

О ВЛИЯНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКИСИ АЗОТА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЭМИССИИ 557.7 нм

Ж.В. Дашкевич, В.Е. Иванов

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

Аннотация. Численными методами исследовано влияние концентрации NO на интенсивность свечения эмиссии 557.7 нм. в электронных полярных сияниях. Показано, что основным каналом подавления интенсивности эмиссии 557.7 нм. является реакция $O_2^+ + NO$, которая уменьшает вклад диссоциативной рекомбинации O_2^+ в формирование 1S состояния молекулярного кислорода. Предложен метод оценки $[NO]$ в полярных сияниях по данным фотометрических измерений эмиссий полярных сияний: 391.4 нм., 557.7 нм и 630.0 нм.

Оксид азота в полярных сияниях

Оксид азота NO активно вступает в физико-химические процессы, происходящие в атмосфере и поэтому вносит свой вклад в образование состава и структуры атмосферы. В высоких широтах количество термосферного NO в разы больше, чем в средних и низких широтах. Это происходит в том числе и благодаря образованию окиси азота во время выпадения энергичных частиц в атмосферу. Из-за большого времени жизни, окись азота накапливается в атмосфере высоких широт.

Результаты экспериментальных оценок количества NO в полярных сияниях показали, что его плотность меняется в диапазоне 10^7 - 10^9 см⁻³. На рис. 1 представлены примеры высотных профилей плотности NO , полученных в различных работах из оценок экспериментальных данных (Sharp, 1978, Sharp et al., 1979, Swider and Narcisi, 1977, Siskind et al., 1989). Черной толстой линией показана кривая, полученная нами с помощью нестационарной модели возмущенной полярной атмосферы (Дашкевич и др., 2015) для данных ракетно-спутникового эксперимента, описанного в работах (Rees et al., 1977) и (Sharp et al., 1979)

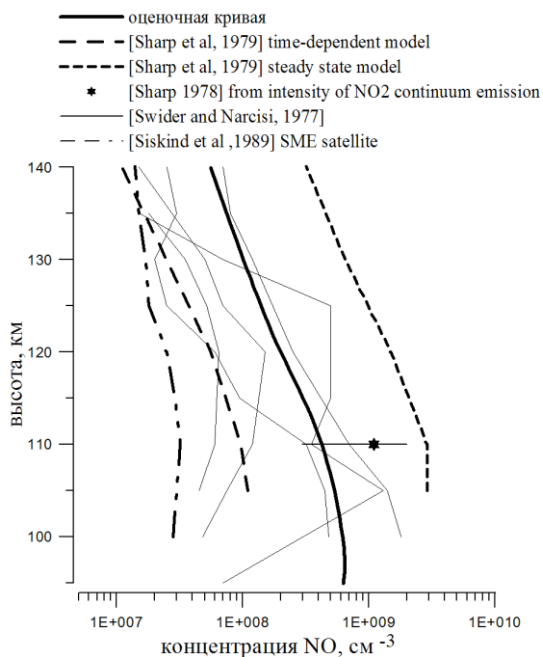
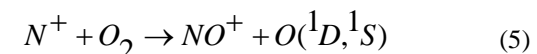
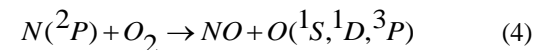
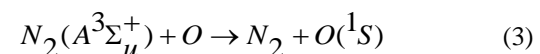
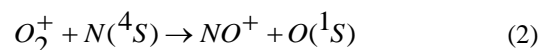
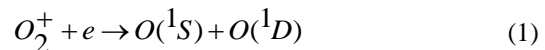


Рисунок 1. Количество NO в полярных сияниях

нестационарная по времени модель включает в себя 56 физико-химических реакций, посредством которых нейтральные, ионизированные и возбужденные составляющие атмосферы взаимодействуют в условиях выпадения высокоэнергичных электронов. В качестве модели нейтральной атмосферы выбрана MSIS-90. В качестве спектра выпадающих частиц - Максвелловское распределение электронов по энергиям: $N(E) = N_0 \cdot E \cdot \exp(E/E_0)/E_0^2$, где N_0 и E_0 – начальный поток частиц и характеристическая энергия электронов соответственно.

