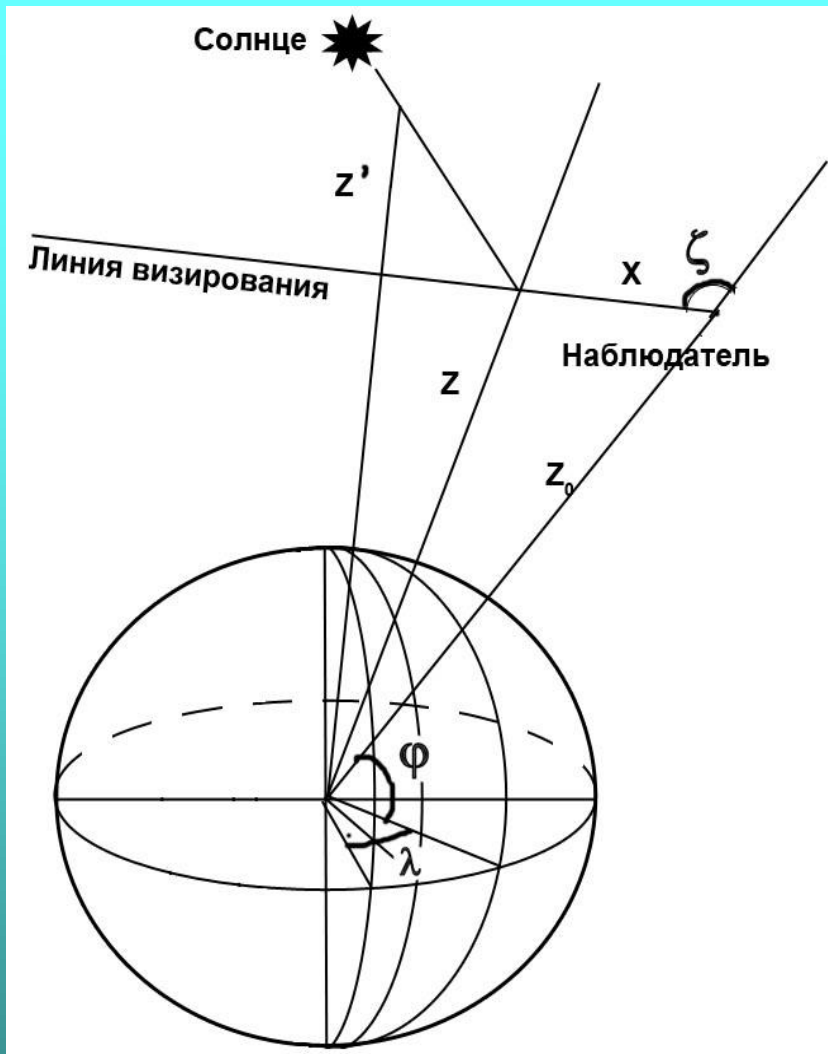


ОСОБЕННОСТИ НОЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ – ПОЛОС ГЕРЦБЕРГА I НА СРЕДНИХ ШИРОТАХ И В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ В ГОДЫ НИЗКОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ.

Цель данной работы – провести сравнение результатов теоретических расчетов интенсивностей свечения полос Герцберга I в диапазоне 250-360 нм с экспериментальными данными об интенсивности ночного свечения молекулярного кислорода O_2^* в собственном излучении верхней атмосферы Земли в ночное время.

Антоненко О.В., Кириллов А.С.
*Полярный геофизический институт
Апатиты .*

- В настоящее время общепризнано, что источником излучения ночного свечения является атом кислорода O в основном (не возбуждённом) состоянии, который появляется в результате фотодиссоциации в дневное время, с последующей диффузией в нижнюю термосферу и области мезосферы ночью.
- На высотах, где позволяют условия, происходит трёхчастичная рекомбинация, в результате которой атомарный кислород вступает в реакцию с образованием электронно – возбуждённой молекулы O₂. Эти реакции происходят в очень мелком слое толщиной около 10 км с центром на высоте около 90 км. [Broadfoot and Bellaire, 1999].
- Возбужденные состояния O₂ определяются как спонтанные выбросы свечения в атмосферу от ультрафиолетовой до инфракрасной области спектра, так как в процессе релаксации молекула кислорода излучает свет [Slanger and Copeland, 2003].
- Аэрономическое сообщество интересуется корреляцией измерений ночного свечения, полученных наземными приборами с измерениями, полученными с летательных аппаратов. Здесь мы видим два набора данных, различающиеся по характеру измерений. Единственная космическая платформа, в настоящее время при тщательном планировании наблюдения способная ликвидировать разрыв между наборами спутниковых и наземных данных - космический шаттл или космическая транспортная система (STS). [Broadfoot and Bellaire, 1999].



