

УДК 550.388.2

ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Д.В. Благовещенский, М.А. Сергеева

SPACE WEATHER EFFECTS ON RADIO PROPAGATION

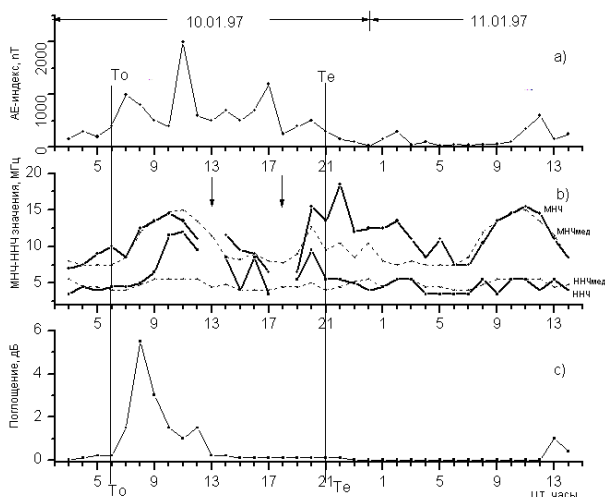
D.V. Blagoveshchensky, M.A. Sergeeva

Существенно возмущенное состояние околоземной космической погоды, обусловленное нестационарными процессами на Солнце, пагубно влияет на космические аппараты, различные наземные службы (связные, радиолокационные, навигационные), а также на тонкие биологические системы. Одна из актуальных и важных задач состоит в том, чтобы разобраться в физических механизмах этих возмущений, постараться их спрогнозировать и в определенной мере сдмпфировать их воздействие. В настоящей работе ставится задача рассмотреть характер влияния известных мировых геомагнитных бурь, в частности, на три высокоширотные КВ-радиотрассы, расположенные на северо-западе России. Условия распространения радиоволн оценивались на основе вариаций максимальных и наименьших рабочих частот до бури, во время нее и после. Для анализа привлекалась геофизическая информация по D_{st} , B_z , AE, а также риометрические данные. Выявленные закономерности могут быть полезными при организации КВ-радиосвязи в высоких широтах. По данным настоящего эксперимента выявлено, что в высоких широтах работает не только традиционный механизм передачи солнечной энергии в верхнюю атмосферу через хвост магнитосферы, плазменный слой и авроральную ионосферу, но и совершенно иной малоизвестный механизм – через дневной касп и входной слой магнитосферы.

Essentially perturbed near-Earth space weather conditions, caused by some irregular solar processes, harmfully affect spacecrafts, various ground-based services (communications, radars, navigations) and fine biological systems. One of the important objectives of current interest is to understand the physical mechanisms of these disturbances, to make an attempt to forecast them and to reduce their effects in a certain degree. The present paper deals with a problem of impact of the world-famous (global) geomagnetic storms on three high-latitude HF radio paths of north-west Russia in particular. Radio propagation conditions were estimated through variations of the maximum and lowest operation frequencies before, during and after a storm. Geophysical data of D_{st} , B_z , AE as well as some riometer data were attracted for an analysis. The revealed regularities may be useful for the HF radio communication organization at the high latitudes. By present experimental data, it was revealed that at the high latitudes not only the traditional mechanism of the solar energy transfer into the upper atmosphere through the magnetosphere tail, plasma sheet and auroral ionosphere operates but the quite another mechanism also exists – through the diurnal cusp and enter sheet of the magnetosphere.

Существенно возмущенное состояние околоземной космической погоды, обусловленное нестационарными процессами на Солнце, пагубно влияет на космические аппараты, различные наземные службы (связные, радиолокационные, навигационные), а также на тонкие биологические системы. Одна из актуальных и важных задач состоит в том, чтобы разобраться в физических механизмах этих возмущений, постараться их спрогнозировать и в определенной мере сдмпфировать их воздействие. В настоящей работе ставится задача рассмотреть характер влияния известных мировых геомагнитных бурь, в частности, на три высокоширотные КВ-радиотрассы, расположенные на северо-западе России: Санкт-Петербург–Ловозеро, Санкт-Петербург–о. Хейса, Ловозеро–о. Хейса. Это влияние оценивается по изменениям диапазона рабочих частот МНЧ–ННЧ (максимально-наблюдаемая и наименьшая частоты) на каждой из трасс перед магнитосферной бурей, во время и после нее. Для анализа привлекалась геофизическая информация по D_{st} , B_z , AE, а также риометрические данные. Целью статьи является выявление особенностей и закономерностей в поведении диапазона частот на каждой трассе за период существенно возмущенных условий. Нахождение подобных закономерностей представляется важным для организации и планирования работы КВ-линий связи в полярных и субполярных областях, например, с самолетами, вертолетами, кораблями, геофизическими станциями, спасательными поисковыми отрядами, во время критических состояний космической погоды.

Наиболее информативной из трех исследованных радиотрасс является трасса Санкт-Петербург–о. Хейса длиной $D = 2450$ км. Она имеет точку отражения на широте $\Phi' = 66^\circ$ в зоне полярных сияний. Трасса относится к классу трансавроральных, ее приемный центр Санкт-Петербург расположен в средних широтах, а передающий о. Хейса – в полярной шапке. Как известно, на широте $\Phi' = 66^\circ$ во время возмущений велика вероятность появления спорадических слоев E_{sp} . Однако отражения КВ-сигналов на этой трассе от слоя E одним скачком проблематичны, так как однокачковое распространение посредством E-слоя возможно до 2000 км, а длина рассматриваемой трассы 2450 км. Наклонное зондирование ионосферы на трассах проводилось круглосуточно на скользкой частоте в диапазоне $\Delta f = 2.5–27.5$ МГц. Определялись два параметра распространения радиоволн в месте приема – МНЧ и ННЧ. Значение МНЧ характеризует состояние либо F-, либо E-области ионосферы в зависимости от того, какая область отражает сигнал в данный момент. Значение ННЧ определяется критической частотой слоя отражения и его высотой. Величина ННЧ зависит от технического оснащения радиотрассы, уровня поглощения в нижней ионосфере или степени его ионизации. Всего было выбрано к рассмотрению 14 магнитных мировых бурь, которые имели место преимущественно зимой и в равноденствие 1997–1999 гг. Для оценки интенсивности бури использован AE-индекс. Величина A, дБ, оценивает интенсивность поглощения по риометру на частоте $f=30$ МГц по ст. Соданкюла, Финляндия.



