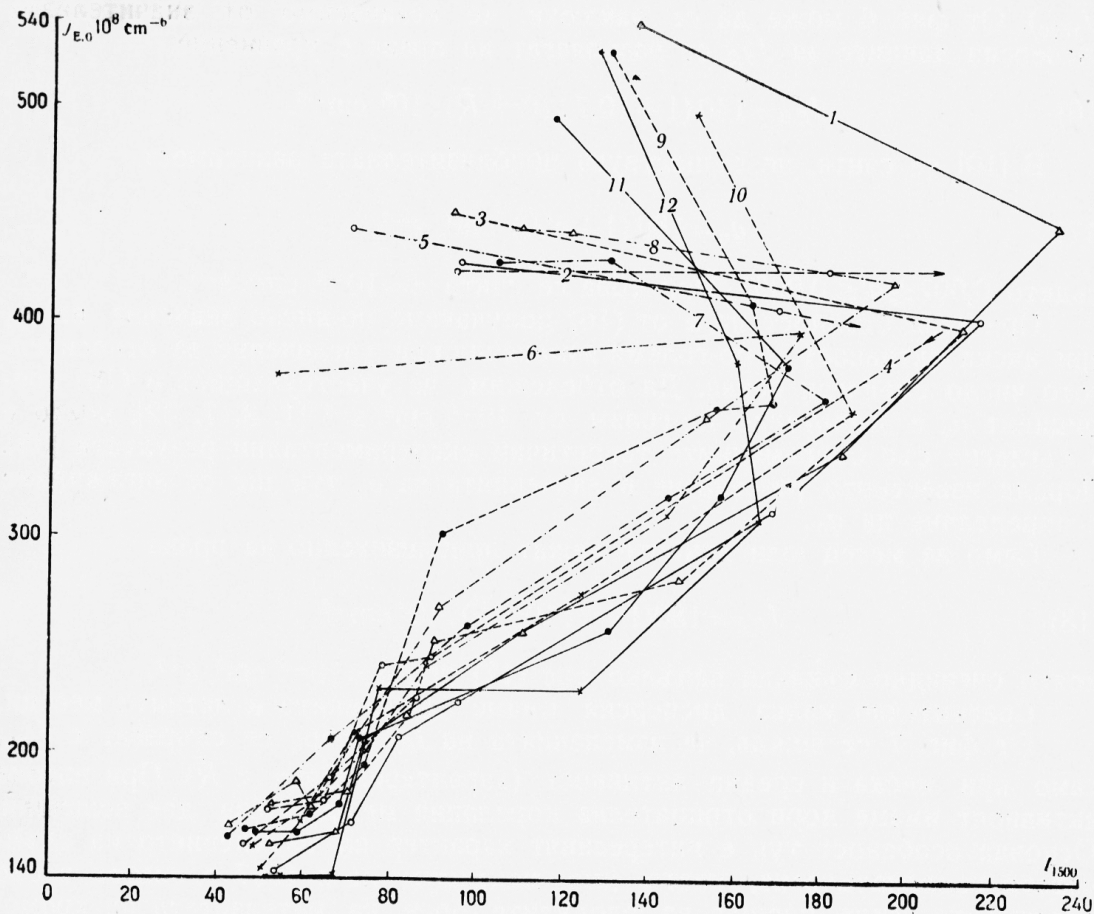
че тази величина се мени съществено в различните измервателни пунктове. Това съвпада с представата за различните дневни и сезонни зависимости на  $f_0E$  от  $\cos \chi$  поради различното местоположение на наблюдателите спрямо основната навивка на  $S_q$ -токовата система, генери-



иг. 6

раща  $S_q$ -вариациите на земното магнитно поле. На фиг. 5 за сравнение са нанесени и стойностите на средномесечния относителен брой слънчеви петна  $\bar{R}$ , както и на слънчевото радиоизлъчване в диапазона на 1500 MHz (20 cm). Според мнозина автори короналните процеси, съответни за генерацията на мекото рентгеново лъчение с дължина около 80–100 Å, би трябвало да излъчват съвместно с рентгеновите и радиовълни в приблизително 10–20-сантиметровия обхват (вж. напр. [10]). Тук установихме тясна връзка между рентгеновите излъчвания в средата на мекия участък  $\lambda\lambda$  44–60 Å и радиоизлъчването на 1500 MHz. Корелацията на X-лъчи в указания диапазон с радиоизлъчването на 2800 MHz през 1964 г. е по-слаба от тази с 1500 MHz, а корелация между  $F(44–60 \text{ \AA})$  и интензивността на радиоизлъчването около 9400 MHz почти липсва (сравни фиг. 4). Следователно можем да заключим, че при спокойно Слънце една добра характеристика за промените в интензивността на мекото рентгеново лъчение са измененията в радиоизлъчването на 1500 MHz. Поради това

на фиг. 5 са показани само измененията на това радиоизлъчване според данните на Heinrich-Hertz-Institut в Берлин [31]. За сравнение са показани и измененията на 2800 MHz за 1961, 1962 и 1964 г. според National Research Council, Ottawa (Канада).



