

## РАДИОЭФИРДІҢ БОС ЕМЕСТИГІН БАҚЫЛАУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ

**И. Д. Козин<sup>1</sup>, И. Н. Федулина<sup>1</sup>, И. В. Васильев<sup>2</sup>, В. А. Проценко<sup>2</sup>, В. В. Кирпун<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>«Гранит» АКТБ» ЖШС, Алматы, Қазақстан,

<sup>3</sup>«РТС Инжиниринг» ЖШС, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** радиодабыл, қуат, фаза, спектр.

**Аннотация.** Радиотолқын спектрінің көпарналы анализаторын эксплуатацияға енгізілген және ойлап шығарылған жұмыс қағидаларының сипаттамасы берілген. Құрылғы 1 Гц тен 12,4 ГГц дейінгі аралықта жұмыс істейді және космостық ауа райының әртүрлі ауытқуларындағы электромагниттік дабылдардың таралу күйлерін зерттеу үшін қолданылады. Зерттеу максатына телекоммуникация және навигацияның әртүрлі жүйелеріндегі байланыстың тұрақтылығын жоғарлату бойынша шараларды жасау жатады.

Поступила 07.07.2015 г.

**N E W S**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 302 (2015), 49 – 53

## TRANSIONOSPHERIC PROPAGATION OF RADIOWAVES

**I. D. Kozin, I. N. Fedulina**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan.  
E-mail: IDKozin@yandex.ru

**Key words:** cut-off frequency of the ionosphere, low-frequency electromagnetic oscillations, artificial Earth satellite, earthquake.

**Abstract.** New models of transionospheric radiowave propagation are considered. From a set of theoretical investigations it is known that radiowaves with frequencies below ionospheric cut-off frequencies generated at underlying layers, are reflected downward and do not transit upward. Experiments published in scientific literature have shown that during periods prior to earthquakes electromagnetic oscillations with frequencies 0,1-20 kHz are generated near the ground. In the experimental measurements conducted on satellite-based instruments it was detected that these oscillations penetrates the ionosphere. We offer descriptions of possible mechanisms explaining a penetration through the ionosphere of radiowaves with frequencies below ionospheric plasma frequency.

УДК 621.029

## ТРАНСИОНОСФЕРНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

**И. Д. Козин, И. Н. Федулина**

Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** критическая частота ионосфера, низкочастотные электромагнитные колебания, искусственный спутник земли, землетрясение.

**Аннотация.** Рассматриваются новые модели трансионосферного распространения радиоволн. Из множества теоретических разработок известно, что радиоволны с частотами ниже критических частот ионосферы, генерируемые в нижележащих областях, отражаются вниз и не проходят выше. Эксперименты показали, что в периоды подготовки землетрясений у поверхности генерируются электромагнитные колебания с

частотами 0,1-20 кГц. В экспериментальных измерениях, проводимых на Искусственных Спутниках Земли – ИСЗ, обнаружено, что эти колебания проникают сквозь ионосферу. Предложены описания возможных механизмов, объясняющих проникновение через ионосферу радиоволн, частота которых ниже плазменной частоты ионосферы.

**Введение.** Наука развивается очень быстро и не каждому по силам угинаться за всевозрастающим потоком информации. Ведь читать надо всё, а на это не хватает времени. Ещё труднее задача в выборе истины. Наши поколения настолько привыкли верить слову, сказанному или написанному, что при встрече различных мнений наступает растерянность – кому верить. Понятно, что верить нужно себе, своим знаниям, способностям анализировать ситуации. Авторы не стали придерживаться только общепризнанных и своих собственных представлений, но дали право присутствовать альтернативным понятиям и гипотезам.

Целью работы является представление физических механизмов, способствующих проникновению низкочастотных электромагнитных волн сквозь ионосферу. Цель достигается разработкой физических моделей трансионосферного распространения низкочастотных электромагнитных волн.

Обилие авторитетных теоретических и экспериментальных исследований и устоявшихся мнений о природе и физике распространения электромагнитных волн в ионосфере, например, [1-4] не способствуют развитию каких-либо новых направлений в этой области. Но есть подтверждения тому, что существуют явления и эффекты в трансионосферном распространении радиоволн, реалии которых не могут объяснить существующие теории электромагнетизма.

Из нескольких неопубликованных источников известна информация о том, что радиоволны с частотами ниже плазменной частоты ионосферы проникают сквозь эту среду и регистрируются на Искусственных Спутниках Земли. Конкретно нам известны сообщения о том, что по личным просьбам повествующих космонавты СССР брали обычные карманные радиоприёмники на борт ИСЗ и, находясь на орbitах выше 600-700 км, прослушивали радиостанции длинноволнового диапазона.

