

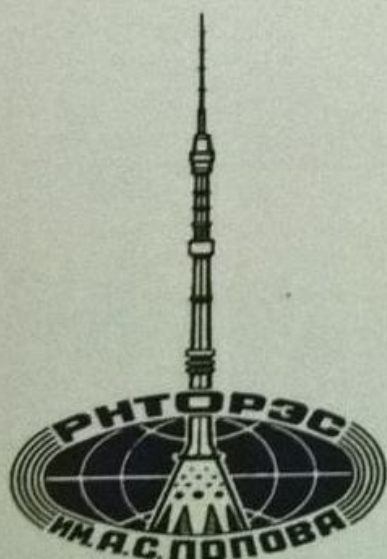
К. 216 1.209

# ДОКЛАДЫ

## РОССИЙСКОГО научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова

Серия: ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Выпуск: IX



МОСКВА - 2017

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
РОССИЙСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО  
РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ ИМ. А.С. ПОПОВА**

**ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. В.А.  
КОТЕЛЬНИКОВА РАН**

**FEDERAL AGENCY SCIENTIFIC ORGANIZATIONS  
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
THE RUSSIAN SCIENCES ENGINEERING A.S. POPOV SOCIETY FOR  
RADIO, ELECTRONICS AND COMMUNICATION**

**V.A. KOTELNIKOV'S INSTITUTE OF RADIOENGINEERING &  
ELECTRONICS, RAS**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА**

**ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ - 2017**

**МОСКВА, 5-7 ДЕКАБРЯ 2017 г.**

**PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM**

**ENGINEERING ECOLOGY - 2017**

**MOSCOW, 5- 7 DECEMBER, 2017**

**МОСКВА, 2017**

**MOSCOW, 2017**

---

УДК 504(075.8) 504.064.4(075.8)

**Международный симпозиум «Инженерная экология – 2017»,  
Москва, Россия, доклады.**

**Под редакцией д.ф.-м.-н., проф. Мкртчяна Ф.А.**

УДК 504(075.8) 504.064.4(075.8)

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

д.т.н., проф.	Самхарадзе Т.Г.
д.т.н., проф.	Громов Ю.Ю.
д.ф.-м.н.	Амбросимов А.К.
к.т.н.	Потапов И.И.

ISBN 978-5-905278-31-0

**«Мероприятие проведено при финансовой поддержке Российского фонда  
фундаментальных исследований, Проект № 17-07-20583»**

© Авторы докладов  
© РНТОРЭС им. А.С. Попова

## **МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

**Председатель Международного организационного комитета академик  
Гуляев Юрий Васильевич**

**Председатель Международного программного комитета академик  
РАЕН, д.ф.-м.н., проф. Крапивин Владимир Феодорович**

**Заместитель председателя Международного организационного  
комитета  
член корр. РАЕН, иностранный член НАН Армении, д.ф.-м.-н., проф.  
Мкртчян Ферденант Анушаванович**

## **ПРОГРАММНАЯ ГРУППА МЕЖДУНАРОДНОГО ОРГКОМИТЕТА**

член-корр. Розенберг Г.С. (Россия), член-корр. Черепенин В.А. (Россия), д.ф.-м.н. Смирнов В.М. (Россия), академик Као Ван Фыонг (Вьетнам), проф. Нгуен Хуан Ман (Вьетнам), академик НАН Армении Хачатрян Г.Г. (Армения), д.ф.-м.н., проф. Полищук Ю.М. (Россия), д.т.н., проф. Д. Келли (США), проф. Варостос С.А. (Греция), проф. Рошон Г. (США), проф. Филипс Г. (США), проф. Ясумото К. (Япония), проф. Ширасава К. (Япония), проф. Ниту К. (Румыния), проф. Геворкян С.А. (Армения), доц. Калантарян П.А. (Армения), проф. Ку Тхань Шон (Вьетнам), проф. Нгуен Куанг Тан (Вьетнам), проф. Курковский А.П. (Россия, США), академик РАЕН, д.т.н., проф. Сидоров Ю.Е. (Россия).