иг. 7

От фиг. 5 следва, че: а) при  $p=1$  остава забележим сезонен ход в  $J_{E,0}$ , който е особено подчертан при ниска слънчева активност; б) не може да се очаква висока степен на корелация на наблюдаваните  $\bar{J}_{E,0}$  с който и да било от използваните за сравнение слънчеви характеристични параметри; в) промените на  $\bar{J}_{E,0}$  при ниска активност добре съответствуват на характера и относителната степен на изменение на интензивността на радиоизлъчването на 1500 MHz, но при висока активност тази връзка значително се нарушава и г) промените на  $\bar{J}_{E,0}$  за половин цикъл на слънчева активност най-добре съответствуват на усреднените изменения на относителното число на слънчевите петна. Тук подчертаваме, че такова съответствие съществува само за дълги периоди от време, и то за усреднени месечни величини. За ежедневно съответствие на дневни стойности не може да се говори.

Изводите от фиг. 5 се потвърждават от корелограмите на фиг. 6 и 7. На фиг. 6 са показани зависимостите на  $\bar{J}_{E,0}(p=1)$  за Douibes от  $\bar{R}$  в различните месеци на осемгодишния период, а на фиг. 7 — зависимостта на същата величина от интензитета на радиоизлъчването на 1500 MHz ( $\bar{I}_{1500}$ ). От фиг. 6 може да се заключи, че независимо от значителната дисперсия данните за  $J_{E,0}$  се разполагат на права с уравнение

$$(16) \quad J_{E,0} = 140(1 + 10,7 \cdot 10^{-3} \bar{R}) \cdot 10^8 \text{ cm}^{-6}.$$

В [10] се счита, че съществува приблизителната зависимост

$$(17) \quad q_0 = 180(1 + a' \bar{R}) \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1},$$

където  $0,007 \leq a' \leq 0,0095$ . При това се счита  $a \approx 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

При тази стойност на  $a$  от (16) получаваме по-ниско значение на  $q_0$  при ниска активност и по-големи изменения при увеличение за относителното число слънчеви петна. Да отбележим, че участващият в (16) коефициент  $\alpha_0$  е значително по-голям от  $10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  [1, 3, 7, 32], което е в съгласие със съвременните теоретични експериментални резултати [35]. Поради известното разсейване в значенията на  $\alpha_0$  тук ще се ангажираме с определяне на  $q_0$ .

Само за месец юли данните лежат приблизително на права

$$(18) \quad \bar{J}_{E,0} = 180(1 + 7 \cdot 10^{-3} \bar{R}) \cdot 10^8 \text{ cm}^{-6},$$

която очевидно съвпада напълно със (17) при  $a = 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Сравнително малка дисперсия имаме за зимните и летните месеци.

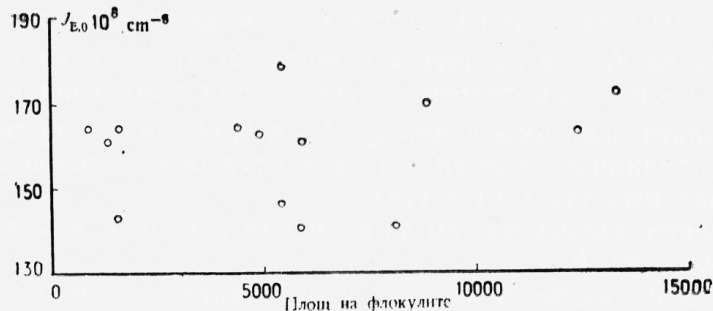
От фиг. 7 се вижда, че измененията на  $J_{E,0}$  добре се свързват с  $I_{1500}$  само при ниска и средна активност (характеризирана с  $\bar{R}$ ). При висока активност имаме дори отрицателна корелация между тези две величини. Основна особеност тук е интересният характер на изменението на слънчевото радиоизлъчване, което има максимум не в 1957 г. (както е със слънчевите петна, площта на флокулите, броя на интензитета на хромосферните ерупции и др. слънчеви характеристики), а през 1959 г. Всички точки извън праволинейния, нарастващ с увеличение на  $I_{1500}$  сноп на фиг. 7 се получават в периода 1957—1959 г. включително.

