

И.И. Ипполитов, Ю.К. Краковецкий, В.Н. Маричев, Л.Н. Попов, И.И. Федотов

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕРИДИОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ Na В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ ВЫСОКИХ ШИРОТ

Приводятся результаты экспериментальных исследований свечения дублета Na в верхней атмосфере высоких широт с помощью сканирующего фотометра. Контроль возбуждения верхней атмосферы вторгающимся потоком электронов проводился по регистрации свечения N_2^+ на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$. Анализ показал, что при существовании в северном секторе небосвода полярных сияний яркостью в II–III балла максимум излучения дублета Na реализуется в области зенита. При смещении сияний к зенитной области и далее на юг области максимум излучения в полосе N_2^+ на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ и максимум излучения атомов Na на $\lambda = 5890–5896 \text{ \AA}$ становятся близкими по пространственным координатам.

Введение

В спектре полярного сияния зарегистрировано излучение атомов Na с $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ и $\lambda = 5896 \text{ \AA}$ [1–2]. Возросший к настоящему времени интерес к исследованию линий излучения Na в высоких широтах обусловлен перспективностью внедрения в практику геофизических измерений систем высотного лидарного зондирования, основанных на резонансном рассеянии атомами Na излучения лидара [3–5].

В настоящей статье в рамках подготовительных работ по созданию станции высотного лазерного зондирования на Норильском полигоне СибИЗМИР СО АН СССР исследованы меридиональные профили свечения дублета Na с помощью сканирующего фотометра и представлены предварительные результаты.

Эксперимент

Для проведения измерений использован двухканальный сканирующий фотометр. В одном из каналов регистрировалось излучение атомов Na с помощью интерференционного фильтра, центрированного на $\lambda = 5893 \text{ \AA}$ с полушириной 30 \AA . В другом канале синхронно с измерениями излучения атомов Na регистрировалась одна из наиболее интенсивных полос полярного сияния — полоса иона молекулы азота N_2^+ с $\lambda = 4278 \text{ \AA}$. Выбор $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ N_2^+ обусловлен тем, что интенсивность излучения на данной длине волны пропорциональна интенсивности электронного потока плазменного слоя [1]. Сканирование небосвода осуществлялось по меридиану от горизонта к горизонту (с юга на север), причем в обоих каналах регистрировалось излучение из одних и тех же областей ионосферной плазмы. Полное время одного цикла сканирования составляло 1 мин. Угол зрения фотометра $\sim 1^\circ$. Измерения проводились 30.03, 04.04 и 05.04.1984 г., при сравнительно высоком уровне геомагнитной активности ($\Sigma K = 36, 46, 47$ соответственно). При измерениях реализовывалось несколько географических ситуаций, которые рассмотрим ниже.

1. Полоса на севере яркостью III балла. Измерения проводились в интервале $15^{\text{h}}29^{\text{m}}–15^{\text{h}}37^{\text{m}}$ UT 05.04.1984 г. На севере визуально наблюдается полоса полярного сияния, ориентированная по широте, яркостью III балла, которая зарегистрирована в виде пика на сканограмме на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ N_2^+ (рис. 1, а). В зените в начале записи зарегистрирована полоса яркостью менее I балла, которая затем исчезла (пик в области зенита на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$). Сканограмма в линии Na $\lambda = 5890–5896 \text{ \AA}$ показывает наличие пика интенсивности пространственно совмещенного с зенитным пиком на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$, и пика на севере в области, близкой к зениту ($z = 1^\circ$), отсчет зенитного угла ведется от перпендикуляра к земной поверхности, углы, отсчитываемые в южном направлении, имеют знак минус, в северном — плюс). Амплитуда пика в зените значительно превышает амплитуду пика на севере. С течением времени интенсивность полосы на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ в зените падает, а интенсивность полосы сияния на севере на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ растет. С увеличением интенсивности полосы сияния на севере на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ увеличиваются интенсивности обоих пиков в линии Na, при этом пространственное положение зенитного пика излучения Na остается неизменным, а ширина зенитного пика зависит от интенсивности. Эту зависимость иллюстрирует рис. 2, на котором показано поведение ширины зенитного пика ϕ (кривая 1) и интенсивности линии излучения J (кривая 2) в ходе 15 последовательных циклов сканирования.