## **АДМИНИСТРАТИВНАЯ ГРУППА МЕЖДУНАРОДНОГО ОРГКОМИТЕТА:**

Вице президент, директор Исполнительной дирекции РНТОРЭС им. А.С. Попова к.т.н., доц. Самсонов Г.А., д.ф.-м.н. Амбросимов А.К., д.т.н. Калечиц И.К., д.т.н., проф. Самхарадзе Г.Т., д.т.н. Ковалев В.И., д.ф.-м.н. Гранков А.Г., д.т.н., проф. Громов Ю.Ю., к.ф.-м.н., доц. Климов В.В., к.т.н. Потапов И.И., к.ф.-м.н. Солдатов В.Ю., к.ф.-м.н. Агаджанян М.Г., Зав. отделом РНТОРЭС им. А.С. Попова Алексеева Л.И., ст. инж. Красножен Л.А., инж. Алешина О.В.

# ГЛОБАЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ УГЛА ПОВОРОТА ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

д.ф.-м.н. Гранков А.Г., с.н.с. Мильшин А.А., вед. спец. Шелобанова Н.К.,  
инж. Ямпольская Е.А.

Фрязинский филиал ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
Российской академии наук

Представлены оценки глобальных суточных, спектральных и сезонных вариаций угла поворота плоскости поляризации радиоволн дециметрового диапазона при прохождении ионосферы. Для оценки Фарадеевского эффекта использовались глобальные карты полного электронного содержания в ионосфере (Global Ionospheric Maps) формата IONEX. Оценки Фарадеевского угла вращения выполнены на длинах волн 10, 15, 21, 30, 43, 50, 60, 75 и 100 см.

## Введение

При прохождении радиоволн через ионосферу происходит поворот плоскости поляризации излучения за счет магнитного поля Земли. Величина угла поворота плоскости поляризации (УППП) зависит от электронной концентрации, напряженности магнитного поля Земли, высоты и угла между направлением распространения волны и статического магнитного поля и растет обратно пропорционально квадрату частоты. В настоящей работе модель геомагнитного поля Земли была представлена полем диполя, расположенного в центре Земли. В отсутствие деполаризации яркостная температура (ЯТ) среды определяется коэффициентом излучения (отражения) и температурой среды, а эффект Фарадея приводит к появлению второй составляющей сигнала. Величина вариации ЯТ, обусловленная деполаризацией, пропорциональна разности коэффициентов излучения среды на вертикальной и горизонтальной поляризациях и квадрату синуса УППП. Влияние эффекта Фарадея определяется параметрами ионосферы и поляризационными свойствами среды [1-3].

В работах [1-3] были рассмотрены суточные, спектральные и сезонные изменения радиоизлучения атмосферы и УППП на локальных масштабах.

В настоящем докладе приводятся оценки суточных, спектральных и сезонных вариаций УППП на глобальных масштабах при разных метеорологических и гелиофизических условиях в рамках модели глобального радиотеплового излучения Земли в дециметровом диапазоне на основе экспериментальных данных о содержании электронов в ионосфере.

## Модель УППП

Величина поворота плоскости поляризации  $\Omega_F$  зависит от электронной концентрации  $N_e(h, t)$ , напряженности магнитного поля Земли  $H_0(h)$ , высоты  $h$  и угла  $\theta_B$  между направлением распространения волны и статического магнитного поля и растет обратно пропорционально квадрату частоты  $f$ :

$$\Omega_F = 1700 f^{-2} \int_{H_{\min}}^{H_{\max}} N_e(h, t) H_0(h) \cos \theta_B dh \quad (1)$$

где  $f$  в Гц,  $H_0(h)$  в А/м,  $N_e$  в  $\text{м}^{-3}$ ,  $h$ ,  $H_{\min}$ ,  $H_{\max}$  в км. Величина напряженности магнитного поля Земли незначительно изменяется с высотой в ионосфере и ее можно вынести из-под интеграла (1), тогда:

$$\Omega_F = 0.02966 \frac{H_0 \cos \theta_B}{f^2} TEC, \quad (2)$$

где полное электронное содержание в ионосфере  $TEC = \int_{H_{\min}}^{H_{\max}} N_e(h, t) dh$ .