Связь между эмиссией зеленой линии и окисью азота

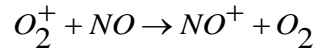
При выпадении энергичных электронов в атмосферу образование возбужденного атомарного кислорода $O(^1S)$, источника эмиссии зеленой линии 557.7 нм., происходит не только за счет прямого удара, но и в химических реакциях с возбужденными и ионизированными составляющими атмосферы:



Относительный вклад этих каналов в возбуждение $O(^1S)$ в зависимости от плотности NO в максимуме высотного профиля для различных характеристических энергий электронов показан на рис. 2. Все вычисления в этой работе сделаны с помощью модели возмущенной полярной ионосферы (Дашкевич и др., 2015). Эта

Из рис. 2 видно, что диссоциативная рекомбинация иона молекулярного кислорода O_2^+ , реакция (1), вносит значительный вклад в образование эмиссии зеленой линии.

Ионы молекулярного кислорода, в свою очередь, вступают в реакцию с окисью азота:



Большая скорость этой реакции, равная $k = 4.4 \cdot 10^{-10} \text{ см}^3\text{с}^{-1}$, дает основание предполагать, что с увеличением концентрации окиси азота концентрация O_2^+ будет падать и соответственно будет уменьшаться роль O_2^+ в возбуждение атомарного кислорода. Из рис. 2 видно, что с увеличением количества окиси азота при электронных высыпаниях роль диссоциативной рекомбинации иона молекулярного кислорода в возбуждение $O(^1S)$ падает. На рис. 3 показана зависимость интенсивности эмиссии зеленой линии 557.7 нм от плотности окиси азота в максимуме высотного профиля. Видно, что с увеличением плотности NO интенсивность зеленой линии падает. Поведение этих кривых практически повторяет поведение зависимости вклада реакции (1) от плотности NO в максимуме высотного профиля. Таким образом, основным каналом подавления интенсивности эмиссии 557.7 нм является реакция $O_2^+ + NO$, которая уменьшает вклад диссоциативной ионизации O_2^+ в формирование 1S состояния молекулярного кислорода.

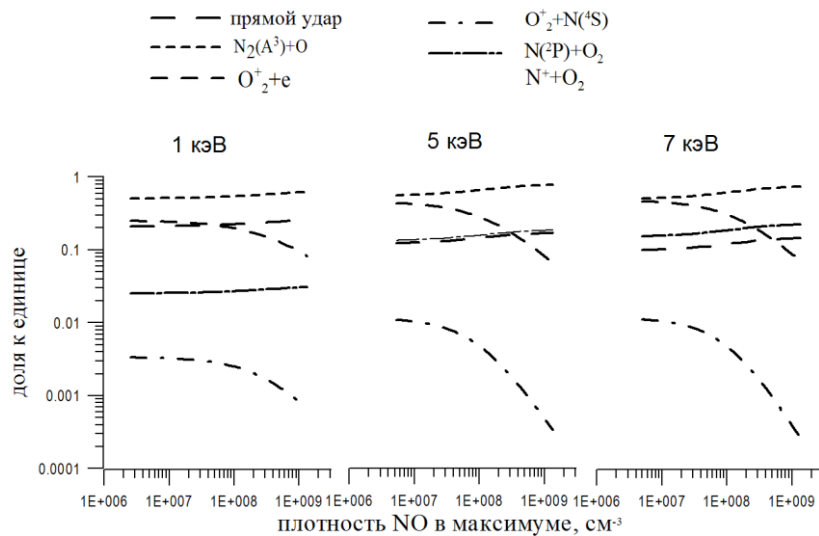


Рисунок 2. Вклад различных реакций в образование возбужденного атомарного кислорода $O(^1S)$