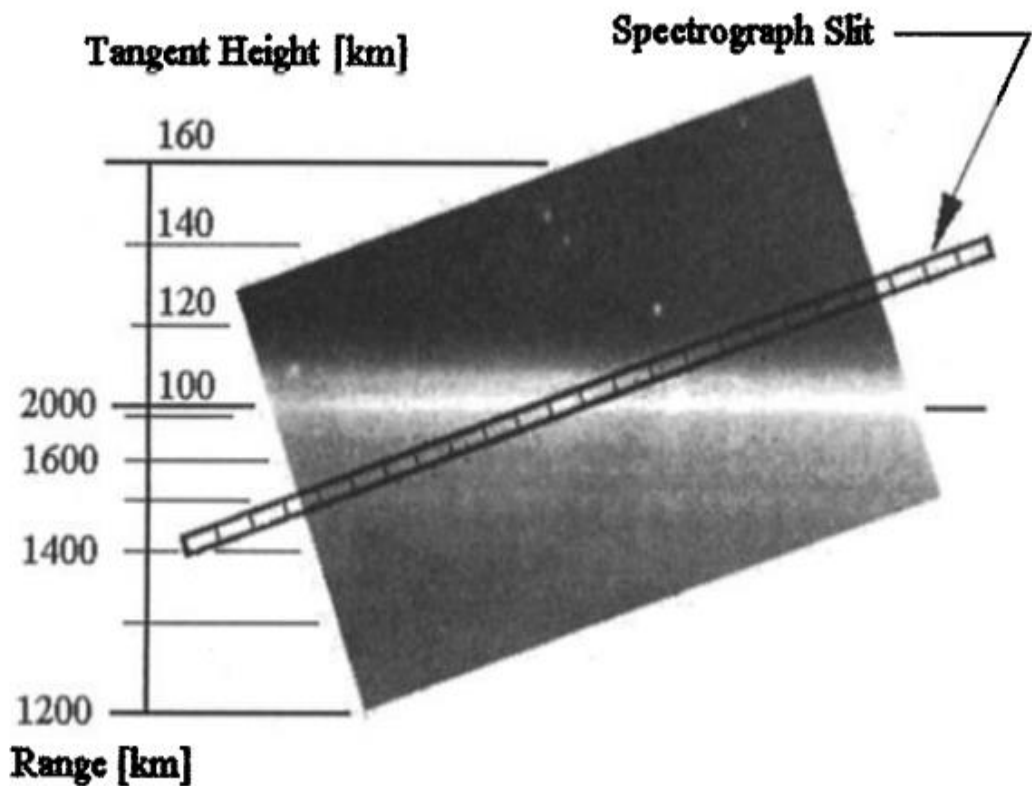
Геометрия ориентации положения наблюдателя над поверхностью Земли.

