

# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

М. Н. Марков, Я. И. Мерсон, М. Р. Шамилев,  
Изучение слоев ионосферы в инфракрасной области спектра, *Докл. АН СССР*, 1966, том 167, номер 4, 803–806

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.169

15 марта 2025 г., 13:53:00



М. Н. МАРКОВ, Я. И. МЕРСОН, М. Р. ШАМИЛЕВ

**ИЗУЧЕНИЕ СЛОЕВ ИОНОСФЕРЫ  
В ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

(Представлено академиком Г. М. Петровым 26 VII 1965)

В течение 1958—1963 гг. нами проводились систематические измерения излучения Земли и атмосферы в космическое пространство в инфракрасной области спектра ( $0,8 \div 40 \mu$ ) с высот от 25 до 500 км (<sup>6, 7, 8</sup>). Наблюдения проводились нами в различное время года (июнь, август, октябрь) в районах, разделенных расстоянием в несколько тысяч километров, при различном направлении визирования аппаратуры относительно стран света. При измерениях исследовательская аппаратура поднималась с помощью геофизических аэростатов и ракет.

В результате этих измерений было установлено:

1. От слоев атмосферы, расположенных на высотах более 200 км, наблюдается интенсивное инфракрасное (и.-к.) излучение. Во всех случаях излучение верхней атмосферы имело максимальную интенсивность в области высот  $250 \div 300$  км,  $420 \div 450$  км и около 500 км.

2. Наблюдаемое на этих высотах излучение сконцентрировано преимущественно в области спектра  $2,5 \div 8 \mu$  в освещенной Солнцем части атмосферы.

3. Излучение верхней атмосферы имеет максимальную интенсивность, достигающую  $(3 \div 7) \cdot 10^{+2}$  вт/м<sup>2</sup> при визировании в направлении касательной, когда излучение интегрируется вдоль луча длиной  $\sim 1000$  км, что соответствует изотропному излучению 1 см<sup>2</sup>, равному  $10^{-3}$  эрг/сек.

4. Интенсивность излучения зависит от воздействия солнечной радиации на верхнюю часть атмосферы и возрастает в периоды максимума солнечной активности. На рис. 1 приведены кривые зависимости интенсивности излучения с горизонтального направления от высоты визирования, полученные в эксперименте 1958 г., 1962 г. и 18 VI 1963 г. Следует отметить особое значение эксперимента 1963 г., который полностью подтвердил полученные ранее результаты: в нем снова было зафиксировано излучение на высотах 280 и 420 км и, кроме того, на высоте 500 км. В этом эксперименте рабочая область спектра была ограничена диапазоном  $2,5—40 \mu$ .

Исчерпывающая интерпретация полученных результатов выходит за рамки настоящей работы. Однако мы считаем полезным привести некоторые оценки для того, чтобы подтвердить принципиальную возможность увязки полученных нами новых данных с другими сведениями об атмосфере. В настоящее время мы не располагаем надежными данными относительно состава атмосферы на интересующих нас высотах, в частности, относительно нейтральных сложных молекул и радикалов типа OH, NO, NH и т. п., и, тем более, коэффициентами поглощения этих газов в условиях высокого разрежения и огромных толщ. Представляется полезным рассмотреть модель атмосферы, не включающую в себя поглощающих газов между излучающими слоями. Высотное и угловое распределения излучения могут быть согласованы между собой лишь в предположении, что излучение локализовано в определенных слоях (5—10 км), расположенных на некоторых высотах, близких к верхней и нижней границам

слоя  $F_2$  ионосферы. Предположим, что толщина излучающих слоев на высотах 280, 420 и 500 км составляет 5 км, а эффективный угол зрения прибора (с учетом aberrаций и постоянной времени усилителя) около  $0,5^\circ$ . Тогда можно рассчитать и построить ход относительной интенсивности для кривых углового распределения излучения, полагая, что интенсивность пропорциональна длине излучающего слоя, с учетом дилуции излучения.

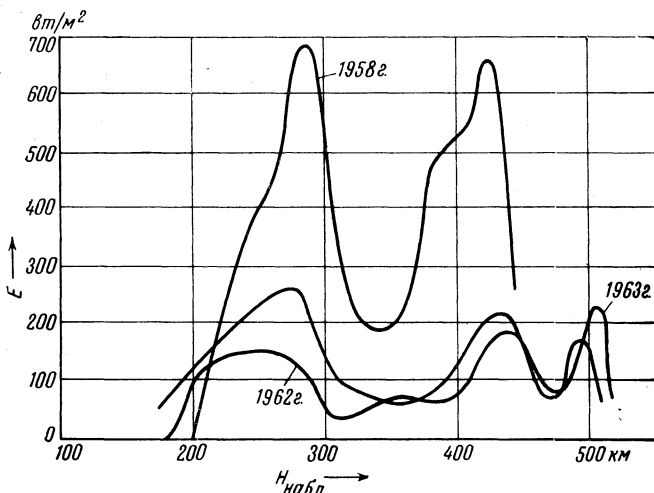


Рис. 1. Зависимость интенсивности излучения с горизонтального направления от высоты

