

## ИЗМЕНЕНИЕ НА ШУМАНОВИТЕ ЧЕСТОТИ

### CHANGE OF SCHUMANE FREQUENCIES

**Yordan Shterev Ivanov**

NMU "Vasil Levski", Veliko Tarnovo

*jshtere@abv.bg*

#### **Abstract**

*This article presents the origin of Schumann frequencies, their measurement and monitoring. The results of their measurements are presented and their diurnal and seasonal variations are analyzed. Application areas of Schumann frequencies are discussed.*

**Keywords:** Schumann frequencies, diurnal and seasonal variations.

#### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Никола Тесла допуска, че съществува зареден слой на земната атмосфера, получен от слънчевата активност. Зареденият слой йоносферата като термин не е бил въведен още. Тесла счита че, зареденият слой и земната повърхност образуват сферичен кондензатор, а в пространството на кондензатора се разпространяват електромагнитни вълни (ЕМВ).

Немският физик Вилфрид Ото Шуманом през 1952 год. предлага идеята за съществуване на ЕМВ с теоретична обосновка между земната повърхност и долните слоеве на йоносферата. Шумановите честоти са ЕМВ в затворен вълновод. Те са експериментално регистрирани в периода 1952-1954 г. [2, 4, 7].

За правилното разбиране на принципа на това явление е необходимо да се има предвид, че резонансните сигнали на Шуман не са независими сигнали, генерирани от определен специален източник, а сигнали определени от резонансните свойства на земно-йоносферния вълновод от общия естествен свръхнискочестотен електромагнитен шум, генериран главно (но не само) от атмосферни електрически разряди. Настоящата статия е кратък поглед за произхода на Шумановите честоти, тяхното измерване, мониторинг, а също и някои резултати от измерванията им в последните години, дискутирани са приложни области на Шумановите честоти.

#### **ПРОИЗХОД НА ШУМАНОВИТЕ ЧЕСТОТИ**

Земята заедно с йоносферата се разглежда като обемен сферичен кондензатор. Вътрешната сфера е Земята, а външната е йонизираният газ на йоносферата на разстояние около 80 км. Ако ЕМВ се отразява цяло число пъти от повърхността на Земята и йоносферата, то възниква резонанс. Тя е стояща вълна и може да съществува продължително време. За скорост на ЕМВ почти  $c=300000$  km/s и дължината на обиколката на Земята  $L=40000$  km, честотата на резонансът в Hz е:

$$f = cn/2\pi R_3 = 7.5n, \quad (1)$$

където  $n$  е поредният номер на хармониката на резонанса,  $R_3 = 6370$  km е радиусът на Земята [2]. Честотите за първите пет изчислени хармоници на резонанса са дадени в

таблица 1. От нея се вижда, че с нарастване на честотите нараства и грешката в сравнение с фактически измерените. Възможна причина е използване на евклидовата геометрия, която не е предназначена за сферични форми. Когато се ползва сферична геометрия, то честотите се изразяват с:

$$f = (C/2\pi R_3)\sqrt{n(n+1)} = 7.5 \sqrt{n(n+1)}. \quad (2)$$

Този израз има още по-голяма грешка за получените стойности. Той е в сила за вълновод с идеално токопроводящи стени. Повърхността на Земята в първо приближение удовлетворява това условие. Обаче загубите в йоносферата забавят скоростта на разпространение на ЕМВ и намаляват честотата. Затова Шуман въвежда в израза идеален вълновод без загуби, реалната част на комплексния показател на пречупване на ЕМВ -  $\text{Re}(\sigma)$ .

