

## ОБ ОЦЕНКЕ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

© 2018 Д. А. Сычов, О. Ю. Клишина

Воронежский институт высоких технологий (г. Воронеж)  
ОАО концерн «Созвездие» (г. Воронеж)

*В данной работе рассматриваются процессы распространения радиоволн при их отражении от ионосферного слоя. Указаны области максимальной ионизации ионосферы, описаны каналы, по которым двигаются электроны.*

*Ключевые слова: распространение радиоволн, ионосфера, атмосфера, электромагнитная энергия.*

К ионосфере относится та область атмосферы, которая располагается на высоте 60-10 000 км по отношению к земной поверхности.

Для подобных высот плотность воздуха является весьма малой и воздух является ионизированным, т. е. существует большое количество свободных электронов (порядка  $10^3$ - $10^6$  электронов внутри объема  $1 \text{ см}^3$  воздуха).

Заметным образом свободные электроны определяют электрические характеристики ионосферы и создает возможности для отражений от ионосферы радиоволн, имеющих длину более, чем 10 м [1].

Можно назвать несколько причин, почему есть возмущения области F в ионосфере, связанных с изменением интенсивности корпускулярной радиации.

В качестве первой причины можно считать изменения по соотношению нейтральных компонент O / N<sub>2</sub>. Поэтому электронная концентрация меняется.

Вторая причина связана с влиянием с радиационными поясами Земли [2].

Заряженные частицы разным образом могут оказывать влияние на верхнюю часть ионосферы.

Ионы O<sup>+</sup>, протоны p и электроны e наблюдаются при движении внутри радиационных поясов.

При процессах столкновений атомов кислорода O и ионов и протонов будет передаваться импульс. После того, как прошла резонансная перезарядка, – передается энергия и заряд.

Происходит потеря энергии ионами и протонами, а энергия от ускоренных атомов кислорода идет на то, чтобы осуществлялись процессы нагрева окружающей среды и идет дополнительная ионизация.

Заряженные частицы радиационных поясов могут взаимодействовать с верхними частями атмосферы относительно трех каналов. Для первого из них идет обмен скоростью и зарядами ионов кислорода O<sup>+</sup> и водорода H<sup>+</sup> (фактически – это протоны) в ходе столкновений и атомов кислорода.

Для ионизации атомов кислорода O тратится энергия от появившихся в результате реакций быстрых атомов кислорода O<sup>+</sup>.

В качестве ключевого источника ионизации в земной атмосфере можно считать электромагнитные волны солнечного излучения, у которых длина меньше, чем 0,1 мкм.

Говорят о нижнем участке ультрафиолетового диапазона и мягких рентгеновских лучах, и еще об испускаемых Солнцем потоках заряженных частиц.

За счет ультрафиолетовых и рентгеновских лучей осуществляется ионизация лишь по той части Земного шара, которая является освещенной [3].

Интенсивный процесс ионизации идет по приэкваториальным областям.

Движение заряженных частиц происходит относительно спиральных линий по направлениям магнитных силовых линий.

Они направлены по отношению к магнитным полюсам Земли.

Полагают, что доля ионизирующего действия потока частиц будет не превышать 50 % от ионизирующего воздействия ультрафиолетового излучения солнечного светила.

---

Сычов Денис Алексеевич – Воронежский институт высоких технологий, магистрант S\_ybchovr5681@yandex.ru.  
Клишина Ольга Юрьевна – ОАО концерн «Созвездие», специалист, 90\_kli34@yandex.ru.

В ионизационных процессах принимают участие и электроны радиационных поясов.

Реакции с образованием низкоэнергетических ионов кислорода  $O^+$  продолжается до снижения энергии  $Of$ ,  $ef$  и  $e$  ниже потенциала ионизации атома  $O$ .

Полученная в результате суммирования, общая скорость ионизации будет иметь приблизительное значение порядка  $10^8 \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$  рядом с максимумом  $F$  слоя. Также у нее будет тот же.

Порядок, что и в скорости ионизации при влиянии солнечной электромагнитной радиации [4].

Есть такие атомы кислорода, которые могут покинуть ионосферу за счет увеличения энергии как результат столкновений свыше 10 эВ. При этом меняется соотношение  $O/N_2$ .

Для потока рассеяния будет значение  $7.5 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , а поток, который обеспечивает выход к баллистическим орбитам, будет  $2.8 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

Эти атомы относились бы к потоку  $O^+$  в  $2.8 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , который в 10 раз превышает приходящий поток  $Of^+$  для диапазона 0.7-12 кэВ.