На рис. 2 приведены такие расчетные и экспериментальные (1963 г.) кривые. Эти кривые построены в соответствии с характером движения сканирующей системы прибора, с помощью которого осуществлялся эксперимент. Оптическая система прибора при сканировании двигалась до горизонтального положения, а затем возвращалась обратно. Поэтому получаемые кривые симметричны относительно горизонтали и соответствуют различным направлениям движения оптической системы при сканировании. Отсюда видно, что имеет место удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных кривых для всех трех высот наблюдений (а также и промежуточных высот). Небольшое различие кривых может объясняться тем, что прибор не регистрирует тонкой структуры участков перехода, а с другой стороны, приближенностью сделанных при расчете предположений о размере слоев, их структуре, распределении плотности в слоях по высоте и т. п. Учет всех этих факторов может привести к более точному совпадению расчетных и экспериментальных кривых.

Для рассматриваемой модели нами были произведены дополнительные расчеты, показывающие, что при некоторых естественных предположениях экспериментальные данные позволяют получить число неравновесных актов излучения, изотропный поток излучения и т. п. При толщине слоя 5 км длина излучающего столба газа вдоль слоя составляет около 500 км (ограничена кривизной Земли). Таким образом, при измеренном потоке  $10^2$  Вт/м<sup>2</sup> объемная плотность излучения составит около  $2 \cdot 10^{-10}$  Вт/см<sup>3</sup> ( $10^{-3}$  эрг/см<sup>3</sup>); этот поток составляет около 0,07% величины солнечной постоянной. Следовательно, полученному нами потоку соответствует 1 акт излучения в секунду. В области спектра, где в основном сконцентрировано излучение (2,5—8,0 м), расположены вращательно-колебательные полосы поглощения молекул, входящих в состав атмосферы, в частности  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NO$ ,  $CH_4$  и др.

Одно из предположений о механизме излучения может состоять в том, что молекулы газа атмосферы на определенных высотах возбуждаются

солнечным потоком и за излучение ответственны вращательно-колебательные переходы в их энергетическом спектре. Но данные о нейтральном составе атмосферы на высотах 200 ÷ 500 км не достаточно определены (4). Известен лишь ионный состав, доля которого в общем количестве частиц весьма невелика (например, на высоте 300 км составляет около 0,1% (9)). Если, однако, сделать предположение, что ионный состав в какой-то

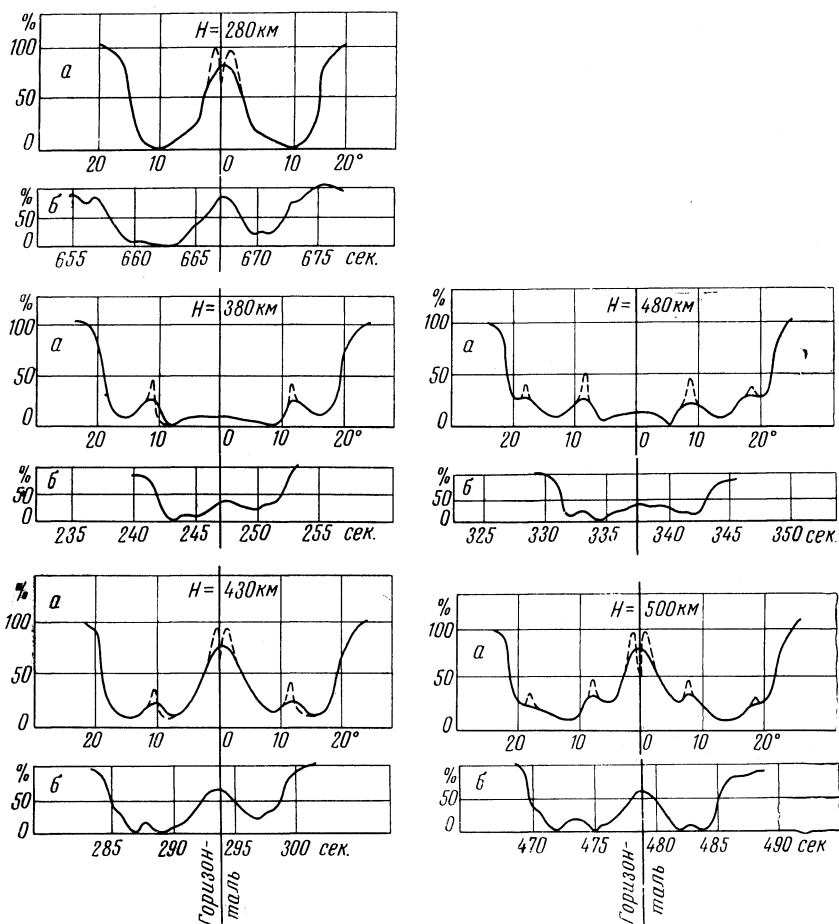


Рис. 2. Расчетные (а) и экспериментальные (б) данные по угловой зависимости излучения в области, прилежащей к горизонтальному направлению визирования, для различных высот

