

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 555.382.2

**ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ОБЛАСТИ F ИОНОСФЕРЫ
ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОЩНОЙ РАДИОВОЛНЫ**

А. Г. Колесник, С. В. Луц

В [1] предложена модель области F ионосферы, которая позволяет прогнозировать развитие возмущения в нестационарном режиме при самосогласованном изменении параметров заряженной, нейтральной и возбужденной компонент плазмы. Целью настоящей работы является на основе данной модели дать прогноз возмущения области F при периодическом воздействии мощной радиоволны в режиме, приближенном к условиям эксперимента [2].

Для этого, в отличие от [1], будем полагать, что скорость локального нагревания электронного газа можно представить в виде

$$Q_{\Sigma} = Q_e + \Delta Q_e,$$

где Q_e — «фоновая» (невозмущенная) скорость нагревания электронов, а ΔQ_e — дополнительная скорость нагревания электронов за счет воздействия мощной радиоволной, для которой примем

$$\Delta Q_e = (1/2) Q_0 [\sin(\omega t) + |\sin(\omega t)|].$$

Здесь Q_0 — амплитуда скорости нагревания, которая принималась в расчетах равной 10^4 — 10^5 эВ·см⁻³·с⁻¹, $\omega = \pi/300$ с⁻¹. Принималось, что дополнительный нагрев под действием мощной радиоволны происходит в узкой полосе шириной 10 км и локализован днем вблизи 250 км, а ночью — вблизи 350 км.

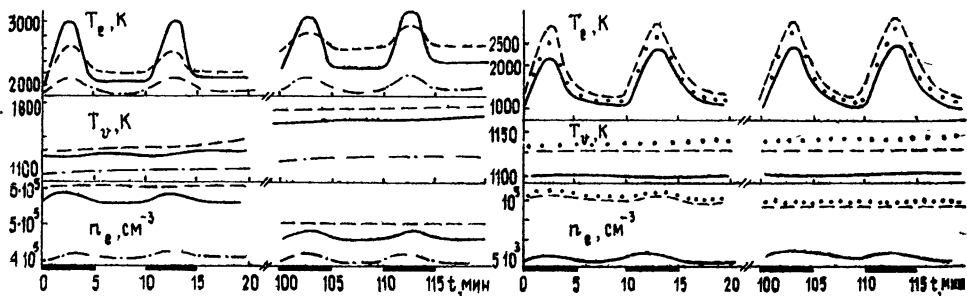
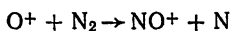


Рис. 1.

Рис. 2.

На рис. 1 приведены изменения электронной температуры T_e , температуры колебательно-возбужденного азота T_v и электронной концентрации n_e для дневных условий в зависимости от времени, отсчитываемого от момента включения периодического воздействия мощной радиоволны. Здесь и на последующих рисунках сплошная кривая соответствует высоте 250 км, штриховая — 350 км, штрих-пунктирная — 200 км. Периоды работы стэнда отмечены на оси абсцисс штриховкой. Эти результаты соответствуют нагреву при $Q_0 = 10^5$ эВ·см⁻³·с⁻¹. Через 2—3 минуты после включения накачки T_e возрастает примерно в 1,5 раза по сравнению с фоновыми значениями, что сопровождается увеличением n_e на высотах 200—250 км на единицы процентов за счет механизма диссоциативной рекомбинации, константы которой обратно пропорциональны T_e [3]. После выключения накачки за время порядка 5 мин электронная компонента плазмы практически полностью успевает релаксировать к фоновому состоянию, что

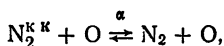
обеспечивает квазипериодичку. Однако в силу большой постоянной времени релаксации колебательно-возбужденного азота последний не успевает за 5 мин вернуться к первоначальному состоянию. Поэтому при последующих включениях передатчика происходит накопление колебательных квантов азота. В результате T_e монотонно возрастает с течением времени и по истечении двухчасового периодического нагрева увеличивается в $\sim 1,5$ раза в интервале высот 250—350 км. Это вызывает резкое усиление роли реакции



(константа которой увеличивается с ростом T_e [4]), монотонный спад n_e и рост NO^+ с наложенной на них десятиминутной периодикой. Значение параметров ионосферной плазмы в конце двухчасового сеанса по периодическому нагреву оказывается эквивалентным случаю сорокаминутного непрерывного нагревания при одинаковой мощности накачки.