Однако имеются достоверные и публикуемые факты, подтверждающие указанную выше информацию о прохождении низкочастотных электромагнитных волн через ионосферу. Основная суть публикаций на эту тему состоит в следующем. При подготовке землетрясений в его эпицентре генерируются низкочастотные электромагнитные колебания. Частота этих колебаний лежит в диапазоне 0,1 – 20 кГц [5, 6]. Обнаружение и многократная регистрация этих колебаний проводилась на низкоорбитальных ИСЗ [6-10]. Отмечается особенность распространения таких волн, заключающаяся в том, что они перемещаются от ожидаемого очага землетрясений в космос по силовым линиям напряжённости магнитного поля Земли, то есть вдоль линий равной напряженности магнитного поля Земли.

Второй особенностью районов повышенной сейсмической активности является понижение электронной концентрации ионосферы над их эпицентрами. Полагаем, что оба вида указанных особенностей ионосферы и распространения низкочастотных радиоволн взаимосвязаны, и мы попытаемся это подтвердить.

Из исследований на эту тему можно отметить монографию [11], в которой полагалось, что вдоль магнитных силовых линий могут распространяться электромагнитные волны очень низких и ультразвуковых частот. Источниками таких волн являются грозовые разряды и искусственные излучатели, роль которых играют наземные передатчики связи ОНЧ диапазона. Исследовать характер распространения таких волн представлялось важной практической задачей, так как волны этих диапазонов могут распространяться на большие расстояния, даже многократно огибать земную поверхность, а также проникать достаточно глубоко под поверхность морей, что позволяет организовать на этих частотах связь с подводными лодками. Для исследования свойств этих волн в ИЗМИРАН была разработана специальная аппаратура для установки её на спутниках. Один из первых и удачных пусков был произведен 7 августа 1970 года, когда с космодрома Капустин Яр был запущен спутник «Интеркосмос-3», на котором впервые были установлены приёмники ОНЧ-излучений для регистрации сигналов как естественного, так и искусственного происхождения. Спутник вышел на орбиту с перигеем 206 км и апогеем 1315 км, наклонением 48,4° и начальным периодом обращения 99,8 мин. Спутник работал вплоть до конца 1970 года. В течение всего

времени работы спутника бортовая аппаратура работала нормально, и за четырёхмесячный период был получен большой объём научной информации. По данным экспериментов, проведенных на ИСЗ «Интеркосмос-3», удалось определить интенсивность и спектральные свойства ОНЧ-излучений в ионосферной плазме.

Эта информация могла бы стать предметом изучения и обоснования обнаруженного факта трансионосферного распространения длинных радиоволн, но такого не произошло.

Авторы в данной статье делают попытку такого обоснования.

Что представляет собой ионосфера. Иногда её называют частью атмосферы, в которой атомы находятся в ионизированном состоянии и имеются свободные электроны. Ближе к истине такое определение. Ионосфера – это область атмосферы, расположенная на высотах 50÷1000 км, в которой часть атомов и молекул находится в ионизированном состоянии. Какова же эта часть? В максимуме электронной концентрации даже в дневное время суток отношение концентраций заряженных и нейтральных компонент не превышает величины  $10^{-4}$  [12].

Условием отражения вертикально падающей на ионосферу радиоволны в простейшем случае является, согласно [1], равенство частоты радиоволны  $\omega$  плазменной частоте  $\omega_0$ , то есть  $\omega = \omega_0$ , где в системе CGSE

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{4\pi e^2 \cdot N_e}{m}} = \sqrt{3,18 \cdot 10^9 \cdot N_e}.$$

$e$ ,  $m$  – заряд и масса электрона;  $N_e$  – электронная концентрация в ионосфере,  $\text{см}^{-3}$ .

Что же способствует проникновению низкочастотных радиоволн сквозь ионосферу?

Первым механизмом, ответственным за прохождение энергии радиоволны через ионосферу, можно принять возможную зависимость величины отражённой и проходящей сквозь ионосферу энергии от мощности падающей волны.

Абсолютность условия отражения радиоволны  $\omega = \omega_0$  вызывает некоторые сомнения. В любой ситуации движения электромагнитной волны в точке скачка показателя преломления энергия падающей радиоволны разделяется на части, ответственные за поглощение, отражение и преломление (с прохождением части энергии). Условие  $\omega = \omega_0$  говорит о полном отражении всей энергии радиоволны вне зависимости от её величины. Теория не даёт ответа на этот вопрос. Скорее всего, есть предел отражаемой энергии, ведь электроны в точке отражения лишь переизлучают падающую энергию. По аналогии, магнитное поле радиационных поясов может удерживать лишь определённую часть захваченных зарядов.

Вторым механизмом (может быть главным), способствующим прохождению энергии радиоволны выше уровня, где  $\omega = \omega_0$ , может быть следующий.