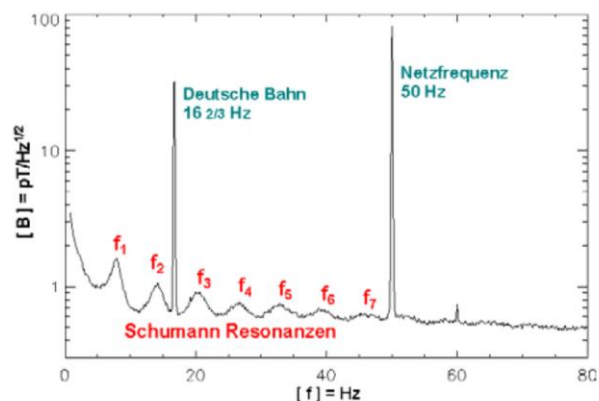
$$f = [C/2\pi R_3 \text{Re}(\sigma)]\sqrt{n(n+1)} = [7.5/\text{Re}(\sigma)] \sqrt{n(n+1)} \quad (3)$$

От последният израз се получават по-близки стойности до измерените за високите честоти, но за ниските има по-голяма грешка. Това е обусловено от промяната на реалните стойности на показателя на пречупване на йоносферата с изменение на честотите.

**Табл. 1.** Изчислени и измерени честоти на резонанса на Шуман.

модел	Честоти от 1-ва до 5-та хармоника, Hz				
Идеален евклидов	7.5	15.0	22.5	30.0	37.5
Идеален сферичен	10.6	18.4	26.0	33.5	41.1
Сферичен Шуманов (със загуби)	8.5	14.7	20.8	26.8	32.9
Измерени стойности	7.8	14.1	20.3	26.4	32.4

На фиг.1 са дадени първите 7 резонанса на Шуман, измерени в Silberborn в планината Solling (Германия). Въпреки че най-близката електрическа железопътна линия е на около 30 км, сигналите 16 2/3 Hz и мрежовата честота 50 Hz са много по-силни от резонанса на Шуман. Увеличението на спектъра при честоти <5 Hz се причинява от така наречените магнитни микропулсации, които произхождат от земната магнитосфера [2].



**Фиг. 1** Седем резонанса на Шуман.

Освен указаните модели, използва се изчислителна техника за създаване на по-точни модели, а също ползване апарата на квантовата електродинамика, вместо уравненията на Максвел. Дадените в таблица 1 измерени стойности са средни за централните честоти на спектъра за съответната хармонична. Текущата стойност не е стабилна и зависи от много фактори, но преди всичко от характеристиките на йоносферата.

Йоносферата условно е разделена на слоеве. Слой D е на височина 60—90 км и концентрация на заредените частици  $N_{\text{max}} \sim 10^2 - 10^3 \text{ cm}^{-3}$ . Слой E с височина 90—120 км с плътност на плазмата до  $N_{\text{max}} \sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$ . Слой F е над 130—140 км. Максималната концентрация на електроните и йоните е на височина 250—400 км.

Честотите на Шуман многократно преминават през вълновода Земя – йоносфера. От тяхното отражение и сумиране се образуват стоящи вълни. В по-елементарен вариант се разглеждат като двумерни, но всъщност са тримерни динамични вълни.

Мълниите са част от глобалната атмосферна електрическа верига. Силата на тока за тях е от порядъка на десетки хиляди ампера, потенциална разлика до 100 милиона волта, излъчват светлина, радиовълни, рентгенови лъчи и дори гама лъчи. Температурите могат да достигнат  $28\,000^0$  келвина, а плътността на зарядите до около  $10^{24} /\text{m}^3$  [4, 7].

### ИЗМЕРВАНЕ НА ШУМАНОВИТЕ ЧЕСТОТИ

Основни станции за наблюдение на Шуманови резонансни вълни са:

- Томски държавен университет (Русия, гр. Томск);
- Модраска обсерватория, (Словакия, гр. Модра);
- Лехта (република Карелия, Русия);
- West Greenwich (САЩ);
- Hollister и Parkfield (САЩ);
- Moshiri (Япония);
- станция Мартова (Украйна);
- Университет Иоаннин (Гърция);
- Nagucenk (Унгария);
- Mitzpe Ramon (Израел);
- Модраска обсерватория (Словакия);
- Харковски Радиоастрономически Институт;
- полска станция Hornsund на Шпицберген;
- Johnson County (САЩ);
- Сиерра-Невада (САЩ);
- Белск (Полша);
- Eskdalemuir (Шотландия);
- Калкута и Агра (Индия);
- Индийска станция Maitri (в Антарктика);
- станция Каримшина (РФ, Камчатка);
- японска антарктическа станция Syowa и др.