По наши наблюдения единствената йоносферна характеристика, екстремумът на която съвпада с този на  $I_{1500}$  (в 1959 г.), е продължителността на съществуване на слоя  $F1$ , която е минимална през 1959 г. Измененията на  $I_{1500}$  са съответни на тези в  $I_{9400}$ , т. е. и другото слънчево радиоизлъчване, което вероятно корелира с най-твърдото рентгеново лъчение (с  $\lambda < 3\text{\AA}$ ), има максимум през 1959, а не през 1957 г.

Една проба за корелация между  $J_{E,0}$  и изменението на площта на водородните флокули не донесе положителни резултати (фиг. 8). Очевидно е, че площта на флокулите, взета като самостоятелен параметър, не може да характеризира измененията на йонизиращия източник на слоя  $E$ .

От досегашния анализ следва, че краткосрочните средномесечни стойности на индекса на йонизация корелират в къси периоди при ниска и средна активност по-добре със съответните усреднени стойности на радиоизлъчването на 1500 MHz и рентгеновото лъчение в диапазона

44—60 Å, отколкото с относителното число на слънчевите петна и другите слънчеви радиоизлъчвания. Но за големи периоди от време и особено ако включим и участъците с висока слънчева активност най-добър показател за йонизацията на слоя  $E$  си остава относителното число на слънчевите петна



Фиг. 8

Тъй като в [17] и [26] показахме удовлетворителната корелация на ежедневните стойности на  $J_{E,0}$  с единствения непосредствено измерван йонизиращ агент ( $F(44-60 \text{ Å})$ ), целесъобразно е да се потърси такова съответствие и за по-дълги периоди от време. За тази цел използвахме инцидентните измервания на  $F(44-60 \text{ Å})$ , извършени през 1963 г. чрез спътника „1363—21-C“, пуснат от U. S. National Research Laboratory. Според [36] индикацията на потока слънчеви X-лъчи в лентата 44—60 Å през периода юни—юли 1963 г. указва за най-вероятна интензивност величината около  $8 \cdot 10^{-2} \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Тази стойност се потвърждава и от ракетните експерименти. При това измерванията на височини, близки до 190 km, сочат малко влияние на атмосферната абсорбция върху  $F(44-60 \text{ Å})$  с изключение на изгревно-залезния период на Слънцето. Следователно  $F(44-60 \text{ Å})$  се поглъща под 190 km, а това значи в слоя  $F1$  междинната  $E-F$ -област или, както показваме тук, в слоя  $E$ .

За сравнение използваме два дни от 1963 и 1964 г., в които имаме достатъчно точни измервания за  $F(44-60 \text{ Å})$  (от 23 юли 1963 г. за пет минути в средата на деня със средна стойност  $8,26 \cdot 10^{-2} \text{ erg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  и за 23 юли 1963 г. през целия ден със средна стойност  $2,65 \cdot 10^{-2} \text{ erg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Според наши наблюдения 23 юли е йоносферно спокоен ден и в двете години (1963 и 1964 г.), а според [31] в този ден не са установени резки повишения в радиоизлъчванията на Слънцето. По данни на йоносферната станция София  $J_{E,0} = 268$  и  $J_{E,0} = 192 \text{ cm}^{-6}$  за използвания ден съответно в 1963 и 1964 г. За отношенията на различните слънчеви характеристики в този ден от 1963 към 1964 г. имаме:  $\delta_{1500} = I_{1500}(1963)/I_{1500}(1964) = 1,35$ ;  $\delta_{9400} = 1,08$ ;  $\delta_{F(44-60 \text{ Å})} = 3,12$ , а сравнението с  $R$  е безсмислено, тъй като на 23. VII. 1963 г.  $R = 27$ , а на 23. VII. 1964 г.  $R = 0$ . Липсват данни за  $I_{2800}$ , но измененията на това радиоизлъчване са винаги между тези на лъченията с честоти 1500 и 9400 MHz. Следователно можем да приемем, че  $1,08 < \delta_{2800} < 1,35$ . За отношението между  $J_{E,0}$  имаме  $\delta J_{E,0} = 1,39$ . Следова-