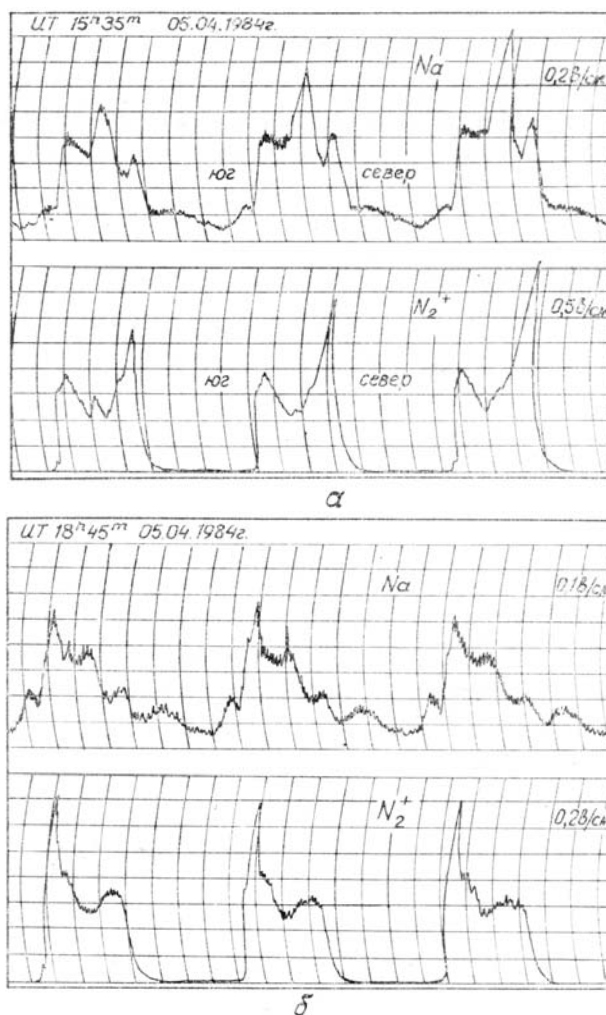


Рис. 1. Меридиональный профиль свечения N_2^+ и Na верхней атмосферы, измеренный над Норильском 05.04.1984 г.: а – в интервале времени $15^h29^m \div 15^h37^m$ UT; б – $18^h40^m \div 18^h55^m$ UT

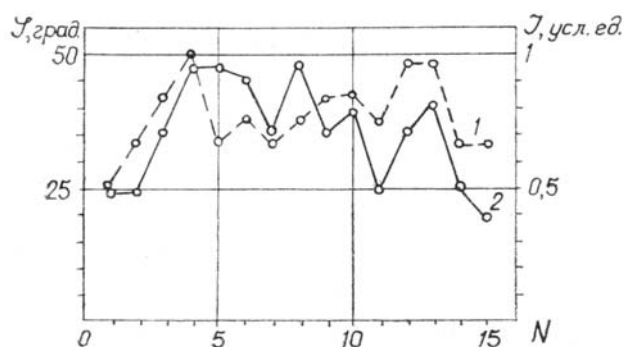


Рис. 2. Поведение угловой ширины ϕ зенитного пика свечения атомов Na и интенсивности излучения J при наличии полосы сияния в северной части небосвода

Подобные геофизические ситуации реализовывались неоднократно, например, при измерениях в интервале $16^h39^m \div 16^h41^m$ UT 04.04. 1984 г. На севере визуально наблюдалась полоса полярного сияния яркостью III балла, в зените — полоса менее одного балла. Основные особенности поведения линии излучения Na совпадают с описанными выше. Максимум излучения линии Na сосредоточен в области зенита.

2. Полоса на юге яркостью I балл. Полоса на юге, ориентированная по широте яркостью в один балл, наблюдалась в интервале $18^h40^m \sim 18^h55^m$ UT 05.04.1984 г. Сканограмма, показывающая поведение излучения N_2^+ и Na, показана на рис. 1, б. Анализ сканограммы показывает наличие пиков интенсивности на юге как в полосе излучения N_2^+ с $\lambda = 4278 \text{ \AA}$, так и в линии излучения Na с

$\lambda = 5890 - 5896 \text{ \AA}$, причем пространственное расположение пиков интенсивности в обеих эмиссиях совпадает. В области зенита заметного повышения интенсивности в линии Na не наблюдается.