Общо станциите за измерване честотите на Шуман и техни характеристики са над 200.

Измерването на резонансните честоти на Шуман се затруднява от ниското ниво на сигнала, ниската честота на сигнала, относително високо ниво на загуби. Затова се измерва в повечето случаи само хоризонталната компонента на магнитното поле. Той има стойност от порядъка (0,001 - 1) рТ. Станциите за измерване се разполагат далеч от източници на смущения (далеч от населени райони). Ниското ниво на сигнала поставя изисквания към апаратурата и загубите, а ниската честота на сигнала – към конструкцията на ефективни датчици-антени. Облегчаващ фактор за измерване е вертикалната поляризация на сигнала - <http://janto.ru/repository/008/02.html>.

За получаване на пълна информация на ЕМВ на резонанса е необходимо измерване на всички пространствени електрически и магнитни компоненти на полето. Обаче основен дял имат разрядите от мълниите, то може да се приеме, че поляризацията на ЕМП на резонанса се явява вертикална и се ограничава до измерване на вертикалната компонента на електрическото поле и две хоризонтални компоненти на магнитното поле. Освен това

създаването на електрически антени е по-сложно отколкото магнитни. Затова обикновено се измерват двете хоризонтални компоненти.

За измерване на магнитната компонента ползва се датчик за измерване на магнитното поле. Той е бобина с голям брой намотки ( $a \cdot 10000$ ). За повишаване на чувствителността и намаляване на размерите използва се сърцевина с висока магнитна проницаемост. Намотките и сърцевината имат голям собствен капацитет, през който във веригата на датчика могат да проникнат електростатични загуби. За защита от тях конструкцията се помества в заземен електростатичен екран от немагнитен материал.

За измерване на вертикалната електрическата компонента за датчик се използва токопроводяща сфера, диск или друго обтекаемо тяло, поставено на височина няколко метра над земята на опора от изолатори. Такъв датчик е кондензатор, на който единият полюс е тялото, а другият е земята. Електрическото поле между тях е вертикалната компонента на естественното електрическо поле. Затова при изменение на напрежението на вертикалната електрическа компонента на резонанса на Шуман, изменя се потенциала на проводящото тяло по отношение на земята. Измерва се този потенциал. Основният проблем се явява малката стойност на капацитета на кондензатора и високото входно съпротивление на честотите на измерване – около няколко гигаома. Затова е необходимо минимизиране на утечките. Датчиците на вертикалната електрическа компонента реагират на случайни изменения на електрическото поле, предизвикани от всевъзможни странични фактори – движение на птици, животни, дървета, въздуха, акустични вибрации, капки дъжд и др.