телно отново потвърдихме, че измененията на  $J_{E,0}$  най-добре се представят с измененията на радиоизлъчването с 1500 MHz при ниска активност. Обаче полученият резултат за рентгеновото лъчение е изненадващ. То се мени много по-силно както от  $J_{E,0}$ , тъй и от радиоизлъчвания с  $\lambda \leq 20$  cm. При оценката на този резултат трябва да се има пред вид и фактът, че през юли корелацията между  $J_{E,0}$  и  $F(44-60 \text{ \AA})$  е сравнително най-слаба (коефициент  $r=0,61$  за 1964 г.). Оттук можем да заключим, че относителните изменения на  $J_{E,0}$  са значително по-слаби от тези на  $F(44-60 \text{ \AA})$  и се представят добре с съответните относителни изменения на  $I_{1500}$ . Разбира се, линейната зависимост между  $J_{E,0}$  и  $F(44-60 \text{ \AA})$  вероятно съществува и в многогодишни периоди, но тя е отслабена с някакъв множител подобно на зависимостта (16) и (18).

От изложения анализ можем да направим следните изводи за йонизиращия агент на слоя  $E$ :

1. Вероятно съществена част на йонизацията в слоя  $E$  се дължи на мекото рентгеново лъчение в диапазона  $\lambda 44-60 \text{ \AA}$ .

2. Съществуват и други йонизиращи източници, които се проявяват особено отчетливо при висока активност.

3. От разгледаните станции относителното число на слънчевите петна е удобен параметър за получаване на йонизацията в дълги усреднени периоди независимо, че  $J_{E,0}$  не корелира с площта на флокулите.

4. Получава се несъответствие на максимумите на слънчевото радиоизлъчване с  $J_{1500}$  и относителното число на слънчевите петна, като разместването между тях достига 2 години.

5. При ниска активност относителните изменения на  $J_{E,0}$  най-добре следват тези на радиоизлъчването на 1500 MHz, а дневните стойности на  $J_{E,0}$  корелират добре с интензивността на рентгеновото лъчение в диапазона  $\lambda 44-60 \text{ \AA}$ . Последното добре съответствува на  $I_{1500}$ .

### Заклучение

Като се посочва значението на индекса на йонизация на слоя  $E$  като индиректна слънчева характеристика, по-специално за характеризиране на спокойните коронални изменения, изложена е необходимостта от отчитане на сезонните изменения в аерономичните параметри, които досега не се отстраняваха от индекса на йонизация. Предложен е метод за използване на всички дневни значения на критичната честота  $f_oE$  при определяне на индекса на йонизация на слоя  $E$ .

Доказва се, че квазистационарните условия и пренебрежимостта на дивергентния член са справедливи за йонизационно-неутрализационните процеси на слоя  $E$  в съществена част на деня. Измененията на  $\alpha$  са свързани с  $\cos \chi$  и могат да имат малко отклонение спрямо екстремумите в зенитния ъгъл на Слънцето.

Методът с отрезите в логаритмичното поле е приложим при висококачествени йонограми и съответна много точна интерпретация.

В дългосрочни периоди усреднените стойности на индекса на йонизация корелират най-добре с относителното число на слънчевите петна. Еднодневните стойности на този индекс корелират главно с интензивността на слънчевото рентгеново излъчване в обхвата  $\lambda 44-60 \text{ \AA}$  и по-



слабо с радиоизлъчването на честота 1500 MHz. Относителните вариации на индекса най-добре съответствуват на относителните изменения на 1500 MHz.