Полное электронное содержание приводится в глобальных картах Global Ionospheric Maps (GIM) в формате IONEX [4,5]. Пространственное разрешение карт составляет  $2.5 \times 5$  градусов по широте и долготе. Левый верхний угол изображения карты соответствует  $87.5^\circ$  с.ш. -  $180^\circ$  з.д., а правый нижний угол соответствует  $87.5^\circ$  ю.ш. -  $180^\circ$  в.д.

В первом приближении геомагнитное поле Земли является полем диполя, расположенного в центре Земли, и представляется первым членом сферического гармонического ряда:

$$H_0(h) = \frac{M_E}{(R_E + h)^3} \sqrt{4 - 3 \cos^2 \varphi_M}, \quad (3)$$

где  $M_E$  - дипольный магнитный момент Земли,  $R_E$  - радиус Земли,  $h$  - высота над уровнем Земли,  $\varphi_M$  - геомагнитное наклонение.

### Суточные вариации УППП

Карты полного электронного содержания в формате IONEX представлены на сайте <ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex>. Мы скачивали эти файлы за 2014 год с сайта ИЗМИРАН. При обработке данные приводились к пространственному разрешению модели глобального радиотеплового излучения Земли 4x5 градусов по широте и долготе.

На рис. 1 представлены суточные вариации ЯТ ионосферы за 15.06.2014. Суточный ход радиоизлучения ионосферы обусловлен суточным ходом интегрального содержания электронов в ионосфере, вызванного изменениями освещенности земной ионосферы Солнцем в течение суток.