### ИЗМЕНЕНИЕ НА ШУМАНОВИТЕ ЧЕСТОТИ

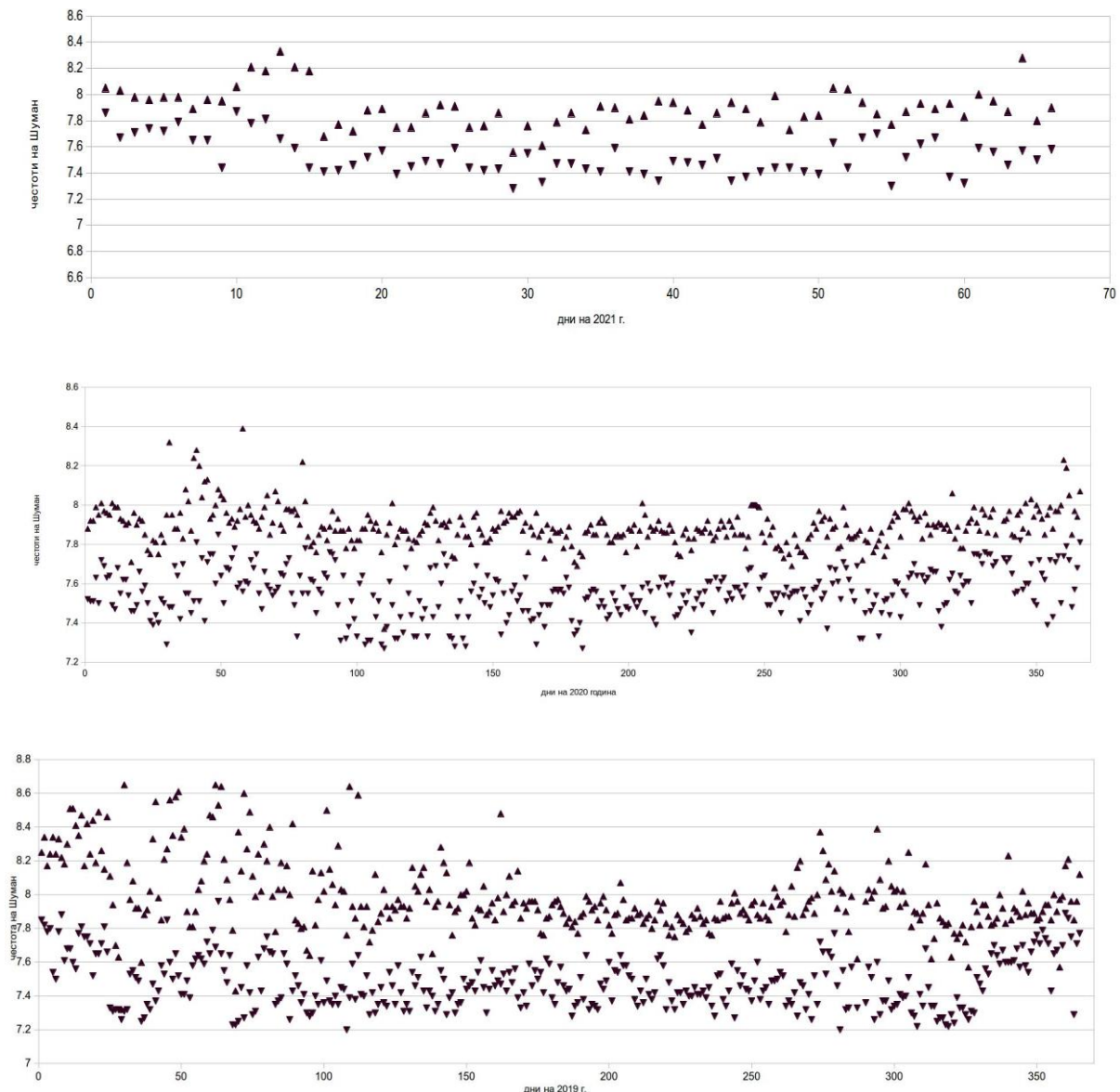
В този раздел са дискутирани стойности на Шумановите честоти достъпни на адрес <http://janto.ru/cosmogeolab/gm-factor/main.html> от 01.01.2019 год. за Томската станция. На фиг. 2 са дадени Шуманови честоти за 2021, 2020 и 2019 години. За 2021 год. данните са за 66 дена, 2020 год. с данни за 364 дена (за два дена липсват данни) и за 2019 год. за 362 дена (за три дена липсват данни). За трите години точките означени с малки плътни триъгълничета насочени нагоре указват максималните стойности за деня, а означените с триъгълничета надолу сочат за минималните стойности за деня. На фигурата за посочения период не е възможно да се отчете промяна на минимумите и максимумите на стойностите на Шумановите честоти.