Моделирование возмущения ночной ионосферы проводилось при $Q_0 = 10^4$ эВ·см⁻³·с⁻¹. Результаты этих расчетов представлены на рис. 2. Здесь кривые для высоты 400 км даны точечной кривой. Для ночных условий T_e возрастает в 2—2,5 раза и за 5 мин при выключенном передатчике успевает релаксировать к своему фоновому значению. Эти периодические изменения T_e вызывают периодические изменения в n_e . Поскольку возмущения n_e обусловлены рекомбинационным механизмом, то относительная амплитуда уменьшается с ростом высоты. За счет достаточно низких значений концентрации электронов ночью (примерно на порядок величины меньше дневных) механизм колебательно-возбуждения азота тепловыми электронами становится неэффективным. В результате T_e практически не изменяется, а электронная концентрация, испытывая периодические изменения, остается примерно на одном уровне, соответствующем фоновому. Вследствие малых ночных значений n_e время релаксации ионов NO^+ резко возрастает. Это приводит к тому, что возмущения NO^+ , в отличие от дневных условий, становятся неперiodическими.

В [5] сделан вывод о том, что роль колебательно-возбужденного азота при искусственном нагреве плазмы несущественна. Этот вывод противоречит результатам, приведенным в настоящей работе. Причина противоречия заключается в том, что в [5] использовалась константа VT-процесса



полученная в [6] при $T_n \approx 300$ К. Однако, как показано в более поздней работе [7] этих же авторов, константа этого процесса сильно возрастает с увеличением T_n , так что при изменении T_n от 300 до 1200 К α изменяется от $3,2 \cdot 10^{-16}$ см²·с⁻¹ до $6,3 \cdot 10^{-14}$ см²·с⁻¹ соответственно. Следовательно, время жизни колебательно-возбужденного азота за счет этого процесса ($\tau = (\alpha[O])^{-1}$) составляет уже не десятки часов, как в [5], а единицы часов или даже десятки минут. Поэтому в дневной атмосфере, когда $T_n = 1000 \div 1200$ К, возможно значительное увеличение колебательно-возбужденного азота, а следовательно, и его роли в формировании области F при искусственном нагреве плазмы, что и получено в настоящей работе.

Таким образом, на основании проведенных модельных расчетов можно сделать следующие выводы:

- 1) Аккумулирующий эффект колебательных квантов азота позволяет при переменном нагреве ионосферной плазмы мощной радиоволной добиться результатов, эквивалентных режиму постоянного нагрева при неизменной мощности нагревного стнда, что важно для выбора режима активного эксперимента.
- 2) Наиболее чувствительны к возмущениям мощной радиоволной такие параметры ионосферной плазмы, как электронная концентрация и концентрация ионов окиси азота, что может быть использовано при диагностике ионосферы.
- 3) Существенные различия реакции ночной и дневной ионосферы на воздействие мощной радиоволной, а также зависимость реакции от длительности накачки могут быть использованы для косвенной экспериментальной проверки роли колебательно-возбужденного азота в физике ионосферной плазмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесник А. Г.— Изв. вузов — Радиофизика, 1982, 25, № 2, с. 127.
2. Бенедиктов Е. А., Игнатьев Ю. А. В сб.: Влияние мощного радиоизлучения на ионосферу. — Апатиты: 1979, с. 25.
3. Данилов А. Д., Власов М. Н. Фотохимия ионизованных и возбужденных частиц в нижней атмосфере. — Л.: Гидрометеоиздат, 1973.
4. Schmeltekopf A. L., Ferguson E. E., Fehsenfeld F. C. — J. Chem. Phys., 1968, № 7, p. 2966.
5. Иванов В. Б., Павлов Н. Н., Сидоров И. М. — Геомагнетизм и аэрономия, 1981, 21, № 2.
6. McNeal R. J., Whitson M. E., Cook G. R. — Chem. Phys. Lett., 1972, № 3, p. 507.
7. McNeal R. J., Whitson M. E., Cook G. R. — J. Geophys. Res., 1974, 79, № 10.

Сибирский физико-технический институт
при Томском университете

Поступила в редакцию
2 июля 1981 г.