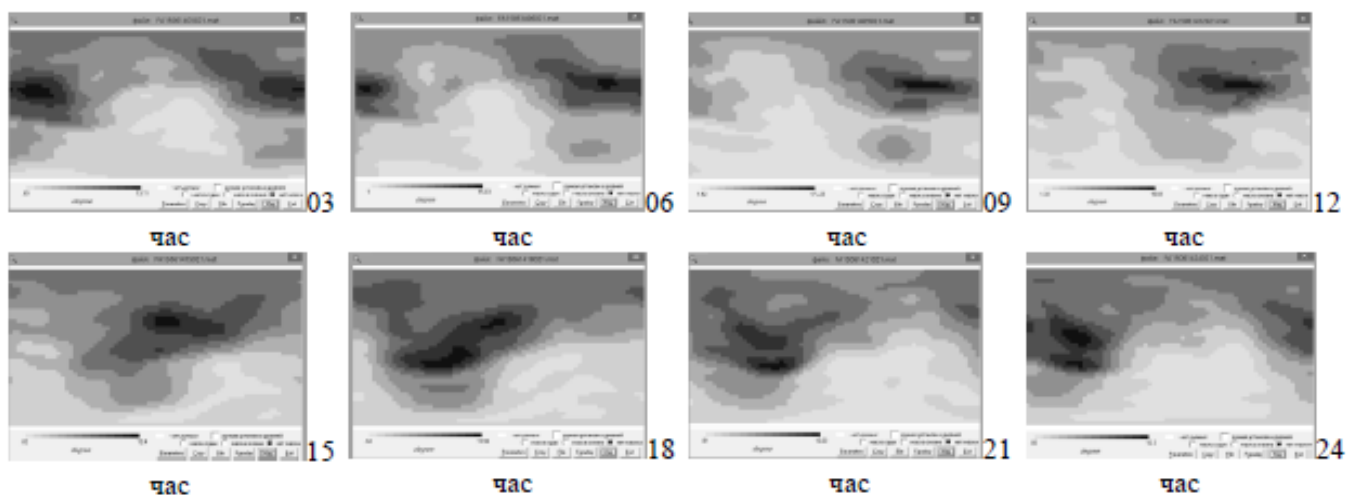


Рисунок 1. Суточные глобальные вариации УППП на волне 21 см

### Спектральные вариации УППП

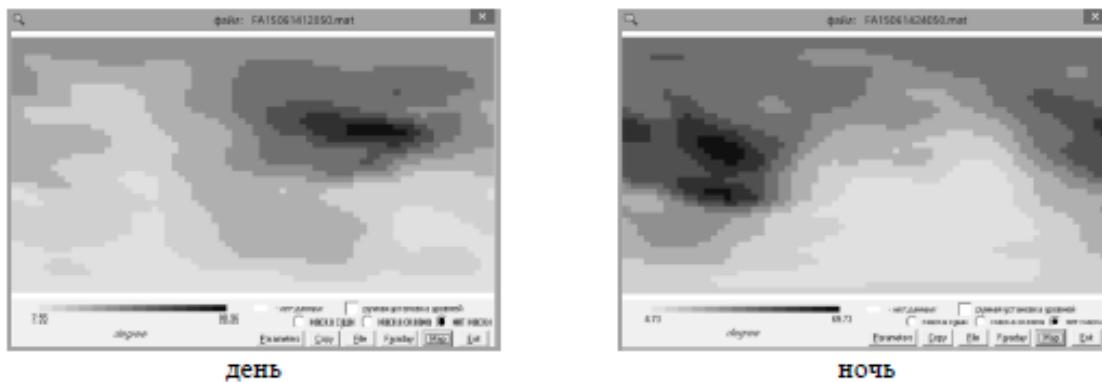


Рисунок 2. Спектральные глобальные вариации УППП

На рис.2 представлены глобальные вариации УППП ионосферы в градусах в дневное и ночное время, полученные на основе файлов TEC за 15.06.2014. Расчеты выполнялись для длины волны 10,

15, 21, 30, 43, 50, 60, 75 и 100 см. На всех волнах пространственное распределение УППП одно и то же (рис.2), а пределы диапазона изменения УППП от минимального до максимального значений приведены на рис.3. Значение данных УППП на рис.3 близко к модельным данным, полученным в работе [3].

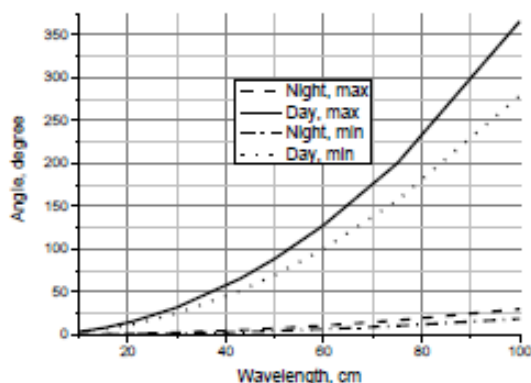


Рисунок 3. Спектральные вариации минимальных и максимальных значений УППП

### Сезонные вариации УППП

Для оценки сезонных вариаций УППП мы использовали глобальные данные о ТЕС за март, июнь, сентябрь и декабрь 2014 года в дневное и ночное время. На рис.3 представлены пространственные распределения УППП на волне 50 см по данным о ТЕС в дневное время.

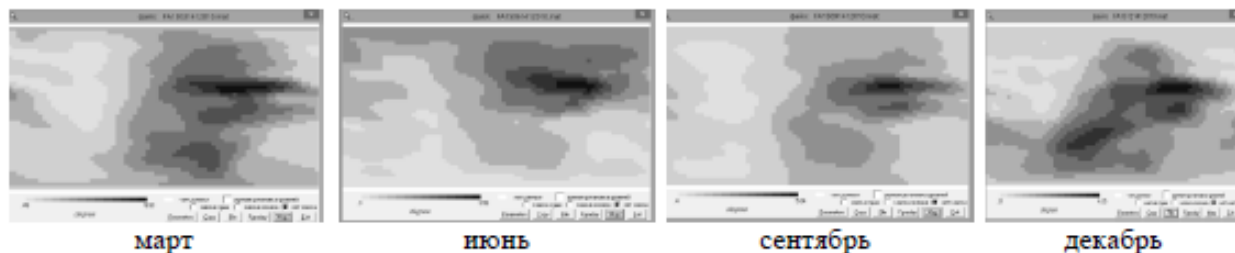


Рисунок 3. Сезонные глобальные вариации УППП на волне 50 см

На рис.4 представлены сезонные вариации минимальных и максимальных значений УППП. Особенности сезонного хода УППП ионосферы коррелируют с особенностями сезонного хода электронной концентрации в областях E, F1, F2 и главным образом в области F2. Магнитное поле вносит свои особенности в общую картину распределения. Как следует из хода кривых на рис.4, минимум УППП наблюдается летом (период летнего солнцестояния). Максимумы в марте и сентябре-декабре соответствуют весеннему и осеннему равноденствию, когда плоскости земного и солнечного экваторов совпадают, и зимнему солнцестоянию, что согласуется с современным представлением о сезонном ходе электронной концентрации в областях E, F1, F2 [3].

