УДК 621.371/.372

**ВЛИЯНИЕ ВНЕЗАПНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

**НА *D* ОБЛАСТЬ ИОНОСФЕРЫ**

**В.И. Нестеров**

*Тихоокеанский государственный университет (г.Хабаровск)*

*vinestor@mail.ru*

*Рассматривается задача прогнозирования условий распространения СДВ при возмущенных условиях, позволяющие производить перерасчет эффекта возмущенности с трассы на трассу.* *Представлено пороговое значение плотности потока рентгеновского излучения, при котором может наблюдаться изменение фазы принимаемого сигнала.*

**INFLUENCE OF SUDDEN IONOSPHERIC DISTURBANCES**

**ON D REGION OF THE IONOSPHERE**

**V.I. Nesterov**

*Pacific National University (Khabarovsk)*

*vinestor@mail.ru*

*The problem of forecasting the conditions for the propagation of VLF under disturbed conditions is considered, which makes it possible to recalculate the effect of disturbance from track to track. The threshold value of the X-ray flux density at which a change in the phase of the received signal can be observed is presented.*

 На ионизацию нижней ионосферы существенное воздействие оказывают галактические космические лучи. Галактические космические лучи - это поток заряженных ядер высокой энергии. Он проникает через всю толщу верхней атмосферы практически без потерь и является основным источником ионизации на высотах ниже 60 км. Верхняя ионосфера для галактических космических лучей прозрачна [1].

 Задача прогнозирования условий распространения СДВ с учетом возмущенной ионосферы представляет собой важное практическое значение. Более оперативным и простым методом диагностики и определения параметров возмущенности, а также прогнозирования условий распространения представляет метод, основанный на текущем анализе СДВ-данных от сети контрольных трасс. Основой такого прогнозирования являются эмпирические модели возмущений, связывающие изменения эффективных характеристик нижней ионосферы с интенсивностью ионизирующих потоков и позволяющие производить перерасчет эффекта возмущенности с трассы на трассу [2].

Поскольку энергия вспышки распространяется со скоростью света, время возникновения вызываемых ею возмущений в ионосфере совпадает со временем начала вспышки, а вызываемые ею внезапные фазовые аномалии сильно коррелированы в значительно разнесенных точках освещенной полусферы. Исходя из этого трудно прогнозировать возникновение внезапных ионосферных возмущений (ВИВ) по измерениям фазы СДВ радиостанций.

В работе [3] указывается, что зарегистрировано сильное искажение фаз принимаемых СДВ сигналов, связанное с рентгеновским излучением солнечных вспышек. Также указывается, что проведенные модельные расчеты полей СДВ указывают на увеличение в 20 раз электронной концентрации во время вспышки и понижение ионосферы с образованием слоя *С* в средних широтах во время магнитной бури, что свидетельствует об инжекции электронов в ионосферу с энергиями десятки, а, возможно, и сотни кэВ.

 В [4 - 5] приведены эмпирические модели при внезапной фазовой аномалии. В [4] приводятся результаты нормировки при анализе событий ВИВ:

$∆φ\_{расч}=∆φ\_{конт}\frac{R\_{i}f\_{k}}{R\_{k}f\_{i}}\sqrt{\frac{\cos(χ\_{i})}{\cos(χ\_{k})}}$*,* (1)

где $∆φ\_{расч}$ – величина измеренных фазовых аномалий на контрольной трассе; $R\_{k}$,$ R\_{i}$ – длина освещенной части контрольной и корректируемой трасс соответственно; $f\_{i}$, $f\_{k}$ – принимаемые частоты на *i* трассе и контрольной; $\cos(χ\_{i})$,$ \cos(χ\_{k})$ – среднее значение косинуса зенитного угла Солнца на корректируемой и контрольной трассах, соответственно.

 Если отклонение текущих значений фазы $φ\_{m}\left(t\right)$ кривой "спокойного" дня $φ\_{mc}\left(t\right)$ на трассе

 $Δφ\left(t\right)=φ\_{m}\left(t\right)-φ\_{mc}\left(t\right)$. (2)

превышает по абсолютной величине заданный порог обнаружения, делается вывод о наличии фазовой аномалии на трассе. Величина порога обнаружения устанавливается для каждой трассы опытным путем, с учетом величины случайных флуктуаций фазы в невозмущенных условиях. В нашем случае порог обнаружения устанавливается как $2σ$, где $σ$ - среднеквадратическое отклонение фазы от кривой "спокойного" дня $φ\_{mc}\left(t\right)$. Если выполняется это условие, то рассчитывается ожидаемая величина отклонения фазы, оцененная по аномалиям на контрольной трассе. В качестве контрольной была выбрана трасса Австралия-Хабаровск. Такой выбор обусловлен следующими предпосылками: одномодовое распространение и незначительное изменение зенитного угла Солнца вдоль трассы.