мере отражает концентрацию нейтральных частиц, то можно сделать вывод о решающей роли в излучении (по крайней мере на высоте 280 км) молекул NO. Концентрация ионов NO на высотах около 200 км достигает в ряде случаев 50% от общего количества ионов атмосферы, а молекула NO имеет интенсивную полосу поглощения около  $5,3 \mu$  (по данным (2)). Таким образом, в этих предположениях концентрация нейтральных молекул NO, например, в нижнем слое могла бы достигать  $10^9 \text{ см}^{-3}$ , а общее число излучающих частиц при длине пути порядка 500 км  $\sim 10^{17}$ . Грубые оценки показывают, что при этом для наблюдающейся интенсивности излучения эффективная температура, определенная по полосе поглощения NO, достигает порядка  $2000^\circ \text{ К}$ .

Нельзя исключать предположений о сложном механизме возбуждения молекул атмосферы в результате фотохимических реакций, процессов рекомбинации и т. п. В настоящее время, однако, нет достаточных оснований для выделения того или иного механизма. Оценки энергии электромагнитного солнечного излучения в различных областях спектра показывают,

что ее величина недостаточна для наблюдаемой интенсивности и необходимые потоки могут быть обусловлены, по-видимому, лишь корпускулярным излучением Солнца. Действительно, по данным <sup>(3-5)</sup>, по крайней мере во время полярных сияний, корпускулярные потоки, достигающие высоты 100 км, составляют несколько тысяч эрг/сек·см<sup>2</sup>, что соответствует величине потока и.-к. излучения, полученного нами, и даже выше.

Т а б л и ц а 1

Солнце	Земля
Эксперимент 27 VIII 1958 г.	
За 2 суток и во время эксперимента наблюдалась вспышечная буря	Планетарный индекс магнитного поля $K_p = 4 \div 5$
Эксперимент 6 VI 1963 г.	
31 V и 1 VI — малое количество флоккул; 4 VI — одна очень слабая вспышка; 6 VI — вспышки отсутствуют	C 4 VI по 6 VI $K_p = 0$
Эксперимент 18 VI 1963 г.	
11—12 VI — значительное количество флоккул; 16 VI — 6 вспышек	18 VI $K_p = 3,5$

Поскольку на интенсивность и.-к. излучения атмосферы оказывают влияние процессы на Солнце и, в частности, потоки солнечного корпускулярного излучения, достигающего верхней атмосферы Земли, в табл. 1 приводятся характеристики состояния Солнца и магнитного поля Земли (зависящего от солнечной активности), относящиеся ко дням проведения экспериментов. Графики, приведенные на рис. 1, показывают, что в 1958 г. (год максимальной солнечной активности) излучение ионосферы было существенно больше, чем в экспериментах 1962 и 1963 гг. (годы спокойного Солнца). В экспериментах 1963 г. излучение слоев ионосферы 18 VI было значительно выше, чем 6 VI, когда оно было незначительно.

Таким образом, можно считать установленным (конечно, в единичных измерениях) факт корреляции и.-к. излучения ионосферы со вспышками вблизи центрального меридиана солнечного диска.

Поступило  
21 VII 1965

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> К. Я. Кондратьев, Метеорологические исследования с помощью ракет и спутников, 1962. <sup>2</sup> R. H. Gillette, E. H. Eyster, Phys. Rev., 56, 1113 (1939). <sup>3</sup> Исследования верхней атмосферы с помощью ракет и спутников, ИЛ, 1961. <sup>4</sup> Ю. И. Гальперин, В. И. Красовский и др., Космические исследования, 1, 1963, стр. 126. <sup>5</sup> X. С. В. Мессе, Р. Л. Ф. Бойд, Верхняя атмосфера, 1962. <sup>6</sup> Л. В. Ливенцов, М. Н. Марков и др., ДАН, 146, № 2 (1962). <sup>7</sup> И. П. Аверьянов, А. М. Касаткин и др., Искусственные спутники Земли, в. 14, 1962, стр. 49. <sup>8</sup> М. Н. Марков, Я. И. Мерсон, М. Р. Шамилев, Космические исследования, 1963, 1, в. 2, стр. 235, 1963. <sup>9</sup> Б. А. Миртов, Газовый состав атмосферы Земли и методы его анализа, Изд. АН СССР, 1961.