Z_0 высота наблюдателя

X расстояние вдоль оси визирования

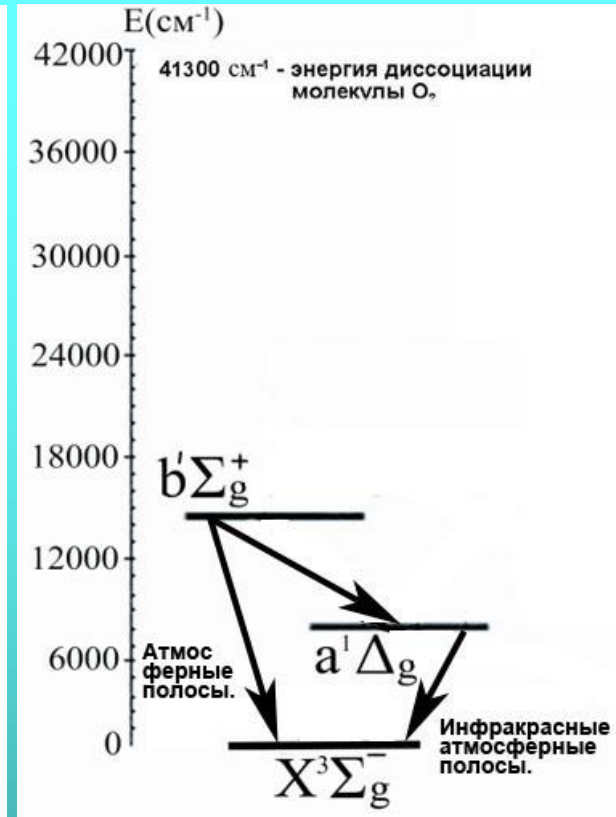
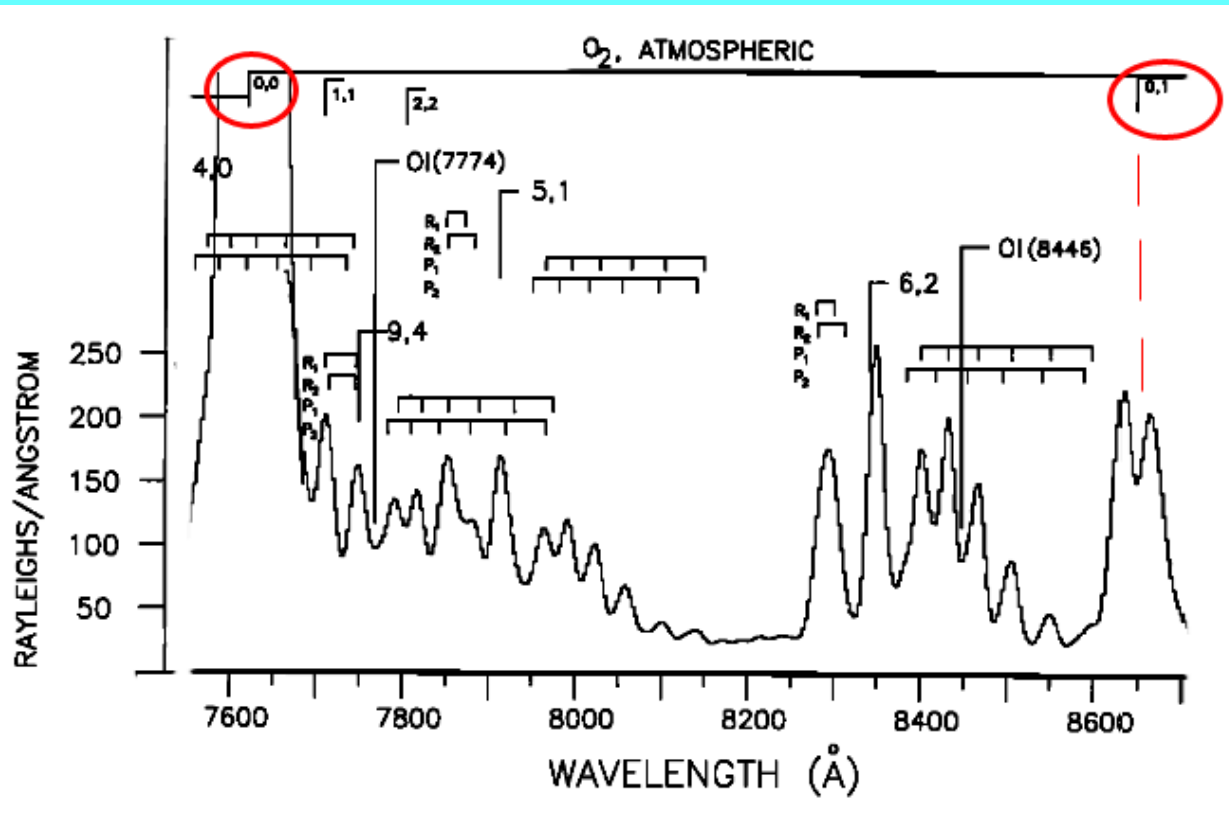
ζ зенитный угол линии визирования, ϕ и λ широта и долгота точки, над которой находится наблюдатель.

Еще в начале 60-х годов прошлого века сотрудниками ИФА РАН Красовским В.И. и Шефовым Н.Н. были опубликованы спектры, где ясно было показано присутствие полос Герцберга I (переход $A^3\Sigma_u^+ \rightarrow X^3\Sigma_g^-$). В настоящей презентации используются экспериментальные данные о характерных концентрациях О. Регулярные данные по свечению атомарного кислорода были получены из полуэмпирической модели, интегрирующей несколько типов различных среднеширотных измерений, регрессионных соотношений и теоретических расчетов на протяжении нескольких десятков лет сотрудниками ИФА. [Шефов Н.Н., Семёнов А.И., Хомич В.Ю.2006,]