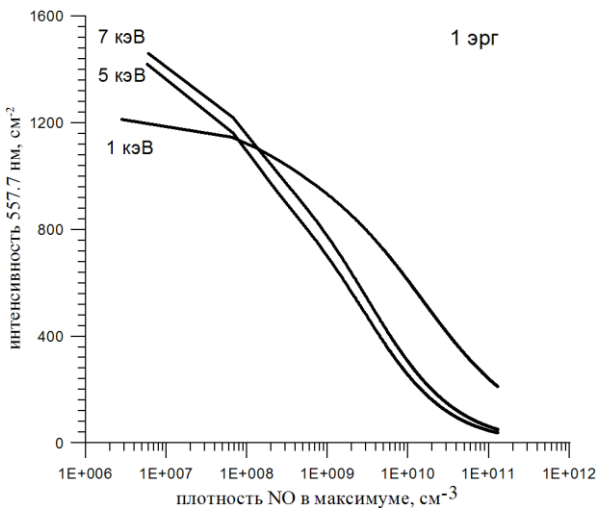


Рисунок 3. Зависимость интенсивности эмиссии 557.7 м. от плотности NO

Диагностика плотности окиси азота в условиях высыпаний энергичных электронов

Измеренные и оцененные плотности NO в полярных сияниях различаются на два порядка. Поскольку интенсивность зеленой линии находится в зависимости от плотности NO, то можно сделать оценку количества окиси азота по отношениям интенсивностей основных авроральных эмиссий 391.4 нм., 557.7 нм., 630.0 нм.

Прежде всего, отметим два факта.

Первый: отношения интенсивностей $I_{557.7}/I_{391.4}$ и $I_{630.0}/I_{391.4}$ слабо зависят от величины потока энергии высыпающихся электронов Q_0 , что показано на рис. 4.

Второй: Плотность окиси азота в максимуме высотного профиля не зависит от характеристической энергии высыпающихся электронов E_0 , что демонстрирует рис. 5.

Таким образом, отношение интенсивностей красной и синей линии $I_{630.0}/I_{391.4}$ зависит только от характеристической энергии электронов E_0 , что видно из рис. 6, где показаны зависимости величины этого отношения от характеристической энергии электронов для различных значений плотности NO в максимуме высотного профиля. И поэтому, по отношению $I_{630.0}/I_{391.4}$ можно оценить энергию высыпающихся электронов.

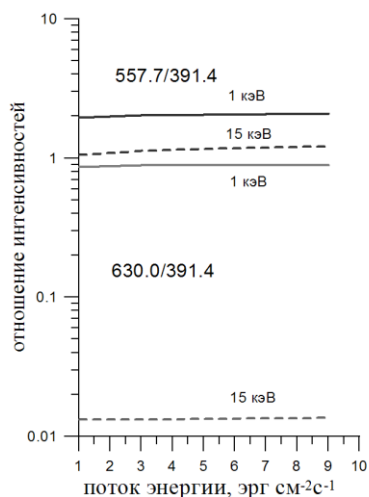


Рисунок 4. Зависимость отношений интенсивностей от величины потока энергии высыпавшихся электронов Q_0 .

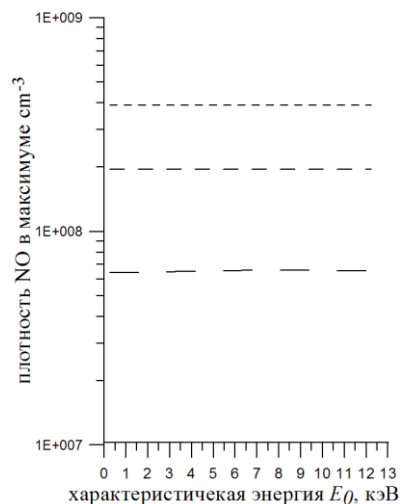


Рисунок 5. Зависимость плотности NO от энергии электронов для различных начальных условий моделирования.

В свою очередь, отношение зеленой и синей линии $I_{557.7}/I_{391.4}$ зависит как от характеристической энергии электронов E_0 , так и от плотности NO, что показано на рис. 7, где представлены зависимости этого отношения для различных E_0 .