3. **Полоса яркостью II балла в зените.** Ориентированная в широтном направлении полоса в зените яркостью II балла наблюдалась в интервале $15^{\text{h}}45^{\text{m}} \div 15^{\text{h}}57^{\text{m}}$ UT 05.04.1984 г. Сканограмма, показывающая поведение излучения N_2^+ и Na приведена на рис. 3, а. Из анализа сканограммы следует, что пик интенсивности в полосе N_2^+ с $\lambda = 4278$ расположен в области $z = 9^\circ$ и не меняет своего пространственного положения. Пик в линии Na расположен к югу от зенита и дрейфует в области зенитных углов от -30° до -17° . Зарегистрирован дрейф как в северном так и в южном направлении, причем скорости дрейфа лежат в пределах $100 - 200 \text{ м/с}$, т. е. в диапазоне скоростей основных компонент ионосферной плазмы [7]. При расчете скоростей учитывалось, что свободные атомы щелочных металлов сосредоточены в слое на высотах $90 \div 100 \text{ км}$ от поверхности Земли [8].

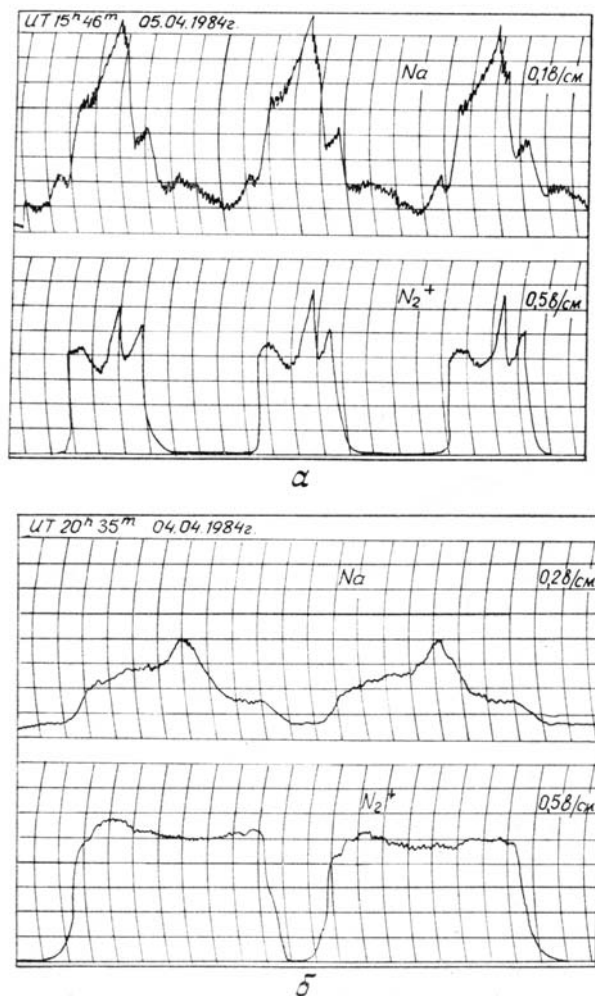


Рис. 3. Меридиональный профиль свечения N_2^+ и Na верхней атмосферы, измеренный над Норильском: а — в интервале времени $15^{\text{h}}45^{\text{m}} \div 15^{\text{h}}57^{\text{m}}$ UT 05.04.1984 г., б — $20^{\text{h}}33^{\text{m}} \div 20^{\text{h}}40^{\text{m}}$ UT 04.04.1984 г.

В интервале $20^{\text{h}}46^{\text{m}} \div 20^{\text{h}}18^{\text{m}}$ UT 05.04.1984 г. в области зенита ($z = -7^\circ$) также зарегистрирована полоса яркостью в II балла, и меридиональный профиль интенсивности полосы обнаруживает максимум при $z = -7^\circ$. На меридиональном профиле линии Na имеется два пика интенсивности с $z = -20^\circ$ и $z = -7^\circ$, причем пик при $z = -7^\circ$ пространственно совпадает с пиком на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$.