В таблица 2 са дадени броят минимума и максимуми за дните на 2019, 2020 и 2021 за указаните интервали на Шумановите честоти в Томската станция. Вижда се значително намаление на броят минимални стойности за интервала (7.2-7.4) Hz (най-малкият интервал) през 2020 г. в сравнение с 2019 г. За интервалите (7.4-7.6) Hz и (7.6-7.8) Hz се наблюдава значително увеличение на

Честоти, Hz	Мин.			Мах.		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021
7.2-7.4	125	38	11	1	1	0
7.4-7.6	155	196	38	2	0	1
7.6-7.8	72	124	14	31	45	15
7.8-8	10	5	3	197	281	38
8-8.2		1		70	30	8
8.2-8.4				35	7	4
8.4-8.6				20		
8.6-8.8				6		

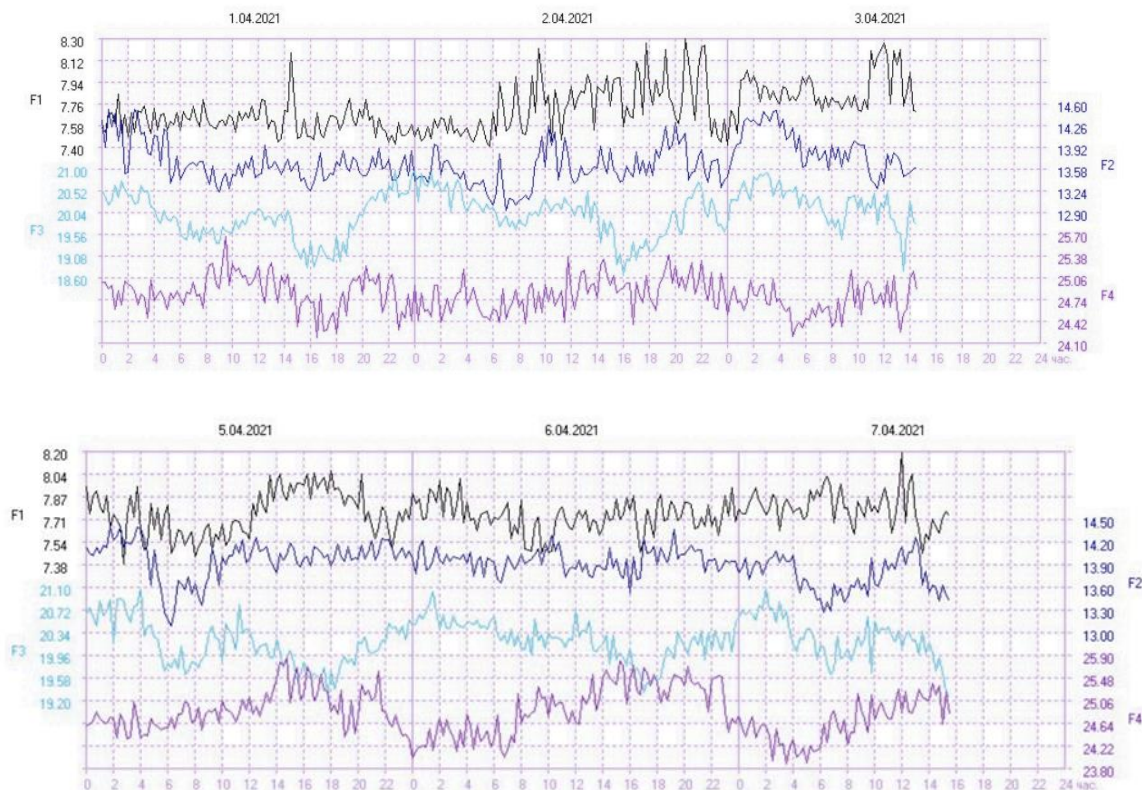
броят на минималните стойности през 2020 г. в сравнение с 2019 г. За броят на максималните стойности за интервалите (7.6-7.8) Hz и (7.8-8) Hz през 2020 г. има значително увеличение за сметка на честотите над 8 Hz. За 2021 г. данните са твърде малко засега.