Низкоэнергетические ионы  $O^+$ , а также электроны будут испытывать захват со стороны магнитного поля. Они переносятся к радиационным поясам. Там происходит их ускорение.

Можно говорить о том, что образуются потоки как электронов, так и атомарных кислородных ионов как из ионосферы в радиационные пояса, так обратным образом.

Для такого канала изменения в концентрациях заряженных частиц для радиационных поясов будут соответствовать процессам изменений ионизации для областей  $F$  ионосферы. Такие же изменения будут наблюдаться по интенсивностям корпускулярных потоков вне магнитосферы, они имеют солнечное или галактическое происхождение.

Быстрые атомы кислорода  $Of$  для второго канала созданные в результате реакций испытывают потери энергии на нагрев атмосферных газов.

Максимальные значения энергетической потери будут находиться между ~250-300 км и составляют ~96 % относительно общего поступающего энергетического потока.

Для такого события величина потока поступающей энергии могла быть порядка  $4 \cdot 10^{-4} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$ , что по порядку энерге-

тического потока сопоставимо с солнечным энергетическим притоком к  $F$  области.

Таким образом, большие значения импульса предоставляют возможности для того, чтобы была эффективная передача магнитосферной энергии к верхней термосфере [5].

Вследствие того, что атмосфера нагревается, когда возрастает концентрация заряженных частиц относительно радиационных поясов, наблюдается ее расширение. Как результат изменяется отношение по нейтральным компонентам  $O/N_2$ .

В области где осуществляется разогрев, для отношения  $O/N_2$  будет характерно возрастание. Если высота максимума слоя  $F2$  будет находиться близко к области разогрева, то для электронной концентрации также будет наблюдаться определенный рост.

Если максимум ионосферы будет располагаться много ниже области разогрева, то можно ожидать уменьшение электронной концентрации.

В этой связи, будут условия, когда электронная концентрация в максимуме ионосферы на воздействия реагировать не будет.

Высота максимума ионизации области  $F2 - hmF2$  зависит от солнечной активности и композиций нейтральных составляющих атмосферы  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $O$ ,  $He$  и  $H$ .

Наиболее вероятно регистрация противоположной по знаку потока (относительно интенсивности корпускулярной радиации в областях захвата) в околополуденное время зимнего периода года, когда  $hmF2$  имеет наименьшие значения.

Вероятность возникновения отрицательной бури ещё более уменьшается с приближением к экваториальной зоне, поскольку при этом  $hmF2$  возрастает.

Концентрация заряженных частиц в радиационных поясах стремится к постоянству, она пополняется как за счёт внемагнитосферных источников, так и из ионосферы.

В третьем канале с увеличением потоков внемагнитосферных протонов и электронов радиационные пояса временно переполняются в сотни раз, и единственным механизмом уменьшения вынужденного нарастания является уменьшение скорости отбора зарядов из ионосферы.

При этом концентрации ионов и электронов в ионосфере будут возрастать, поскольку ионизация атмосферы на этих высотах солнечным электромагнитным излучением остается прежней.

В периоды, например, Форбуш-эффектов (понижение интенсивности ГКЛ) электронная концентрация в области F ионосферы падает.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алешкина, Е. В. Моделирование рассеяния радиоволн на структурах с поглощающим слоем / Е.В.Алешкина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 1 (16). – С. 15.

2. Преображенский, Ю. П. Моделирование распространения радиоволн для условий дифракции / Ю. П. Преображенский // Современные инновации в науке и технике; Ответственный редактор А. А. Горохов. – 2018. – С. 183-186.

3. Болучевская, О. А. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / О. А. Болучевская, О. Н. Горбенко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2013. – № 3 (3). – С. 4.

4. Кульнева, Е. Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е. Ю. Кульнева, И. А. Гащенко // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 50.

5. Поначугин, А. В. Моделирование системы радиодоступа в мультисервисных сетях связи / А. В. Поначугин, И. В. Гусев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – Т. 6. – № 1 (20). – С. 118-130.

## ON THE EVALUATION OF THE IONOSPHERIC DISTURBANCES

© 2018 D. A. Sychov, O. Yu. Klishina

*Voronezh Institute of high technologies (Voronezh, Russia)  
JSC concern «Sozvezdie» (Voronezh, Russia)*

*In this paper we consider the processes of radio waves propagation when they are reflected from the ionospheric layer. The regions of the ionosphere maximum ionization are indicated, the channels through which electrons move are described.*

*Key words: radio wave propagation, ionosphere, atmosphere, electromagnetic energy.*