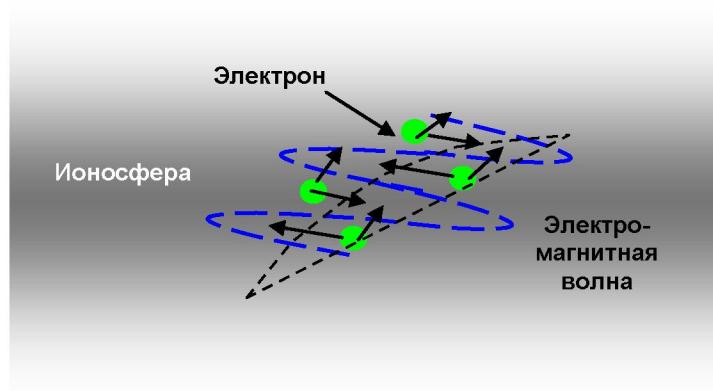
Суть этого механизма заключается в механическом воздействии электромагнитных волн на свободные электроны ионосферы (законы А.-М. Ампера и Лоренца), приводящие к их принудительному смещению. Если в магнитном поле скорость заряженной частицы направлена под некотором углом к направлению магнитной силовой линии (питч-угол), где находится частица, то вектор ее скорости можно разложить на две составляющие: по касательной к магнитной силовой линии и перпендикулярно к ней. Если в пространстве существуют одновременно и магнитное и электрическое поля, то сила, действующая на заряд, по закону Лоренца равна

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v}, \vec{B}].$$

Здесь  $q$  – величина заряда;  $v$  – скорость его движения;  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  – величины электрической и магнитной напряжённости поля. При этом электроны, с одной стороны, закручиваются вокруг магнитной силовой линии и, с другой стороны, приходят в движение вдоль вектора магнитного поля Земли [13], как показано на рисунке.

Таким образом, ионосферные электроны модулированы в своём движении закономерностями изменений радиоволны. В свою очередь движущиеся в магнитном поле под воздействием электромагнитной волны электроны сами генерируют новое поле, сохраняющее прежнюю частоту и модуляцию.

Аналогичную реакцию электронов вызовут акустические волны. Важно присутствие силы, приводящей к движению электронов.



Движение электрона в магнитном поле под действием радиоволны

Как видим, рассмотренный механизм проникновения энергии низкочастотных волн через ионосферу физически обоснован. Он объясняет не только проникновение волн, но и деградацию концентрации электронов в ионосфере. Оба эти эффекта наблюдаются в районах подготовляющихся землетрясений [6,7].

*Работа выполнена по программе 101 «Грантовое финансирование научных исследований» в рамках темы «Исследование воздействия космической погоды на распространение радиоволн» (Грант 0038/ГФ1, Регистрационный номер (РН) 0112РК02388).*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Наука. – 1967. - 683 с.
- [2] Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука. - 1988. - 528 с.
- [3] Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука. – 1972. - 564 с.
- [4] Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. М.: Мир. - 1973. – 504 с.
- [5] Кузнецов В.Д., Ружин Ю.Я. Изучение ионосферных явлений, предшествующих землетрясениям и другим природным и техногенным катастрофам (проект Вулкан) // Распространение радиоволн: сб. докл. XXI Всероссийская научная конференция 25-27 мая 2005 г., Йошкар-Ола. – 2005. – Том 1. – С. 27-39.
- [6] Cicerone R.D., Ebel J.E., Britton J. A systematic compilation of earthquake precursors // Tectonophysics. – 2009. – Vol. 476. – P. 371–396.
- [7] Маркина В.И., Наливайко А.В., Гершензон Н.И. и др. Наблюдения на спутнике «Интеркосмос-19» ОНЧ-излучений, связанных с сейсмической активностью // Геомагнетизм и астрономия. – 1983. - Том 23. - С. 842.
- [8] Молчанов О.А. Прохождение электромагнитных полей от сейсмических источников в верхнюю ионосферу Земли // Геомагнетизм и астрономия. – 1991. - Том 31. - С. 111-119.
- [9] Larkina V.I., Migulin V.V., Mogilevsky M.M. et al. Earthquake Effects in the Ionosphere according to the Intercosmos 19 and Aureol 3 Satellite Data // Results of the ARCAD 3 Project and of the Recent Programmes in Magnetospheric Physics. Proceeding of International Conf., Toulouse, May 1984 / Ed. by CNES, CEPADUES-EDITIOS. - 1985. - P. 685-699.
- [10] Parrot M. Satellite Study of ELF-VLF Emissions Recorder by a Low Altitude Satellite during Seismic Events // J. Geophys. Res. - 1994. - Vol. 99. - № A12. - P. 23339-23347.
- [11] Будько Н., Зайцев А., Карпачев А., Козлов А., Филиппов Б. Космическая среда вокруг нас / под ред. д. ф.-м. н. А.Н. Зайцева. М.: ТРОВАНТ, ИЗМИРАН. – 2005. - 321 с.
- [12] Козин И.Д., Федулина И.Н. Космическая погода и ее влияние на распространение радиоволн: Учебное пособие. Алматы: АУЭС. – 2012. - 79 с.
- [13] Гальпер А.М., Дмитриенко В.В., Никитин Н.В. и др. Взаимосвязь потоков высокозергетичных заряженных частиц в радиационном поясе с сейсмичностью Земли // Космич. исследования. – 1989. - Том 27. - № 5. - С. 789-792.