От таблица 2 се вижда увеличение на броят максимални стойности на Шумановите честоти, но тия данни са за твърде малко години, за да може да се твърди категорично.



**Фиг. 2.** Шуманови честоти за 2019, 2020 и 2021 години в Томската станция.

В [1] е показано, че за три различни станции (Лехта в република Карелия, Русия; Томски университет в Западен Сибир и пустинята Негев в Израел) на наблюдение на Шумановите честоти, максималните стойности на амплитудите в тях по едно и също местно време имат сходни денонощни стойности. Тоест амплитудата зависи от местното време или от пространствено-временното разпределение на метеорологичните бури. Освен това за честотите се наблюдават сходни сезонни-денонощни закономерности, ако се приведат данните към едно време. Следователно динамиката на честотите е еднаква за цялата Земя, тоест честотите не зависят от източниците (мълнии и др.), а от характеристиките на резонатора (йоносферата).



**Фиг. 3.** Честотите на шумановите честоти за различните часове на денонощието за 01-03 април и 05-07 април 2021 г. в Томската станция.

На фиг. 3 са дадени честотите на шумановите честоти за различните часове в денонощието на 01-03 април и 05-07 април 2021 г. Данните са взети от [http://sosrff.tsu.ru/?page\\_id=9](http://sosrff.tsu.ru/?page_id=9).

### ПРИЛОЖЕНИЯ НА ШУМАНОВИТЕ ЧЕСТОТИ

**Настояще и бъдеще на Шумановия резонанс** - <http://janto.ru/repository/008/annex-b.html>

- Резонансите на Шуман са свързани с глобалната гръмотевична активност и също така с климатичните явления в тропосферата. Те могат да се използват като инструмент за изучаване на климата [2].
- Резонансите на Шуман могат да се използват за изследване и мониторинг на измененията в ниските слоеве на йоносферата, предизвикани от дневна/нощна асиметрия, слънчевата активност или ядрени взривове.
- Резонансите на Шуман представляват интерес за изследване на други небесни тела. Съществуването им предполага наличие на електрическа активност в атмосферата на планети и спътници.
- Предполага се използване резонансите на Шуман като инструмент за прогнозиране на земетресения. Обаче съпътстващите физически механизми още не са ясни и наблюденията не позволяват да се направят еднозначни изводи.

- Анализа на пространството Земя-йоносфера е малко ефективно с изключение на силно опростени модели.
- Числените модели на пространството Земя-йоносфера се явяват много сложни, поради големия диапазон на размерите (100 км височина и 6400 км радиус).
- Случайният характер на мълниите затрудняват интерпретацията на наблюденията на резонанса на Шуман. Необходимо е задълбочаване на разбирането на механизма на глобална гръмотевична активност [4].

#### **Смущения върху Шумановите честоти, причинени от земетресения**

- Изучаване на смущенията включват локални вариации на атмосферната проводимост.
- Смущенията се подчиняват на гаусовото разпределение с максимум в епицентъра на земетресението.
  - Пълният радиус на смущението се определя от магнитудата на земетресението.
  - Изменението на степента на смущението се предполага, че е свързано с изменението на височината на профила на проводимост.

#### **Регистрация на разряди от мълнии.** <http://janto.ru/repository/008/annex-a.html>

Тъй като всеки електрически разряд (мълния – до 16 км височина) възбужда електромагнитни вълни във вълновода Земя-йоносфера, то достатъчни са три станции за регистрация, максимално отдалечени една от друга. Времето синхронизация между станциите се извършва с помощта на GPS-спътници. На подобен принцип е създадена глобална мрежа за мониторинг на гръмотевична активност на система за ранно предупреждение на въздушното движение. Освен това съществуват електрически изпразвания на височини около 50-100 км с червен цвят, наречени спрайтове, а също и със син цвят (сини искри) на височини около 40-50 км, които се появяват над силни гръмотевични бури. Връзката между последните и честотите на Шуман не са все още изучени [4].