4. **Полоса яркостью I балл в зените.** Обычно в соответствии с теорией однородные формы полярных сияний направлены по магнитным параллелям (например, [9]). В анализируемом случае полоса имеет аномальное субмеридиональное направление. По данным визуальных и аппаратных наблюдений в Норильском районе нередки случаи субмеридионального аномального расположения однородных форм, которые вносят вклад в формирование локальной структуры пространственного распределения полярных сияний в Норильском районе [9–10]. Измерения проводились в интервале $20^{\text{h}}33^{\text{m}} \div 20^{\text{h}}40^{\text{m}}$ UT 04.04.1984 г. и позволяли получить информацию как о параметрах полосы на $\lambda = 4278$, так и поведении излучения линии Na. Сканограмма, иллюстрирующая описанную геофизическую ситуацию, приведена на рис. 3, б. Анализ сканограммы показывает, что яркость в полосе

на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ распределена по меридиану равномерно. Меридиональный профиль излучения в линии Na имеет пик интенсивности при $z = -2^\circ$, причем положение пика во время измерений не меняется.

5. Корона в зените яркостью II—III балла. Измерения проводились в интервале $19^{\text{h}}59^{\text{m}}\div 20^{\text{h}}09^{\text{m}}$ UT 05.04.1984 г. На сканограмме (рис. 4, а) в обеих линиях излучения видны пики интенсивности с максимумами у зенитных углов -3 и -57° , близкие по пространственным координатам. Амплитуды пиков в каждой линии сравнимы по амплитуде между собой.

6. Диффузные пятна. Диффузные пятна в южном от зенита секторе регистрировались в интервале измерений $20^{\text{h}}23^{\text{m}}\div 20^{\text{h}}44^{\text{m}}$ UT 05.04.1984 г. Сканограмма (рис. 4, б) в полосе N_2^+ показывает слабый подъем интенсивности и повышение интенсивности в южном секторе и отражает распределение интенсивности диффузных пятен в полосе $\lambda = 4278 \text{ \AA}$. Интенсивность излучения в линии Na повышается в области от зенита до южного горизонта ($z = -70^\circ\div -15^\circ$), причем к югу от зенита интенсивность излучения в линии $\lambda = 5890 - 5896 \text{ \AA}$ распределена по меридиану равномерно.

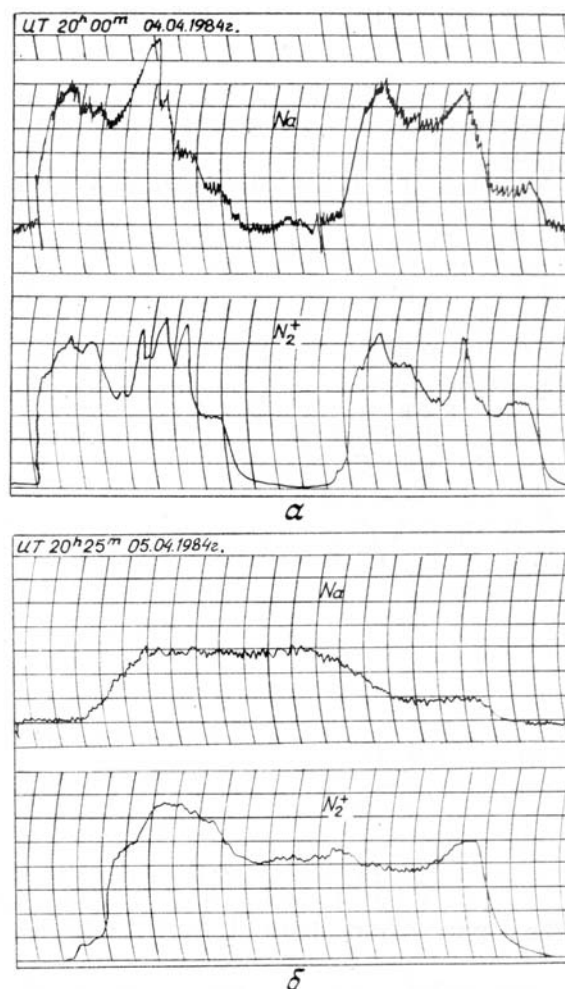


Рис. 4. Меридиональный профиль свечения N_2^+ и Na верхней атмосферы, измеренный над Норильском 05.04.1984 г.: а — в интервале времени $19^{\text{h}}59^{\text{m}}\div 20^{\text{h}}09^{\text{m}}$ UT, б — $20^{\text{h}}23^{\text{m}}\div 20^{\text{h}}44^{\text{m}}$ UT