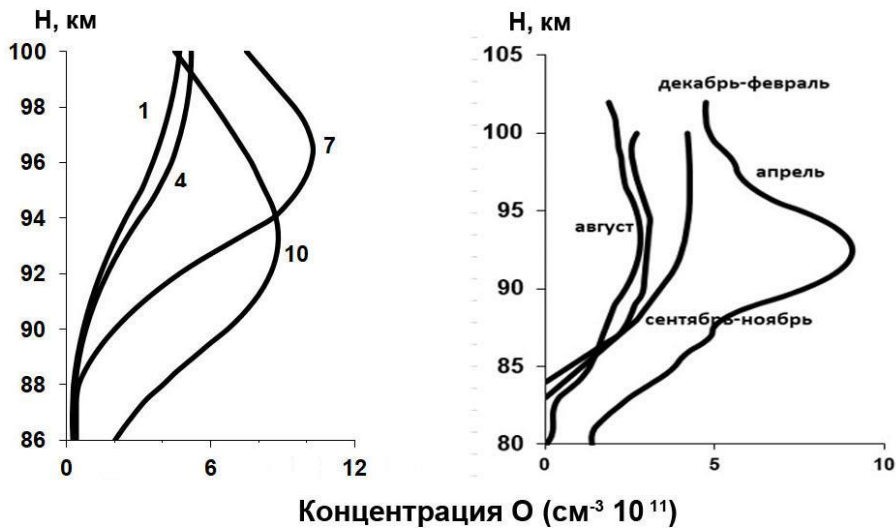
Изображение с телескопа слежения шаттла арizonского эксперимента GLO, показывающее слой свечения Земли и звезд над краем свечения атмосферы. На изображении трекера виден слой свечения воздуха на высоте касательной 100 км и четыре звезды на заднем плане над горизонталью Земли (лимбом). При наклоне щели спектрографа на 15° наклонный диапазон до слоя O_2 в нижней части аппарата - около 1400 км.

Наземные наблюдения могут быть сопоставимы с космическими только экспериментами, работающими в режиме моментального снимка с использованием высокопроизводительного оборудования в течение ограниченного времени полета. Поддерживать такие эксперименты может космический шаттл, или космическая транспортная система (STS). В 1995 г. был осуществлён эксперимент Arizona Airglow Experiment (GLO) - запуск на борту космического корабля "Дискавери" (STS-63) на восьмидневный полет. Это была особая миссия, так как шаттл встречался с легендарной космической станцией «Мир» [Broadfoot and Bellaire, 1999].



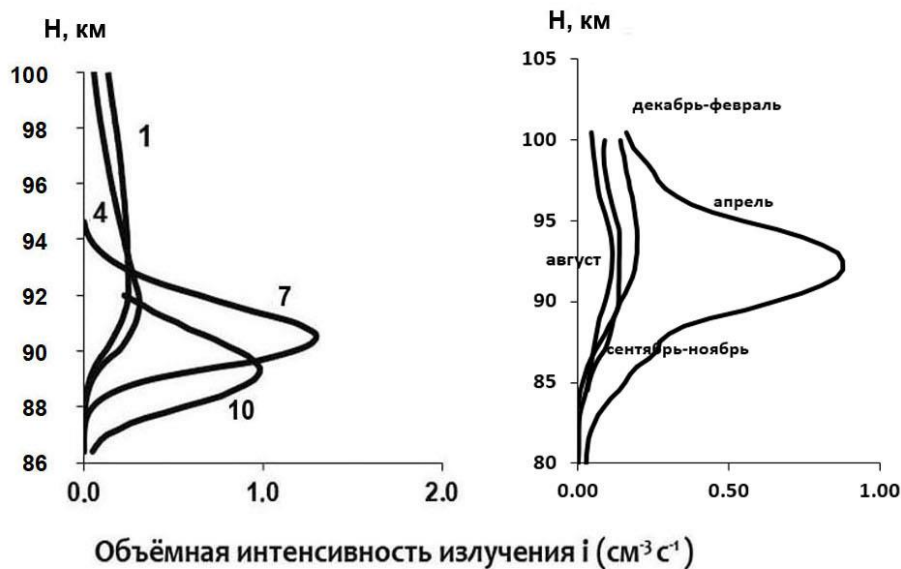
Но, тем не менее, имеются некоторые особенности наблюдения: ультрафиолет значительно поглощается озоном и рассеивается атмосферой, поэтому атмосфера над позицией наблюдателя зачастую является оптически плотной. Например, излучение полосы $O_2(0,0)$, 762 нм, невозможно наблюдать с Земли по этой причине, однако, излучение этой полосы наиболее яркое в ночном свечении спектра, наблюдаемого с орбиты. Оно в 22 раза ярче полосы $O_2(0,1)$, 865 нм, которая регулярно отслеживается наземными наблюдателями. Полоса $(0,1)$ рассматривается как подпись атмосферной системы O_2 в спектре ночного свечения.

Таким образом, интенсивность излучения полосы $O_2(0,0)$ может использоваться как индикатор динамической активности в эмиссионном слое ночного свечения [Broadfoot and Bellaire, 1999].