#### **Глобален мониторинг на слой D**

Проводимостта на слой D на йоносферата е силно променлива. Определя се концентрация на електроните и взаимодействието между тях и неутралните частици. Концентрацията на електроните се определя от регулярни явления като денонощните часове, сезоните на годината. Взаимодействието между електроните зависи от налягането, което също е функция на регулярните явления. От друга страна има и нерегулярни вариации, причинени от Слънчевите изригвания.

#### **Климатични изменения.**

Резонансът на Шуман би могъл да служи за чувствителен термометър за измерване на глобални температурни изменения. Глобалната гръмотевична активност в значителна степен определя метеорологичните фактори, включително и температурата на екваториалната тропосфера. Шумановите резонанси позволяват да се измерят количествено глобалната гръмотевична активност [2]. Сравнение на електромагнитни и температурни данни указват за наличие на връзка между годишната вариация на интензивността на резонанса на Шуман и глобалната температура [3].

### **Биологични ефекти.**

Чувствителността на човешкото тяло към метеорологичното време нараства с увеличаване на амплитудата на естествените електромагнитни трептения с честота 10 Hz. Увеличава се времето на реакция и главоболието. Честотата на алфа-ритъмът на мозъчната дейност на човек е в диапазона между честотите на първия и втория хармоник на резонанса на Шуман [2, 6]. Съгласно [5] демонстрирано е подобие в спектралните модели и генерираните електромагнитни полета от човешкия мозък и земно-йоносферното пространство.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Тази статия представя произхода на Шумановите честоти, тяхното измерване и мониторинг. Дадени са резултати от измерванията им за 2019 г., 2020 г. и началото на 2021 г. от Томската станция. Дискутирани са приложни области на Шумановите честоти и са анализирани техните денонощни и сезонни вариации.

Множеството станции, регистриращи Шумановите честоти на различни географски ширини и дължини, комплексната сложност на явленията, които ги обуславят от една страна и техните въздействия както върху природни явления, така и биологични такива обуславят бъдещи изследвания в тази област.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] A.A. Dreviannux, S.A. Kolesnik, Seasonal and Daily Patterns of the Parameters of Schumann Resonances in Different Regions of the Earth, *Izvestia of higher educational institutions, V. 55, № 8 Physics 2012, UDC 621.317.361.029.42.* (*А.А. Деревянных, С.А. Колесник, Сезонно-суточные закономерности параметров шумановских резонансов в разных регионах земли, Известия высших учебных заведений, Т. 55, № 8 Физика 2012, УДК 621.317.361.029.42.*)
- [2] Kristian Schlegel, Martin Füllekrug, 50 Years of Schumann Resonance, *Physik in unserer Zeit*, 33(6), 256-26, 2002. Translation: Catarina Geoghan, 2007.
- [3] M. Sekiguchi, M. Hayakawa, A. P. Nickolaenko, Y. Hobara, *Evidence on a link between the intensity of Schumann resonance and global surface temperature*, [www.ann-geophys.net/24/1809/2006/](http://www.ann-geophys.net/24/1809/2006/), *European Geosciences Union 2006.*
- [4] Colin Price, *ELF Electromagnetic Waves from Lightning: The Schumann Resonances, Atmosphere 2016, 7, 116; www.mdpi.com/journal/atmosphere.*
- [5] Kevin S. Saroka, David E. Vares, Michael A. Persinger, Similar Spectral Power Densities Within the Schumann Resonance and a Large Population of Quantitative Electroencephalographic Profiles: Supportive Evidence for Koenig and Pobachenko, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146595>, January 19, 2016.
- [6] Dag Brune, Ragnar Hellborg, Bertil R. R. Persson, Rauno Pääkkönen, *Radiation at Home, Outdoors and in the Workplace*, Scandinavian Science Publisher ® , Oslo, 2001.
- [7] Yosef Hill, *Introduction to Atmospheric Electricity*, Orange Apple, New York, 2016.