### Заключение

Характер пространственно-временного изменения полей УППП в первую очередь обусловлен состоянием глобальных полей распределения ТЕС и пространственной структурой статического магнитного поля Земли.

Впервые получены оценки суточных, спектральных и сезонных вариаций УППП на глобальных масштабах при разных метеорологических и гелиофизических условиях в дециметровом диапазоне.

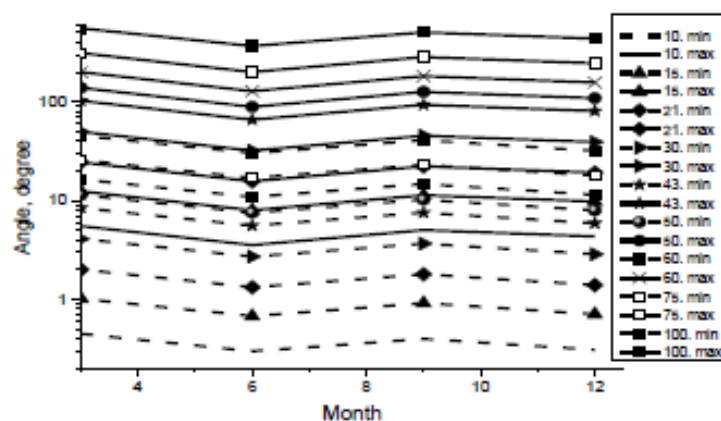


Рисунок 4. Сезонные вариации минимальных и максимальных значений УППП на длинах волн 10, 15, 21, 30, 43, 50, 60, 75 и 100 см

### Литература

1. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К. Радиоизлучение атмосферы в дециметровом диапазоне волн при спутниковых наблюдениях // Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред [Электронный ресурс]: сб. докладов Четвёртой Всероссийской научной школы и конференции. Муром, 30 июня – 3 июля 2009 г. – Муром: Изд. –полиграфический центр МИ ВлГУ, 2009. –433 с.: ил. –1 электрон. опт. диск (CD-ROM). –с.107-111.
2. Мильшин А.А., Гранков А.Г. Учет эффекта Фарадея в модели глобального радиотеплового излучения Земли в дециметровом диапазоне // Тезисы докладов. Десятая открытая Всероссийская конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2012 г. С.193.
3. Гранков А.Г., Мильшин А.А. Влияние эффекта Фарадея при спутниковых СВЧ радиометрических измерениях в дециметровом диапазоне // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). №4 (13), 2015. С.143-147.
4. Mannucci A.J., Ho C.M., Lindqwister U.J. A global mapping technique for GPS-driven ionospheric TEC measurements // Radio Science, 1998. V. 33, N 8. P. 565-582.
5. Schaer S., Gurtner W., Feltens J. IONEX: The Ionosphere Map Exchange Format Version 1 // Proc. IGS AC Workshop. Darmstadt. Germany. February 9-11, 1998. P. 233-247.

## THE GLOBAL VARIATION OF FARADAY ROTATION IN DECIMETER BAND

Ph. doctor Grankov A.G, senior scientist Milshin A.A, leading specialist Shelobanova N.K,  
engineer Yampolskya E.A.

Fryazino Branch of the Kotel'nikov Institute of Radio engineering and Electronics, RAS

The estimations for the global diurnal, spectral and seasonal variations of Faraday rotation of the plane of polarization in decimeter radio waves when passing through the ionosphere. For the evaluation of the Faraday effect was used a global map of total electron content in the ionosphere (Global Ionospheric Maps) of IONEX format. Evaluation of Faraday rotation is made at wavelengths 10, 15, 21, 30, 43, 50, 60, 75 and 100 cm.