а

б



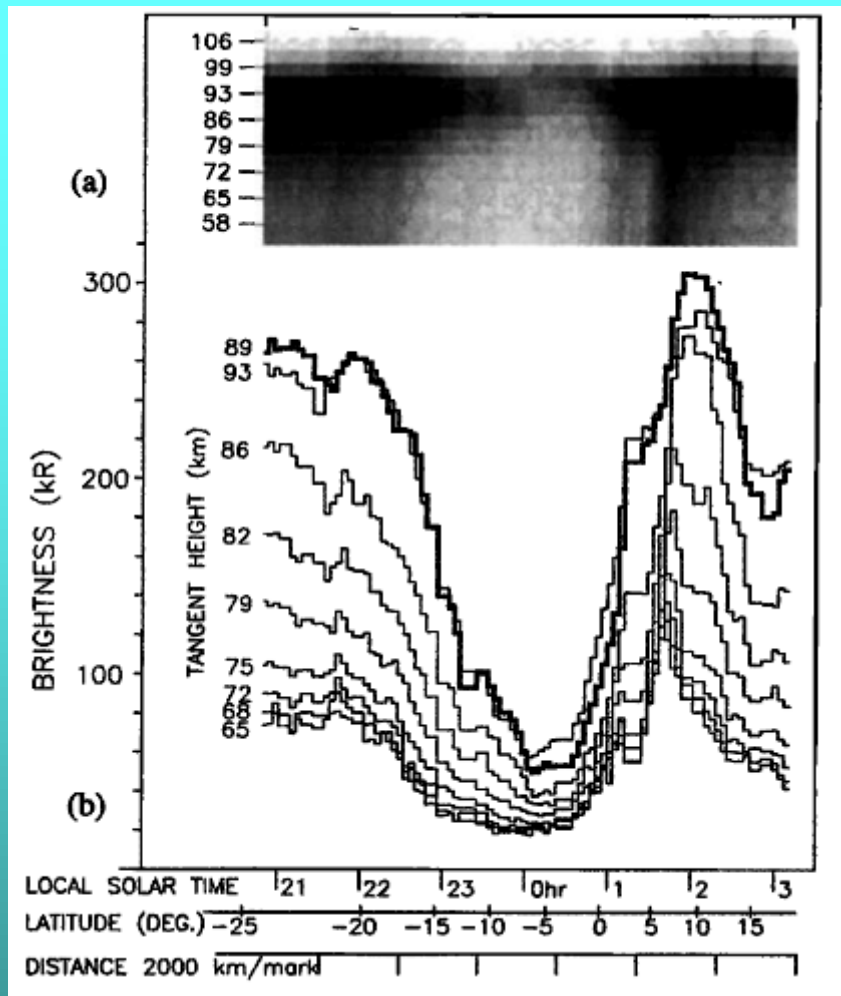
в

г

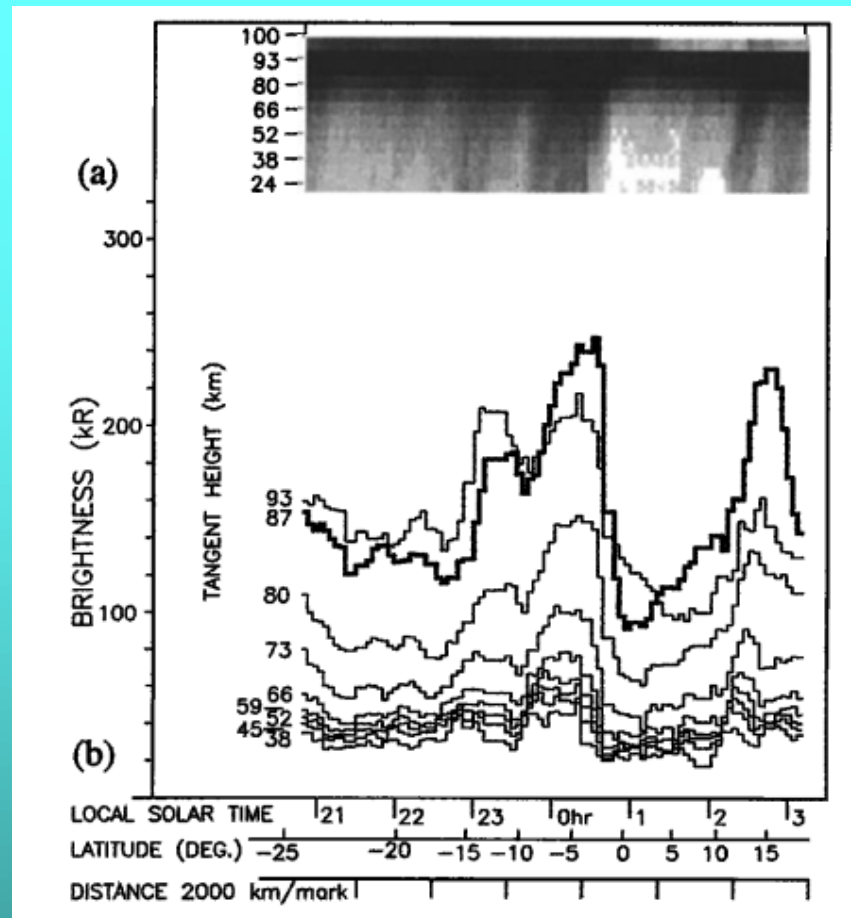
а) экспериментальные данные о характерных концентрациях O в условиях низкой ($F_{10.7}=75$, 1976 и 1986 гг.) солнечной активности на средних широтах ($55.7^\circ N$; $36.8^\circ E$), звенигородская обсерватория Института физики атмосферы (ИФА). Показано, что в средних широтах наибольшая концентрация, главным образом, в высотной области 85-115 км с максимумом интенсивности на ~ 97 км [Шефов Н.Н., Семёнов А.И., Хомич В.Ю.2006].