Вариации АЕ-индекса (а), значений МНЧ и ННЧ на трассе Санкт-Петербург – о. Хейса (б) и уровень поглощения по риометру А (с) в течение бури 10–11 января 1997 г. Отсутствие распространения показано стрелками.

Результаты исследования следующие:

1. Рассмотренные бури существенно отличаются друг от друга своими параметрами. Различны также производимые ими воздействия на ионосферу и распространение радиоволн на высокоширотных КВ-радиотрассах. Тем не менее, во время бурь обнаружен общий характер следующих проявлений: в вариациях диапазона частот на трассах, в корреляции между ННЧ и риометрическим поглощением А, дБ, в отсутствии сигналов за счет поглощения во время мощных возмущений, в подобии поведения параметров ионосферы и распространения для дневных бурь и отдельно для ночных бурь, а также ряд других.

2. Диапазон частот $\Delta = \text{МНЧ} - \text{ННЧ}$ расширяется перед бурей в течение нескольких часов, резко сужается во время бури и снова расширяется в течение нескольких часов после ее окончания. Сказанное касается трасс с точками отражения на геомагнитных широтах $\Phi' = 61^\circ$ и 66° . Для высокоширотной трассы с точкой отражения на широте $\Phi' = 69^\circ$ указанные закономерности выражены слабее. Данные закономерности могут быть полезными при организации КВ-радиосвязи в высоких широтах.

3. Вариации МНЧ при отражении сигналов от F2-слоя представляют собой наложение главных эффектов отдельных суббурь, из которых состоит буря. Главный эффект – это положительные значения $\Delta f_0 F2$ (рост МНЧ F2) в течение нескольких часов перед моментом T_0 (момент начала активной фазы бури), отрицательные $\Delta f_0 F2$ в промежутке $T_0 - T_e$ и снова положительные $\Delta f_0 F2$ в течение нескольких часов после момента T_e (момент окончания активной фазы бури). Суммарная достаточно сложная картина бури зависит от того, насколько разнесены во времени и как мощны всплески АЕ.

4. Во время не очень интенсивных бурь вариации поглощения по риометру А, дБ, и АЕ-индекса в основном подобны, хотя иногда всплески поглощения А наблюдаются с задержкой относительно вспле-

сков АЕ-индексов. Эти же всплески поглощения А и всплески в значениях ННЧ часто совпадают. Следовательно, значения ННЧ определяются главным образом поглощением в нижней ионосфере. Интенсивные всплески А и/или АЕ приводят к значительному росту поглощения и пропаданию сигналов на радиотрассах вообще.

5. Два основных явления – рост ионизации в слое F2 (положительные $\Delta f_0 F2$) за время τ_0 (продолжительность в часах расширения диапазона $\Delta = \text{МНЧ} - \text{ННЧ}$ относительно месячной медианы перед моментом T_0) перед моментом T_0 и резкий рост риометрического поглощения в начале развития активной фазы бури – могут служить прогностическими предвестниками активной фазы бури. Существует определенная зависимость между временем начала бури T_0 и значением τ_0 . Физически это объясняется тем, что днем высыпавшиеся частицы в дневной касп и зону полярных сияний перед бурей ионизируют ионосферный F2-слой дольше, т. е. в течение $\tau_0 = 4$ ч, чем ночью, в течение $\tau_0 = 2$ ч, когда высыпание происходит из ночной части плазменного кольца (авроральный пик).

6. На радиотрассе Санкт-Петербург – о. Хейса (риунок) полное время выхода трассы из строя t_{des} (интервал срыва связи) зависит от местного времени LT. Для дневных бурь медианное значение $t_{des} = 6$ ч, а медианное значение $\tau = 20$ ч. Тогда как для ночных бурь медианное значение $t_{des} = 2$ ч, а медианное значение $\tau = 10$ ч. Средний процент выхода трассы из строя во время возмущения за промежутки $\tau = T_e - T_0$ по всем дневным бурям составляет $6/20 = 30\%$ и по всем ночным бурям соответственно $2/10 = 20\%$. Тем самым подтверждается, что во-первых, продолжительность бурь днем длиннее, чем ночью, и, во-вторых, во время возмущений днем трасса выходит из строя чаще, чем ночью.

7. Несмотря на установленные общие закономерности в поведении параметров МНЧ, ННЧ, А и АЕ во время магнитосферной бури, всегда существуют буревые события, которые как исключение не подчиняются общим тенденциям.

8. Космическая погода во время магнитосферных бурь принципиально видоизменяет процессы в магнитосфере и ионосфере. В соответствии с настоящим экспериментом в высоких широтах работает не только традиционный механизм передачи солнечной энергии в верхнюю атмосферу через хвост магнитосферы, плазменный слой и авроральную ионосферу, но и совершенно иной малоизвестный механизм – через дневной касп и входной слой магнитосферы.

Авторы выражают благодарность Выставному В.М. за предоставленные данные наклонного зондирования.