## REFERENCES

- [1] Ginzburg V.L. *Rasprostranenie jelektromagnitnyh voln v plazme*. M.: Nauka, 1967, 683 p. (in Russ.)
- [2] Brjunelli B.E., Namgaladze A.A. *Fizika ionosfery*. M.: Nauka, 1988, 528 p. (in Russ.)
- [3] Alpert Ja.L. *Rasprostranenie jelektromagnitnyh voln i ionosfera*. M.: Nauka, 1972, 564 p. (in Russ.)
- [4] Davies K. *Ionospheric Radio waves*. London: Blaisdell Publishing Company, 1969, 504 p. (in Eng.)
- [5] Kuznetsov V.D., Ruzhin Ju.Ja. Propagation of radiowaves: Proced. XXI Vserossijskaja nauchnaja konferencija 25-27 May 2005, Joshkar-Ola, 2005, 1, 27-39 (in Russ.)
- [6] Cicerone R.D., Ebel J.E., Britton J. A systematic compilation of earthquake precursors. *Tectonophysics*, 2009, 476, 371–396 (in Eng.)

- [7] Markina V.I., Nalivajko A.V., Gershenson N.I. et. al. *Geomagnetism and aeronomy*, 1983, 23, 842 (in Russ.)
- [8] Molchanov O.A. *Geomagnetism and aeronomy*, 1991, 31, 111-119 (in Russ.).
- [9] Larkina V.I., Migulin V.V., Mogilevsky M.M. et al. Earthquake Effects in the Ionosphere according to the Intercosmos 19 and Aureol 3 Satellite Data. *Results of the ARCAD 3 Project and of the Recent Programmes in Magnetospheric Physics. Proceeding of International Conf., Toulouse, May 1984*. Ed. by CNES, CEPADUES-EDITIOS, 1985, 685-699 (in Eng.).
- [10] Parrot M. Satellite Study of ELF-VLF Emissions Recorder by a Low Altitude Satellite during Seismic Events. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99, A12, 23339-23347 (in Eng.).
- [11] Budko N., Zajcev A., Karpachev A., Kozlov A., Filippov B. *Kosmicheskaja sreda vokrug nas*. M.: TROVANT, IZMIRAN, 2005, 321 p. (in Russ.)
- [12] Kozin I.D., Fedulina I.N. *Kosmicheskaja pogoda i ee vlijanie na rasprostranenie radiovoln*. Almaty: AUPET, 2012, 79 p. (in Russ.)
- [13] Galper A.M., Dmitrienko V.V., Nikitin N.V. et. al. *Kosmicheskie issledovaniya*, 1989, 27, 5, 789-792 (in Russ.).

## РАДИОТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТРАНСИОНОСФЕРАЛЫҚ ТАРАЛУЫ

**И. Д. Козин, И. Н. Федуллина**

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** ионосфераның критикалық жиілігі, төменгіжілікті электромагниттік тербелістер, жасанды жер серігі, жер сілкінуі.

**Аннотация.** Радиотолқындардың трансионосфералық таралуының жаңа содельдері қарастырылады. Төменгі жакта орналасқан жерлердегі туындайтын ионосфераның критикалық жиіліктерінен төмен жиіліктерінің радиотолқындары төмен қарай сәулеленетіні және жоғары өтпейтіні көптеген теориялық зерттеудерден белгілі. Тәжірибеде жер сілкінуінін болар уақытында жер бетінде 0,1-20 кГц жиілігімен электромагниттік тербелістері пайда болатыны көрсетілген. Жасанды Жер Серіктерінде – ЖЖС жүргізілген тәжірибелік өншеулерде бұл тербелістердің ионосфера арқылы өтетінін анықтайды. Мұнда ионосфераның плазмалық жиіліктерінен төмен болатын радиотолқынның жиілігі ионосфера арқылы өтуін түсіндіретін кейбір механизмдердің сипаттамасы ұсынылады.

Поступила 07.07.2015 г.