б) экспериментальные данные о характерных концентрациях O в условиях низкой ($F_{10.7}=75$, 2005 г.) солнечной активности в области экватора и на северных тропиках ($23.5^\circ N$). Зондирование атмосферы на спутнике термосферно-ионосферно-мезосферной энергетике и динамики (TIMED) и с помощью оптического спектрографа инфракрасной микроскопической системы OSIRIS. Показано, что наибольшая концентрация O на высоте ~ 93 км.

в) и г) рассчитанные значения объёмной светимости i . наибольшие сезонные вариации наблюдаются на высотах $\approx 91 - 93$ км.



Гиперспектральное изображение полосы $O_2(0,0)$. Излучение на участке тени Земли на орбите 72, миссия STS 69.



Монохроматическое изображение полосы $O_2(0,0)$.

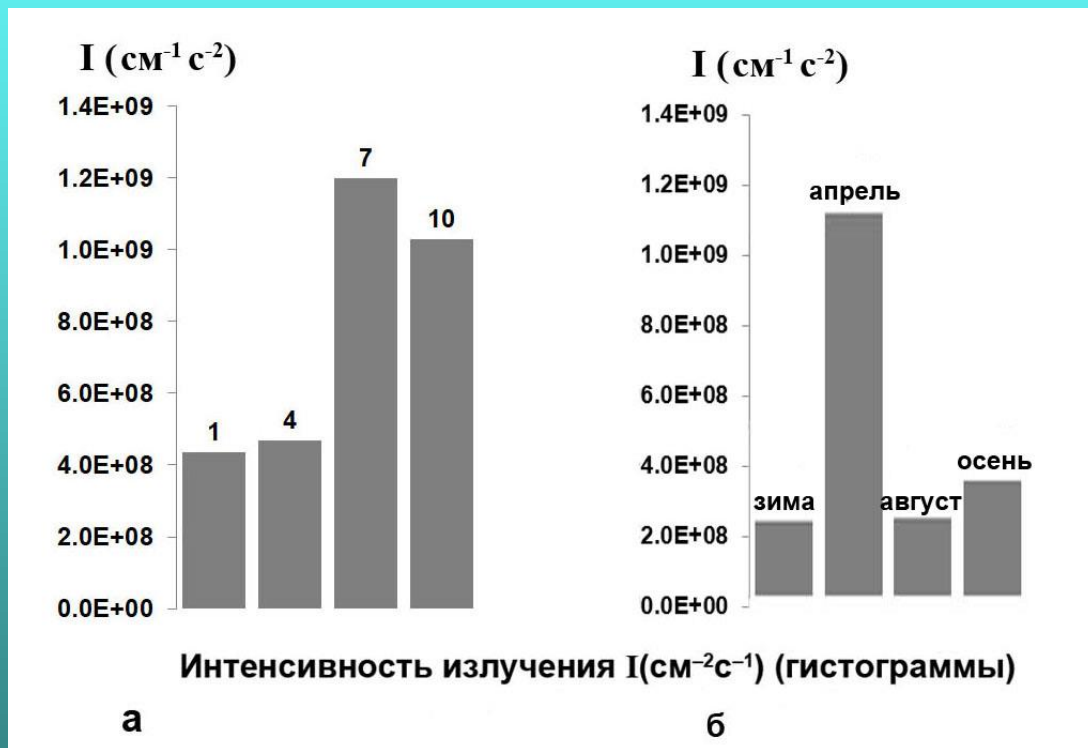
Излучение на участке тени Земли на орбите 92, миссия STS 69.

Рисунки демонстрируют, что наиболее яркие полосы, полученные вовремя миссии шаттлов также на высотах 87-93 км, что соответствует данным наземных измерений, показанных выше.