При отсутствии сияний сканограмма в полосе N_2^+ имеет ровный характер типа описанного в [6], а сканограмма в линии Na обнаруживает слабый подъем интенсивности в области зенита. При измерениях в условиях облачности сканограммы в обеих эмиссиях не имеют особенностей, что говорит о незначительном вкладе искусственных источников света в полученные меридиональные профили. С целью выявления возможных аппаратурных искажений была проведена перестановка фильтров в каналах сканирующего фотометра, т. е. фильтр с $\lambda = 5893 \text{ \AA}$ был поставлен в канал, который ранее регистрировал излучение с $\lambda = 4278 \text{ \AA}$. Перестановка фильтров показала идентичность каналов фотометра.

Выводы

Анализ полученных сканограмм приводит к следующим выводам. При наличии ярких форм полярных сияний в северном секторе максимум излучения в диапазоне длин волн, близком к длине

волны излучения атомов натрия, тяготеет к области зенита. При смещении сияний к зенитной области и далее на юг области максимумов излучения в полосе N_2^+ на $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ и максимумы излучения в диапазоне длин волн, близком к длине волны излучения Na, становятся близкими по пространственным координатам.

Авторы глубоко признательны Г.А. Жеребцову, В.Е. Зуеву, Е.А. Пономареву за внимание к работе.

1. Омхольт А. Полярные сияния. М: Мир, 1974. 248 с.
2. Чемберлен Дж. Физика полярных сияний и излучения атмосферы. М.: ИЛ, 1963. 777 с.
3. Зуев В.Е., Кабанов М.В. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере. М.: Сов. радио, 1977. 368 с.
4. Лагутин М.Ф. //Тр. Ин-та эксперим. метеорол. Гл. упр. гидрометеорол. службы при Сов. Мин. СССР. 1977. № 7/75. С. 43–59.
5. Тулинов Г.Ф., Дудолодов Ю.П., Шанэн М.Л., Межи М. //Ионосферные исследования. М.: Наука, 1982. С. 104–112.
6. Горелый К.И., Неткачев В.В. //Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. М.: Наука, 1977. Вып. 43. С. 93–97.
7. Леньков С.И., Жеребцов Г.А., Пономарев Е.А., Попов Л.Н. //Высокоширотная атмосфера и магнитосферно-ионосферные связи. Апатиты: КФ АН СССР, 1986. С. 86–91.
8. Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. М.: Мир, 1981. 352 с.
9. Краковецкий Ю.К., Платонов О.П., Попов Л.Н., Доронина И.Д. //Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. М.: Наука, 1982. Вып. 62. С. 155–164.
10. Валл Т.П., Надубович Ю.А., Шумилова Н.Н. //Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. М.: Наука, 1983. Вып. 66. С. 99–106.

Институт оптики атмосферы
СО АН СССР, Томск
Сибирский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
СО АН СССР, Иркутск
Томский госуниверситет им. В.В. Куйбышева

Поступила в редакцию
12 апреля 1989 г.

I.I. Ippolitov, Yu.K. Krakovetskii, V.N. Marichev, L.N. Popov,
I.I. Fedotov. **Investigation of the Meridional Cross Section of the Na Emission in the Upper Atmosphere of High Latitudes.**

The paper presents some results of the experimental studies of the Na yellow emission in the upper atmosphere of high latitudes carried out using a scanning photometer. The effect of the upper atmospheric excitation by an extraterrestrial electrons inflow was monitored by N_2^+ emission at $\lambda = 4278 \text{ \AA}$. The analysis has shown that during the auroral events in the Northern hemisphere of the 2nd and 3rd power the maximum of Na emission at yellow doublet is maximum near zenith. When the auroras shift to the south the positions of emissions maxima at $\lambda = 4278 \text{ \AA}$ and $\lambda = 5890$ and 5896 \AA become close to each other.