Тази работа е естествено продължение на започнатите съвместно с д-р В. Летфус (Астрономическа обсерватория Онджепов в ЧССР) съвместни изследвания [17] и [26]. Ползвам се от случая да изкажа благодарността си на д-р Летфус за указаната помощ с някои материали и дискусия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Серафимов К., Известия на Геофизичния институт на БАН, **5**, кн. 2, 1964, 55.
2. Серафимов К., Н. Горинов, Известия на Геофизичния институт на БАН, **5**, кн. 2, 1964, 95.
3. Serafimov K., Pure and Appl. Geophysics, **57**, no 1, 1964, 133.
4. Harmischmacher E., Compt. Rend. Acad. Sci. (Paris), **230**, 1950, 1301.
5. Serafimov K., Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., **19**, no 1, 1966.
6. Serafimov K., Gerlands Beitr. zur Geophysics (Unter Druck), 1966.
7. Nestorov G., I. Taubenheim, Journ. Atm. Terr. Phys., **24**, 1962, 633.
8. Appleton E. V., A. I. Lyon, Journ. Atm. Terr. Phys., **10**, 1957, 1.
9. Serafimov K., Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., **19**, no 2, 1966.
10. Ratcliffe J. A., Physics of the upper atmosphere, Academic press, New-York and London, 1960.
11. Альперт Я. Л., Распространение радиоволн и ионосфера, Москва, Изд. АН СССР, 1960.
12. Николе М., Аэрономия, Москва, 1964.
13. Николе М., Сб. Распределения электронной концентрации в ионосфере и экзосфере, Москва, 1964.
14. Haves R. I., H. Friedman, E. O. Hulbert, Physics of the Ionosphere, 273 London, 1954.
15. Kundu M. R., Journ. Geoph. Res., **65**, no 12, 1960, 3903.
16. Kundu M. R., Space Sci. Rev., **2**, 1963, 438.
17. Серафимов К., В. Летфус, Известия на Геофизичния институт на БАН, т. IX, 1966.
18. Серафимов К., Известия на Геофизичния институт на БАН, т. VII, 1965, 61.
19. Blamont I. E., M. L. Chanin-Lory, COSPAR Symp., Florence, 1964 (preprint).
20. Schaefer E. I., M. H. Nicols, COSPAR, Space Res., **4**, 1963, 205.
21. Appleton E. V., R. Naismith, Phil. Mag., **27**, 1939, 144.
22. Minnis C. M., G. H. Bazzard, Journ. Atm. Terr. Phys., **17**, 1961, 57.
23. Appleton E. V., A. I. Lyon, Journ. Atm. Terr. Phys., **21**, 1961, 73.
24. Naismith R., H. C. Bevan, P. A. Smith, Journ. Atm. Terr. Phys., **21**, 1961, 167.
25. Bossolasco M., El. Antonio, Geofis. e meterol., **13**, no 5-6, 1964, 115.
26. Летфус В., К. Серафимов, Геомагнетизм и Аэрономия, **6**, 1966 (под печат).
27. Серафимов К., Доклады БАН, **18**, 10, 1965, 915.
28. Serafimov K., Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., **18**, no 8, 1965, 735.
29. Серафимов К., Известия на Геофизичния институт на БАН, т. IX, 1966.
30. Observations ionospheriques, Station de Dourbes, 1957-1965.
31. Heinrich-Hertz-Institut, Beobachtungsergebnisse, 1957-1965.
32. Serafimov K., N. Gorinov, Gerlands Beitr. zur Geophysics, **73**, no 5/6, 1964, 257.
33. Serafimov K., Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., **18**, No 3, 1965, 211.
34. Pounds K. A., Ann. d'astrophys., **28**, No 1, 1965, 132.
35. Данилов А. Д., Г. С. Иванов-Холодный, Успехи физ. наук, **85**, вып. 2, 1965, 259.
36. Thomas L., Nature, **203**, no 4948, 1964, 962.

## ИЗМЕНЕНИЯ, НАСТУПАЮЩИЕ В ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ ИОНОСФЕРНОГО СЛОЯ *E*

*К. Серафимов*

(Резюме)

Изложена необходимость учитывания сезонных изменений индекса ионизации (характеристическое число), которые до сих пор не устранялись и поэтому нельзя было достичь независимости от аэрономических влияний. Предлагается метод использования не только околополуденного, но и всех суточных значений  $f_0E$  для получения индекса ионизации. Доказывается, что квазистационарные условия и пренебрежимость дивергентным членом являются правильными в отношении нейтрализационных процессов, протекающих в слое *E* в течение существенной части суток. В долгосрочные периоды, приведенным, к средним величинам индекса ионизации для станции Dourbes коррелируют лучше других с относительным числом солнечных пятен. Односуточные значения этого индекса коррелируют главным образом с интенсивностью рентгенового лучения Солнца в охвате  $\lambda\lambda$  (44 ÷ 60) Å. Относительные вариации индекса соответствуют лучше всего относительным изменениям радиолучения Солнца на частоте 1500 MHz.

## VARIATIONS IN THE IONISING RADIATION OF THE IONOSPHERIC *E*-LAYER

*K. Serafimov*

(Summary)

The need is explained for recording the seasonal changes in the index of ionisation (the characteristics figure), which so far have not been eliminated and for this reason no independence from aeronomic influences has been achieved. A method is suggested not only for the mid-day but also for all daily values of  $f_0E$  for obtaining the index of ionisation. It has been demonstrated that the quasistationary conditions and the disregard for the divergent part are justifiable for the ionisation-neutralisation processes of the *E*-layer in the predominant part of the day. For long-term periods the mean values of the ionisation index for the Dourbes station best correlate to the relative number of the sun spots. The one-day values of this index correlate chiefly to the intensity of the Sun's roentgen radiation in the band  $\lambda\lambda$  44–60 Å. The relative variations of the index correspond best to the relative changes in the radio radiation from the Sun in the 1,500 Megacycle frequency.