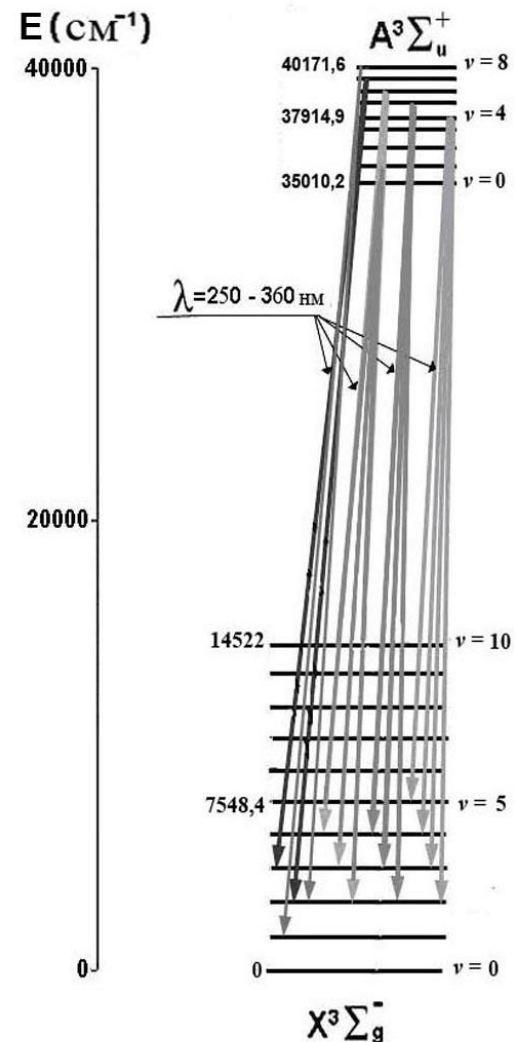
Рассчитаны значения интегральной светимости I ($\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$) для состояния $A^3\Sigma_u^+$

$$I_{(v' \rightarrow v'')} = \int_{h_0}^{h_1} [\text{O}_2^*] A_{(v' \rightarrow v'')} dh,$$

где A_v - коэффициенты Эйнштейна,
 dh - приращение высоты.

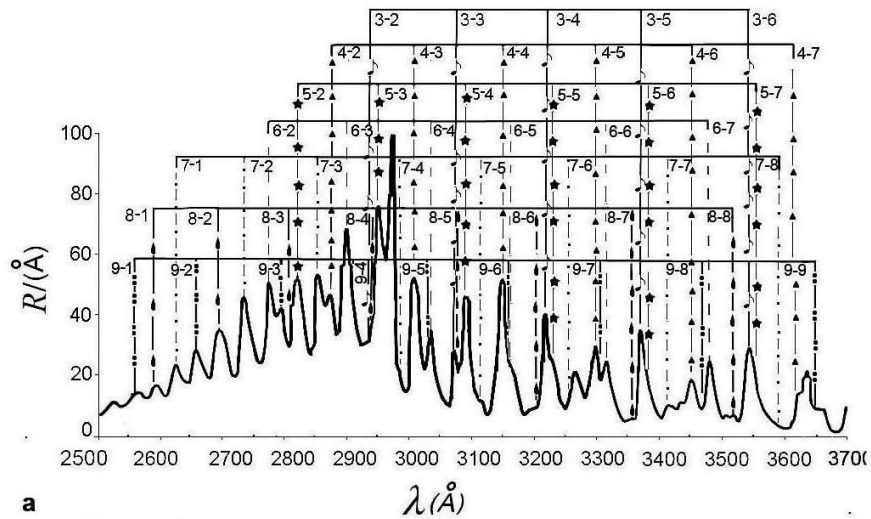


41300 см^{-1} - энергия диссоциации молекулы O_2

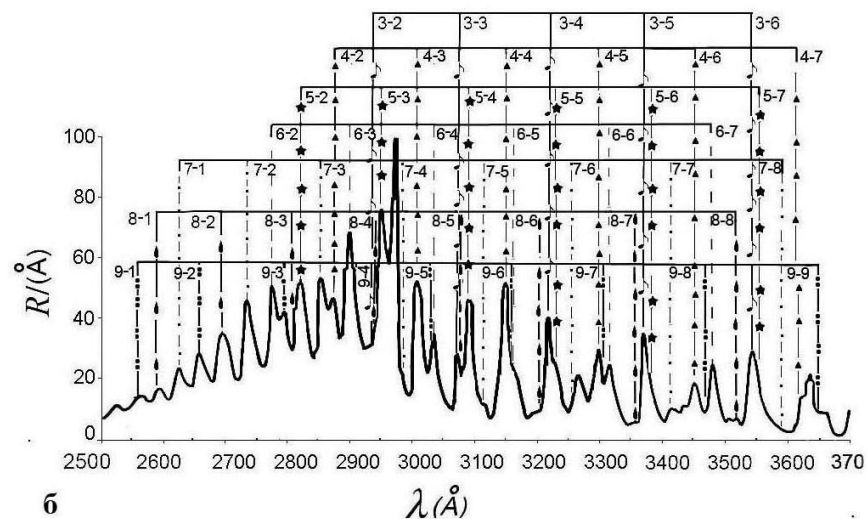


Значения интегральной светимости (гистограммы) для расчётных месяцев года для низкой солнечной активности. Показано, что на средних широтах доминируют значения интегральной светимости в июле (7), на экваториальной зоне – в апреле.