Определив энергию электронов по отношению $I_{630.0}/I_{391.4}$ и выбрав нужную калибровочную кривую на графике зависимостей для отношения $I_{557.7}/I_{391.4}$ мы можем оценить количество окиси азота в атмосфере в условиях полярных сияний.

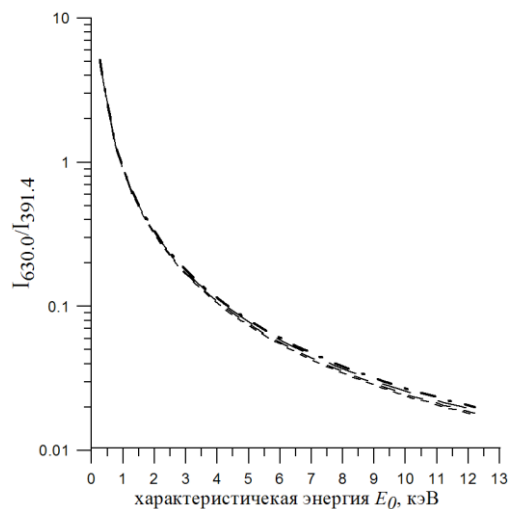


Рисунок 6. Зависимость отношения $I_{630.0}/I_{391.4}$ от характеристической энергии электронов E_0 для различных значений плотности NO, лежащих в диапазоне 10^7 - 10^{10} см⁻³

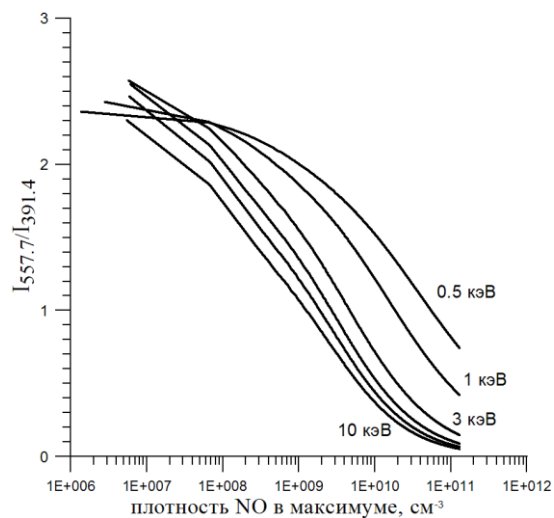


Рисунок 7. Зависимость отношения $I_{557.7}/I_{391.4}$ от плотности окиси азота в максимуме высотного профиля для различных характеристических энергий электронов E_0 .

Литература

- Дашкевич Ж.В., Иванов В.Е., Козелов Б.В. Модель возмущенной полярной атмосферы // Physic of Auroral Phenomena. Proc. XXXVIII Annual Seminar. Apatity. pp.119-122. 2015
- Rees M.H., Stewart A.I., Sharp W.E., Hays P.B., Hoffman R.A., Brace L.H., Doering J.P., Peterson W.K. Coordinated rocket and satellite measurements of an auroral event, 1, Satellite observation and analysis. // J.Geophys.Res. V.82. №16. P.2250-2261. 1977
- Sharp W.E., Rees M.H., Stewart A.I. Co-ordinated rocket and satellite measurements of an auroral events 2. The rocket observations and analysis // J.Geophys.Res. V.84. №A5. P.1977-1985. 1979
- Sharp W.E. NO₂ continuum in aurora // Geophys.Res. V.83. P.4373-4376. 1978
- Swider W., Narcisi R.S. Auroral E-region: Ion composition and nitric oxide // Planet.Space.Sci. V.25. pp. 103-116. 1977
- Siskind D.E., Barth C.A., Evans D.S., Roble R.G. // The response of thermospheric nitric oxide to an auroral storm 2. Auroral latitude // J.Geophys.Res.V.94. PP.16899-16911. 1989