 Формула (1) не учитывает изменение фазы во время ВИВ в зависимости от плотности потока рентгеновского излучения $Γ$. Ниже рассматриваются эмпирические соотношения между величиной внезапной фазовой аномалии (ВФА), зенитным углом Солнца  и плотностью потока $Γ$ рентгеновского излучения в диапазоне длин волн 0.5 - 4Å для трасс различной протяженности и ориентации.

 На рис.1 показан пример выделенных аномалий фазы для четырех трасс РНС "Омега" при приеме в г. Хабаровске. В данном случае две трассы (Гавайи - Хабаровск и Ля Реюньон - Хабаровск) охватывают практически всю освещенную полусферу земного шара (1500 з.д. - 500 в.д.). Начало возмущений на всех трассах характеризуется резким уменьшением фазы (15 - 30 минут), а период восстановления может продолжаться несколько часов.

В качестве меры изменения эффективной высоты отражения сигналов $Δh$ при ВИВ'ах выбрано выражение, определяемое из наблюдаемого на трассе уменьшения $Δφ$ СДВ-сигнала, которое не зависит от величины плотности потока $Γ$ рентгеновского излучения [6]:

$Δh={Δφ}/{\left[R\_{0}\left(\frac{1.874∙10^{6}}{f∙h^{3}}+0.0156∙f\right)\right]}$, (3)

где $Δφ$ – изменение фазы в сотых долях фазового цикла (сц); $R\_{0}$ – длина освещенной части трассы в Мм; $f$ – частота СДВ-сигнала в кГц; $h$ – высота ионосферы в км (*h* = 65 км).

 Зависимость изменения высоты отражения ионосферы от величины потока рентгеновского излучения $Γ$ и зенитного угла Солнца  рассчитывалась по формуле [3]:

$∆h=a∙ln\left(1+b∙Γ\right)∙ln\left(c+\cos(χ)\right)$. (4)

*Рис.1*. Аномалии фазы для события 08.05.1983 г.(точки – трасса Япония - Хабаровск, штрих-пунктир – трасса Гавайи - Хабаровск, пунктир – трасса Австралия - Хабаровск,

сплошная линия – Ля Реюньон - Хабаровск)

где $\cos(χ)$ - среднее по освещенной части трассы значение. Данные о максимальных потоках $Γ$ взяты из [7]. Для определения параметров $a$, $b$, $c$ использовано около 100 событий ВФА. Были получены следующие значения параметров: $a$ =1.90 км, $b=22.9∙10^{6} м^{2}∙Вт^{-1}$, $c$ = 1.08.

Используя формулы (3) и (4), с учетом найденных значений параметров *a, b, c,* было определено пороговое значение плотности потока $Γ\_{пор}$ рентгеновского излучения. Было установлено, что пороговым значением плотности потока рентгеновского излучения является величина $Γ\_{пор}=\left(1-2\right)∙10^{-7}Вт∙м^{-2}$ (для длин волн 0,5 $÷$ 4 Å). Значение $Γ$ выбиралось при *2σ*.

**Л И Т Е Р А Т У Р А**

1. Дорман Л.И., Козин И.Д. Космическое излучение в верхней атмосфере. – М.: Наука, 1983, 152с.

2. Прогнозирование СДВ-полей в глобальном масштабе / Г.И.Макаров, В.В.Новиков, А.Б.Орлов // XV Всесоюз. конф. по распространению радиоволн: тез. докл. – М.:Наука, 1987. – С.205 – 208.

3. Эффекты экстремальных магнитных бурь 29-31 октября 2003 г. в среднеширотной ионосфере / М.И. Беленький и [др.] // Геомагнетизм и аэрономия, 2005, Т.45, №1, С.92 – 105.

4. Проявления ВИВ на высокоширотных трассах / С.М.Демыкин, В.П.Кищук //VIII Межведомственный семинар по распространению километровых и более длинных волн: тез. докл. – Омск, 1982. – С.17 – 19.

5. Возможности прогноза вариаций СДВ-полей на высокоширотных трассах при вторжении СКЛ / С.М.Демыкин, В.П.Кищук, В.А.Колсанов, С.Н.Соколов //IX Межведомственый семинар по распространению километровых и более длинных радиоволн: тез.докл. – Хабаровск, 1983. – С.71 – 72.

6. Орлов А.Б., Азарнин Г.В. Основные закономерности распространения сигналов СДВ-диапазона в волноводном канале Земля – ионосфера//Проблемы дифракции и распространения волн: сб. научных статей. – Л.: Изд. ЛГУ, вып.X, 1970. – С.3 – 107.

7. Solar geophysical data, part II. Boulder, Colo, USA.