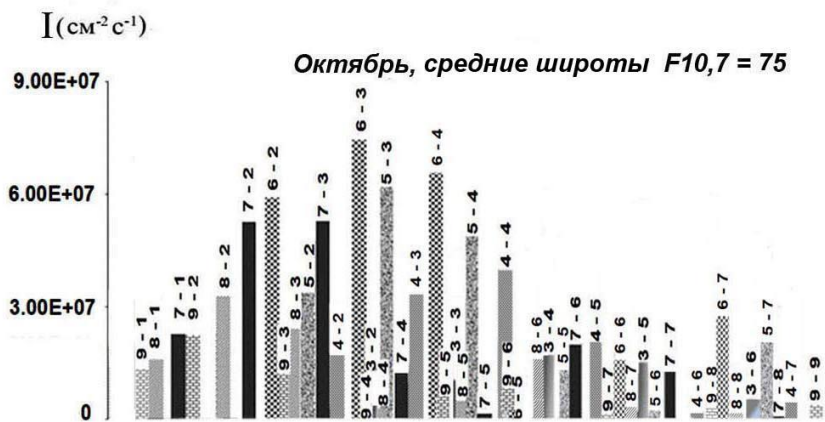
Справа на схеме - полосы Герцберга I, излучаемые при спонтанных переходах между состояниями: $A^3\Sigma_u^+$ и $X^3\Sigma_g^-$ (основным состоянием) молекулы O_2 .



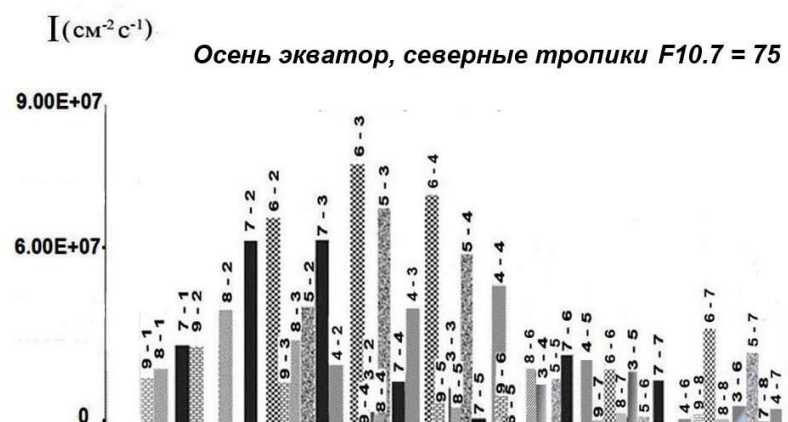
а



б



в



г

Показано сравнение рассчитанных значений интегральной светимости полос Герцберга I в условиях низкой солнечной активности на средних широтах и в экваториальной области (в,г), с экспериментальными данными, полученными в диапазоне длин волн 250-360 нм спектрографом с космического шаттла (а,б) [Broadfoot and Bellaire, 1999] в условиях низкой солнечной активности. Из рисунка видно, что наблюдается хорошее согласие между рассчитанными и экспериментальными значениями.

Выводы

- Проведено сравнение рассчитанных значений интегральной светимости полос Герцберга I в условиях низкой солнечной активности на средних широтах и в экваториальной области с экспериментальными данными, полученными в диапазоне длин волн 250-360 нм спектрографом с космического шаттла [Broadfoot and Bellaire, 1999] в условиях низкой солнечной активности.
- Сравнение экспериментальных данных с рассчитанными значениями интенсивностей полос показало, что лучшее согласие наблюдается после коррекции квантовых выходов колебательных уровней qv' состояния $A^3\Sigma u^+$ в результате тройных столкновений.
- Представлены рассчитанные значения интегральной светимости (гистограммы) для расчётных месяцев года для низкой солнечной активности. Показано, что на средних широтах доминируют значения интегральной светимости в июле (7), на экваториальной зоне – в апреле.

**Спасибо
за внимание!**

1. Broadfoot A.L., Bellaire P.J., Jr. Bridging the gap between ground-based and space-based observations of the night airglow. // Journal of Geophysical Research, 1999, v.104, №A8, p.17127-17138.
2. Slanger T.G. and Copeland R.A. Energetic oxygen in the upper atmosphere and the laboratory. // Chemical Reviews, 2003, v.103, №12, p.4731-4766.
3. Шефов Н.Н., Семёнов А.И., Хомич В.Ю. Излучение верхней атмосферы – индикатор её структуры и динамики. // М. ГЕОС, 2006, 741 с.